

**Two treatises on the astrolabe by
Abu Rayhan Muhammad ibn Ahmad Biruni
(973-1048 A.D.)**

Two treatises on the astrolabe by
Abu Rayhan Muhammad ibn Ahmad Biruni (973-1048 A.D.)

PhD Thesis
Pouyan Rezvani

Printed by ProefschriftMaken || www.proefschriftmaken.nl
ISBN:978-90-393-7164-0

Cover: astrolabe made in Taza, Morocco in 1327/28 A.D. displaying a mixed projection as explained by Biruni in the *Tatriq* (0-2). Oxford, History of Science Museum, no. 50853

**Two treatises on the astrolabe by
Abu Rayhan Muhammad ibn Ahmad Biruni
(973-1048 A.D.)**

**Twee verhandelingen over het astrolabium door
Abu Rayhan Muhammad ibn Ahmad Biruni
(973-1048 n. Chr.)**

(met een samenvatting in het Nederlands)

Proefschrift

ter verkrijging van de graad van doctor aan de Universiteit Utrecht
op gezag van de rector magnificus, prof.dr. H.R.B.M. Kummeling,
ingevolge het besluit van het college voor promoties
in het openbaar te verdedigen op

woensdag 25 september 2019 des middags te 4.15 uur

door

Pouyan Rezvani

geboren op 27 juni 1986
te Arak, Iran

Promotor: Prof. Dr. J.P. Hogendijk

Abstract

Abū Rayḥān Muḥammad ibn Aḥmad Bīrūnī (973 – 1048 A.D.) was one of the leading mathematicians and astronomers in the 11th-century Islamic tradition. Of the some 120 works he penned, 26 are still extant today, and 24 of these have been published previously. This thesis is thus devoted to the two, as-yet-unpublished Arabic texts. In them, Bīrūnī treats applications of the astrolabe, an astronomical instrument used for timekeeping by the sun and stars as well as for other purposes. We provide a critical edition of the Arabic texts of both treatises, a complete English translation of the more complicated of the two, a summary of the other, introductions, and commentaries.

Table of Contents

1. Introduction

1-1: Structure of this Thesis.....	1
1-2: Outline of the History of Ancient and Medieval Islamic Mathematical Astronomy.....	3
1-3: Fundamental Concepts of Geocentric Astronomy.....	5
1-4: The Principle of the Astrolabe.....	12
1-5: A Concise History of the Astrolabe in Islamic Civilization.....	22
1-6: Non-Standard Astrolabes.....	24
1-7: Bīrūnī's Biography and Astrolabe Works at a Glance.....	32
1-8: The <i>Taṭrīq</i> and the <i>Ikhrāj</i> : Bīrūnī's Two Unpublished Treatises on the Astrolabe.....	36
1-8-1: General Outline of the Treatises.....	36
1-8-2: Reconstructing the Crescent-Shaped Astrolabe in the <i>Taṭrīq</i>	39
1-8-3: The Peculiar Language of Bīrūnī.....	41
1-8-4: Tabular Overview of the Contents of the <i>Taṭrīq</i> and <i>Ikhrāj</i>	44
1-8-5: Bīrūnī's Authorship of the <i>Taṭrīq</i> and <i>Ikhrāj</i>	47
1-8-6: Dating the <i>Taṭrīq</i> and <i>Ikhrāj</i>	48
1-9: Description of Manuscripts and Editorial Procedures.....	49
1-10: The Methodology of Reconstructing the <i>Taṭrīq</i> and <i>Ikhrāj</i>	58
1-11: Conclusion.....	60

2. Taṭrīq

2-1: English Translation.....	63
2-2: Commentary.....	181

3. Ikhrāj

3-1: Translation of the Titles of All Chapters of the <i>Ikhrāj</i>	269
3-2: Translation of Selected Chapters of the <i>Ikhrāj</i>	273

4. Bibliography.....

Summary in Dutch	291
A Word of Thanks	295
Curriculum Vitae	297

5. Arabic Part

5-1: Arabic Edition of the <i>Taṭrīq</i>	۱
5-2: Arabic Edition of Selected Chapters of the <i>Ikhrāj</i> , Based on All Manuscripts... ^{۱۶}	
5-3: Arabic Edition of the <i>Ikhrāj</i> Based on the Diyarbakir and the Berlin Manuscripts.....	۱۳

6. Preface in Persian.....

1. Introduction

1-1: Structure of this Thesis

This thesis concerns two treatises by Bīrūnī which are published here for the first time: (1) the “Treatise on Opening the Way towards Using the Different Kinds of Astrolabes” (Arabic: *Maqāla fī al-Taṭrīq bi-Isti‘māl Funūn al-Uṣṭurlābāt*; hereafter *Taṭrīq*), and (2) the “Book on Bringing what is in the Potentiality of the Astrolabe into Actuality” (Arabic: *Kitāb Ikhrāj mā fī Quwwat al-Uṣṭurlāb ilā al-Fi‘l*; hereafter *Ikhrāj*). The two treatises are user manuals for the astrolabe. The *Ikhrāj* is an elementary user manual for the standard astrolabe of a type which other medieval Islamic astronomers have also written. The *Taṭrīq* is a more advanced user manual, containing background information, and including standard and non-standard astrolabes as well. Texts like the *Taṭrīq* are extremely rare in the medieval Islamic tradition.¹

This thesis is divided into four parts. The first part begins with brief introductions on the history of ancient and medieval Islamic mathematical astronomy, fundamental concepts of geocentric astronomy, and the principle of the standard astrolabe. These introductions can be skipped by readers who are already familiar with the subjects. The following chapters are a sketch of Bīrūnī’s biography with a list of his extant works on the astrolabe, and introductions of several types of non-standard astrolabes which occur in the *Taṭrīq*.

I then give an overview and brief analysis of the *Taṭrīq* with special attention to the peculiar style of Bīrūnī and to the reconstruction of the “crescent-shaped” astrolabe, a non-standard astrolabe that has not been discussed before in the modern literature. This is followed by a brief analysis of the *Ikhrāj* and a tabular comparison between *Taṭrīq* and *Ikhrāj*. I also discuss Bīrūnī’s authorship and the dates of these two texts. The *Taṭrīq* is a late work, written in all likelihood after 1036 A.D. when Bīrūnī was in Afghanistan. The *Ikhrāj* is an earlier work, probably written before 1018 A.D. when he was still in his homeland (south of the Aral Sea, in Uzbekistan), or in Northern Iran. I then describe the available manuscripts of these two treatises, and the relationship between the ten Arabic manuscripts of the *Ikhrāj* that were available to me. I also explain my methodology for reconstructing Bīrūnī’s original text. This methodology is especially relevant in the case of the *Taṭrīq*, which has come down to us in only one Arabic manuscript. The manuscript is badly written with many scribal errors. The introductory part of the thesis ends with a conclusion in which some projects for further research are suggested.

¹ Two treatises on the use of the crab-shaped astrolabe are listed by Charette, p. 74, note 85.

The second part of the thesis contains an English translation and commentary of Bīrūnī's more challenging astrolabe treatise *Taṭrīq*. In the commentary some of the technical aspects of the text have been analyzed and described in modern notation, and connections between the *Taṭrīq* and the other works by Bīrūnī have been indicated. Relationships to his predecessors have been mentioned only in cases where this is relevant for understanding Bīrūnī's text. In the commentary I have also supplied geometrical figures which are missing in the manuscript; I have drawn these figures on the basis of the text and using information from Bīrūnī's astrolabe works that have already been published before.

The third part of this thesis concerns the second treatise (*Ikhrāj*). Because this treatise is more standard, I have decided not to translate the whole text; a complete translation of the two texts would exceed the limits of my PhD project. I have translated the titles of all sections and a few sections completely.

In the Arabic part I have provided a critical edition of the full Arabic texts of the *Taṭrīq* and the *Ikhrāj*. For the *Taṭrīq* I have reconstructed Bīrūnī's original Arabic text from the unique manuscript and corrected the scribal errors: the manuscript readings which I have corrected are cited in footnotes. For the *Ikhrāj* I have used the two best Arabic manuscripts which are closest to Bīrūnī's lost original. In my complete edition I have not included the eight other Arabic manuscripts because they would not improve the quality of the text but only increase the footnotes with irrelevant and erroneous readings. In order that the reader may get an impression of the other manuscripts, I have edited the Arabic passages which I have translated into English on the basis of all ten available manuscripts.

The thesis ends with a bibliography in which all references have been cited by author's name and year of publication if there is more than one publication by the same author.

I conclude this introduction with some conventions. The names of medieval Islamic authors will be presented in their Iranian forms, thus: Bīrūnī, not al-Bīrūnī. The *Ikhrāj* is divided into 69 chapters, and the *Taṭrīq* in an introduction and 20 chapters, which are divided into up to seven sections. For easy reference, I have subdivided the chapters and sections in numbered paragraphs. I use a notation such as (14-2-4) for my paragraph 4 of section 2 of Chapter 14 of the *Taṭrīq*, and (66-3) for my paragraph 3 of Chapter 66 of the *Ikhrāj*. (0-4) is my paragraph 4 of the introduction to the *Taṭrīq*. In references to works of Bīrūnī I use abbreviated titles, such as: “*Shadows*, p. 43 (Arabic), p. 16 (English)”. The abbreviations are explained and the full titles with the used

editions and translations are listed under Bīrūnī in the bibliography. For sexagesimal numbers I will use the notation of Otto Neugebauer (1899-1990), thus: 23;56,7 means $23 + 56/60 + 7/3600$.

1-2: Outline of the History of Ancient and Medieval Islamic Mathematical Astronomy

Here we give a brief outline of ancient Greek and medieval Islamic astronomy; for more information we refer to introductory literature on the subject.¹ The history of ancient mathematical astronomy began around 750 B.C., when Babylonian scribes started to systematically record astronomical phenomena and store the records in archives. From 500 B.C. onwards, Babylonian astronomers developed numerical algorithms for astronomical predictions;² in the following centuries these calculations became very accurate, so that they were even able to predict lunar eclipses and their magnitudes. The Babylonian sources (clay tablets) that have come down to us contain mainly numbers and numerical procedures, but they also introduced the geometric concept of the ecliptic (apparent path of the sun around the earth against the background of the fixed stars) and its division into 360 degrees. Their sexagesimal system of astronomical computation was transmitted via Greece and the Islamic world to Western Europe, and it is still used for the computation of time (hours, minutes, seconds) and angles and arcs (degrees, minutes and seconds). Babylonian astronomy died out in the first century A.D.

In the classical Greek period (ca. 500–200 B.C.), Greek philosophers were reasoning about the geometry of the universe and of planetary motion, but the Babylonian numerical heritage was merged with the Greek geometrical models only around 150 B.C., by Hipparchus³ (see below). From then on, geometrical models were combined with numerical positions and predictions, and the 360-degree division was extended to all circles.⁴ Around 150 A.D., Ptolemy of Alexandria⁵ (ca. 100 – ca. 170 A.D.) wrote the *Almagest*, which is the most important work on Greek astronomy. In Gerald Toomer's translation the work is more than 600 pages.⁶ In the *Almagest*, Ptolemy developed a geometrical theory for the motions of the sun, moon and the five planets (Mercury, Venus, Mars, Jupiter and Saturn which are visible in naked-eye astronomy), and he also describes the positions of fixed stars and the phenomenon nowadays called "precession of the equinoxes". The Ptolemaic universe (which he explained in his work

¹ For example: John Steele, *A Brief Introduction to Astronomy in the Middle East*, London, Saqi, 2008; Olaf Pedersen, *A Survey of the Almagest*, Odense, Springer, 1974; for a reader-friendly introduction see: Otto Neugebauer, *The Exact Sciences in Antiquity*, Providence, Brown University Press, 1957 and reprints.

² For further information on these numerical algorithms, see: Neugebauer, 1957, pp. 97-138.

³ For biographical information on Hipparchus and his works, *DSB*, vol. 15, pp. 207-224.

⁴ For more information on the Babylonian and Greek astronomy, see: Neugebauer, 1969, pp. 101-103; 1975, vol. 1, pp. 2-5.

⁵ For biographical information on Ptolemy and his works, see: *DSB*, vol. 11, pp. 186-206.

⁶ See: Toomer, 1998.

Planetary Hypotheses) was spherical, consisting of a spherical earth in the center, surrounded by spherical shells for the motions of the moon, Mercury, Venus, the sun, Mars, Jupiter, Saturn and the fixed stars. The earth was assumed to be fixed in the center, and Ptolemy assumed that the outer sphere rotated around the earth once every 24 hours. Although Ptolemy's astronomy is wrong from a modern physical point of view, it was very effective. His methods were so powerful that it was possible to predict the positions of the sun, moon, the planets, and even lunar and solar eclipses with an accuracy sufficient for the naked-eye astronomy in his time.¹

The Babylonian and early Greek astronomical heritage was transmitted to India, and from there to pre-Islamic Iran; in both these areas lively astronomical traditions had developed in the early centuries A.D., and in India original contributions were made. After the advent of Islam, when the Abbasid caliphs had come to power, the astronomical traditions of Iran, then India and then ancient Greece were transmitted to the Islamic world and Arabic developed as a scientific language. In the 9th century A.D., the *Almagest* of Ptolemy was translated into Arabic several times.² Almost immediately the astronomers in medieval Islamic civilization started to make their own observations, and to correct errors in the Ptolemaic parameter values which had become apparent after the interval of seven centuries. Astronomy was widely and intensively studied in the medieval Islamic world; more than 200 different handbooks with numerical tables (called *Zijes*) for predictions of astronomical phenomena were compiled. In addition, many treatises on the theory and methodology of astronomy and also on astronomical instruments and applications of astronomy were written. Much of this heritage is still untouched in medieval Arabic manuscripts in libraries all over the world. As a result of the activities of the astronomers, the Ptolemaic system was refined, some mistakes were corrected, but the work did not lead to fundamental revolutions. In particular, heliocentric models and the Keplerian theory of elliptic motion were not developed in the medieval Islamic scientific tradition. There was perhaps no need for these new developments, for as mentioned above, Ptolemaic astronomy was on the whole satisfactory for applications in naked eye astronomy.

From the late 10th century A.D. onwards, medieval Islamic astronomy started to trickle down to Christian Europe; the astrolabe was one of the first artefacts to be studied in Western Europe. In the 12th century A.D., many astronomical texts, including the *Almagest*, were translated from Arabic into Latin. An important role for the transmission was played by the court of Alphonso the Wise (13th century A.D.), where Muslim, Jewish and Christian astronomers cooperated. All these activities led to the development of astronomy as a scientific discipline in Western Europe. The Arabic article "Al" in the title of the *Almagest*

¹ See Pedersen, pp. 11-14; de Solla Price, p. 197-218.

² Toomer, 1998, p. 2.

and modern star names of Arabic origin (such as Vega, Deneb, Altair, Rigel, Betelgeuze etc.) still remind us of the formative role of the Islamic astronomical tradition.¹

1-3: Fundamental Concepts of Geocentric Astronomy

In order to prepare the reader for my introduction to the astrolabe and for reading the texts by Bīrūnī, I now introduce some basic concepts of Greek and medieval Islamic astronomy, including Ptolemy's model of the motion of the sun in Book III of the *Almagest*. The precise numerical and mathematical details are not important for the purposes of this thesis, but they will be shown here to give the reader a feeling for the subject. The concepts will be introduced here mainly from a geocentric and Ptolemaic point of view. I will not discuss the refinements of these concepts in the later Islamic tradition after Bīrūnī's time.²

The celestial sphere is from a modern point of view a mathematical sphere with the earth as center and a very large radius. All celestial bodies are projected on the sphere (from the earth) and their motions are studied in first instance on the surface of this sphere. The center of the sphere is the earth, but the precise radius of the sphere does not matter as long as the size of the earth with respect to the sphere can be ignored. Thus one can also think of the celestial sphere as a spherical sky (think of the night sky with the stars) with the observer in the center. The observer is at the surface of the earth, not at the center of the earth, but the difference does not matter because the sphere is so big. To describe the various astronomical phenomena different coordinate systems will be introduced below.

Ptolemy and the medieval Islamic astronomers used the celestial sphere all the time but usually they do not say what they meant by it: whether it is a mathematical sphere which exists in the imagination only, or a sphere in the real world, or whether it shares properties of both. Bīrūnī explained it in his *Introduction to Astrology* as the outer sphere of the universe, but also as a sphere concentric with the outer sphere for each planet.³ We will come back below to Bīrūnī's opinions on the reality of the celestial sphere.

Modern science has shown that the earth rotates around its axis once every day. The observer does not see or feel this rotation, but he notices the effect because if he is in the northern hemisphere of the earth, he sees the stars in the night sky rotate around a point in the sky called the "North Celestial Pole" (close but not identical to the Pole Star). In Ptolemaic and medieval Islamic astronomy, the North Celestial Pole was a fundamental point on the celestial sphere, and also the South Celestial Pole diametrically opposite it, and the celestial equator. See figure 1. The celestial equator is in the same plane as the equator on earth, and the plane is perpendicular to the axis through the North and South Celestial Poles.

¹ For more information see: Neugebauer, 1975, vol. 1, pp. 7-13.

² For example, in the *Tadhikra* of Naṣīr al-Dīn Ṭūsī (see Ṭūsī in the bibliography) or in the work of Ibn al-Shāṭir, see the edition with French translation by Erwan Penchèvre.

³ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, pp. 56-57 (Persian), p. 43 (Arabic-English). Bīrūnī intends it as a very large sphere in which the planet, moon or sun moves; of course the sphere is not the body of the moon or sun itself.

Based on the old geocentric point of view one can say that the celestial sphere rotates around the earth once every day around the axis through the celestial poles. This phenomenon is called in Islamic astronomy the “daily motion of the universe” and also the “first motion”; it is the mathematical equivalent of the modern rotation of the earth. The daily motion of the universe is a complete rotation (360°) per day, so 1° in every 4 minutes of modern clock time. Ptolemy and the Islamic astronomers considered the first motion as a motion from East to West, because celestial bodies rise in the East and set in the West as a result of it.

We now turn to the motion of the sun in the rotating sphere, which is called the “second motion” in the Ptolemaic system (this is the equivalent of the revolution of the earth around the sun in modern astronomy). In the course of the year, the sun changes its position on the celestial sphere. In spring and summer the sun is between the equator and the North Celestial Pole, and in the fall and winter between the equator and the South Celestial Pole. The Greek and Islamic astronomers assumed that the sun moves in a plane which intersects the celestial sphere in a great circle,¹ which is called the “ecliptic”, see figure 1. The plane of the ecliptic is the equivalent of the plane in which the earth orbits the sun in modern astronomy. The ecliptic is divided in twelve equal sections or “signs” of 30° each. In modern times the names of the signs are mainly used in astrology, but in Greek and Islamic astronomy they were also used for purely astronomical purposes, to record the positions of celestial bodies. The zero point on the ecliptic is the point on the ecliptic where the sun passes the celestial equator at the beginning of spring (around March 20-21 in the modern Gregorian calendar), and the beginning of the modern Persian new year. This is known as the vernal equinox or the first point of Aries.

The first sign, Aries, is the interval on the ecliptic from the vernal equinox to the point 30° away from it, in the direction of the motion of the sun on the ecliptic. The sun moves in the ecliptic approximately 1° per day, so it takes approximately one month to move through the sign of Aries, and then it passes to the next sign Taurus (around April 21). The Latin names of the twelve successive signs with their symbols are Aries (♈), Taurus (♉), Gemini (♊), Cancer (♋), Leo (♌), Virgo (♍), Libra (♎), Scorpio (♏), Sagittarius (♐), Capricornus (♑), Aquarius (♒), and Pisces (♓). The celestial equator intersects the ecliptic at the two equinoxes, which are the positions of the sun at the beginning of Aries (vernal equinox) and at the beginning of Libra (autumnal equinox) around September 23. The summer begins when the sun is at the beginning of Cancer (summer solstice, around June 21) and winter begins when the sun is at the beginning of Capricorn (winter solstice, around December 21). At the summer and winter solstices, the ecliptic touches the tropics of Cancer and Capricorn which are two circles parallel to the celestial equator, north and south of it (see figure 1). Note that the equator and the tropics of Cancer and Capricorn are also defined on the earth (however,

¹ A great circle is a circle through the center of the sphere.

the earth is a very tiny dot in the center of figure 1). The motion of the sun in the ecliptic has a direction opposite to the daily motion of the universe (that is the rotation of the celestial sphere itself).

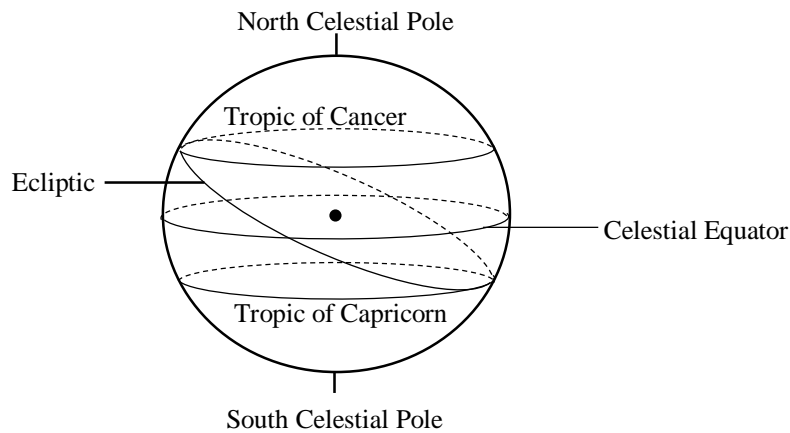


Figure 1. Essential circles of the celestial sphere

The ecliptic is also important because it turns out that the moon and the planets are always close to it. Their positions and motions were studied in the ecliptic coordinate system. The planet was projected perpendicularly along the sphere onto the ecliptic, and the distance arc (or distance angle) to the ecliptic was called “ecliptic latitude” and expressed in degrees. The latitude could be northern or southern. The latitude of the moon is never more than 5° , and for the planets usually not more than 7° . The distance between the perpendicular projection onto the ecliptic and the vernal equinox (\mathcal{V}) was called “ecliptic longitude (λ)”, also expressed in degrees: it was a number between 0° and 360° . For the sun, we have $0^\circ < \lambda < 90^\circ$ in spring, $90^\circ < \lambda < 180^\circ$ in summer, $180^\circ < \lambda < 270^\circ$ in autumn and $270^\circ < \lambda < 360^\circ$ in winter. The position on the ecliptic could also be given in signs and degrees (for example 5 Gemini) in which case the ecliptic longitude was $5^\circ + 30^\circ + 30^\circ = 65^\circ$ (two times 30° for Aries and Taurus). The ecliptic coordinate system is still used in modern astronomy, and it is fundamental in astrology. In figure 2 G and H are the North and South poles of the ecliptic, $C\mathcal{V}DFC$ is the ecliptic, $A\mathcal{V}BA$ is the celestial equator, O is the earth, P is a given celestial object, \mathcal{V} is the beginning of Aries, arc $\mathcal{V}D$ =angle $\mathcal{V}OD$ and arc DP =angle DOP are the ecliptic longitude and latitude of P .

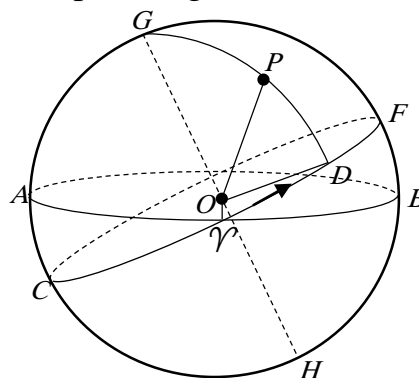


Figure 2. Ecliptic coordinate system on the celestial sphere

Another important coordinate system on the celestial sphere is the equatorial system, which is still used today. In this system each point on the celestial sphere is defined by two coordinates called “declination” and “right ascension”. The point was projected perpendicularly on the celestial equator, and the distance arc on the sphere to the celestial equator (a number between 0° and 90°) was called the “declination”. In modern astronomy the declination can be positive or negative, but the Greek and Islamic astronomers did not work with negative numbers. Their declinations were always positive but “northern” if the point is between the celestial equator and the north celestial pole, and “southern” if the point is between the celestial equator and the south celestial pole. The other coordinate was called “right ascension” and defined as the distance arc between the perpendicular projection of the point and the vernal equinox. The right ascension, which ranges from 0° to 360° , increases in the same direction as the ecliptic longitude. The degrees of right ascension were called time-degrees (Arabic: *azmān*) for reasons which will be mentioned below. One of the problems of ancient and medieval astronomy was the transformation of one type of coordinates into the other. This could be done by laborious spherical trigonometrical computations: but also less precisely without computation by the astrolabe.

In figure 3 N and S are the North and South celestial poles of the celestial equator, ABC $\mathcal{V}A$ is the celestial equator, O is the earth, P is a given celestial object, D $\mathcal{V}FD$ is the ecliptic, and \mathcal{V} is the beginning of Aries, arc $\mathcal{V}A$ =angle $\mathcal{V}OA$ and arc AP =angle AOP are the right ascension and declination of P .

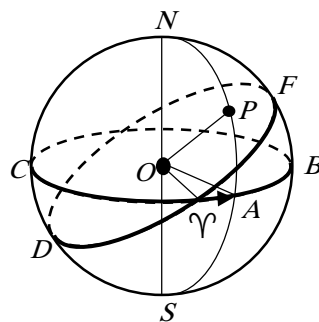


Figure 3. Equatorial coordinate system on the celestial sphere

There were also two important coordinate systems on the celestial sphere with respect to the observer. The most important reference planes for the horizontal coordinate system are the two perpendicular planes of the horizon and of the meridian. The two planes intersect in the North and South point of the horizon, and the meridian plane passes through the zenith, that is the point on the sphere 90° away from the horizon, right above the head of the observer. In the horizontal coordinate system, a point on the celestial sphere can be indicated by altitude and azimuth. As usual, the point is first projected perpendicularly along the sphere to the horizon. The “altitude” is the distance of an object above the

horizon to the horizon; it is an arc or angle between 0° and 90° . Objects below the horizon cannot be seen but have to be considered for mathematical or astrological reasons: then the distance is called “depression”. The zenith has an altitude of 90° , and for an observer on the northern hemisphere, the North Celestial Pole is above the horizon at an altitude equal to the geographical latitude. Because the North Celestial Pole is on the meridian, it can be shown that the celestial equator intersects the horizon in the East and West points.

In figure 4 *NESWN* is the observer’s horizon, *N*, *E*, *S* and *W* are North, East, South and West, *Z* is zenith, *EFWG* is the celestial equator, *Q* is the celestial North pole (so arc *NQ* is the geographical latitude of the observer), *P* is a given celestial object, and *O* is the observer, arc *AP*= angle *AOP* and arc *AE*= angle *AOE* are altitude and azimuth of *P* (based on the definition which Bīrūnī used in the *Taṭrīq*).

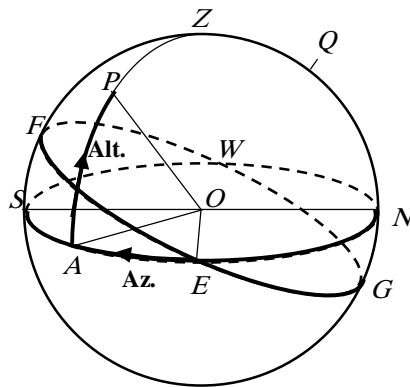


Figure 4. Azimuth-altitude coordinate system on the celestial sphere

In the equatorial coordinate system the first coordinate is the “declination”, the distance to the equator, which is the same as on the rotating sphere. The second coordinate is the distance to the meridian in western direction. This was measured as an arc in “time-degrees”. In modern astronomy, this coordinate is called “hour angle” and expressed in hours, where one hour is 15 time-degrees. The hour angle of the sun is the local true solar time measured from noon: thus if the hour angle is 4 hours, the local true solar time is 4 hours after noon. For any celestial object (for example, a star, planet or sun), the distance to the meridian changes rapidly because of the daily rotation of the universe. The distance to the meridian is closely related to the right ascension, and this is one of the reasons why the right ascension is also expressed in “time-degrees.”¹

We now return to the question to what extent the celestial sphere(s) existed in reality for the medieval Islamic astronomers. Bīrūnī implies in his *Masudic Canon* (I:2) that the “rotating sphere” and some elements of it exist “by nature”.²

¹ The right ascension of a star is equal to hour angle of the vernal equinox (converted to time-degrees) minus the hour angle of the star (converted to time-degrees); if the difference is negative, add 360. For further information, see: Smart, pp. 25-44; van Brummelen, pp. 1-8.

² Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 1, pp. 54-55.

He does not specify what these elements are but they probably included the celestial poles and the equator, and also the ecliptic. He says that other circles exist in “by imagination” only, including the circles which were only introduced to define coordinates. He probably thought that the zenith, horizon and meridian were also mathematical ideas without physical reality.

We now turn to the Ptolemy’s theory of the motion of the sun in Book III of his *Almagest*. We will use a notation such as 25;7,43 for the sexagesimal fraction $25 + \frac{7}{60} + \frac{43}{60^2}$. Ptolemy first determined the length of the year (period between two passings of the sun through the vernal equinox) as 365;14,48 days. Therefore the average motion of the sun per day is $0^{\circ};59,8,17$.¹

The Babylonians and Ptolemy’s Greek predecessors knew already that the motion of the sun in the ecliptic was a bit slower in summer and a bit faster in winter. To explain the variation, Ptolemy assumed that the center C of the perfect circle does not coincide with the center of the earth E (Figure 5). Extend EC to meet the solar orbit at point A , then A is called the “apogee”, that is the point where the sun is farthest from the earth. Ptolemy now wanted to find out where exactly C is located so that the observed variation in the speed agrees with his model. In *Almagest* (III:4), he supposed that the radius of the circle ($CA=CS$) is 60, and he showed $CE = 2;30$, and that line ECA extended intersects the ecliptic in 5 Gemini (ecliptic longitude 65). Later in the *Almagest* (V:15), Ptolemy also determined the distance of the sun as approximately 1200 earth radii,² so point C is approximately 50 earth-radii away from the earth. Medieval Islamic astronomers found that if $CA=60$, CE is approximately 2 (that is, EC is ca. 40 earth-radii),³ and that line ECA had moved in the direction of Cancer in the centuries that had passed since Ptolemy.

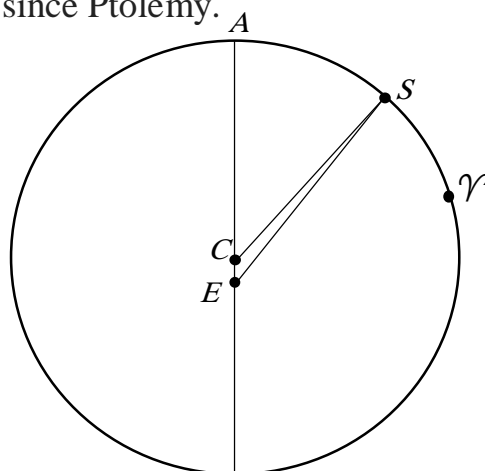


Figure 5. Eccentric model of the sun’s motion

¹ Actually Ptolemy gives the daily motion as $0^{\circ};59,8,17,13,12,31$ as the result of dividing 360° by the length of the tropical year (the time that the sun takes to return to the same position in the ecliptic as seen from the earth) 365;14,48. The last three sexagesimals of the daily motion are not significant. Compare Pedersen, p. 133

² This is roughly $\frac{1}{20}$ th of the modern value. See: Pedersen, pp. 209-213

³ Bīrūnī (*Masudic Canon*, vol. 2, pp. 653-658) listed different values of the eccentricity measured by himself and his predecessors in the Islamic tradition such as the Banū Mūsā (9th century A.D.) and al-Battānī (ca. 900 A.D.).

All that is necessary to compute the position of the sun is to know one moment when it is in the apogee A , then its position at all other times can be computed. Because S moves on the circle with constant speed, angle ACS is a linear function of time. In triangle SCE we can suppose $CS=60$, then $CE=2\frac{1}{2}$ and angle $SCE=180-\text{angle } ACS$ are known, so angle $SEA=(\text{angle } SCA\pm\text{angle } ESC)$ can be computed by trigonometry. In the *Almagest*, Ptolemy arranged everything in a convenient way in tables, so that the position of the sun at any moment of time could be computed by a few additions and multiplications. He (or his assistants) compiled a table for “mean motion”,¹ which is the direction of S seen from C . He added a table for the “solar equation” (angle ESC) which has to be added or subtracted to the mean,² to find the actual position of the sun in the sky. Here and elsewhere (also in the astrolabe treatises below), the term “equation” really means “correction” and should not be confused with modern mathematical equations. All medieval Islamic astronomical handbooks contain tables for the mean motion and equation of the sun, usually computed on the basis of parameter values slightly better than $0^{\circ};59,8,17$ and $2;30$. Thus Bīrūnī could assume in his astrolabe treatises that the reader can determine the position of the sun in the ecliptic at any given date and time.

Here is how the solar theory is based on observations. Greek and Islamic astronomers often made observations of the altitude of the sun at noon, when it reaches the highest position above the horizon. At this moment it passes the meridian and is exactly in the south. We assume that the observer is in the northern hemisphere, between the Tropic of Cancer and the Arctic Circle. We will present the argument in modern notation. The noon altitude of the sun reaches a maximum M at the beginning of the summer around June 21 and a minimum m in the beginning of winter around December 21. From these observed quantities, which are almost the same for a number of days, the astronomer obtained the obliquity of the ecliptic $\varepsilon=\frac{1}{2}(M-m)$ and also the geographic latitude φ of his locality using $90^{\circ}-\varphi=\frac{1}{2}(M+m)$. The solar noon altitude is exactly $90-\varphi$ at the beginning of spring (vernal equinox, around March 20) and autumn (autumnal equinox, around September 23).

Suppose that on any day the noon altitude of the sun is observed, and let it be $90^{\circ}-\varphi\pm\delta$. Then δ is the declination of the sun, which is northern in spring and summer, and southern in autumn and winter. δ always ranges between 0° and ε . Now λ can be computed from δ by methods equivalent to $\sin\delta=\sin\lambda\sin\varepsilon$.³ From this information one can find that λ increases nearly 1 degree per day and that the daily increase is somewhat less than average in summer and a bit more

¹ For the table of the sun’s mean motion, see: Toomer, 1998, pp. 142-143.

² For the concept and calculation of the solar equation, see: Toomer, 1998, p. 167.

³ See: Toomer, 1998, I:14-15, pp. 69-72; Instead of sines, Ptolemy used the chords, and he also computed a chord table (the equivalent of a sine table) in *Almagest* I:11 (Toomer, 1998, pp. 57-60).

than average in winter. It was now a geometrical problem to compute the intersection of ECA and the ecliptic and their ratio $EC:CA$ (the “eccentricity”) from the data. Following Hipparchus, Ptolemy made the computation from the length of the seasons, that is from observations and computations of the time when $\delta=0$ or $\delta=\varepsilon$; see *Almagest* (III: 4).¹ The exact moment when $\delta=0$ is usually not at noon, so to find the exact moment, Ptolemy needed noon altitude observations for two successive days and interpolation between them.

Starting from the theory of the sun, Ptolemy built his theory of the moon. He then used the computed lunar positions to determine the ecliptic coordinates of bright stars, which had also been determined by Hipparchus three centuries earlier.² Ptolemy found that the ecliptic latitudes of the stars had remained unchanged but that their ecliptic longitudes had increased by 1° per century.³ He concluded that the stars had a very small motion with respect to the vernal equinox, which he considered as a fundamental reference point in his geocentric system. The value was improved by medieval Islamic astronomers to 1° per ca. 70 years.⁴ According to modern astronomy the motion is actually due not to the stars but to the axis of the earth, and the phenomenon is called “precession of the equinoxes”.⁵

1-4: The Principle of the Astrolabe

The planispheric astrolabe is a portable astronomical instrument based on the projection of the celestial sphere onto a plane to create a map of the heavens. The astrolabe was used to avoid trigonometric computation. It also has a didactic purpose.

The astrolabe is based on the stereographic projection of the celestial sphere (reduced in size) onto a plane. One chooses a point P on the sphere, which is called the “pole of the projection”, and a plane of projection which is perpendicular to the diameter of the sphere through the pole of projection. For any point Q on the celestial sphere, not equal to P , one draws the straight line PQ and intersects it with the plane of projection at Q' . Then Q' is the stereographic projection of Q . The point P itself is not mapped onto the plane of projection; if Q approaches P , its projection Q' goes to infinity (Figure 6). Stereographic projection has nice mathematical properties: (1) all circles on the sphere are projected on circles or straight lines in the plane of projection, and (2)

¹ See: Toomer, 1998, pp. 153-157; Pedersen, pp. 145-149.

² In Ptolemaic astronomy, it was only possible to determine the position of the vernal equinox from the position of the sun. Moreover, it was not possible to determine the position of the fixed stars directly from the position of the sun. For this purpose the astronomers needed to know the position of the moon as an intermediary.

³ Toomer, 1998, p. 328; Pedersen, p. 239.

⁴ al-Battānī, p. 192.

⁵ al-Battānī, p. 192.

stereographic projection preserves angles.¹ Property (1) was well known in Greek antiquity and the Islamic middle ages.

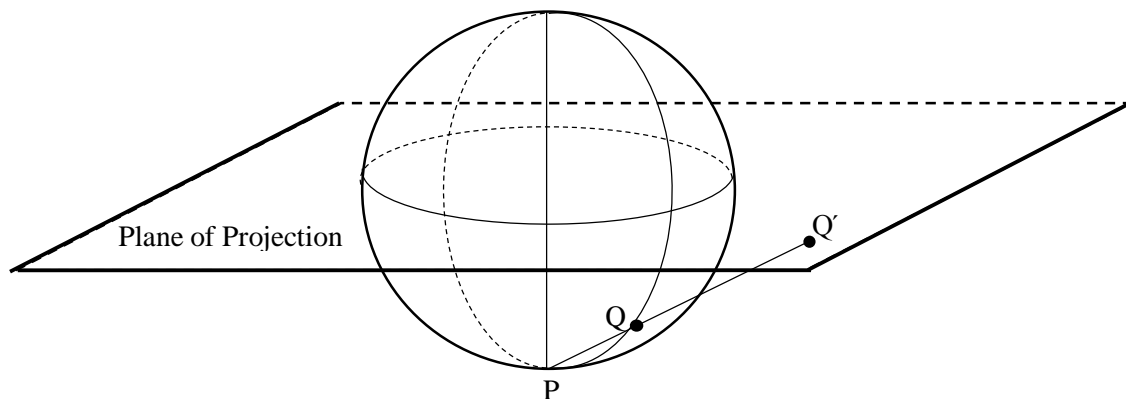


Figure 6. The northern stereographic projection of a given point on the celestial sphere

In the standard form of the astrolabe, the celestial sphere is projected stereographically on the plane of the celestial equator, and the pole of projection is the invisible celestial South pole. The projection is called “northern” because the projection of the North pole is visible. The celestial sphere with the horizon coordinate system is projected on a metal disk called the “plate”.² The celestial sphere with the ecliptic and ca. 20-30 bright stars is projected on a pierced metal disk of the same size, called the “spider” or the network. By rotating the spider over the plate around the center of the astrolabe, which is the projection of the North celestial pole, one can simulate the daily rotation of the celestial sphere. Below the plate and the spider will be described in more detail.

The astrolabe is usually made of brass and consists of four main parts.³ The first part is the body of the astrolabe. It is called “mater” (Figure 7) or mother, and holds the other parts. The circumference of the mater contains a rim with a scale divided into 360°. The top of the mater contains a triangular protrusion called “throne”, to which a handle and a ring are attached. In this way the instrument can be held in the hand and suspended vertically. The diameters of most extant astrolabes are between 15 and 25 cm.

¹ For proofs see, for example, Neugebauer, 1975, p. 858-860 and Morrison pp. 48-52.

² For the principle of the stereographic projection and its formulas see: d’Hollander, pp. 51-57 and Morrison, pp. 6-7.

³ For a brief history of the astrolabe and stereographic projection see: Neugebauer, 1949, p. 246.

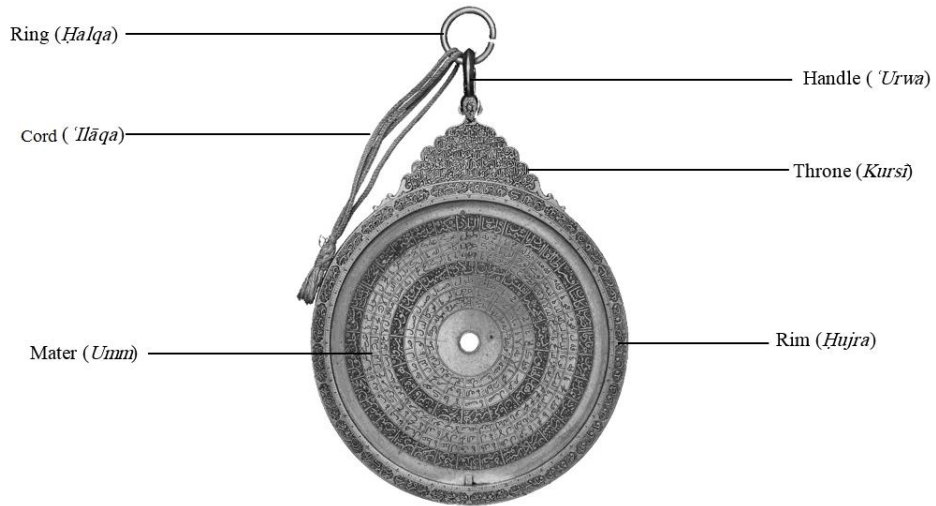


Figure 7. The mater of an Islamic planispheric astrolabe made of brass by Khalīl Muḥammad ibn Ḥasan ‘Alī, ca. 1710 A.D., Isfahan; Oxford Astrolabe Collection, no. 33739 [CCA 1017 or 1019]. The mater of this astrolabe carries some inscriptions to determine the direction of *qibla* in various cities

The second part of the astrolabe is a circular plate which contains the projections of circles on the celestial sphere. The projections include the celestial equator and the tropics of Cancer and Capricorn, as in figure 8; the Tropic of Capricorn usually fits just inside the circumference of the plate. A small hole is drilled in the center of the plate which corresponds to the North Celestial Pole.

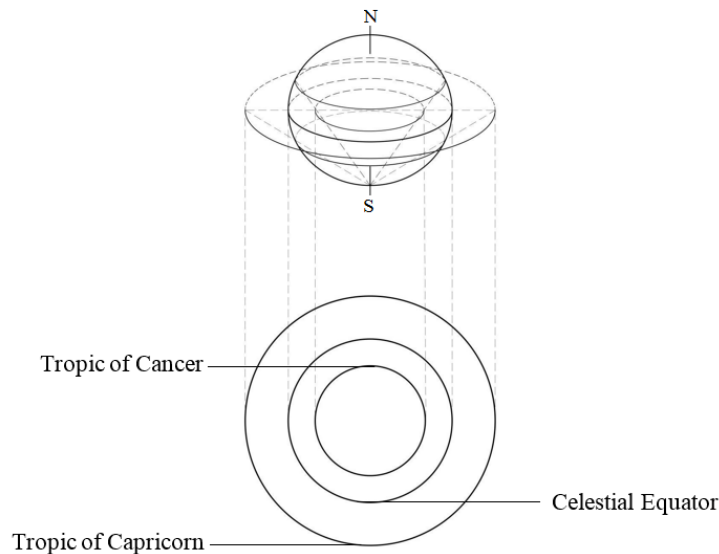


Figure 8. The northern stereographic projection of the tropics and celestial equator

The plate also contains a grid bounded by the projection of the horizon at the locality (see figure 9a). The curves in the grid are of two types. Curves of the first type are the projections of parallel circles of equal altitude called “almucantars” or bridges. The almucantars appear in figure 9a for 3-degree intervals, as a series of nearly concentric circles and arcs, beginning with the horizon and ending with the zenith. The curves of the second type are called

“azimuthal lines”. They are projections of quarter circles on the celestial sphere, which begin at the zenith and descend perpendicularly to the horizon. Each quarter circle contains all points on the celestial sphere in one compass direction (for example, all points in the north east). In figure 9a the azimuthal lines are drawn for 5-degree intervals. The azimuthal lines are arcs of circles, except for the meridian (the circle on the sphere through the North and South points of the horizon and the zenith), which appears as a straight line. The projections of the horizon, almucantars and azimuthal circles depend on the latitude of the locality so for different latitudes, different plates were necessary. The grid in figure 9a is drawn for 41° , the geographical latitude of Istanbul.

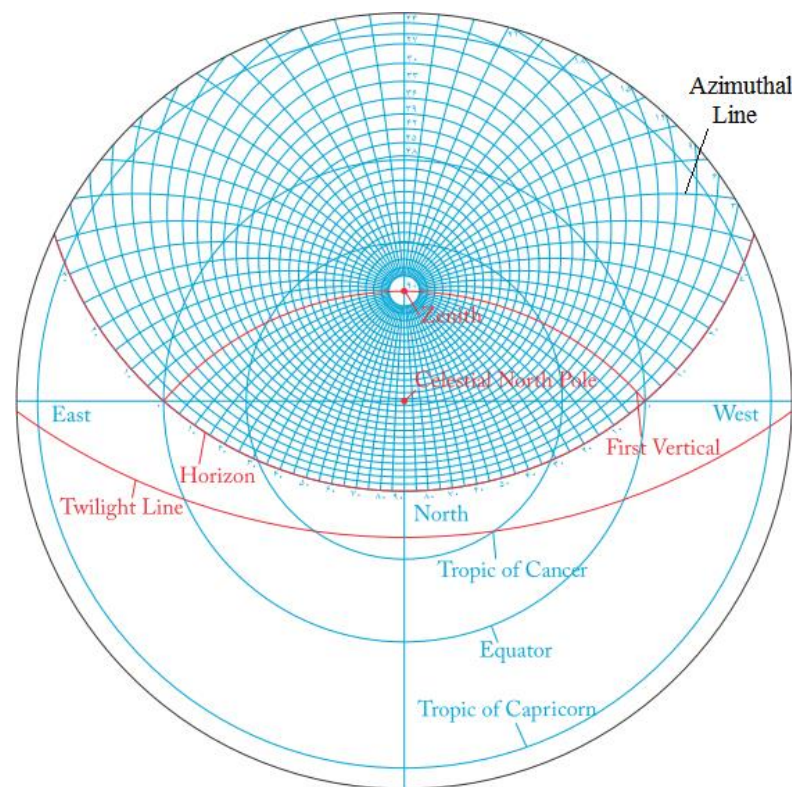


Figure 9a. Main lines on the plate of the standard astrolabe, diagram drawn by Wilfred de Graaf

Figure 9b shows the geometrical construction of the horizon and almucantars from the geographic latitude. Usually an astrolabe contained up to 6 plates which were engraved on both sides. The tropics of Cancer and Capricorn and the celestial equator appear as the same three concentric circles on all plates of the astrolabe. Each plate fits precisely in the rim of the mater.¹

We continue with some terminology and remarks which will be useful in what follows. The meridian is divided into two parts: the part above the center of the astrolabe is called “midheaven-line” and the part below the center “line of the pillar of the earth”. This terminology is connected to astrological applications.

¹ For more detailed explanations on the curves of the astrolabe, see: d’Hollander, pp. 62-122.

The celestial equator intersects the horizon at the East and West points, which are therefore on the astrolabe at the same distance from the center. The almucantars above the horizon are used to determine the altitude angle of a visible object and called the “almucantars of altitude” (*muqanṭarāt al-irtifāʿ*) as opposed to the “almucantars of depression” (*muqanṭarāt al-inḥiṭāt*) which are located below the horizon but usually were not engraved on the astrolabe. Figure 9a contains one almucantar of depression 18° , used to determine the beginning of dawn and the end of dusk. The “first vertical” is the azimuthal circle which passes through the East and West points of the horizon. The name “first vertical” is explained by the fact that the azimuth was usually counted from the East and West towards the North and South; thus the minimum value would be zero in modern terms, but the Islamic astronomers would say that the East and West point have “no azimuth”. The maximum value 90° of the azimuth was reached by all points on the meridian (except the zenith where the azimuth is undefined).

The East and West points of the horizon are connected by a straight line called the “East-West line,” which is not the projection of an important circle on the sphere. The North-East, South-East, South-West and North-West quadrants on the horizon could be easily identified on the plate by means of the intersection of the horizon with the East-West line and the meridian (Figure 9a). Note that the southernmost part of the horizon is south of the Tropic of Capricorn and therefore does not appear on the plate.

If the spider makes one complete rotation around the center, each point on the ecliptic and each star describes a circle. These circles were called “orbits”. They were the projections of the orbits of the star on the celestial sphere. Three important orbits are the celestial equator and the tropics of Cancer and Capricorn. Bīrūnī calls them “orbit of Aries”, “orbit of Cancer” and “orbit of Capricorn” respectively. It would be more correct to say “orbit of the beginning point of Aries” etc.

Figure 9b illustrates the northern stereographic projection of the horizon AB and of an arbitrary almucantar CD with the altitude AOD . The upper part of the figure is the intersection of the celestial sphere with the meridian plane; then AB is the intersection of the horizon and CD the intersection of the almucantar. N and S denote the celestial North and South poles, and angle AON is the geographical latitude. The upper part of the figure shows (broken lines) the stereographic construction of the intersections of the horizon and the almucantar with the meridian. They are transferred to the lower part of the figure as A' , B' , C' , and D' , from the stereographic projections of A , B , C , and D . A little geometrical consideration shows that $A'B'$, $C'D'$ are the diameters of the

projections of the horizon and the almucantar and therefore it is easy to draw the projections themselves.¹

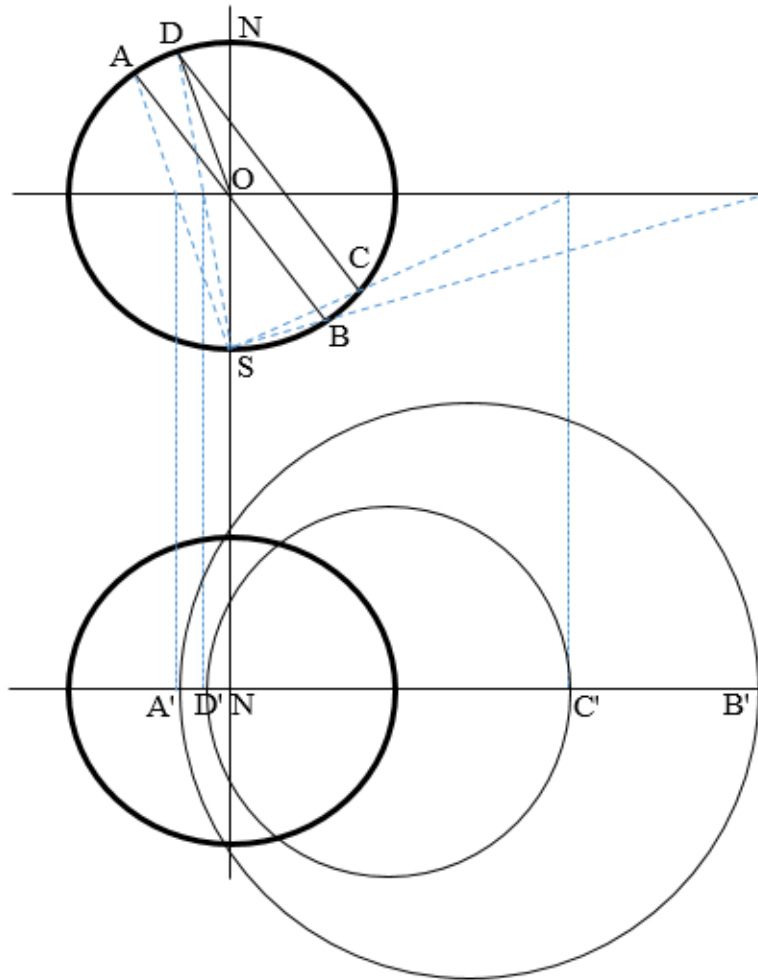


Figure 9b. The process of northern stereographic projection of the horizon and a given almucantar

Furthermore, the so-called “seasonal hour-lines” were usually engraved on the plate of the astrolabe below the horizon. A seasonal hour is one-twelfth of the night or daytime, and the lines for the night hours were obtained by dividing the parts of the equator and tropics below the horizon into 12 equal parts and joining the division points by smooth curves, usually circular arcs (Figure 9c).

¹ All information on the construction of circles on the plate can be found in Morrison, pp. 67-79. Bīrūnī also described the constructions in detail in his *Astrolabe Construction* (pp. 18-27, 54-57).

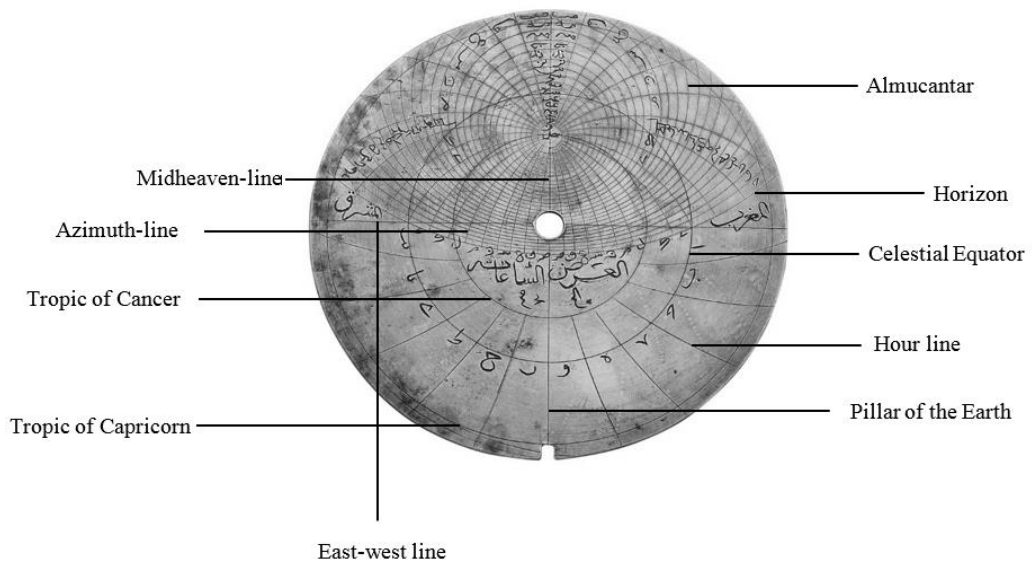


Figure 9c. The main lines on the plate of a standard astrolabe, made in the 18th century A.D., Iran; Adler Planetarium Collections, no. A-146 (<http://www.adlerplanetarium.org/collections/>) [CCA 2564]

The third part, called “rete” or “spider” (Ar. *‘ankabūt*), is a pierced round plate which contains the projections of the ecliptic and of the positions of some bright stars. The names of the stars are indicated on star-pointers which end exactly at the projection of the star (Figure 10a). The astrolabe-makers usually tried to cut out as much metal as possible so that large parts of the plate are visible while the spider is on top of it. The zodiacal signs follow each other on the spider in counter-clockwise order, but the projections of the signs are not equal: Gemini and Cancer are the smallest while Sagittarius and Capricornus appear largest. The projection of the ecliptic is always on the outer circumference on the zodiacal circle on the spider. A small metal tip is attached to the spider at 0 Capricornus (winter solstice). This tip is called the “absolute pointer” and is used to indicate degrees on the 360-degree scale of the mater.

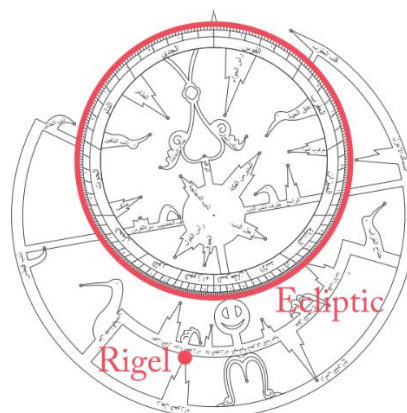


Figure 10a. The spider of the standard astrolabe (derived from an Islamic astrolabe made by Khujandī (d. ca. 1000 A.D.) but corrected for precession), diagram drawn by Wilfred de Graaf

The spider and plate are attached by a little axis to the mater at the center of the astrolabe (corresponding to the celestial North Pole). An astronomer who wanted to use the astrolabe would place the plate for the geographical latitude on the mater of the astrolabe and the spider, which is the same for all latitudes, on top of it. The position of the plate is fixed by a protrusion of the mater which fits into a notch of the plate, in such a way that the projection of the meridian is vertical if the astrolabe is suspended. But the spider can rotate freely around the pole. Any position of the spider on top of the fixed plate will simulate a certain celestial configuration: some stars will be above the horizon, others will be below it (Figure 10b). In the standard astrolabe, the stars in the spider are not as we see them in the sky but they appear in mirror image. It is as if we are looking at the celestial sphere with stars from the outside.

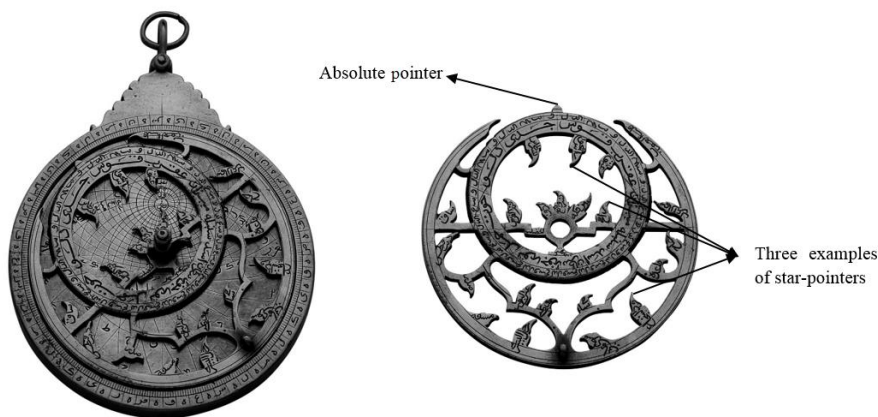


Figure 10b. Right side the spider, left side the spider put on top of a plane which is inserted in the mater. Astrolabe made in 1699-1700 A.D., Iran; Adler Planetarium Collections, no. A-37 (<http://www.adlerplanetarium.org/collections/>) [CCA 2541]

By turning the spider clockwise, part of the ecliptic and some stars will rise on the eastern horizon (on the left side of the astrolabe) and another part of the ecliptic and other stars will set on the western horizon (right side of the astrolabe). Thus one can simulate the apparent rising and setting of stars, the sun and zodiacal signs. The corresponding time interval will be indicated on the 360-degree scale on the rim as the “rotation of the universe” in time-degrees, where each degree corresponds to 4 modern clock minutes.

In most European astrolabes, the scale on the rim is not in degrees but in hours so the connection with time is even more immediate. The European astrolabe makers used the so-called equinoctial or equal hours, equal to $\frac{1}{24}$ th of a day, which are also used today. Equinoctial hours became popular after the development of mechanical clocks in the 14th century; in early medieval Europe and in the medieval Islamic tradition, seasonal hours were used in civil life.

Seasonal hours are not of uniform length and therefore could not be used on the scale on the rim.

The fourth essential part of the astrolabe is the alidade, which can be used for measuring the altitude of the sun or bright stars. The alidade is a ruler-shaped metal piece with a length almost equal to the diameter of the mater. In Islamic astrolabes, it is pivoted at the center of the astrolabe on the back of the instrument. The alidade has two vanes or targets (called “sights”), perpendicular to the ruler. The vanes are of the same size and have holes at the same spots (Figure 11). The back of the astrolabe is divided into four quadrants by a horizontal and vertical line through the center. The two upper quadrants contain 90-degree altitude scales.

To measure the altitude of the sun or a star, one suspends the astrolabe and rotates the alidade in such a way that rays of the sun pass through both holes, or so that a star could be sighted through both holes. Then the upper end of the alidade indicates the altitude above the horizon in degrees on the altitude scale.

The back of the astrolabe often contains two shadow quadrants (Figure 11, lower left and right), a sine quadrant (Figure 11, upper left), and a quadrant with prayer lines (Figure 11, upper right).¹

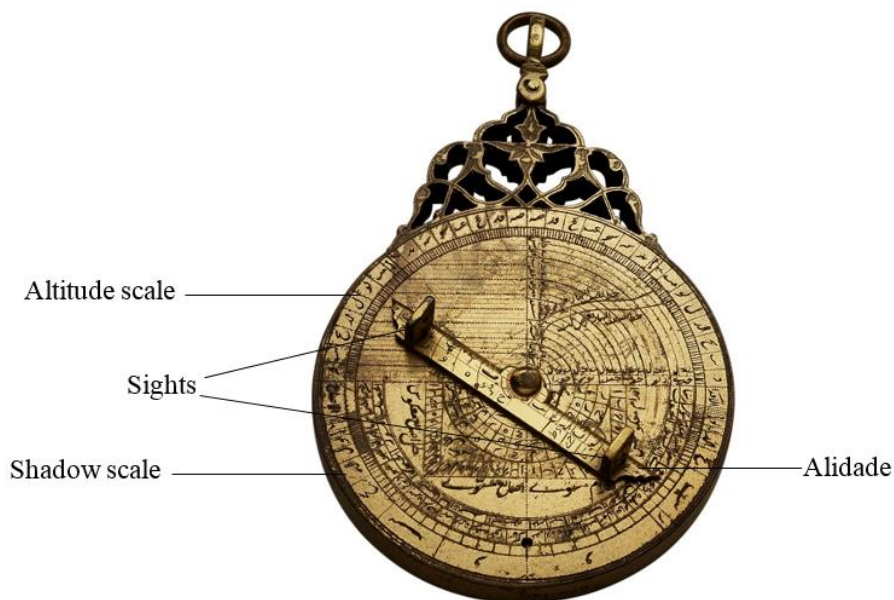


Figure 11. The back of a standard astrolabe, made in the 18th century A.D., Pakistan; Adler Planetarium Collections, no. DPW-52 (<http://www.adlerplanetarium.org/collections/>)

¹ In some cases the Islamic prayer lines are engraved below the horizon on the front side of the astrolabe, for an extant example see: Debeauvais and Befort, p. 106; For different parts of the astrolabe: Morrison, pp. 8-15

As an example of the application of the astrolabe, I will now show how to use it to tell the time. First find the position of the sun by means of an astronomical table and mark its position in the ecliptic on the spider – the ecliptic is on the outer circumference of the zodiacal circle in the spider. Then measure with the alidade the altitude of the sun and note whether it is east or west of the meridian, in other words, whether it is morning or afternoon. Now we can “set” the astrolabe, which means the following. Rotate the spider until the point in the ecliptic which is the position of the sun is placed on the almucantar for its measured altitude. Now the position of the spider on the plate shows the celestial configuration of the moment. Now many things can be read off, such as the azimuth of the sun, and the point of the ecliptic which rises on the eastern horizon. This rising point is also called the “ascendant” and it is of fundamental importance for astrology. Then one can rotate the spider while looking at the position of the (absolute) pointer on the rim (1 hour is 15°), and in this way predict how much time it will take until sunset, or how much time has passed since sunrise or the time before or after the culmination in the meridian. The unit of time is the “time-degree”, which corresponds to 4 minutes on a modern clock. Finding the time by numerical computation would be much more difficult, although it is certainly possible and the ancient Greek and medieval Islamic astronomers certainly knew how to do this.

One more remark on time-keeping is relevant for reading the texts by Bīrūnī. The position of the pointer of the spider on the 360-degree scale (winter solstice) is related to the modern concept of sidereal time, that is the hour angle of the vernal equinox. To find the sidereal time, subtract 90° from the number indicated by the pointer, and then divide by 15° to obtain the sidereal time in hours. Islamic astronomers never used a concept like sidereal time: to indicate a particular position of the spider they used the ascendant, that is the point of the ecliptic which rises in the East. Thus, if a modern astronomer would say: “set the astrolabe for sidereal time 6 hours”, a medieval Islamic astronomer would say “set the astrolabe for ascendant 0° Libra” or rather “the beginning of Libra”. It is often stated by modern historians that the ascendant was only used in medieval Islamic astronomy for astrological applications. However, this is not true: the ascendant was also used to encode what we now call sidereal time.

Thus far we have looked at astrolabes with northern stereographic projection. One can also take the Northern Celestial Pole as projection center, and thus obtain the “Southern” astrolabe. On the plate of the southern astrolabe, the celestial equator is the same as on the northern astrolabe but the tropics of Cancer and Capricorn are interchanged. The Tropic of Cancer now appears on the outside (Figure 8). The center of the astrolabe is now the celestial South Pole. The area around it corresponds to an invisible part of the sky. The almucantars of the southern projection appear as circles with very large radii, and the almucantar through the North celestial pole appears as a straight line. The spider of the

Southern astrolabe does not contain stars north of the Tropic of Cancer, so it is also different from the spider of the Northern astrolabe. Contrary to the Northern astrolabe, the spider of the Southern astrolabe shows the stars as we see them in the sky, not in mirror image.

Figure 12, left side, shows the almucantars on a Northern astrolabe with seasonal hour lines below the horizon, and Figure 12, right side, the almucantars on a Southern astrolabe (upper side) with (incorrectly drawn) hour lines below the horizon.

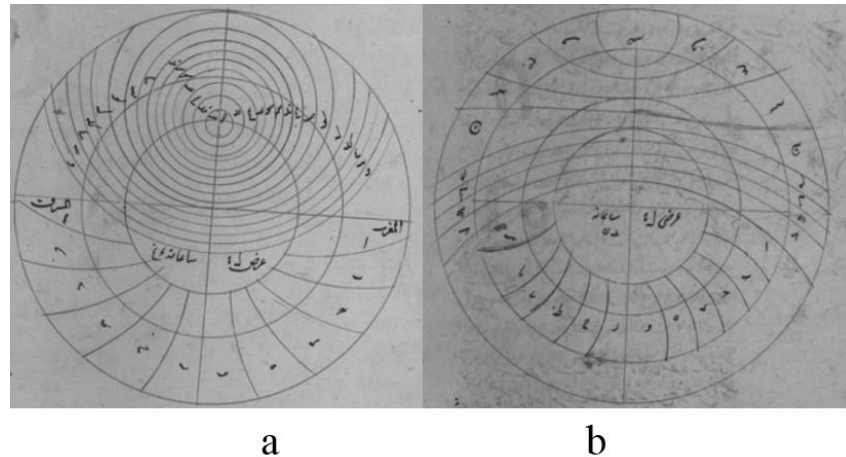


Figure 12. The almucantars and hour-lines on the plates of the Northern (a) and Southern (b) astrolabes from Bīrūnī , *Astrolabe Construction*, Tehran Majlis Library, ms. 1926, ff. 15, 29

The (Northern) astrolabe is a great instrument for workshops. The astrolabe can be easily explained by giving each member of the audience a simple model of an astrolabe and then by having them do exercises. The astrolabe is not only historically interesting, it can also illustrate simple concepts of modern astronomy (such as the ecliptic, the cause of the seasons, coordinate systems, etc.)

The basic references for the astrolabe are the recent works by Morrison and d'Hollander, and for Islamic astrolabes, D.A. King's *In Synchrony of the Heavens*, vol. 2. Prof. S.R. Sarma has recently published on the internet his 4500-page catalogue of astrolabes and other astronomical instruments that were made in the Indian subcontinent; many of these astrolabes belong to the Islamic tradition. The best online collections of photos of astrolabes are those of the Museum of History of Science in Oxford and the Adler Planetarium in Chicago. A useful animation of a (European, not Islamic) astrolabe can be found at www.astrolabeproject.com

1-5: A Concise History of the Astrolabe in Islamic Civilization

The stereographic projection was known to Hipparchus and Ptolemy, and the history of the astrolabe as an instrument goes back to late antiquity (fourth century A.D.).¹ In the *Planisphaerium*, Ptolemy does not mention the astrolabe itself but

¹ For more information on the early history of the astrolabe, see: Neugebauer, 1949, p. 240.

he nevertheless discusses techniques in stereographic projection that are of immediate use in the astrolabe. Bīrūnī (*Taṭrīq*, 0-0-3) considered the *Planispherium* as the only work on the construction of astrolabes by the Greeks that came down to the Islamic tradition.¹ According to Bīrūnī in the *Taṭrīq*, (0-0-2), the only ancient Greek user manual on the astrolabe was the work by Abyūn/Ibūn the Patriarch *On the Use of the Planispheric Astrolabe*. Abyūn/Ibūn is otherwise unknown but his book may well be the same as the elementary user manual attributed to Theon of Alexandria (4th century A.D.) which has come down to us in a seventh-century Syriac version by Severus Sebokht.²

One may well ask how many treatises on the construction or use of the astrolabe were written by predecessors of Bīrūnī. The available sources mention around 20 such treatises, but only ca. 10 of them are extant,³ and also some brief letters by Abū Naṣr ibn ‘Irāq (d. ca. 1036 A.D.) on the construction of the astrolabe. This relatively small number of astrolabe treatises is inconsistent with Bīrūnī’s statement in the *Ikhrāj* (no. 0-2) that most Islamic astronomers wrote about the astrolabe. Bīrūnī mentions the ninth-century works on the astrolabe by Khwārizmī, Farghānī, and ‘Alī ibn ‘Isā, and most importantly, the 10th century works by ‘Abd al-Raḥmān al-Ṣūfī (903-986 A.D.), whom he criticized severely in the *Taṭrīq* (0-1-2).

The most important innovation in the astrolabe in the Islamic tradition was clearly the introduction of the azimuthal lines (first mentioned by Khwārizmī in the 9th century A.D.)⁴, which made the instrument much more versatile. Before Khwārizmī, astrolabe plates contained almucantars but no azimuthal lines.

Other innovations were the special plate for the projection of the astrological rays. This plate is not mentioned in any pre-Islamic astrolabe text; the quadrant with lines for prayer-times on the back of the astrolabe (mentioned to al-Ṣūfī), and the prayer lines on the astrolabe plates (probably invented by Bīrūnī). Between 500 and 1000 astrolabes have come down to us (completely or in part) from the Islamic tradition before ca. 1800.⁵ No astrolabe made by Bīrūnī himself is known to exist, but we have an astrolabe made by Khujandī (d. ca. 1000 A.D.)⁶ whom Bīrūnī knew personally and whom he considered to be an outstanding astrolabe maker.⁷

¹ Maslama al-Majrīṭī (d. 398 A. H./1007-1008 A.D.) related this work to the astrolabe as well, see: Kunitzsch and Lorch, pp. 12-31.

² For the works attributed to Theon and Severus Sebokht see: Neugebauer, 1949, pp. 242-243.

³ Vafea, 2006, pp. 22-34, see also King, 2004-5, vol. 2, p. 456-457. Vafea, 2006, pp. 36-40 contains a tabular comparison of the contents of the ancient and medieval Islamic astrolabe treatises until the time of al-Ṣūfī.

⁴ King, 2004-5, vol. 2, p 367; Frank, 1922, pp. 1-32, esp. p. 15.

⁵ I have made this estimate by comparing d’Hollander p. 24, King, 2004-5, vol. 2, pp. 1005-1015, S.R. Sarma, *A Descriptive Catalogue of Indian Astronomical Instruments*, consulted March 2019 at www.srsarma.in.

⁶ This astrolabe was made in 374 A. H./ 984-985 A.D., and is preserved in the Museum of Islamic Art (inventory number: SI. 5), Doha, Qatar. For a description see: King, 2004-5, vol. 2 p. 503-517.

⁷ Bīrūnī, *Coordinates*, p. 107 (Arabic), p. 75 (English); King, 2004-5, vol. 2, pp. 455-456.

Some of the astrolabes that have come down to us are lavishly decorated, sometimes in very artistic ways. Such astrolabes must have been made not for astronomers but for rulers and wealthy people. Other astrolabes are simpler, but (with the exception of evident fakes) all astrolabes were precision instruments that required specialized knowledge of the craftsmen who made them. There never was a mass production of astrolabes in Islamic civilization.¹ The tradition seems to have died out in the 18th and 19th centuries. The many astrolabes that have come down to us are an impressive witness of the richness of the Islamic scientific tradition before 1800 A.D.

1-6: Non-Standard Astrolabes

The *Taṭrīq* is devoted in part to several types of non-standard astrolabes that had been designed in the medieval Islamic tradition. Some non-standard astrolabes were based on projections other than the stereographic projection, such as the melon-shaped astrolabe (which may have been designed by the philosopher Kindī, ca. 800-870 A.D), and Bīrūnī's astrolabe based on cylindrical projection. These are mentioned in the *Taṭrīq* but not discussed in much detail, probably because the use of these non-standard types of astrolabes was pretty much the same as the standard astrolabes.² In the *Taṭrīq*, Bīrūnī pays more attention to astrolabes which have to be used in a way different from the standard astrolabe. Below we will give a brief survey of the subject with some examples.

In the standard astrolabe, the celestial South Pole is used as the pole of projection, and the projection is called Northern, because the North Pole and surroundings are visible in the middle of the astrolabe. One can also use the celestial North Pole as pole of projection, and in this case the projection is called Southern, and the center of the astrolabe is invisible in the sky (for an observer on the Northern hemisphere), see *Taṭrīq* (1-3). In mixed astrolabes, the northern and southern stereographic projection are applied simultaneously. As an introduction, figure 13 shows how the ecliptic is projected according to the northern and southern projections onto the plane of the equator.

¹ Like much of Islamic science, astrolabe making must have been connected to the higher strata of society, compare: Brentjes, for example p. 33.

² For the ascendant this is indicated in the *Pearls* (Dallāl, pp. 116-117) where in the Arabic line 9, translation line 16, the word *mubaṭṭah* “planispheric” should be changed to *mubaṭṭakh* “melon-shaped”.

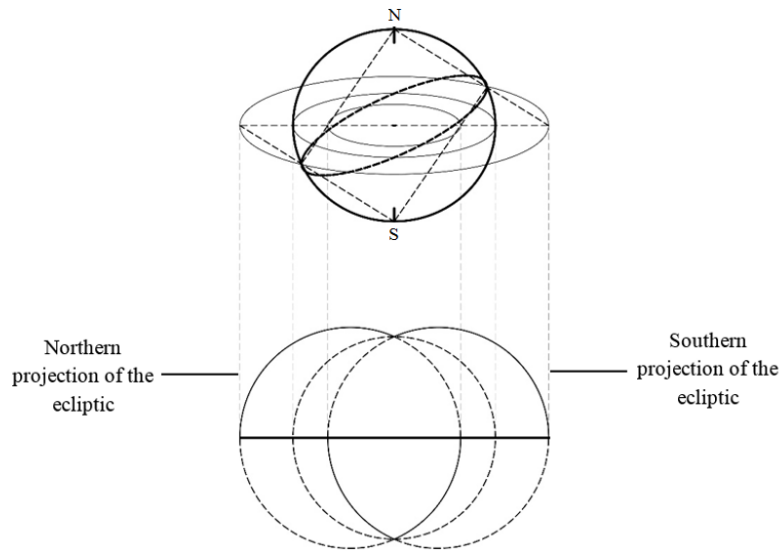


Figure 13. The stereographic projection applied for mixed astrolabes

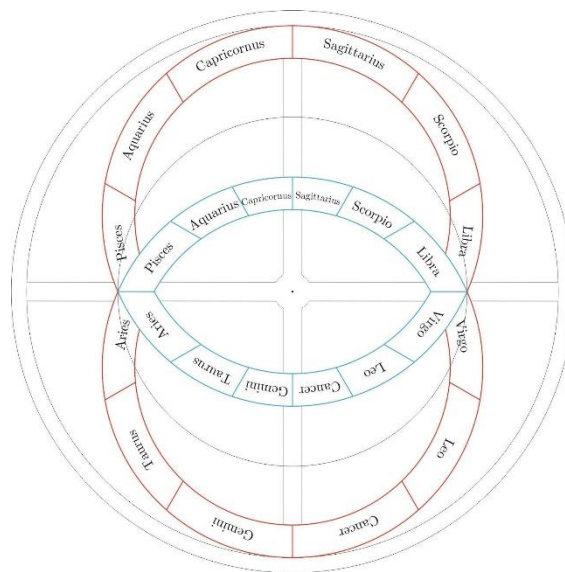


Figure 14. The northern and southern projections of the ecliptic, drawn by Wilfred de Graaf

Figure 14 shows the northern and southern projections of the ecliptic with the signs. In the southern projection, the signs from Libra to Pisces appear inside the projection of the equator, and the signs Aries to Virgo appear outside, and in the northern projection the situation is opposite. Below are some examples of non-standard astrolabes in the *Taṭrīq*.

1-6-1: The Myrtle-Shaped (*āsī*) and the Drum-Shaped (*muṭabbal*) Astrolabes

Bīrūnī introduces the myrtle-shaped and drum-shaped astrolabes as the earliest types of mixed astrolabes (*Taṭrīq*, 0-2-1). In the myrtle-shaped astrolabe, which

was also called “myrobalan-shaped (*ihlīlajī*)”,¹ half of the celestial sphere, including the northern zodiacal signs (Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo and Virgo) are projected on the spider by the northern projection, and the other half of the celestial sphere, including the southern zodiacal signs (Libra, Scorpio, Sagittarius, Capricornus, Aquarius and Pisces) by the southern projection. The two halves of the sphere are bounded by the circle through the celestial poles and the equinoxes. In figure 14, the combination of the two inner arcs forms the ecliptic in the myrtle-shaped astrolabe.

If we use the same overlapping circles of figure 14 and omit the two small arcs, the remaining part of the figure, consisting of the two large arcs, represents the spider of the drum-shaped astrolabe, which was also called “quince-shaped (*safarjalī*)” (Figure 14).² Table 1 represents the type of projection (N northern, S southern) for each zodiacal sign on the spider of the myrtle-shaped and drum-shaped astrolabes.³

	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓
The myrtle-shaped astrolabe	N	N	N	N	N	N	S	S	S	S	S	S
The drum-shaped astrolabe	S	S	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N

Table 1: The type of stereographic projection (northern [N] or southern [S])

To use the myrtle-shaped and drum-shaped astrolabes, one needs almucantars for northern and for southern projection. On the plate for this type of astrolabes, the northern almucantars were engraved at the normal place, but for the southern projection only the horizon, which is the standard horizon mirrored in the East-West line. Bīrūnī used the term “transverse horizon” (see *Taṭrīq* 0-8-8), which was probably his own invention, to distinguish it from the “common horizon” for the usual northern projection. For operations which involve the horizon only, the mixed astrolabes were as easy to use as the standard astrolabe: for signs of the ecliptic projected according to the southern projection, one could use the transverse horizon instead of the common horizon.

However, problems arise as soon as almucantars have to be used. The almucantars for the southern projection would normally be engraved above the transverse horizon, but in the mixed astrolabes this was obviously impossible because the northern almucantars would be covered in this way. For the myrtle-shaped and drum-shaped astrolabe, the astrolabe makers solved the problem by engraving the mirror images of the almucantars of altitudes for southern projection: they are the almucantars of depression for the northern projection. The result is beautiful, as shown by Figure 15, but operating the astrolabe became more difficult, for as soon as southern almucantars are necessary, one has to rotate

¹ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 119.

² Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 47.

³ The representation of the projection type of zodiacal signs on mixed astrolabes in these tables is taken from François Charette’s book (see Charette in bibliography).

the astrolabe over 180 degrees, and therefore the procedures become easily confused. The plates for mixed astrolabes never contained azimuthal lines.

In Bīrūnī's *Astrolabe Construction*,¹ the plate of the myrtle-shaped astrolabe has the same size as in the standard astrolabe, until the Tropic of Capricorn for the Northern projection. In the *Taṭrīq* (0-2-1), the size is reduced and the whole astrolabe is contained inside the celestial equator. To achieve this he has to modify the projection and project the northern half of the celestial sphere by the southern projection, and the southern half by the northern projection. The ecliptic turns out to be the same in this new projection. The new projection has a mysterious historic connection to the double projections that were used by al-Zarqālluh, also called Azarquiel (Toledo, ca. 1029 A.D. – Seville, 1087 A.D.) in his special astrolabe plates.² It is perhaps no coincidence that the only extant example of an astrolabe with a myrtle-shaped spider was made in the Western part of the Islamic world. The circumference of the myrtle-shaped spider is the celestial equator, just as Bīrūnī prescribes in the *Taṭrīq*. The astrolabe was made in Taza (now in Morocco) in 1327-1328 A.D. and it is now preserved in Oxford.³

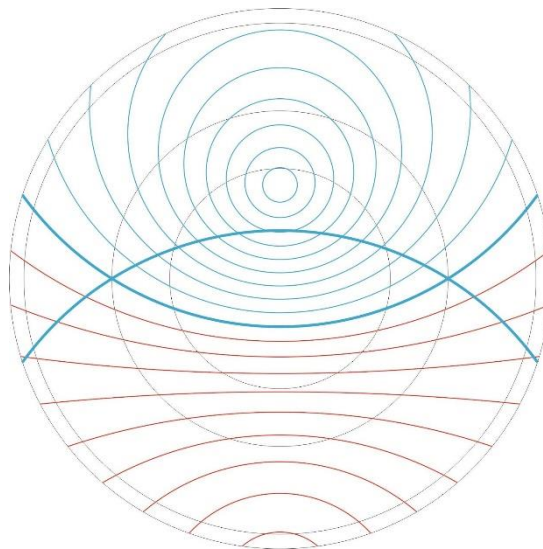


Figure 15. The almucantars of altitude and depression on a standard astrolabe, with the common and transverse horizon indicated as thick lines. Diagram drawn by Wilfred de Graaf

1-6-2: The Crab-Shaped (*musarṭan*) Astrolabe

A more complicated type of mixed astrolabe is the crab-shaped astrolabe. This is explained by Bīrūnī in his introduction to the *Taṭrīq* (0-3), and also by Aḥmad ibn Muḥammad ibn ‘Abd al-Jalīl Sijzī⁴ (ca. 945–1020 A.D.) in his unpublished

¹ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, pp. 118-120.

² See *Ibn al-Naqqāsh al-Zarqalluh, Al-Shakkāzīyya*, ed. and tr. Roser Puig, Barcelona 1986.

³ Museum of the History of Science, Oxford, astrolabe no. 50853. See Emilia Calvo, pp. 221-233, see esp. pp. 223-225.

⁴ For bibliographical information on Sijzī, see: Sezgin, *GAS*, vol. 5, pp. 329-334.

*Book on the Use of the Astrolabe (Kitāb fī ‘Amal al-Uṣṭurlāb).*¹ Sijzī considered the crab-shaped or “tree-shaped (*mushajjar*)” astrolabe as the most beautiful mixed astrolabe, and he conjectured² that it was invented by Naṣṭūlus, an astrolabe maker in Baghdad (fl. ca. 925. A.D.).³ No description of the crab-shaped astrolabe by Naṣṭūlus himself is known to exist.⁴ The crab-shaped astrolabe was confused with the boat-shaped (*zawraqī*) astrolabe by Najm al-Dīn al-Miṣrī (16th c. A.D.) in his *Treatise on Instruments (Kitāb fī al-Ālāt al-Falakīyya)*.⁵

In a crab-shaped astrolabe, the first and third quadrants of the ecliptic are mapped onto the spider by the northern projection, and the two other quadrants by the southern projection (see figure 10). Thus the zodiacal signs are represented on the spider of the crab-shaped astrolabe as indicated in figure 16, and one can see the resemblance with a crab.

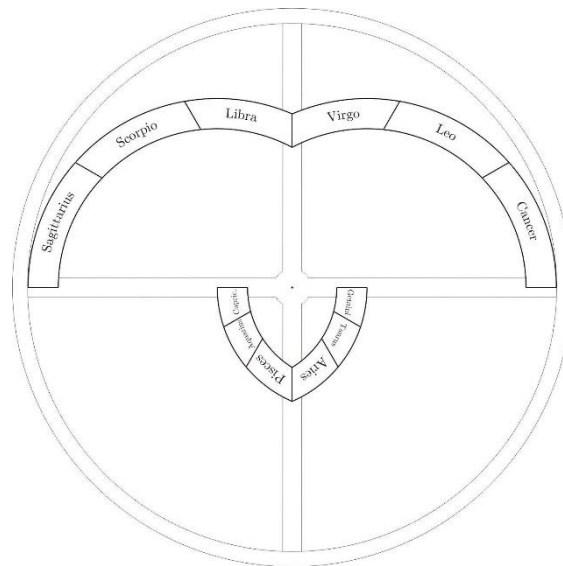


Figure 16. The ecliptic of the crab-shaped astrolabe, drawn by Wilfred de Graaf

The zodiacal signs are mapped by the two projections as in table 2.

	♏	♐	♑	♒	♓	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎
The crab-shaped astrolabe	N	N	N	S	S	S	N	N	N	S	S	S

Table 2: The type of stereographic projection (northern [N] or southern [S])

The astrolabe stars are mapped on the spider according to the quadrant of the sphere in which they are located and in the same way as the zodiacal signs in

¹ The unique manuscript of this work is preserved in the library of Ahmad III (Topkapi, Istanbul) as number 3342, see: Sezgin, *GAS*, vol. 5, p. 334. For the crab astrolabe see Sijzī, f. 150 b – f. 152 b.

² Sijzī, f. 149 a, f. 150 b.

³ For biographical information on Naṣṭūlus, see: King, 2008, p. 96. In the *Astrolabe Construction* (p. 122), Bīrūnī also attributed the invention of the crab astrolabe to Naṣṭūlus

⁴ Sezgin, *GAS*, vol. 6, pp. 178-179.

⁵ An edited text of this work with English translation and commentary was published by François Charette (see Charette in our bibliography). For information on Najm al-Dīn al-Miṣrī and his works see: Charette, pp. 24-28. For the confusion between the two types of astrolabes see Charette, p. 32 (Arabic), pp. 75-76, 253.

the same quadrant. The plate of the crab-shaped astrolabe is rather complicated, see our commentary to (0-3) below. No crab-shaped astrolabe is extant completely although one 13th-century plate of the type that could have belonged to a crab-shaped astrolabe has come down to us.¹

Several other types of mixed astrolabes were designed by Islamic astronomers (mainly Sijzī) in the late 10th and 11th centuries, and named after the shapes of their spiders. As Bīrūnī says, the spider of each type of mixed astrolabe may resemble an animal, a plant or any other object which comes to the mind of the astrolabe maker, and the astrolabe can be named accordingly.²

1-6-3: The Poppy-Shaped (*shaqā'iqī*) Astrolabe

Bīrūnī mentions another type of mixed astrolabe invented by Sijzī, in which two different projection scales are used (*Taṭrīq*, 0-3-5). In the *Taṭrīq*, Bīrūnī does not call this astrolabe by name, but if we compare with the descriptions in Bīrūnī's *Astrolabe Construction*,³ it must be the *shaqā'iqī* (poppy-shaped) astrolabe. The name was rendered incorrectly by Frank in his summary of the *Astrolabe Construction* as “anemone-shaped” (anemonenförmig).⁴ In the spider of this astrolabe the first and third quadrants of the sphere are projected by the northern projection, and the two other quadrants by the southern projection, just like the crab-shaped astrolabe (table 3). Then the scale of the first and the fourth quadrants is kept the same, while the second and third quadrant are reduced in size according to a different, smaller, scale, in such a way that the four quadrants fit together nicely (figure 17).⁵

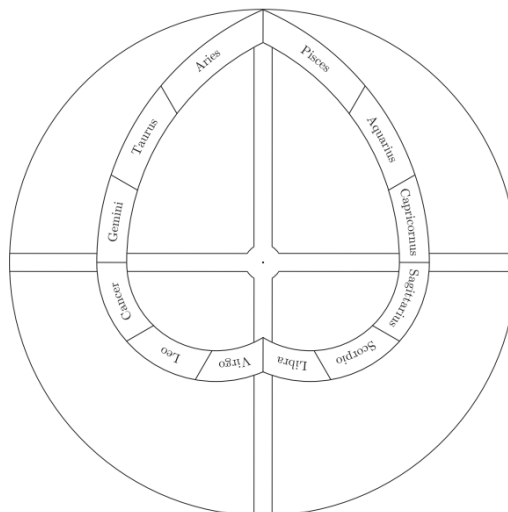


Figure 17. The ecliptic of the poppy-shaped astrolabe, drawn by Wilfred de Graaf

¹ King 2004-5, vol. 2, pp. 684-687.

² Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 128.

³ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, pp. 125-128.

⁴ Frank, 1920, p. 18.

⁵ See also Charette, pp. 71, 72, 75, 252-253.

	♈	♉	♊	♋	♌	♍	♎	♏	♐	♑	♒	♓
The poppy-shaped astrolabe	N	N	N	S	S	S	N	N	N	S	S	S

Table 3: The type of stereographic projection (northern [N] or southern [S])

We will not discuss the complicated plates for the poppy-shaped astrolabe.¹ Because two scales are also necessary for the almucantars, this astrolabe is even more complicated to use than the crab-shaped astrolabe. In the *Taṭrīq*, Bīrūnī does not explain how the poppy-shaped astrolabe can be used in the solution of concrete problems.

1-6-4: The Boat-Shaped (*zawraqī*) Astrolabe

In the *Taṭrīq* (0-6-1) Bīrūnī discusses the boat-shaped (*zawraqī*) astrolabe, which was invented by Sijzī or in his time. The instrument is based on only one type of stereographic projection, usually the northern type, and is therefore not considered as a mixed astrolabe. The boat-shaped astrolabe contains a movable horizon (in the form of a boat) with a mast (representing the meridian) whose tip serves as a pointer, and a fixed ecliptic mapped onto the plate of the astrolabe together with some bright astrolabe stars (Figure 10a). Each star is represented by a small circle on the plate of the boat-shaped astrolabe. To simulate the rotation of the universe in the course of time, the mast of the boat should be rotated counter-clockwise, in the direction of decreasing numbers on the scale of the rim. This is due to the fact that the order of the zodiacal signs on the fixed ecliptic of the boat-shaped astrolabe is the same as on the movable ecliptic of the standard northern astrolabe. In the standard astrolabe, we have to rotate the spider clockwise to simulate the rotation of the universe in the course of time.

In the *Astrolabe Construction*, Bīrūnī explains that this astrolabe can be related to the theory of a rotating earth. He adds that this kind of astrolabe is convenient for astrolabe makers who are unable (or unwilling) to make the elaborate spider of the standard astrolabe.² The only (variants of) boat-shaped astrolabes that have come down to us were made by the school of astrolabe makers in Lahore; one example, made in the 17th century A.D. is preserved in the museum of the History of Science in Oxford (number 33796).³ We note that the plate of the boat-shaped astrolabe also contains a horizon and a set of almucantars as in figure 18. Thus the astrolabe is not completely based on the theory of the rotating earth.

¹ See Bīrūnī's description in the *Astrolabe Construction*, p. 137.

² Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 130.

³ For more information on this example, see: Sarma, pp. 1102-1111.

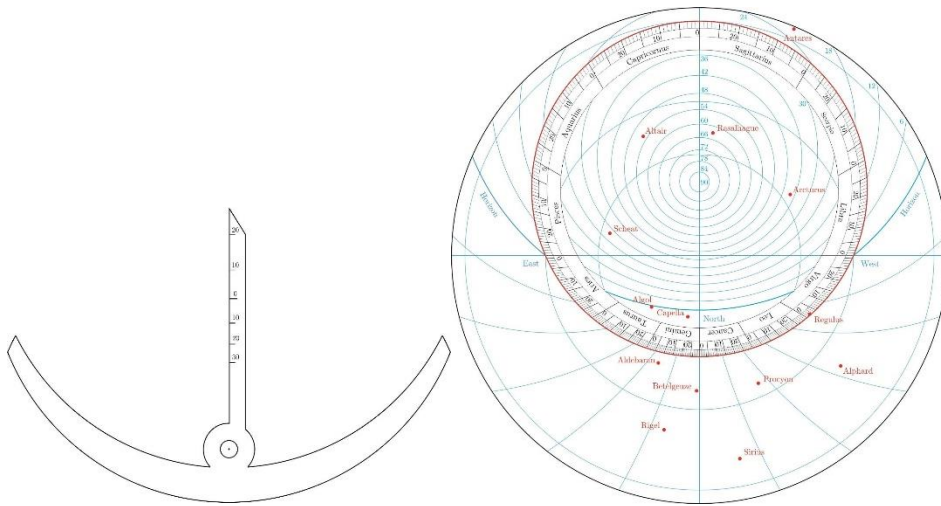


Figure 18. The movable horizon (left) and the plate (right) of the boat-shaped astrolabe, drawn by Wilfred de Graaf

For some other examples of the non-standard astrolabe which Bīrūnī mentioned (scorpion-shaped, ruler-shaped, etc.) see the commentary. Further on in the introduction, we will give more information about an enigmatic astrolabe called crescent-shaped (*hilālī*).

Many mixed astrolabes and other non-standard astrolabes were described by Bīrūnī in his *Astrolabe Construction* (see below). In the nineteenth century the *Astrolabe Construction* was known to the West only indirectly in the summaries of the non-standard astrolabes by the 13th century Egyptian astronomer Ḥasan al-Marrākushī which were translated into French by Sédillot.¹ In the 1920s, the passages on non-standard astrolabes in the *Astrolabe Construction* itself were translated and summarized by Eilhard Wiedemann and Josef Frank. Opinions have differed on the practical value of these non-standard astrolabes; Henri Michel called them “une coquetterie geometrique” (a geometrical vanity) but David King and François Charette think that we should not dismiss these instruments in this way.² However this may be, it is a fact that almost no Eastern Islamic non-standard astrolabes are extant today. In his unpublished astrolabe work, Sijzī mentions the different types that he had invented and says in many cases, that he had written a treatise about them and presented them with the treatise to a king. Thus it seems that these non-standard astrolabes were not motivated by practical reasons, but that they were designed as gadgets for rich people, probably with financial considerations in mind. The boat-shaped astrolabe was easier to make than a standard astrolabe but it is much more difficult to use than a standard astrolabe and this may explain why it never became popular. We do not deal in this thesis with the perhaps more successful western

¹ See: Sédillot, pp. 181-183, Bīrūnī’s name mentioned in a footnote 4, p. 182.

² Michel, p. 69; King, 2004-5, vol. 2 p. 471; Charette, pp. 73-74.

Islamic non-standard astrolabes that were invented by al-Zarqālluh (born Toledo, 1029 – died Seville, 1087 A.D.) and his contemporaries in al-Andalus.

1-7: Bīrūnī's Biography and Astrolabe Works at a Glance

Abū Rayḥān Muḥammad ibn Aḥmad Bīrūnī was born in 973 A.D. in the neighbourhood of Kāth (now Khiva or Xiva, located in present-day Uzbekistan), one of the two principal cities of Khwārizm, an irrigated area south of the Aral Sea.¹ He considered the mathematician and astronomer Abū Naṣr Maṣṣūr ibn 'Irāq (960 – 1036 A.D.), also from Khwārizm, as his main teacher.² When he was still a teenager, Bīrūnī made his first astronomical observations: he observed the meridian altitude of the sun in 990 A.D. or thereabout, when he was still in Khwārizm.³ In 995 A.D. a civil war started in Khwārizm and Bīrūnī fled his homeland to Rayy and Gīlān, in the northern part of modern Iran.⁴ He returned to Kāth in 997 A.D. Then he spent some time in old Gurgān (Northern Iran), Bukhārā and Jurjānīyya (Uzbekistan), and returned to Khwārizm sometime after 1004 A.D. Bīrūnī corresponded with some contemporary scholars such as the mathematician Aḥmad al-Sijzī⁵ and the physician Ibn Sīnā.⁶ He resided for seven years (ca. 1008/1009–1017 A.D.) at the court of Abū al-'Abbās Ma'mūn ibn Ma'mūn Khwārizm-Shāh, the ruler of Khwārizm.⁷

In July 1017 A.D., sultan Maḥmūd of Ghazni (997–1030 A.D.) marched into Khwārizm, took Kāth and terminated the dynasty of the Ma'mūnids.⁸ Bīrūnī was kidnapped by Maḥmūd and taken to his court in Ghazni, which is now in the eastern part of Afghanistan. Although Bīrūnī's relations with Maḥmūd were never good, Maḥmūd took Bīrūnī with him in his raids to India. These events provided Bīrūnī with the possibility to learn about the science, culture and languages of India. After the death of Maḥmūd, Bīrūnī stayed in Ghazni, where he passed away in 1048 A.D.⁹

Bīrūnī has a special position in the Islamic scientific tradition. In the *Introduction to the History of Science*, George Sarton called the first half of the eleventh century “the time of al-Bīrūnī”,¹⁰ and David A. King called him “the leading scientist of the Islamic world.”¹¹ Bīrūnī was not only a good mathematician and astronomer, but he also had wide knowledge of Arabic

¹ Kennedy, *DSB*, vol. 2, p. 148.

² Bīrūnī, *Maqālīd*, p. 101.

³ Bīrūnī, *Coordinates*, p. 249 (Arabic), 213 (English).

⁴ Bīrūnī, *Coordinates*, p. 110 (Arabic), 78 (English); Kennedy, *DSB*, vol. 2, pp. 148-149.

⁵ See: Rosenfeld and Ihsanoğlu, p. 147, no. M 9.

⁶ Kennedy, *DSB*, vol. 2, p. 149.

⁷ Beyhaqī, p. 639.

⁸ Beyhaqī, pp. 647-663.

⁹ Kennedy, *DSB*, vol. 2, pp. 147-151.

¹⁰ Sarton, p. 693

¹¹ King, 2004-5, vol. 2, p. 455.

literature, culture, history, and excellent linguistic skills. He knew not only Persian and Arabic but also one or more languages of India.

In the year 1036 A.D. Bīrūnī compiled a list with titles of 113 works which he had written until that date. The list has come down to us in a unique manuscript which is now in the university library of Leiden in the Netherlands (Ms. Or. 133/2). 26 of his works are known to exist in manuscripts in various libraries; the rest have not yet been found or are only known in brief fragments or later references. Bīrūnī's works seem to have been little known in the western half of the Islamic world and they were never translated into Latin; thus they did not influence the development of science in Western Europe. In the West, Bīrūnī only became famous in the 1880s, when his great work on chronology and his description of India were edited in Arabic and published in English translation. In the 20th century, most of his extant works were published or translated by a variety of scholars in several countries. Hitherto, 24 of his works have been edited in Arabic and/or translated in western languages or Persian, Russian, Turkish, Uzbek, Tajik, Urdu and Japanese.¹ In this thesis we will use abbreviated titles for his works according to a system which will be explained below. Bīrūnī's two most famous astronomical works are the following. His *Introduction to Astrology* includes an introduction to mathematics, astronomy, and geography, and cosmology; the work was written in the form of more than 500 questions and answers for a girl who was probably a teenager. The *Masudic Canon* is a textbook on astronomy for experts, which can be compared in size and scope to the *Almagest* of Ptolemy.²

The two works are at the lower and upper end of a classification of readers which Bīrūnī presents in the beginning of the *Taṭrīq* (0-8-10), one of the works published in this thesis. Bīrūnī mentions three categories of readers:

1. Readers whose level in astronomy is low, and who are only interested in applications which are necessary in practice.
2. Readers with an intermediate knowledge of astronomy, whose interest extends beyond the minimum.
3. Readers with a high level of knowledge, who are interested in advanced problems and who are only satisfied by mathematical proofs. Here Bīrūnī means proofs according to the methodology of Greek mathematics, based on the *Elements* of Euclid and the *Almagest* of Ptolemy, which were available in multiple Arabic translations.

We may add to this classification a category (0) of readers who do not know anything about astronomy.

¹ For the most recent bibliographical information see the website www.albiruni.nl.

² The *Masudic Canon* does not contain a chapter on the astrolabe.

The classification can easily be extended to other mathematical and astronomical works. For example Bīrūnī's *Introduction to Astrology* is level 0 but the *Masudic Canon* is clearly level 3. I will now present a list of Bīrūnī's treatises on the astrolabe, with a rough indication of the length, and also the readership according to the three-level classification.

1. *Book of Instruction in the First Principles of the Art of Astrology* (*Kitāb al-Taḥīm li Awā'il Ṣinā'a al-Tanjīm*; hereafter *Introduction to Astrology*). This is the work in more than 500 questions and answers mentioned above. This 200-page work was written around 1030 A.D., when Bīrūnī was in Afghanistan. The fourth section of this work is a brief and elementary instruction for the use of the standard astrolabe. The non-standard astrolabes are mentioned by name but not explained. Arabic text and English translation of the whole work: R. Ramsay Wright; Persian text: Jalal al-Din Homa'i.¹ Readership: level 0.
2. *Full Discussion of All Possible Ways to Construct the Astrolabe* (*Istī'āb al-Wujūh al-Mumkina fī Ṣan'at al-Uṣṭurlāb*; hereafter *Astrolabe Construction*): This work of approximately 100 pages is on how to construct different kinds of astrolabes, not only the standard astrolabes but also the non-standard astrolabes discussed above. The work was written for an intermediate readership, level 2. It is provided with many geometrical figures but does not contain mathematical proofs. It must have been written before 390 A.H. (1000 A.D.) because it is cited in Bīrūnī's famous *Chronology*, which was written around 390 A.H. (1000 A.D.).² Arabic text of the *Astrolabe Construction*: Jawadi Huseyni,³ but note that the geometrical figures in the edition are unreliable and many of them were added by the editor Jawadi Huseyni. One therefore has to consult the edition together with a manuscript (for online manuscripts see www.albiruni.nl). The work has not been translated into a western language. German summaries have been published by E. Wiedemann and J. Frank.⁴ Small sections have been translated by Wiedemann, Hill and Vafea.⁵
3. *Book of Pearls on the Surface of the Spheres* (*Kitāb al-Durar fī Saḥ al-Ukar*; hereafter *Pearls*) = *On Facilitating the Astrolabic Correction and the Operation with (Astrolabes) Composed of the Northern and Southern* (*Fī Tashīl al-Taṣḥīh al-Uṣṭurlābī wa al-'Amal bi Murakkabātih min al-Shimāl wa al-Janūb*): This is a short work (ca. 15 pages), addressed to the

¹ See *Introduction to Astrology* in bibliography.

² Bīrūnī, *Chronology*, p. 357 (Arabic), p. 358 (English).

³ See *Astrolabe Construction* in bibliography.

⁴ Frank, 1920; Wiedemann and Frank, pp. 97-121.

⁵ Wiedemann, 1913, pp. 5-13; Wiedemann and Frank, pp. 225-236; Hill, pp. 139-163; Vafea, 2017, pp. 297-

Christian physician Abū Sahl 'Īsā Masīhī¹ who died after 400 A.H. (1010 A.D.). The second title and dedication appear near the end. Bīrūnī first deals with the construction of the standard astrolabe with geometrical figures but without proofs, and then he explains how to find the ascendant by means of a series of non-standard astrolabes. Readership: level 2. Arabic text and English translation: Ahmad Dallal.² The Tehran manuscript (Malik 640/7) was not available to Dallal.³

4. *Facilitating the use of the Different Kinds of Astrolabes (Maqāla fī al-Taṭrīq ilā Isti'māl Funūn al-Uṣṭurlābāt; hereafter Taṭrīq)*: On the operations with various kinds of astrolabes. Although the *Taṭrīq* is a substantial work of ca. 80 pages, it is not mentioned in the list of Bīrūnī's works, and therefore Bīrūnī probably compiled it after 427 A.H. (1036 A.D.). This work is the main subject of our thesis: an Arabic edition and English translation and commentary are given here for the first time. See below for an introduction to this work. Readership: level 2.
5. *Book on Bringing what is in the Potentiality of the Astrolabe into Actuality (Kitāb Ikhrāj mā fī Quwwat al-Uṣṭurlāb ilā al-Fi'l; hereafter Ikhrāj) = Training of Thought and Mind on Bringing what is in the Potentiality of the Astrolabe into Actuality (Rīyādat al-Fikr wa al-'Aql fī Ikhrāj mā fī Quwwat al-Uṣṭurlāb ilā al-Fi'l)*: This 45-page treatise on the applications of the standard astrolabe is mostly for a readership with level 1, although there are some more advanced applications. According to internal evidence, Bīrūnī compiled the work before he measured the radius of the earth in Nandana in present-day Pakistan (see below). The work may also have been written at a much earlier date. Nallino quoted the Arabic text of the last chapter of this work (on the determination of the circumference of the earth).⁴ The preface and the last chapter of this work were translated into German by E. Wiedemann.⁵ The rest of the work has never been edited and translated hitherto. This thesis contains a critical edition of the Arabic text with a tabular summary in English and a translation of selected chapters. See below for an introduction to this work.

Bīrūnī's astrolabe works no. 2-5 on our list (and the Arabic manuscripts) have often been confused in the modern literature. Many modern historians did not realize that these were four different works by Bīrūnī. The confusion is only clarified in this thesis by the publication of the two hitherto unpublished works no. 4 and 5 on the astrolabe. Astrolabes are also mentioned in short passages in

¹ Bīrūnī, *Pearls*, p. 126.

² See *Pearls* in bibliography.

³ Derayati, 1394, vol. 8, pp. 197-198.

⁴ See Nallino in bibliography.

⁵ See Wiedemann, 1908 and 1920 in bibliography.

other works by Bīrūnī. These will be indicated in the appropriate sections in the commentary to the *Taṭrīq*.

Bīrūnī also wrote a short work on the use of the spherical (not plane) astrolabe which seems to be lost.¹ A manuscript in Tehran (Daneshgah 5469/1, ff 1b-8a.) contains a short *Treatise on the Construction of the Astrolabe* (*Maqāla fī Ṣanʿat al-Usturlāb*) attributed to Bīrūnī,² but the treatise is not mentioned in Bīrūnī's list of his own works and it may not be genuine.

In the commentary to the *Taṭrīq* we will analyze some of the passages and compare them to other works by Bīrūnī. We will refer to the works by an abbreviated title; the full titles and references can be found in the bibliography. These works are the works on the astrolabe in the list; the *Masudic Canon*, the *Introduction to Astrology*, the *India* and the *Chronology* which have been mentioned, and also the following. In the *Shadows* (ca. 100 pages), Bīrūnī discusses everything that can possibly be related to shadows, including tangent functions, and prayer times. The *Transits* (ca. 60 pages) is about the astrologically important question when two celestial bodies have the same longitude, latitude, or (relative) distance from the earth. The *Keys* (ca. 80 pages) is an early work about the trigonometry of spherical triangles necessary for understanding astronomy. In the *Projections of the Sphere* (ca. 20 pages), Bīrūnī lists all projections of the celestial and terrestrial spheres and contributes some new projections. In the *Coordinates* (ca. 100 pages), he uses the determination of the *qibla* (direction of Mecca) in Ghazni as a pretext to deal with the determination of geographical longitude and latitude determinations from a theoretical and practical point of view.

1-8: The *Taṭrīq* and the *Ikhrāj*: Bīrūnī's Two Unpublished Treatises on the Astrolabe

1-8-1: General Outline of the Treatises

In what follows I will give a brief overview of the two hitherto unpublished astrolabe treatises by Bīrūnī which are presented in this thesis, the *Taṭrīq* and the *Ikhrāj*. For easy reference, I have subdivided the chapters and sections into paragraphs and introduced a numbering. For example (14-2-3) is the third paragraph in section 2 of Chapter 14 of the *Taṭrīq*, and (56-2) is the second paragraph in Chapter 56 of the *Ikhrāj*.

This thesis contains a critical edition of the Arabic text of the *Taṭrīq*, together with an English translation and commentary. The *Taṭrīq* has never been

¹ Boilot no. 50 p. 193.

² Sezgin, *GAS*, vol. 6, p. 269 no. 9; Derayati, 1389, vol. 9, p. 1116.

published before and only short passages have been published or summarized by Pines and King.¹

The full title of the *Taṭrīq* is: *Treatise on Opening the Way towards Using the Different Kinds of Astrolabes (Maqāla fī al-Taṭrīq bi-Isti'māl Funūn al-Uṣṭurlābāt*; hereafter *Taṭrīq*).

Bīrūnī addressed the *Taṭrīq* (0-0-1) to a *shaykh* (master) who is most likely the same as 'Amr ibn Ḥasan Khwārizmī whom Bīrūnī introduced with the appellation of *shaykh* as the inventor of the scorpion-shaped astrolabe (0-4-1). As the title indicates, the text is about standard and non-standard astrolabes, but as we will see, Bīrūnī assumed that his reader was already familiar with the standard astrolabe. The *Taṭrīq* begins with brief explanations of previous works on the astrolabe, ancient history of the astrolabe, and stereographic projection as the principle of the astrolabe (0-0-3). This is followed by comparison between the northern and southern projection in the standard astrolabe (0-1) which is only comprehensible if the standard astrolabe is already known. He then introduces the following non-standard astrolabes: myrtle-shaped and drum-shaped (0-2), crab-shaped (0-3), scorpion-shaped and poppy-shaped (0-4), crescent-shaped (0-5), boat-shaped (0-6), and finally of the plate of horizons (0-7) which belongs to the standard astrolabe. The sections on scorpion-shaped and boat-shaped astrolabes contain interesting historical information. The poppy-shaped (*shaqā'iqī*) astrolabe was erroneously called anemone-shaped by Frank,² but the name is corrected in the commentary to 0-4. The crescent-shaped astrolabe is reconstructed below in this introduction. A few other non-standard astrolabes are mentioned but not really explained (0-7-7), and they do not occur in the rest of the *Taṭrīq*. Then Bīrūnī introduces some special technical terms for non-standard astrolabes, for example the “transverse horizon” (0-8). He does not explain all the terminology for the standard astrolabe (for example, zenith, azimuthal lines, etc.) although such explanations are usually found in the medieval Islamic manuals on the astrolabe, such as the *Ikhrāj* below. In the *Taṭrīq*, the introduction is followed by a lengthy table of contents, listing the 69 titles of all the sections in which the 20 chapters are subdivided.

The body of the *Taṭrīq* contains 20 chapters on the applications of the standard astrolabe along with some (by no means all) non-standard astrolabes which were introduced in the introduction. A tabular survey of the contents of the *Taṭrīq* and comparison with the *Ikhrāj* is presented below. On the whole, Bīrūnī starts with chapters on elementary applications of the astrolabe with practical aspects, such as taking the altitude of the sun and stars. Then he goes through more theoretical subjects as well as mathematical operations necessary for astrology. It is interesting to note that he presented some astrological procedures

¹ See King, 2004-5, vol. 2, p. 589, 60 (0-0-2); Pines, pp. 302-303 (0-6-1).

² Frank, 1920, p. 18.

following a methodology that was standard in his time but in which he did not believe himself (16-7-2). Not all chapters deal with non-standard astrolabes, see the table below for more details. In some chapters, he prescribed complicated methods some of which cannot be found in other astrolabe treatises. He concludes the *Taṭrīq* with chapters on terrestrial measurements using the astrolabe, on bending the star-pointers of a century-old astrolabe so it can be used in the present time, and on finding the radius of the earth.

The subjects in the *Taṭrīq* are roughly comparable to other astrolabe treatises in the Islamic tradition, such as the astrolabe treatise of al-Ṣūfī that was printed in Hyderabad. However, Bīrūnī's explanations in the *Taṭrīq* are much clearer and at a higher level than those of al-Ṣūfī. Bīrūnī gives interesting historical information, for example in (0-3-6, 0-3-7) where he introduces an amazing instrument consisting of 600 parts. The name of the designer is not mentioned, and the instrument was presented to the ruler Abū al-ʿAbbās Khwārizm-Shāh. A few sections contain unique material, for example a short section on the method of finding out the movement of a group of people by observation with an astrolabe: whether they are approaching you, or moving away from you, or are moving towards the right or towards the left (19-4). As far as I know, the topic is not treated in other astrolabe texts; perhaps it could be applied in warfare. Bīrūnī says that the astrolabe was not used in India, but he mentions a time-unit that was used in India, and also one of his (curious) procedures seem to be based on Indian sources.

We now turn to the second text published in this thesis, the *Ikhrāj*. The full title is *Book on Bringing what is in the Potentiality of the Astrolabe into Actuality* (*Kitāb Ikhrāj mā fī Quwwat al-Uṣṭurlāb ilā al-Fiʿl*).

The *Ikhrāj* contains a short preface and 69 chapters on applications of the standard astrolabe. Bīrūnī did not dedicate the *Ikhrāj* to anyone. Unlike the *Taṭrīq*, the *Ikhrāj* begins with an explanation of the terminology in the standard astrolabe. This is followed by 69 chapters on applications of the standard astrolabe. Bīrūnī focuses on the practical aspects of the astrolabe, although his theoretical interest shows up in some cases, for instance where he prescribes calculations for the southern hemisphere of the earth (61) or the localities further eastwards of India (28). He also briefly mentions “practical observers” (*aṣḥāb al-tajārib*; 52) who were trying to make prognostications based on their observations.¹ Compared to the *Taṭrīq*, the *Ikhrāj* is a more standard and pedestrian text. We have provided a critical edition of the complete Arabic text of the *Ikhrāj*, (see the Arabic part of

¹ Bīrūnī mentions these “practical observers” in his *Chronology* as well. The English term “practical observer” has already been used by C. Edward Sachau, see: Bīrūnī, *Chronology*, pp. 268-269 (Arabic), pp. 260-261 (English).

the thesis) a tabular overview (below), and an English translation of all titles and of a few selected chapters.

1-8-2: Reconstructing the Crescent-Shaped Astrolabe in the *Taṭrīq*

The only extant manuscript of the *Taṭrīq* has empty spaces for the geometrical figures but the figures themselves were not drawn. This presents no problems for understanding most non-standard astrolabes because they are discussed with geometrical figures in two other works by Bīrūnī, namely the *Astrolabe Construction* and the *Pearls*. The only exception is the crescent-shaped (*hilālī*) astrolabe. This astrolabe is not mentioned in the *Astrolabe Construction* and the *Pearls*, but only in the *Taṭrīq* and also in a brief passage in an unpublished astrolabe work by Sijzī which is available to us in manuscript.¹

The passage in Sijzī’s work does not contain sufficient information and Sijzī does not give a geometrical figure either. Bīrūnī mentioned the crescent-shaped astrolabe in many passages in the *Taṭrīq*, (0-5, 9-1-10, 9-2-3, 13-1-6, 13-1-9, 14-1-5, 14-2-6). He must have found the crescent-shaped astrolabe very interesting when he wrote the *Taṭrīq*, which, as we will argue below, is a late work. I have used the information in the *Taṭrīq* to reconstruct the crescent-shaped astrolabe.

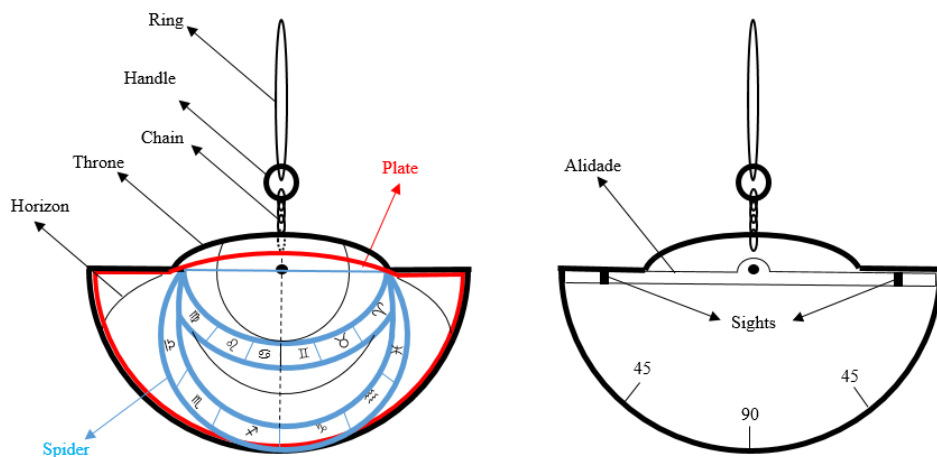


Figure 19. The front (left) and the back (right) of the crescent-shaped astrolabe

Figure 19 shows my reconstructed diagram of the crescent-shaped astrolabe. For simplicity I assume that there is only one plate, which is engraved on the mater. On the spider both halves of the ecliptic and also the astrolabe stars are mapped by the northern projection, and then the first half of the ecliptic from

¹ Sijzī, f. 153 b, f. 114 a. Sijzī’s passage is quoted in Arabic and translated in English in the commentary to (0-4).

Aries to Virgo with the corresponding astrolabe stars (not shown) is mirrored in the straight line through the equinoxes, as suggested in Figure 19, to produce a crescent-shaped ecliptic in a semicircular spider. In other words, the spider of the standard astrolabe is folded along the line through the two equinoxes. The alidade of this type of astrolabe was probably located on the back. The spider and the alidade could turn around the center of the astrolabe, which was located at the center of the semicircular plate.

Figure 20 shows the horizon, some almucantars and hour-lines on the plate of the crescent-shaped astrolabe according to Bīrūnī's descriptions. As Bīrūnī mentions (14-1-5), the two parts of the horizon outside the celestial equator are the mirror images of those on the standard astrolabe. The middle part of the horizon together with the ecliptical arc from Aries to Virgo and the almucantars of the crescent-shaped astrolabe can be produced as follows. Set the spider on the standard astrolabe such that the ascendant is 0° Libra, and 0° Cancer is in the meridian above the horizon, and the descendant is 0° Aries. Then rotate the ecliptic arc from 0° Aries to 0° Libra, together with the horizons and almucantars inside the celestial equator by 180° . So in the crescent-shaped astrolabe, the left side of the middle part of the horizon is western and its right side is eastern. This is also the case for the almucantars below the horizon and above the celestial equator. The hour-lines were engraved on the crescent-shaped astrolabe as on the standard astrolabe, but in dotted form so they could be easily distinguished from the almucantars (13-1-6). Apparently no azimuthal lines were engraved on this type of astrolabe.

The spider and alidade could now be turned on the front and back of the semicircular plate, and the normal operations with the astrolabe could be carried out, but the operations would be confusing not only because the two halves of the standard astrolabe are superimposed on the crescent-shaped astrolabe, but also because the direction of rotation of the spider depends on the sign. Therefore this astrolabe was probably more a decorative piece of art than a practical instrument. No crescent-shaped astrolabes have been preserved.

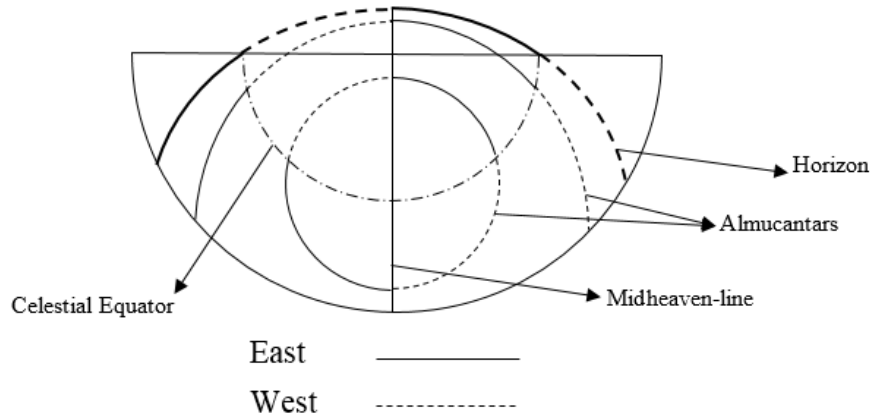


Figure 20. The horizon, some almucantars and hour-lines on the plate of the crescent-shaped astrolabe

1-8-3: The Peculiar Language of Bīrūnī

Bīrūnī was not only an astronomer and a mathematician, but he was also interested in Arabic language and literature, and he even wrote poetry. In many (not all) of his mathematical and astronomical works, his style is different from other medieval Islamic mathematicians and astronomers (such as Thābit ibn Qurra, Ibn al-Haytham, Sijzī, al-Šūfī, etc.). Bīrūnī’s Arabic vocabulary is large and sometimes unusual, he plays with the language, and his style can be terse. E. Sachau who edited the *Chronology* of Bīrūnī, remarked in his introduction:

“However, his style was – and is – extremely heavy; his writing is deliberate, not obscure, but short, precise and always only to the point; it is not in his intention to make the work easy for the reader, but he demands that the reader with his own effort and by using all his knowledge, works his way through the brittle form to the elusive content.”¹

In the *Taṭrīq* we also find many examples of the typical style of Bīrūnī, many more than in the *Ikhrāj*. He probably adapted his writing style to the scientific and cultural level of his intended readers and he may have wanted to show his versatility in Arabic, perhaps in a snobbish way. In the following cases in the introductory part of the *Taṭrīq*, Bīrūnī played with words to make rhymed sentences.

¹ Sachau, p. vii; German original: “Jedoch sein Stil war - und ist - ausserordentlich schwer; er schreibt absichtlich - nicht dunkel, aber kurz, prägnant und stets nur zur Sache; es liegt nicht in seiner Absicht, dem Leser die Arbeit leicht zu machen, sondern er verlangt, dass dieser mit eigener Anstrengung und mit dem ganzen Aufwand seines eigenen Wissens sich durch die sproede Form den Weg zu den schwer fasslichen Inhalt bahne.”

“...إذا حصلت بالتهذيب وتحت عن زوائد التقريب...”

“...*Idhā Huṣṣilat bi-al-Tahdhīb wa Nuqīḥat ‘an Zawā’id al-Taqrīb...*”

“...when they were corrected and explanatory additions were removed...”

(*Taṭrīq*, 0-0-2)

“...راق منظره ولاق بالعقد صورته.”

“...*Rāqa Manzaruh wa Lāqa bi-al-‘Iqd Ṣūratuh.*”

“...looks elegant, and the figure is properly connected.”

(*Taṭrīq*, 0-4-3)

“...أوفق لشكله وأليق بخلقته...”

“...*Awfaqa li Shaklih wa Alyaqa bi-Khilqatih...*”

“... is in better agreement with the shape and more appropriate for the structure...”

(*Taṭrīq*, 0-5-1)

“وأوساط الناس في الأخلاق المعتدلة بين التفريط والإفراط شهداء على غيرهم وفانزون بعيش السعداء بينهم”

“*Wa Awsāt al-Nās fī al-Akhlāq al-Mu‘adila Bayn al-Tafrīt wa al-Ifrāt Shuhadā’ alā Ghayrihim wa Fā’izūn bi-‘Ayshi al-Su‘adā’ Baynihim.*”

“And in ethics the moderate people who are the equilibrium between excess and neglect are witnesses of the others, and they attain the life of the blissful people between them.”

(*Taṭrīq*, 0-8-11)

Rhymed sentences also occurred in the technical part of the *Taṭrīq*:

“...حتى ينتهي إليه وينطبق عليه.”

“...*Hattā Yantahī ilayh wa Yantabiq ‘alayh.*”

“...until it (i.e., the ray) ends at it (i.e., the lower hole) and coincides with it...”

(*Taṭrīq*, 1-1-8)

“...حين يكون أفياء الزوال متصاغرة في شمال المقياس منفصلة، أو متقاطعة في جنوب المقياس منبسطة...”

“...*Hīn Yakūn Afyā al-Zawāl Mutaṣāghira fī Shimāl al-Miqyās Munfaṣila, aw Mutaqāṭi‘a fī Janūb al-Miqyās Munbasīṭa...*”

“...when the noon shadows [of the gnomon] shorten on the northern side of the gnomon [for localities north of the Tropic of Cancer], or lengthen on the southern side of the gnomon [for localities south of the Tropic of Cancer]...”

(*Taṭrīq*, 5-1-2)

”والثالثة الحمرة المنتشرة على الأفق إذا أرف طلوع الشمس وهي تحتف مها حتى تطلع فيها وتبقى في عقابيلها إلى أن تصفر عند ارتفاعها وتبقى فيها.“

“*Wa al-Thālitha al-Humra al-Muntashira ‘alā al-Ufuq Idhā Azaf Ṭulū‘ al-Shams wa Hīya Taḥtaf bihā ḥattā Taṭla‘ fihā wa Tabqā fī ‘Aqābīlihā ilā ‘an Tasfarra ‘Inda Irtifā‘ihā wa Tabqā fihā.*”

“The third one is the redness spread out on the horizon when sunrise is coming, and it (i.e., the redness) surrounds it (i.e., the sun) until it rises in it, and it (i.e., the redness) will remain in what follows until it turns yellow when its (i.e., the sun’s) altitude increases, and then it remains in this condition [of being yellow].”

(*Taṭrīq*, 8-4-1)

Such artistic phrases occur only rarely in the *Ikhrāj*, one of the very few examples is in section 1:

”أن نفتح القول بذكرها مفصلة لتكون وقت الإشارة إليها معلومة محصلة.“

“*An Naftatiḥ al-Qawl bi-Dhikrihā Mufaṣṣala li-Takūn Waqt al-Ishāra Ilayhā Ma‘lūma Muḥaṣṣala.*”

“That we begin the treatise by mentioning them (i.e. the technical terms) in detail so that they are known and acquired [knowledge] at the time when reference to them is made.”

(*Ikhrāj*, 1-1)

The reader may wonder whether Bīrūnī wrote the *Ikhrāj* when he had not yet developed his style completely. However, the typical style of Bīrūnī is also found in the *Astrolabe Construction*, which is also an early work on the astrolabe. Here is an example. Bīrūnī says that one should work very hard to construct an auxiliary instrument.¹

”... حتى لا يتخلله خلل، ولا يشوبه زلل، فإن مدار الأمر عليه، ومأل أكثر الأعمال إليه.“

“...*Ḥattā lā Yatakhallalah Khilal wa lā Yashūbuh Zilal fa Inna Madār al-Amr ‘Alayh wa Ma‘āl Akthar al-‘Māl Ilayh.*”

¹ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 7, lines 20-21.

Finally I want to mention some terms in the *Taṭrīq* which he may have invented and which could be interesting as example of his own astronomical terminology. Further research is necessary to establish that they were really his inventions.

- “*madār al-arḍ*” (the orbit of latitude; 7-1-2): The circle on the celestial sphere around the celestial North Pole with radius the geographical latitude.
- “*mujtaniba*” (0-8-2, 0-8-7, 0-8-8) which is derived from *janūb* (south) and means southern;
- “*mushtamila*” (0-8-7, 0-8-8) which is derived from *shimāl* (north) and means northern;
- “*sā’āt al-qīyās*” (measurement hours; 11-3-2): Seasonal hours.
- “*al-ufuq al-mu’tariḍ*” (transverse horizon; 0-8-8): the mirror image of the standard horizon in the East-West line.

1-8-4: Tabular Overview of the Contents of the *Taṭrīq* and *Ikhrāj*

Here is the comparative table of contents of the *Taṭrīq*, *Ikhrāj* and *Introduction to Astrology* (See table 4). In this table “M” is used for the mixed astrolabe, “B” for the boat-shaped astrolabe, “C” for the crescent-shaped astrolabe, and “P” for the plate of horizons. The letter “H” indicates a “halved” astrolabe, that is an astrolabe in which the plate is divided by the meridian in two parts with different types of almucantars (for example, for different latitudes). If no letter is added, the procedure is explained for the standard astrolabe only. The letter “T” indicates passages in the *Ikhrāj* which we have translated into English. A notation such as 4-1-2/5 means paragraphs 2, 3, 4 and 5 of section 1 of chapter 4. The numbers for the *Introduction to Astrology* are the numbers of the questions in the edition of Ramsay Wright.

<i>Tatṛīq</i>	<i>Ikhṛāj</i>	<i>Introduction to Astrology</i>	Contents
0.0	0-1		General introduction
0-1			Northern astrolabe
0-1	1-2	328	Southern astrolabe
0-2-0-6		328	Non-standard astrolabes
0-7	1-24	328	Plate of horizons
0-8	1	325/7	Terminology
1-1B	2-1	330	Taking altitude of sun
1-2	2-2,3	337	Taking altitude of stars
1-3			Altitude (angle) of mountains and walls
2-1	3		Depression of horizon on high mountains
2-2	3		Depression of terrestrial things
3-1-1/2	47	228	Shadow units
3-1-4	48		Conversion rules for shadow types
3-1-3,5	49	331	Solar altitude and direct shadow
3-2			Solar altitude and reversed shadow
3-3	50		Ladder shadow
4-1/5	53, 55		Direct and versed sine
4-2-1	54, 56		Arc of given direct or versed sine
4-1-6	57		Sine of given arc by means of alidade
4-2-2	58		Arc of given sine by means of alidade
4-1-7	59		Versed sine of given arc by means of alidade
4-2-3	60		Arc of given versed sine by means of alidade
5-1			Obliquity of ecliptic
5-2B	17-1		Declination of given ecliptical degree
5-3B	17-1		Declination of star
5-3-3	40		Coordinate conversion of astrolabe stars with special plate for arctic circle
5-4	17-2		Culmination of star with respect to zenith
6-1			Stars rotating in orbit of ecliptical degree
	25		Ecliptical degree of sun from noon altitude
6-2			Permanently (in)visible stars
6-3	18-3		Maximum and minimum altitude circumpolar stars
	20		Latitude of astrolabe plate
7-1	22		Geogr. latitude from circumpolar stars
7-2			Geogr. latitude from stars which rise and set
7-3	21		Geogr. latitude by means of sun
8-1	18		Noon altitude of sun and stars
8-2	49		Noon shadow ↔ Solar noon altitude
8-3	51		Prayer times from solar altitude
8-4MB	52		Beginning of dawn and end of dusk
9-1BC	23-1		Right ascensions of ecliptical arcs
9-2BC	23-2		Oblique ascensions of ecliptical arcs
9-3BC	24		Ecliptical arcs with given right or oblique ascensions
10-1B	4		Placing the sun in the ecliptic (interpolation)

10-2B	5		Placing point of given altitude if almucantar not drawn (interpolation)
10-3B	6		Ecliptical degree of ascendant or midheaven (interpolation)
11-1B			Equation of day of sun or star
11-2MB	8		Day arc and night arc
	26		Ecliptical degree of sun from day arc
11-3	9,10, 13	335-6	Conversion between equal and seasonal hours
12-1B	30-3		Ecliptical degree of transit of star
12-2MB	30-1,2		Ecliptical degree of rising or setting of star
12-3B			Determination of stars rising, setting or transiting together with rising, setting or transit of another star
12-4B	31-1		Does rising, setting or transit of star happen during daytime or at night?
12-5B	31-2,3,4	340	Time of rising, setting or transit at day of night
13-1MBCH	11-13	333	Arc of revolution (hours since sunrise) from altitude of sun
	19		Altitude of sun at the beginning of each hour
		334	Altitude of sun at given time
13-2	15		Arc of revolution using hour lines on alidade
13-3	14		Arc of revolution by hour lines on back
13-4			Arc of revolution by sine quadrant on back
13-5MBH	11-13		Arc of revolution from altitude of sun or star
14-1MBCPH		332	Ascendant from observed altitude of sun
14-1-2		338	Ascendant from observed altitude of star
14-1-6P	61P		Ascendant from observed altitude of sun
	7		Ascendant from observed depression of sun
	27	334	Ascendant at given time, night or day
		339	Time at night from given ascendant
	28		Ascendant in middle of inhabited world (longitude 90)
14-2BC	16	341	Astrological houses
		342	Ascendant from midheaven
	32		Whether pole of the ecliptic is circumpolar or rises and sets
	33		Geographical longitude of localities
15-1	34		Azimuth from altitude of sun
15-2	34-6		Same by interpolation
	34-8		Azimuth from altitude of star
15-3	36		Rising amplitude of the sun and stars
	37		Meridian line by "Indian method" (bisector of angle between two equal shadows)
15-4	38		Meridian line from azimuth on astrolabe, set from observed altitude
15-5			Arc of revolution and altitude from observed azimuth
15-6	35		Azimuth of the qibla or of given locality
	39		Ascendant from (observed) azimuth of sun
	41		Arc distance between two stars (by observation)
	42-1		Explanations for projection of rays
16-1	43-1,2		"Distances" of points on ecliptic or planets from meridian

16-2	43-3,4		Projection of rays without special plate, for planet on horizon
16-3	43-5		Projection of rays without special plate, for planet in other positions
16-4	46		Progressions of indicators to assumed positions
16-5	29T		Year-transfers and progressions in our opinion
16-6	42T		Projection of rays by special plate according to Ptolemy
	44T		Projection of rays, "corrected method" by special plate
16-7	45		Progressions by special plate
17-1	62-1,3	345	Height of an object whose base can be reached by isosceles right-angled triangle
17-2	62-2,4		Height of an object whose base can be reached by non-isosceles right-angles triangle
	63		Horizontal distance to the mountain from height
18-1			Height of an object whose base cannot be reached by two altitude measurements
18-2			Height of an object whose base cannot be reached by two gnomons
18-3	64-1	346	Height of an object whose base cannot be reached by shadow scales
	64-2		Horizontal distance of object whose basis cannot be reached by shadow scales
19-1	68	344	Depths of wells and pits
19-2	65	343	Horizontal distance between observer and a point
19-3	66		Horizontal distance between two points
19-4			Finding out about the movement of a group
	67		Distance between two points, one on horizon and one above it
20-1-1/3	69-2T		Circumference earth from North-South distance
20-1-4/7	69-1		Circumference earth from depression on high mountain
20-2			Correction of star pointers on old astrolabe

Table 4

1-8-5: Bīrūnī's Authorship of the *Taṭrīq* and *Ikhrāj*

We first deal with the authorship of the *Ikhrāj*. Bīrūnī mentions the *Ikhrāj* in the list of his own works under the title *On what Brought the Potentiality of the Astrolabe into Actuality (Fī Mā Akhraja Mā fī Quwwat al-Uṣṭurlāb ilā al-Fi 'l)*.¹ Moreover all available manuscripts of the *Ikhrāj* mention his name as the author of this treatise. Thus there is no doubt that he is the author of the *Ikhrāj*.

The title of the *Taṭrīq* is not mentioned in Bīrūnī's list of his own works, but there are other arguments to decide the authorship. In the unique extant

¹ Boilot, pp. 243 (no. 49).

manuscript of the *Taṭrīq*, Bīrūnī's name is mentioned as the author in the beginning of this treatise. In the text itself, the author refers to three other works which he had written, namely the *Ikhrāj* (0-0-1), [*Observing*] *the Sunset from the Lighthouse of Alexandria (Fī Ghurūb al-Shams 'inda Minārat Iskandarīya)* (20-1-2) and [*Treatise*] *on the Determination of the Size of the Earth by Means of the Depression of the Horizon on Summits (Maqāla fī Istikhrāj Qadr al-Arḍ bi Raṣad Inḥitāt al-Ufuq 'an Qulal al-Jibāl)* (20-1-3). The last two works are not extant but their titles appear in Bīrūnī's list of his own works.¹ In addition, there are similarities between the contents of the *Taṭrīq* and other works by Bīrūnī. The *Taṭrīq* is devoted in part to non-standard astrolabes, and these were one of Bīrūnī's interests as is shown by his extant works *Astrolabe Construction* and *Pearls*. The (unrealistic) interpolation method which he prescribes in Chapter 10 of the *Taṭrīq* can also be found in the *Ikhrāj* (e.g., 4) and even in the *Introduction to Astrology*. In the *Taṭrīq* (11-2-2) he used the same terms as in the *Masudic Canon*. The term “transverse horizon” which he introduces in (0-8-8) is also found in the *Pearls*.² Many more similarities can be found. Finally, the style of the *Taṭrīq*, which has been discussed above, is comparable to the style of other works by Bīrūnī. Thus there is no doubt that he is the author of the *Taṭrīq*.

1-8-6: Dating the *Taṭrīq* and *Ikhrāj*

Bīrūnī mentions the name of Abū al-‘Abbās Khwārizm-Shāh (the governor of Khwārizm who was killed in 1017 A.D.) in the *Taṭrīq* (0-3-5) by using the appellations “the martyred commander” and “may God help him to be accountable [for his deeds]” for him (the latter appellation was used by Muslims for a deceased person). Therefore Bīrūnī must have written the *Taṭrīq* after 1017 A.D. It would not be reasonable to use these sympathetic words for Khwārizm-Shāh in the time of Maḥmūd of Ghazni (d. 1030 A.D.), who conquered Khwārizm just after Khwārizm-Shāh had been killed. Thus the *Taṭrīq* was probably composed after 1030 A.D. Bīrūnī's references to *Kaharī* (an Indian unit for timekeeping) shows that he probably wrote this work after his stay in India (around 1026 A.D.). In (20-1-4) Bīrūnī tells us that he intended in his “youth” to measure the radius of the earth. This is another piece of evidence that the *Taṭrīq* is a late work. Finally, although the *Taṭrīq* is a substantial work, it is not mentioned in the list of Bīrūnī's works. I conclude from all the previous evidence

¹ Boilot, pp. 234-235 (no. 24, 25).

² Dallal p. 116, line 12; p. 117 line 23. Dallal translates “singular horizon”.

that the *Taṭrīq* was in all likelihood written after Bīrūnī compiled his list of works in 1036 A.D.

The *Ikhrāj* was written before 1036 A.D. because Bīrūnī mentioned the title in the list of his own works.¹ Bīrūnī states in the *Ikhrāj* (69-2) that he had not yet measured the radius of the earth by observation of the depression of the sun on the summit of high mountains. Bīrūnī made this measurement while he was residing at Nandana Fort in present-day Pakistan during the year 1018 A.D. or thereabout.² So the *Ikhrāj* was written before 1018 A.D.

There is another argument suggesting that the *Ikhrāj* might have been written at an earlier date. Bīrūnī presents in *Ikhrāj* (42) a method for the astrological projection of rays which he attributes to Ptolemy and which was standard in his time, and in *Ikhrāj* (44) another “corrected” method. Both the Ptolemaic and the improved method assume that the regular polygons which are used to define the rays are located on the celestial equator. During most of his life, Bīrūnī believed (just as modern astrologers do) that the polygons should be not on the equator but on the ecliptic; in his words, the theory of the projection of rays should be “freed from ascensions” (which are always on the equator). The presence of the “corrected” method in the *Ikhrāj* suggests that he had not yet developed his new theory at the time when he wrote the work. If this is true, he must have written the *Ikhrāj* before the *Chronology*, which was written around 1000 A.D. and in which the new theory is mentioned.³

Bīrūnī refers to a source called “*al-Qanūn*” (*Ikhrāj*, no. 29) but this is not the *Masudic Canon* (compiled in 1030 A.D.) but Ptolemy’s *Handy Tables*, which were translated into Arabic and called *al-Qanūn* in the medieval Islam.⁴ Thus Bīrūnī’s reference should not mislead us to conclude that he authored the *Ikhrāj* after the *Masudic Canon*.⁵

1-9: Description of Manuscripts and Editorial Procedures

A. *Treatise on Opening the Way towards Using the Different Kinds of Astrolabes (Maqāla fī al-Taṭrīq bi Isti ‘māl Funūn al-Uṣṭurlābāt):*

¹ Boilot p. 193 no. 49.

² Bīrūnī, *Coordinates*, p. 222 (Arabic), p. 188 (English), Kennedy, 1973, p. 143.

³ See Bīrūnī, *Chronology*, p. 10 line 9 (Arabic), p. 12 line 11 (English) where he refers to his work *Tajrīd al-Shu ‘ā ‘āt wa al-Anwār (Freeing the Rays and the Light; meaning: freeing them from ascensions); see also: Keys*, pp. 68, 265.

⁴ Sezgin, *GAS*, vol. 5, p. 185.

⁵ In the *Transits* (p. 22 (Arabic), p. 26 (English)), Bīrūnī referred to the *al-Qānūn* as well but attributed him to Theon of Alexandria, although it was authored by Ptolemy and reworked by Theon (Sezgin, *GAS*, vol. 6, p. 102).

The only extant manuscript of this treatise is part of the codex Fonds Arabe no. 2498 preserved in the National Library of France (Bibliothèque nationale de France) in Paris. The codex 2498 is available online at: <https://gallica.bnf.fr/ark.>¹ The codex contains the following four treatises, written in the same hand:

1. *Maqāla fī al-Taṭrīq bi Isti'māl Funūn al-Uṣṭurlābāt* (ff. 1b-62a) by Bīrūnī, that is the text published in this thesis;
2. *Fī Istikhrāj al-Khātām (On the Extraction of the Signet)* by an anonymous author (ff. 62a – 63a). It is a short treatise on extracting gemstones which are suitable for rings.
3. A short geographical fragment (f. 63b) which according to the text was copied from the *Nihāyat al-Idrāk* by Quṭb al-Dīn al-Shīrāzī. The *Nihāyat al-Idrāk* was completed in 1281 A.D./ 680 A.H.
4. *Risāla fī al-'Amal bi al-Uṣṭurlāb (Treatise on the Use of the Astrolabe)* by 'Abd al-Raḥmān al-Ṣūfī² (ff. 65b – 177b). Kennedy and Destombes described the contents of this treatise in detail and sorted out its available manuscripts in chronological order.³ An uncritical edition of the whole text of this treatise was published by the Osmania Oriental Publications Bureau in Hyderabad, India, 1962 A.D. Flora Vafea investigated the treatise in her PhD dissertation, which has unfortunately not yet been published.

The manuscript was carelessly written with a large amount of unclear and incorrectly spelled words, especially in case of astronomical terms. The diacritical points are often lacking or placed incorrectly. The scribe was unfamiliar with the subject and did not care about the Arabic grammatical rules regarding the gender of verbs. The manuscript is written in black ink but the titles of the chapters were probably in red; they show up in grey in the microfilmed versions which we have consulted. In the treatise by al-Ṣūfī there are some marginal remarks, of which most (or all) are in the same hand. The manuscript contains no geometrical figures, although in the *Taṭrīq* and the treatise by al-Ṣūfī spaces for figures are left open.

The front page (f. 1a) of the manuscript carries partially erased old catalogue numbers, including “1159”. The manuscript is found under this number in Anicet

¹ <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b10037480t/f1.image> (consulted February 23, 2019).

² For general information on this treatise by al-Ṣūfī see: Sezgin, *GAS*, vol. 6, p. 215. Flora Vafea has described this version of al-Ṣūfī's treatise and criticized Kennedy and Destombes in her unpublished PhD thesis, see: Vafea, pp. 55-57.

³ See: Kennedy and Destombes in bibliography.

Mellot's catalogue, which was published in 1739 A.D.¹ Thus the manuscript has been in Paris at least since the early 18th century A.D. There are also two handwritten notes, one in Judeo-Arabic on the front page (Arabic text in Hebrew alphabets) and the other in Latin on the flyleaf, stating that the manuscript contains two astrolabe treatises by Bīrūnī and al-Ṣūfī. The first page contains a partially erased owner's mark which I have not been able to read.

In their catalogues, De Slane and Vajda stated that the manuscript was written in the 16th century A.D.² More precise dates were given in the catalogue by Garel-Grislin,³ which mentions the impossible date 1237 A.D. (that is 634-635 A.H.) without any argument, and by Kennedy and Destombes⁴ who believed that the manuscript was written in 916 A.H. (1510/11 A.D.). The only date that I have been able to find in the manuscript is in the colophon, where the copyist says that he finished the transcription at midnight in the first days of Rajab (the 7th month of the Islamic lunar calendar) of a year whose number is written in an ambiguous way (see figure 21). Under the word "year" there are three number symbols, probably in the Arabic alphanumeric *abjad* system. The possible readings of the three symbols are بيج/يح/نج/نح/اد/و , that is 6 or 4; 1; 18, 13, 58 or 53, none of which makes sense in connection with the year number of the transcription. If we consider the number symbols as Hindu-Arabic digits (which is very unlikely), we may read them as (9?) 1 4. It is also possible that the three number symbols have no connection to the year number. The paper near the colophon is damaged and some symbols may have been lost.

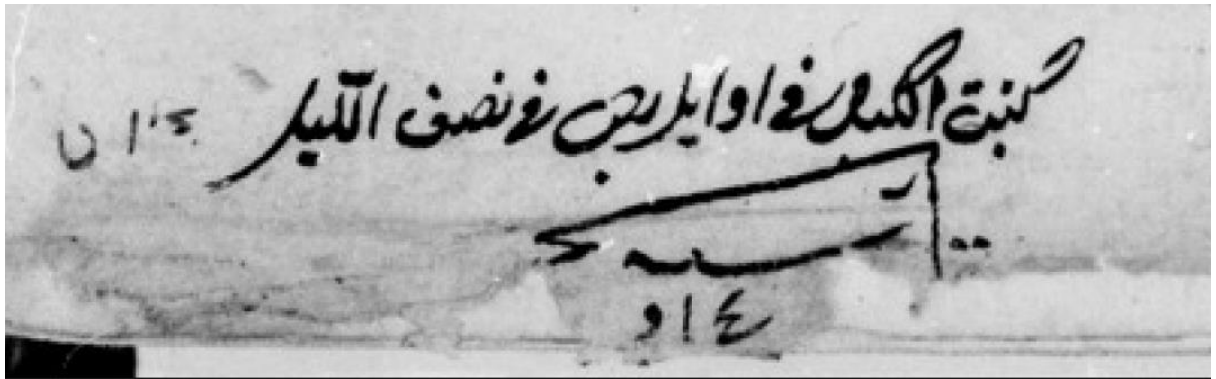


Figure 21. The colophon of the MS Arabe 2498

كتب الكتاب في أوائل رجب في نصف الليل سنة ؟

¹ Mellot, p. 224. Mellot notes that the ms. Came from the library of Cardinal Jules Mazarin (1602-1661 A.D.).

² Vajda, p. 74; De Slane, p. 443; Sezgin, *GAS*, vol. 6, p. 215.

³ Garel-Grislin, p. 130.

⁴ Kennedy and Destombes, p. 5.

Bīrūnī's introduction to the *Taṭrīq* is followed by a table of contents with the titles of all the chapters of the treatise. Very small differences between the titles in the table and the titles in the later sections show that the table of contents probably belonged to Bīrūnī's original, and that it was not composed by a later scribe.¹ All chapters are also found in the manuscript, so the unique manuscript of the *Taṭrīq* which is available to us must be complete. Rosenfeld and Ihsanoğlu² mention another manuscript of this Bīrūnī's work preserved in Cairo (Mīqāt 914), but thanks to David King we know that this "manuscript" is just a set of photos of the Paris manuscript.³

B. *Book on Bringing what is in the Potentiality of the Astrolabe into Actuality* (*Kitāb Ikhrāj mā fī Quwwat al-Uṣṭurlāb ilā al-Fi'l*; hereafter *Ikhrāj*) = *Training of Thought and Mind on Bringing what is in the Potentiality of the Astrolabe into Actuality* (*Rīyādat al-Fikr wa al-'Aql fī Ikhrāj mā fī Quwwat al-Uṣṭurlāb ilā al-Fi'l*)

This treatise is to be found in several manuscripts under different titles, but only the following ten manuscripts have been available to me (the dated manuscripts are listed first, in chronological order of the date of copying):

1. د : Turkey, Diyarbakir, Il Halk Kütüphanesi, no. A 2213, copied in Najaf in 726 A.H. (1326 A.D.; cited in colophon), titled by the scribe: *Book on Bringing what is in the Potentiality of the Astrolabe into Actuality* (*Kitāb Ikhrāj mā fī Quwwat al-Uṣṭurlāb ilā al-Fi'l*), complete;⁴
2. ت : Iran, Tehran, Tehran University, Faculty of Theology, no. 51/1, copied in 791 A.H. (1389 A.D.; cited in colophon), titled by the scribe: *Book on the Science of the Astrolabe* (*Kitāb fī 'Ilm al-Uṣṭurlāb*), lacks the last section;⁵
3. ب : Germany, Berlin, National Library, no. 5794, copied in circa 1100 A.H. (late 17th century A.D.; estimated by the cataloger), title by the cataloger: *A Treatise on the Astrolabe* (*Risāla fī al-Uṣṭurlāb*), complete;⁶
4. ك : Egypt, Cairo, Dar al-Kutub, no. Falak 3774/2, copied in 1269 A.H. (1853 A.D.; cited in colophon), title by the cataloger: *Training of Thought and Mind on Bringing what is in the Potentiality of the Astrolabe into*

¹ The differences occur in the titles of 5-3, 6-2, 8-3, 13-5, and 16-3.

² Rosenfeld and Ihsanoğlu, p. 151, no. A11.

³ King, 1986, p. 48.

⁴ I am very much thankful to Hüseyin Şen who provided me with the scan of this manuscript.

⁵ See also: Derayati, 1394, vol. 3, p. 460.

⁶ See: Ahlwardt, p. 228-230.

Actuality (Rīyādat al-Fikr wa al-‘Aql fī Ikhrāj mā fī Quwwat al-Uṣṭurlāb ilā al-Fi‘l), lacks first section;¹

5. ج : Iran, Tehran, Tehran University, Central Library, no. 1971/2, copied in 1274 A.H. (1857/58 A.D.; cited in colophon), title by the scribe: *Treatise on the Science of the Astrolabe (Risāla fī ‘Ilm al-Uṣṭurlāb)*, lacks the last section;²
6. م : Iran, Tehran, Majlis (Congress) Library, no. 1516/1, copied in 1283 A.H. (1866/67 A.D.; cited in colophon), title by the scribe: *The Book on the Knowledge of the Astrolabe (Al-Kitāb fī Ma‘rifat al-Uṣṭurlāb)*, lacks the last section;³
7. ق : Egypt, Cairo, Dar al-Kutub, no. Falak 262, circa 1300 A.H. (late 19th century A.D.; estimated by the catalogue), title by the scribe: *Training of Thought and Mind on Bringing what is in the Potentiality of the Astrolabe into Actuality (Rīyādat al-Fikr wa al-‘Aql fī Ikhrāj mā fī Quwwat al-Uṣṭurlāb ilā al-Fi‘l)*, lacks the last section;⁴
8. هـ : Iran, Mashhad, Astan-e Qods (Holy Shrine) Library, no. 5594, 1318 A.H. (1900/01 A.D.),⁵ title by the scribe: *The Book on the Knowledge of the Astrolabe (Al-Kitāb fī Ma‘rifat al-Uṣṭurlāb)*, lacks the last section;⁶
9. و : Iran, Yazd, Waziri Library, no. 3753/8, undated, title by the cataloger: *The Astrolabe (Uṣṭurlāb)*, complete;⁷
10. ز : Iran, Tehran, Milli (National) Library, no. 21273, undated, title by the cataloger: *Treatise on the Astronomy (Risāla dar Nujūm)* contains only the first 16 sections.⁸

The transcription dates and the characteristics of the text (marginal notes and spelling mistakes in the technical terms) prove that none of the available manuscripts was copied either by Bīrūnī himself or by a scribe whose manuscript had been read and authorized by him. According to the colophon, the Diyarbakir manuscript was transcribed in Dhū al-Qa‘da 726 A.H./October 1326 A.D (figure 22); it is the oldest manuscript available to us.

¹ See: King, 1986, p. 48.

² Derayati, 1394, vol. 3, p. 460 wrote the date 1273 erroneously.

³ See also: Derayati, 1394, vol. 3, p. 460.

⁴ See: King, 1986, p. 48.

⁵ Derayati, 1394, vol. 3, p. 460.

⁶ See: Sezgin, *GAS*, vol. 6, p. 269; Derayati, vol. 3, p. 460.

⁷ Derayati, 1394, vol. 3, p. 460.

⁸ This manuscript is listed on the website of the National Library of Iran: opac.nlai.ir/opac-prod/index1.jsp.

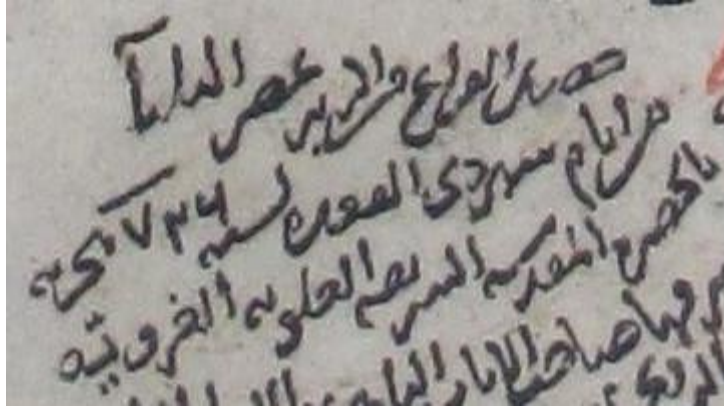


Figure 22. The colophon of the Diyarbakir manuscript

حصل الفراغ من الزُّرِّ عصر الثلاثاء من أيام شهر ذي القعدة لسنة ٧٢٦ هجرية بالحضرة المقدسة الشريفة العلوية الغروية

The possible connections between the manuscripts have been figured out in the collating process. The Diyarbakir manuscript has the smallest number of technical and grammatical problems, and in case of scribal errors, the copyist often wrote the correct word(s) in the margin. Furthermore, some technical terms are represented in correct form only in this manuscript. Therefore we conclude that the Diyarbakir manuscript (denoted by Δ) has a direct connection with the missing original, indicated as “Or.” in the stemma in figure 23. The second manuscript with relatively few mistakes is the Berlin manuscript although this manuscript contains technical and spelling errors, and some words are missing.¹ Significant similarities between the Berlin, Yazd and Cairo (3774/2) manuscripts in the spelling errors and even in the missing words,² lead us to conclude that all of them are based on the same (lost) manuscript, which is different from Δ and is indicated by the letter “A” in figure 23.

A different title for the same treatise of Bīrūnī in the manuscript Cairo (262),³ and some new scribal errors which are different from those in the previously mentioned manuscripts,⁴ reveal that this Cairo (262) manuscript was copied from a manuscript which is not the same as the Diyarbakir, Berlin, Yazd and Cairo (3774/2) manuscripts. The similarities between the Mashhad, Tehran (Central Library), Majlis, Cairo (262) and Tehran (Faculty of Theology) manuscripts⁵ make it possible to conclude that all of them are based on one and the same lost manuscript, which is indicated here as “B”. Since some (not all) of these similarities can be found also in the Berlin, Yazd and Cairo (3774/2)

¹ Such as the title of the first chapter of the treatise (*Ikhrāj*, 1): في معرفة مواضع الأضرلاب وأساميها.

² For instance the following sentence, which is written in the Diyarbakir manuscript is missing in the Berlin, Yazd and Cairo (3774/2) manuscripts (*Ikhrāj*, 6-1):

وأجزاء الظل هي المخطوط التي على محيط الربع المقابل للربع الذي فيه أجزاء الارتفاع.

³ This manuscript carries the title “*Training of Thought and Mind on Bringing of the Potentiality of the Astrolabe to Actuality*” (*Rīyādat al-Fikr wa al-‘Aql fī Ikhrāj mā fī Quwwat al-Uṣṭurlāb ilā al-Fi‘l*).

⁴ Such as missing the words العضاة (*Ikhrāj*, 3-1) or writing the word العين instead of اليسار (*Ikhrāj*, 4-1).

⁵ Such as writing الإيقان instead of الإيقاف (*Ikhrāj*, 0-1) or شبيهة بمسطرة instead of شبة مسطرة (*Ikhrāj*, 3-1).

manuscripts,¹ it is plausible that these manuscript as well as the manuscript B are based on the manuscript A. This agrees with the fact that Ch. 44 is included only in the Berlin, Diyarbakir, Yazd, and Cairo (3774/2) manuscripts and not in the others. Finally, all scribal errors in the Berlin manuscript can be found in the Milli manuscript, which has some additional mistakes. Therefore the Milli manuscript was most likely copied, directly or indirectly, from the Berlin manuscript.

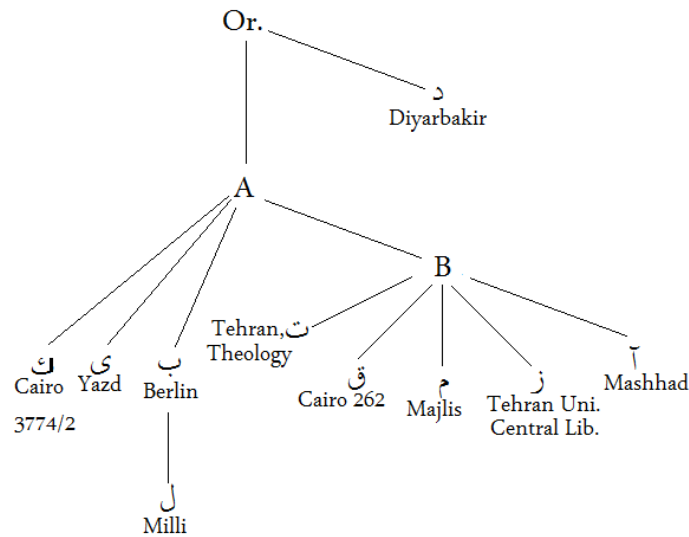


Figure 23. Possible connections between the manuscripts

On the basis of the above analysis I have established my critical edition according to the following guidelines. The Diyarbakir and Berlin manuscripts have the closest connection to the lost original, and they have fewer errors and missing words than the other manuscripts. Almost all differences between these two manuscripts and the other eight manuscripts are due to the scribes and irrelevant for the critical edition. Therefore I have established my critical edition on the basis of the Diyarbakir and Berlin manuscripts. All variant readings in these two manuscripts have been mentioned in the critical apparatus. I have consulted the eight other manuscripts in order to decide the few ambiguous cases. However, I did not want to burden my apparatus with the readings of these eight other manuscripts.

I have edited the following chapters of the *Ikhṛāj* based on the all available manuscripts. The importance of the contents of each chapter is explained briefly:

- Preface: Bīrūnī criticizes works on the astrolabe by his predecessors, and gives his motivation for writing his own treatise.

¹ Such as missing the word العروة (*Ikhṛāj*, 1-10).

- Chapter 29 (Determination of the transfer of the years of birth and the world-years): Bīrūnī refers to some older sources including Ptolemy’s Handy Tables (referred to as *al-Qānūn*).
- Chapter 42 (Determination of the projection of rays according to the method attributed to Ptolemy by means of the plate [specially] constructed for this thing): Bīrūnī quotes Ptolemy’s method for the determination of the projection of rays.
- Chapter 44 (Determination of the projection of rays in the corrected way, by means of this plate): Bīrūnī first refers to Ptolemy’s method from Chapter 42 as an imperfect method, then he describes a “corrected” method. This chapter has been used in an argument for dating the *Ikhrāj* (above, section 1-8-6).
- Chapter 69-2 (Determination of the circumference of the earth): Bīrūnī mentions a certain Aristolos whose identity is unclear to us, and the Chapter gives precious information which can be used to determine when the *Ikhrāj* was written.

In their list of manuscripts of the *Ikhrāj*, Rosenfeld and Ihsanoğlu mention manuscript Central Library of Tehran University no. 5469/3,¹ but this is another text by Bīrūnī, entitled *Making Figures Plane and Making Spheres Flat (Tasṭīḥ al-Ṣuwar wa Tabṭīḥ al-Kuwar)*.² The *Ikhrāj* is not included in the other folios of this manuscript 5469 either. Rosenfeld and Ihsanoğlu mention MS. Cairo, Falak, 3929 as another manuscript of the *Ikhrāj*, but D. A. King has established that it is a set of photos of manuscript Dar al-Kutub, Falak no. 262.³ The two manuscripts of the *Ikhrāj* in India that were mentioned by Rosenfeld and Ihsanoğlu⁴ (Hyderabad, Riyāḍa, 42, and Rampur, 3689) were not accessible to me so I could not check their contents. Boilot mentioned the title of the Hyderabad manuscript as *Training of Thought and Mind (Rīyādat al-Fikr wa al-‘Aql)*.⁵ This is an indication that the manuscript really is a copy of the *Ikhrāj*, since the title is the same as in the beginning of the titles in the Cairo manuscripts of the *Ikhrāj*. King mentioned MS Istanbul Aşir Reisülküttap 577 and stated that it is an unidentified treatise on the astrolabe by Bīrūnī.⁶ The existence of this manuscript was known to Max Krause in the 1930s but the manuscript was inaccessible to him.⁷ In January 2019 Hüseyin Şen gained access to the manuscript and provided me with

¹ Rosenfeld and Ihsanoğlu, p. 151, no. A 9.

² The Arabic edition of Bīrūnī’s *Kuwar* has been published by A. S. Saidan entitled *Kitab Tasṭīḥ al-Ṣuwar wa Tabṭīḥ al-Kuwar li Abī al-Rayḥān al-Bīrūnī*, Amman, 1977. The work has been translated into English by Berggren, see bibliography. Both edition and translation are based on the (inferior) Leiden manuscript.

³ King, 1986, p. 48.

⁴ Rosenfeld and Ihsanoğlu, p. 151, no. A 9.

⁵ Boilot, p. 287, no. 170.

⁶ King, 1986, p. 48.

⁷ King, 1986, p. 48.

photos, and thanks to him we now know that it is a copy of Bīrūnī's *Astrolabe Construction*.

I now discuss the editorial procedures that I have used in my critical editions of the *Taṭrīq* and the *Ikhrāj*. I have applied the modern Arabic orthographic rules for *hamza* and I have used the modern spelling of the word *astrolabe* (أسترلاب) instead of its old form (أصطرلاب), without noticing this in the apparatus. For the words ending with *al-alif al-maqṣura* (i.e., shortened *alif*), I have used the letter ی (instead of ئ). In my apparatus I have kept the two abbreviations used by the scribe of the Diyarbakir manuscript of the *Ikhrāj* as labels of marginal notes:

- صح or ص indicates a correction to a word marked in the main text.
- ن indicates different reading(s) from one or more other manuscripts for a word or phrase marked in the main text.

In the manuscripts of the *Taṭrīq* and the *Ikhrāj*, many diacritical marks are omitted and words are often written in an ambiguous way. I only render the manuscript reading in a critical apparatus if my reconstruction is inconsistent with the reading in the manuscript. Thus, I have not noted my additions of diacritical marks and my choices among the ambiguous readings, when my choice is consistent with what is written in the manuscript. I have used the following abbreviations and symbols in my edited Arabic text and apparatus of the *Ikhrāj* and the *Taṭrīq*:

- د: Diyarbakir manuscript.
- ب: Berlin manuscript.
- ه (for *hāmish* [margin]) indicates a marginal note.
- به indicates a marginal note in the Berlin MS.
- ده indicates a marginal note in the Diyarbakir MS.
- شطب الكاتب indicates text that was crossed out by the scribe.
- Vertical arrows in footnotes indicate that the given word is written above or below the word in the text. Two arrows indicate placement *exactly* above or below the word in the text, one arrow placement just before or after it.
- + indicates superfluous words in the manuscripts.
- I have added folio numbers between vertical lines | |.
- و (for *wajh*) indicates the front side of the folio (*recto*).
- ظ (for *ḡahr*) indicates the back side of the folio (*verso*).
- I have reconstructed some passages for mathematical sense, and added words and passages that were omitted by scribal error. Such reconstructed words and passages appear in angular brackets < >.

- For easy reference, I have divided the text into sections numbered (53-1), (53-2) etc. (for the *Ikhrāj*) and (14-1-2, 14-1-3 etc.) (for the *Taṭrīq*). These numbers appear in parentheses in the Arabic edition.

I have used the following abbreviations and symbols in my translation of the *Taṭrīq*:

- Vertical lines | | contain folio numbers of the Paris manuscript.
- f. indicates folio number.
- a indicates the front side of the folio (*recto*).
- b indicates the back side of the folio (*verso*).
- Angular brackets < > contain translations of words and passages which I have added to the Arabic text in order to restore the original by Bīrūnī.
- Square brackets [] contain English words which I have added to the literal translation of the Arabic in order to make the text comprehensible. Bīrūnī's Arabic is often very concise.
- Parentheses () include additional explanations which I have inserted to clarify the translation. Further clarifications can also be found in the commentary.
- Parentheses () also include the numbers of the sections (14-1-2, 14-1-3 etc.) in which I have divided the text for easy reference.

1-10: The Methodology of Reconstructing the *Taṭrīq* and *Ikhrāj*

The *Taṭrīq* and *Ikhrāj* are texts with technical contents, and therefore they require special editing methods. The methodology which I used here is essentially consistent with J. Hogendijk's explanations in his 2002 article on different editions of Ibn al-Haytham's *Completion of the Conics*.¹ There are some details which should be explained here.

In making my critical edition of the *Taṭrīq* I have used a specific method because we only have a single manuscript in which many errors occur. The purpose of my edition has been to reconstruct the original text as Bīrūnī wrote it. The errors in the manuscript can be scribal errors but also mistakes by Bīrūnī; in order to reconstruct the original, one has to correct the scribal errors but one should leave Bīrūnī's mistakes. My approach has been to first try and explain the errors as scribal errors, not mistakes by Bīrūnī. In order to reconstruct the original I have tried to correct the text for mathematical sense, in such a way that the text in the manuscript can be explained as a plausible misreading or an oversight by the scribe. In this process I have often compared the text with other works by Bīrūnī including his *Ikhrāj*, *Astrolabe Construction*, *Masudic Canon*, *Shadows* and *Introduction to Astrology*, knowing that he also introduced some new terms in the *Taṭrīq* which cannot be found in his other works. I have also analyzed and

¹ See: Hogendijk, 2002, pp. 249-251.

restored some passages by carrying out the procedures which Bīrūnī describes on paper models of the relevant non-standard astrolabes (such as the boat-shaped and crescent-shaped astrolabes) which I have tried to reconstruct from the text. In some cases the scribe skipped a word or even a complete line by mistake because his eye slipped from one line to the next (*homoeoteleuton*). In these cases I have tried to reconstruct the text according to the mathematical and astronomical content, using Bīrūnī's own words in similar passages (the reconstructed words and lines appear in pointed brackets <>). Bīrūnī's ability and versatility in Arabic are well known from his other works, so I have also observed the Arabic grammatical rules in both editions. We can assume that Bīrūnī avoided grammatical mistakes and chose his words carefully, so in restoring his original I have always tried to prefer a correct and meaningful reading over an unelegant reading if both are possible on the basis of the manuscript. This approach has been successful in almost all cases, although a few probable errors in the manuscript remain unexplained and some of my restorations are uncertain.¹

In a few cases, a mathematically and astronomically correct text cannot be restored using these considerations, but an incorrect text is plausible. In such cases I have assumed that Bīrūnī made a mistake. I have kept the mistake in the main text and presented the corrected form in the commentary with a brief mathematical analysis.

My critical edition of the *Ikhrāj* is based on the Diyarbakir and Berlin manuscripts. For some problematical passages I have consulted the other available manuscripts. In such cases I have compared the different readings of the text, and then I have chosen the one which I believe to be the original by Bīrūnī. I have usually made the choice on mathematical and astronomical grounds, and for the rest, I have also used the considerations which I have explained for the *Taṭrīq*. For the *Ikhrāj* the problems are not as serious because we have more manuscripts. If the Diyarbakir and Berlin manuscripts are different, the readings in the Diyarbakir manuscript are often (but by no means always) preferable.

¹ See: (0-0-3), (0-8-8), (7-1-4), (10-2-1), (16-3-4).

1-11: Conclusion

In this thesis we have restored the Arabic texts of two hitherto unpublished astrolabe treatises by Abū Rayḥān Bīrūnī (973–1048 A.D.) and we have translated the most interesting of the two into English. The two treatises are the two last major treatises by Bīrūnī that were still unpublished. We have argued that the *Ikhrāj* is probably an early work by Bīrūnī and the *Taṭrīq* is a late work which he wrote in Afghanistan after 1036 A.D.

One may well ask what Bīrūnī's motivation was for writing the *Ikhrāj* and the *Taṭrīq*. In the introduction to the *Taṭrīq*, Bīrūnī criticizes his predecessor al-Ṣūfī (903–986 A.D) for the excessive length of his astrolabe works. Thus Bīrūnī wanted to streamline the instructions for using the standard astrolabe and this may explain the motivation for the *Ikhrāj*, although al-Ṣūfī is not mentioned in that work. The *Ikhrāj* is a treatise for beginning students in astronomy on the applications of the standard astrolabe. Bīrūnī shows in some detail how the astrolabe can be used to solve relevant problems in timekeeping and astrology, almost without computations. The title (*On Bringing what is in the Potentiality of the Astrolabe into Actuality*) shows that he wanted the work to be a complete user manual, while it is at the same time much shorter than the astrolabe work of al-Ṣūfī in any of its versions.

The *Taṭrīq* is the only medieval Islamic treatise with elaborate instructions for standard and some types of non-standard astrolabes as well. The title of the *Taṭrīq* (*Treatise on Opening the Way towards Using the Different Kinds of Astrolabes*) suggests that it was Bīrūnī's intention to put these instructions together in one treatise for the first time. The constructions in the *Astrolabe Construction* together with the instructions for use in the *Taṭrīq* are a complete treatment of a group of non-standard astrolabes. (An exception is the crescent-shaped astrolabe which is not mentioned in the *Astrolabe Construction*, and which we have tried to reconstruct from the instructions in the *Taṭrīq*.) After Bīrūnī, such a treatment of non-standard astrolabes seems not to have been written again.

Bīrūnī's instructions show that the structure of these non-standard astrolabes usually causes complexities in problem solving, without new advantages. The aesthetic aspects of these astrolabes may have been more important than their (perhaps hypothetical) applications; one has the impression that non-standard astrolabes were suitable scientific gifts to be presented at the courts of kings. This impression is confirmed by Sijzī's dedication of the crescent-shaped astrolabe to the court of 'Aḍud al-Dawla, and Bīrūnī's report in the *Taṭrīq* of an amazing miniature instrument that was presented to Abū al-'Abbās Khwārizm-Shāh. Therefore, Bīrūnī's *Taṭrīq* with its explanation of non-standard astrolabes was probably written in the context of the scientific traditions at courts. The tradition of non-standard astrolabes at the courts and among

wealthy people was probably short-lived, because we hear little if anything about it after the time of Bīrūnī. Thus it may not be an accident that few if any non-standard astrolabes have come down to us.

Bīrūnī implies in the *Taṭrīq* (0-6-1) that the boat-shaped astrolabe with rotating horizon was invented because of its relationship with the theory of a rotating earth, which was known from India. Apparently there were also Islamic astronomers in Bīrūnī's time who believed in this theory, although we do not know their names. In the *Astrolabe Construction* Bīrūnī says that the boat-shaped astrolabe with the rotating horizon is easier to construct than the standard astrolabe with a spider which is so difficult to make, but he does not give this easier construction as a motivation.¹ In the *Astrolabe Construction* he attributed the invention of the boat-shaped astrolabe to Sijzī, but in the *Taṭrīq* he doubts the authorship of Sijzī who seems not to have subscribed to the rotating-earth theory. Perhaps the connection with the rotating earth was Bīrūnī's own idea and the easiness of construction was the reason why the instrument was invented.

Part of the contents of the *Taṭrīq* is practical. There are also more theoretical subjects, such as the interpolation method in Chapter 10, which is not realistic on the astrolabe of normal size, and the explanations about the rising and setting of ecliptic degrees of a star in different localities. More importantly, most of the instructions for the use of non-standard astrolabes were of theoretical interest only, because such astrolabes were hardly used in practice, if at all. Bīrūnī explicitly states in the preface that the *Taṭrīq* was intended for readers of intermediate level who are interested in more than the bare minimum.

The fact that the *Taṭrīq* is available only in one manuscript may well be a consequence of its specialized contents or of the fact that the tradition of non-standard astrolabes was short-lived. The peculiar language of the *Taṭrīq*, which reminds one of the complicated writing style of Bīrūnī's *Shadows* (also extant in a unique manuscript) reduces the readership, despite the didactical merits of the work. This can also be a reason for the lack of marginalia to the *Taṭrīq* in the Paris manuscript; the manuscript continues with a user manual of the standard astrolabe by al-Ṣūfī, which is less theoretically oriented, and has many more marginal remarks. The *Ikhrāj* is a different story; it is more practical in approach, and concerned with the standard astrolabe only, and it belongs to the five works by Bīrūnī which are extant today in more than ten medieval Arabic manuscripts (the other four are the *Introduction to Astrology*, the *Masudic Canon*, the *Chronology*, and the *Astrolabe Construction*).

I conclude by proposing three subjects for further research. Bīrūnī's *Taṭrīq* is interesting from a linguistic point of view, and its terminology can be compared to the scientific terminology in Bīrūnī's other works, and perhaps related to the

¹ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p.130.

evolution of the scientific language in the Islamic tradition as a whole. A second subject of research is the possible influence of Bīrūnī's works on the astrolabe in later centuries. Here one can look at later astrolabe treatises but also at instruments; the instruments that were made in 17th century Lahore show several influences that can be traced back to Bīrūnī, and include relationships to non-standard astrolabes. One may also investigate the mysterious relationships with the astrolabe tradition in the western part of the Islamic world, especially al-Andalus.¹ A third subject is a scientific edition of Bīrūnī's works as a whole. Some of Bīrūnī's works, such as the *Keys to Astronomy*, are available in outstanding editions² but this is by no means the case for all works. Just like the *Taṭrīq*, there are other works which are available in only one single manuscript. Two such works, the *Shadows* and the *Transits*, are related to the *Taṭrīq* (as will be detailed in the commentary) but they have not been published in critical editions. The Arabic is difficult and many passages have not yet been understood.³ The new critical editions of the *Taṭrīq* and *Ikhrāj* will hopefully make it easier to produce new critical editions of the *Shadows*, the *Transits*, and other works by Bīrūnī as well. Ideally one would like to have editions and translations of the whole corpus of Bīrūnī but this is a daunting task. In 1973, the following resolution was adopted at the Bīrūnī conference in Tehran, organized on the occasion of his 1000th anniversary:

“In view of the outstanding importance of al- Bīrūnī in universal history, of the primary role which he is capable of playing with regard to understanding between the different cultures of our time, the Congress has adopted the proposal submitted to the participants whereby a committee of specialists and scholars from all countries should be set up with the task of preparing a scientific edition of the al-Bīrūnī corpus containing all his works in Arabic and Persian.”⁴

Unfortunately this project has by no means been achieved today, but we should remain optimistic, and my thesis is a step towards this ultimate goal.

¹ See: Samsó.

² Bīrūnī, *Keys*, Debarnot edition.

³ See the reviews by G.J. Toomer on the *Shadows* in *Isis*, vol. 69 (1978) pp. 619-622 and Toomer, 1965, pp. 45-72.

⁴ Quoted from H.R. Roemer, p. 101.

2. Taṭrīq

2-1: English Translation of the *Treatise on Opening the Way towards Using the Different Kinds of Astrolabes* (Arabic: *Maqāla fī al-Taṭrīq bi-Isti'māl Funūn al-Uṣṭurlābāt*) Based on the Critical Edition in Pages 1-85 of the Arabic Part of this Thesis

I have used the following abbreviations and symbols in my translation of the *Taṭrīq*:

- Vertical lines | | contain folio numbers of the Paris manuscript.
- f. indicates folio number.
- a indicates the front side of the folio (*recto*).
- b indicates the back side of the folio (*verso*).
- Angular brackets < > contain translations of words and passages which I have added to the Arabic text in order to restore the original by Bīrūnī.
- Square brackets [] contain English words which I have added to the literal translation of the Arabic in order to make the text comprehensible. Bīrūnī's Arabic is often very concise.
- Parentheses () include additional explanations which I have inserted to clarify the translation. Further clarifications can also be found in the commentary.
- Parentheses () also include the numbers of the sections (14-1-2, 14-1-3 etc.) in which I have divided the text for easy reference.

[f. 1 b] In the name of Allah, the Beneficent, the Merciful
Lord, make [the task] easy and make it end well!

Abū Rayḥān Muḥammad ibn <Aḥmad> Bīrūnī's
Treatise on Opening the Way towards Using the Different Kinds of Astrolabes

(0-0-1) The astrolabe – may God prolong the life of the master (*shaykh*) – is the noblest of the [astronomical] instruments by which the exact times can be established, if it is correctly constructed and nothing in the instrument prevents [us] to observe the sun or one of the fixed stars which are indicated on its spider by the sharp tips of the star-pointers. The reason is that the astrolabe has applications whose numbers is approximately one hundred, in chapters in my treatise *On Bringing what is in the Potentiality of the Astrolabe into Actuality*, which I composed, without adding applications that are complicated or misplaced, or applications that are the converse of one another, or similar to one another. If someone such as Abū al-Ḥusayn ibn al-Ṣūfī exaggerates them (i.e., the applications of the astrolabe) by subdividing the smallest and the largest chapters to make the number of the chapters one thousand and six hundred eighty, he cannot attempt to put these applications into practice in his own lifetime nor in the lifetime of anyone else. Nevertheless, we do not find in it a chapter without some use, [at least] for some [reader] who is unable to put his ideas to practice or to solve present [problems] in analogy with past [experiences]. For someone like that it is even possible to add to the chapters of ‘Abū al-Ḥusayn [other equally] lengthy and boring material. (0-0-2) The only book by the ancients on the use (as opposed to construction) of the astrolabe that we have been able to find is Abyūn/Ibūn the Patriarch’s book *On the Use of the Planispheric Astrolabe* in which there are separate [sections with titles] named after [a kind of astrolabe] different from the spherical [astrolabe]. This book by this author included one hundred and fifty-seven chapters, [but] when they were corrected and explanatory additions were removed, the number of chapters decreased significantly. Thus the chapters in the book are less than the number [of chapters] which were contained in the table of contents. In some of them, the applications are incomplete because of misrepresentations in the translation and corruption in the original that was

transmitted. Thābit ibn Qurra either supervised the translation, or revised the translation as far as possible while studying [the translated text].

(0-0-3) The [scholars of] India limited themselves in their [timekeeping] aims [f. 2 a] to the gnomon and its shadow as well as water clocks. None of them constructed the astrolabe or used anything similar to it, because it was specific to the Greeks and it was not transmitted from them to the [Indian scholars]. (0-0-4) The only book on the construction (as opposed to use) of astrolabes by them (i.e., the Greeks) that has come down to us is Ptolemy's Book on *the Projection of Spheres* with the commentary on it by Pappus. If Ptolemy was the first in it, and the inventor of it, then he was strongly successful. Ptolemy completed his own invention[s] in the best possible way and to the highest degree, as he also did in the other branches [in the exact sciences] which he improved to the highest possible perfection with his (?)¹ to the limit of perfection. In case he was not the first in this, and he was not the discoverer of it, then it is characteristic for him to surpass his predecessors, to (?)² up to now. And if this instrument were not based on the foundation of necessary proofs, it would be considered a miracle. (0-0-5) The principle of the business is to imagine that the sphere of the universe is [represented as a] flat [plane], and that the material (i.e., the celestial bodies) and the circles on the surface of it, on the inside and the outside, are inscribed, and that the position of the observer of them is one of the poles of it. In this way he (i.e., the observer) would see those circles, which are either fixed or movable, appear by means of visual cones, on a plane surface which is assumed to be perpendicular to the celestial axis.

(0-1) Description of the northern and southern astrolabe

(0-1-1) The reason for calling them (i.e., the astrolabes) by these two directions is known by its relation to the two poles of the universe. The [astrolabes] are initially divided into two types: in one of them the observer is at the [celestial] South Pole, and in this situation the astrolabe is called northern, because [in this case] the plane in which the circles are drawn is to the north of the observer, regardless of whether the plane is tangent to the [celestial] sphere at the North Pole, or meets the celestial rotation axis in front of the pole or behind it. The pole of the astrolabe around which the spider rotates is in this projection the North Pole, so this astrolabe will be called northern. For this astrolabe, among the circumferences [of the plate], the [circumference surrounded by the] Tropic of Capricorn is to be preferred, because

¹ The word is illegible.

² The word is illegible.

the sun [f. 2 b] does not pass this orbit during its motion toward the south. The other [astrolabe] type is the one in which the observer is at the North Pole. It is called a southern astrolabe because the plane in which [the circles] appear is south of the position of the observer and the pole around which the spider rotates is the South Pole. So this astrolabe is [also] named after its [southern] direction. The circumference of the Tropic of Cancer is to be preferred for [the circumference of the plate of] this [astrolabe] because of the same reason we gave for the northern [astrolabe].

(0-1-2) It is clear that for the eye of the observer, regardless of the pole at which it is located, the great and small circles on [the sphere] will either pass through the pole or will <not> pass through it. The circles which pass through the pole will appear on the astrolabe as straight lines, for it has been clearly explained in Euclid's *Book on Optics*: that if the eye is in the plane of the circle, either outside the circle or on its circumference or inside its circumference, it will only perceive that circle as a straight line. And those [circles] which do not pass through that pole, will appear as circles on the astrolabe, as Apollonius clearly explained in the *Book of Conics*: if two sections of the cone have the alternate angles equal (i.e., are subcontrary sections), and if one of them is a circle, the other one will also be a circle. So this is the situation of these circles as long as the apex of the visual cone is on the pole of the [celestial] sphere.

(0-1-3) Then, if the location of the eye is not at the pole but inside or outside the sphere, on the axis or on its rectilinear extension, the shapes of the [projections of the] above-mentioned circles on the astrolabe will be conic sections: hyperbolas, parabolas and ellipses, as Abū Hāmid Ṣāghānī explained in *the Book on the Perfect Projection*: he stated that an [any] assumed circle on the sphere can appear on the astrolabe as any [of the following] types [of lined] that are proposed: a straight line or the circumference of a circle or one of the three conic sections. But since it is difficult to find a way to bring the [conic] sections into actuality [f. 3 a] by a practical method, and since it is unfeasible to engrave them on plane surfaces, the astrolabes are limited to the two simple types, the northern and the southern (i.e., with the eye at the northern or southern celestial pole), because the engraving [of lines] on them does not go beyond circles and straight lines, and [the construction of] these two [types of astrolabes] is the simplest possible in the crafts. Likewise,

the northern astrolabe is easier [to make] than the southern one, because it is easier to make circles with small diameters than circles with large diameters:

(0-1-4) If physical properties, inherent in the mathematical objects, are used in instruments, they help us in the [concrete] example to construct a circle with a radius of ten cubits or less. But for larger ones, the [construction] becomes unfeasible and difficult, until the situation becomes insurmountable for a circle with radius a hundred cubits, and a blockade appears for its construction. (0-1-5) The almucantars of altitude above the earth are in the northern astrolabe circles with centers located between its pole toward the throne (*kursī*) which protrudes from the rim toward the swivel and the ring (*ḥalqa*). Beginning from the horizon, they (i.e., the almucantars) rise and become closer to one another. The horizon is the largest of them and its concave side faces the throne. It is necessary that in it (i.e., the northern astrolabe), it (i.e., the horizon) intersects the celestial equator (literally: orbit of Aries) as well as the East-West [straight] line in a [single] point in the east which is on the left side, and in another similar point in the west which is on the right side. (0-1-6) And these two [lines] have a similar situation in the southern astrolabe but the horizon faces the throne with its convex side, not with its concave side. Those almucantars whose [altitude] numbers are less than the latitude for which the plate was made, have their centers on the other side of the pole than the throne, and their convex sides are toward it (i.e., the throne) and they become continuously wider until they reach the almucantar whose [altitude] number is the same as the latitude of the plate, and that is a straight line parallel to the East-West line. Then, the situation is reversed for almucantars whose [altitude] numbers are greater [f. 3 b] than the latitude of the plate, so their centers are located with respect to the pole in the direction of the throne, and they face it (i.e., the throne) with their concave side.

(0-1-7) The almucantars of depression on the southern astrolabe, I mean by them (i.e., almucantars of depression) those which are under the earth, are the same as the almucantars of altitude on the northern [astrolabe], but they are drawn upside down. Similarly, the almucantars of depression on the northern astrolabe are the same as the almucantars of altitude in the southern [astrolabe], but they are drawn upside down. And the horizon is common to [both of] them, and for this reason it is dotted with consecutive dots, so it (i.e., the horizon) is easily distinguished from them and not confused with them. [Otherwise,] the matter will

become mixed up if there is no reference [to distinguish the horizon from the almucantars of altitude and depression] except its intersection with the celestial equator at the two points through the East-West line on both sides [of the astrolabe].

(0-2) The myrtle-shaped (*āsī*) and the drum-shaped (*muṭabbal*) astrolabes

(0-2-1) The first combinations which appeared (i.e., was designed) in the astrolabe from the two simple types, the northern and southern [astrolabes], are the myrtle-shaped and the drum-shaped [astrolabes]. (0-2-2) In the myrtle-shaped [astrolabe], the northern projection is used for the half of the ecliptic with northern declination, and the southern projection for the half with southern declination. It is called myrtle-shaped because it (i.e., the ecliptic) is similar to [the leaves of] the myrtle. The plate of this [astrolabe] is restricted to the part inside the celestial equator, and thus the plate [of this astrolabe] is made with this size, just as the plate of the northern [astrolabe] is made with the size of the Tropic of Capricorn and [the plate] of the southern [astrolabe] with the size of the Tropic of Cancer. And on the [plate of the] myrtle-shaped [astrolabe], the orbit (i.e., circle) which is inside the celestial equator, is a combination of [the orbits of] the beginning points of Cancer and Capricornus (i.e., the tropics of Cancer and Capricorn), as one orbit, and they both rotate on it [during the daily rotation of the universe]. To each half of the ecliptic one can join the [pointers for the] fixed stars one wants, according to their projections (i.e., northern projection for northern declination, southern projection for southern declination); it does not matter whether the stars are in northern or southern projection.

(0-2-3) The drum-shaped [astrolabe] is the complement of the myrtle-shaped astrolabe, and its opposite, because [in this astrolabe] the half of the ecliptic with northern declination is projected according to the southern projection, and the half of the ecliptic with southern declination is projected according to the northern projection. And it is called “drum-shaped” because of its similarity to a [special kind of] drum named *kurrā‘a*. And [in this type of astrolabe] all of the zodiacal signs are rotating [f. 4 a] outside the celestial equator, and the tropics of Capricorn and Cancer are united in it. In this [astrolabe], just as we mentioned above for the myrtle-shaped astrolabe, the fixed stars in each half of the zodiac [are projected] according to the type of projection which is used for that half (i.e., northern declination according to the southern projection, etc). [In the figure below] we

draw the images of both of them joined to each other, in such a way that the drum-shaped [astrolabe] is [depicted] yellow and the myrtle-shaped [astrolabe] is left white. So, if the colored [image] is dropped, [the image of] the myrtle-shaped [astrolabe] will remain, and if the white [page] is dropped, [the image of] the drum-shaped [astrolabe] will remain (figure missing).

[f. 4 b] (0-2-4) The plate of almucantars is the same for the myrtle-shaped and the drum-shaped astrolabe and also the tracing of the lines is the same, as follows. [The plate contains] almucantars of altitude according to the northern projection, and below them [other] almucantars; if you want, you can call them either almucantars of depression in the sense that they are under the horizon or almucantars of altitude according to the southern projection, and the last term is the more suitable for them. The horizon is common between both of them (i.e., two types of almucantars) and it is represented as a dotted line, to be distinguished from the almucantars [of altitude and depression]. (0-2-5) It is also necessary to have another horizon equal in magnitude but in the opposite position (i.e., the mirror image). That is to say that both of them are facing each other inside the celestial equator with their concavity and outside it with their convexity, and they meet each other at the point in which the celestial equator intersects the East-West line. We will call it (i.e., the mirror image of the normal horizon) a transverse horizon. It does not have to be a dotted line, because it is not in a position similar to the almucantars, but it can be dotted to call attention to it.

(0-3) The crab-shaped (*musarṭan*) astrolabe

(0-3-1) Then Naṣṭūlus decided to make an innovation in the art [of making the astrolabes] and to show his ability in the construction [of astrolabes], so he invented the crab astrolabe, which is composed of the myrtle-shaped and drum-shaped [astrolabes]. (0-3-2) He cut [the spider of] the myrtle-shaped astrolabe in halves along its widest part, through the points of the solstices. He combined the ascending zodiacal signs which start with the beginning of Capricornus and end at the end of <Gemini and the beginning of Aries is at the middle of it, [and combined] the descending zodiacal signs which start with the beginning of Cancer and end at the end of> Sagittarius, and the beginning of Libra is in the middle of it, and he put them together from the two ecliptics which have been shown in the figure for the drum-shaped and myrtle-shaped astrolabes, in such a way that six zodiacal signs in the two opposite quadrants of spring and autumn [are drawn] according to the northern projection, and the six remaining zodiacal signs in the

quadrants of winter and summer according to the southern projection. He added to every zodiacal sign the fixed stars which are located in its domain, which is limited by the two lines from the pole of the astrolabe through its (i.e., the sign's) beginning point and end point. For the fixed stars he used the same type of projection [used for] the sign, [f. 5 a] either the northern or the southern projection. And here is the figure of the spider of the crab astrolabe (figure missing).

(0-3-3) The almucantars of the crab-shaped [astrolabe]: He (i.e., Naṣṭūlus) drew almucantars of altitude in the right half of the plate from the meridian line toward the upper side of the plate, toward the midheaven-line, and [also almucantars of depression] in its (i.e., the plate's) lower side toward the line of the pillar of the earth, based on the northern projection. These almucantars are cut off at the meridian line and they do not have a horizon in common since they are [f. 5 b] <not> of the same type, but they are of two different types. The two horizons intersect the East-West line at the same points at which the celestial equator intersects it. We put successive dots on both of the horizons to make them clearly distinguishable [from the other lines].

(0-3-4) Then he (i.e., Naṣṭūlus) drew almucantars [of altitude] in the left half of the plate from the line of the meridian toward its upper side and lower side, based on the southern projection. So, there are also two horizons and they meet one another at the above-mentioned point of intersection of the celestial equator with the East-West line. We also put successive dots on them (i.e., the two horizons). It is a property of each almucantar that is drawn with the two types of projection that they meet in one point on the line of the meridian and are connected [in a straight line?]. And this is the figure of the almucantars of the crab-shaped astrolabe (figure missing).

[f. 6 a] (0-3-5) Abū Sa'īd Aḥmad ibn Muḥammad ibn 'Abd al-Jalīl Sijzī followed Naṣṭūlus in inventing many types of them (i.e., astrolabes with mixed northern and southern projections) and he added to it [a new astrolabe (i.e., the poppy-shaped astrolabe)] by mixing [the projections of] the signs using different rulers by which the magnitudes of the diameters of their circles can be adjusted. (0-3-6) Then one of our young [contemporaries], who is excellent in fine construction work and skillful in the crafts, used his superior intelligence and his good emulation of [the art] of invention to construct for the martyred commander, Abū al-'Abbās Khwārizm-Shāh, may God help him to be accountable [for his deeds], a curiosity composed of six hundred parts, including ivory and ebony and logwood

and two coupled coin-frames with their two scoops. One of them has no adornment, and the other is engraved by pure silver (*sīmsukhtaj*). The weight of the whole [coin frame] was less than half a *dirham*. Then he (i.e., the young boy) assembled them (i.e., parts of the instrument) and he (i.e., the Khwārizm-Shāh) gave him (i.e., the young boy) a handsome reward. (0-3-7) Then, he (i.e., the young boy) told me: “you know my avoidance of joking and play”. Thereafter this young boy donated me something useful with an admirable instruction, indicating scrupulousness in his character. Therefore I did it (i.e., I followed his instruction) and I applied it in the construction of the astrolabe and the construction of mirrors. He could become a genius in his time in it (i.e., the field of making instruments), if his inability in Arabic and his lack of interest had not stopped him from obtaining skillfulness in sciences.

(0-4) The scorpion-shaped (*mu‘aqrab*) astrolabe

(0-4-1) This is the astrolabe which was realized according to the above-mentioned construction by the master (*shaykh*), may God support him, who is ‘Amr ibn al-Ḥassan Khwārizmī. (0-4-2) He followed in it the tradition of Nasṭūlus in putting [the instrument] together from the two types of projection, but he took the [zodiacal] signs in each quadrant apart, and did not place them (i.e., their projections) in the same order as in the crab-shaped astrolabe [where all signs in the same quadrant were] of the same type [of projection]. And [he] used the drum-shaped [astrolabe] as a base, and he drew in the half of the zodiac with southern declination, which is represented by the northern projection, the signs of Scorpio and Aquarius in the southern projection, to make these [two signs] according to the system of the myrtle-shaped [astrolabe]. He also drew in the half of the zodiac with northern declination, which is designed according to the southern projection in the drum-shaped [astrolabe], the signs of Gemini and Cancer in the northern projection, to make these [two signs] according to the system of myrtle-shaped [astrolabe].

(0-4-3) Then he used intelligence and [f. 6 b] skill to connect the signs to one another, so that the result looks elegant, and the figure is properly connected. This he did as follows: he connected the beginning of Gemini to the end of Taurus by a piece similar to a half of the crescent figure so that the widest part is joined to the beginning of Gemini, and equal to the width of the [piece of metal representing

the] zodiac. Then the bent sides narrow to join the end of Taurus so that they come together at the inside of the [zodiacal] sign. The two convex sides containing the segment [of the crescent part] face the pole (i.e., center) of the astrolabe. He did the same to connect the end of Cancer to the beginning of Leo from the inside, and in a similar way [he] connected the beginning of Aquarius to the end of Capricornus, by [arcs] similar to those opposite concave arcs, which approach closely but do not meet, and which diverge towards the east. He left from the [normal] plate of the spider a ring which touches the rim, and he chose its width in a way which he found elegant, close to half of the width of the signs in the two zodiacs (i.e., the zodiacs in the two projections). This small ring is joined to two horns coming out from the end of Taurus and the beginning of Leo, and close to them also two straight segments, at which two small [pierced] sights, which seem to be two movers, are attached with cords, so that whenever they move, the spider moves with their rotation. He made them (i.e., two movers) with two parallel faces, and pierced them with holes similar to the holes in the two sights of the alidade, so that they can be used for measurements in taking the altitude. (0-4-4) The reason is that the back of the astrolabe [cannot contain an alidade because it] is used for the lunar-box (*huqq al-qamar*) with its axes and [decorative] “horses”, [including cogwheels] which can be rotated by rotating the pole of the astrolabe. So for this reason he omitted the alidade [on the back side]. But he also joined to that [outer] ring the straight perpendicular which passes through the circle in the middle of the spider. He put two [small] rings at their meeting points [of the perpendicular and the outer ring], which [small rings] curl away from it (i.e., the perpendicular) to form [nice] ends. He did not make the [outer] ring complete but cut it close to the beginning of Sagittarius to the end of Capricornus, by a segment which he joined to it (i.e., the ring) in a curved way, and which curls away from them (i.e., the endpoints of the ring) towards the pole.

[f. 7 a] (0-4-5) He added the pointers of the fixed stars to the [outer] ring and the straight perpendicular and the two small rings at the ends of it, and to the circle in the middle. The rest of the metal network is used for joining, but he took care to use for the tips of [the pointers of] the fixed stars the same [type of] projection that was used for the signs which contain these stars in their domains, because this condition was also used in the crab astrolabe and the other mixed astrolabes. And here is a figure of the spider of this astrolabe (figure missing) and it is closest to the

figure of a crab, but the name [crab] was already used for the crab-shaped astrolabe. Therefore [f. 7 b] I avoided [to choose the name of crab] and returned to call it scorpion-shaped [astrolabe] because of the similarities between the crab and scorpion in their feet and claws and because they use them in the same way in hunting I even removed the two tangs and a tail and feet had been added to the myrtle-shaped astrolabe. He made the joint and the extremities [of the animal] fixed stars corresponding to the (i.e., with corresponding positions), and he assigned this name to it, with maximal intricacy to the eye.

(0-4-6) And the almucantars of this astrolabe are a combination of two types [of projection] on the plate, just as the [signs of the] ecliptic [are projected] according to both projections. They follow (i.e., agree with) the two horizons, of which one is common to the two types of almucantars (i.e., of altitude and of depression) and the other [horizon] is the transverse [horizon], as the following figure (figure missing).

[f. 8 a] (0-5) The crescent-shaped (*ḥilālī*) astrolabe

(0-5-1) The inventor of this astrolabe is Abū Saʿīd Sijzī. At first sight, this astrolabe seems to be a combination of half a drum-shaped [astrolabe] and half a myrtle-shaped [astrolabe], but this is incorrect because it is based on only the northern projection. It can also be made on the basis the southern projection only, but the northern projection is in better agreement with the shape and more appropriate for the structure of [this astrolabe], and the southern [projection] does not suit it as well as the northern one.

(0-5-2) And [in] the width of alidade a notch is made to make it possible [for the alidade] to reach ninety degrees of altitude, without being obstructed by the cord which contains the ring. If one does not want to do this (i.e., to make a notch), it is possible to shorten the alidade a little and decrease its length, or raise the hole of the throne a little to place the cord in a higher position, in such a manner that its edge doesn't meet the degrees of the altitude, it would be sufficient, and one does not need to modify the shape of the alidade.

(0-5-3) But if one sets two sights, having two holes in their centers and parallel planes facing us, on the spider on the vertical straight [piece] which contains the base (i.e., the widest part) of the crescent, tangent to its two sides, or at

two other points in the ring, [so that] the pole and the horse are not located in the middle of them (i.e., the sights), then the alidade would not be necessary for measuring the altitude, if the beginning of the [scale of] numbers on the rim (*ḥujra*) is opposite the throne in each of the two quadrants. Moreover, the back of the astrolabe would become free [from the alidade], and can be used for whatever other application one may want. This is [a figure of] the spider of the crescent-shaped [astrolabe] (figure missing).

[f. 8 b] (0-5-4) The almucantars on the plate [of this astrolabe] differ from the well-known northern astrolabe in only two things. The first of them is the horizon. The difference is that for the part outside the celestial equator, the left side is the eastern horizon and the right side the western horizon, but for the part inside the celestial equator, the situation is the reverse, so the left side is the western horizon and the right side is the eastern horizon. The other [difference] is as follows. Since the part of [the astrolabe] under the horizon is cut off, the lines of seasonal (*muʿwajja*) hours are omitted from it. So if someone wants [to have] them [anyway], there is no other way than drawing them above the horizon and indicating them (i.e., the hour lines) by means of dotted lines, so they can be distinguished from the almucantars. But a person who has been guided in the proper way to do the operations does not need them (i.e., these hour lines) at all.

(0-5-5) And just as we removed the obstacles caused by the cord to make it possible for the alidade to rotate, it is also necessary to remove [the obstacles for rotating] the spider. It is best to drill [holes] in the throne on both sides, not in the front, in such a way that the axis of the cord is away from the front (i.e., not in the middle), and [you can] put the ring everywhere you want on the face of the astrolabe or the back of it. Here is the figure of the plate of the almucantars of the crescent-shaped [astrolabe] (figure missing).

[f. 9 a] (0-6) The boat-shaped (*zawraqī*) astrolabe

(0-6-1) I saw a book on this astrolabe by Abū Saʿīd Sijzī, then I found one [boat-shaped astrolabe] made by Jaʿfar ibn Muḥammad ibn Jarīr. It (i.e., this astrolabe) was undated, so I do not know its date in comparison to Abū Saʿīd [Sijzī] and whether he was imitating or imitated (i.e., whether he was the discoverer of this type of astrolabe) and how [the discovery] took place. (0-6-2) For he was not

informed [in his book] about the exact principle of the thing (i.e., the boat-shaped astrolabe), and that is the view of the Indian [astronomer] Aryabhata that the carrier of the prime circular motion by which the universe makes a complete revolution from east to west in almost one day and night [nycthemeron], is the earth, not the aether (i.e., the celestial matter). Ptolemy disagrees with [this view] and refutes it in the first Book of the *Almagest*. (0-6-3) So in [the instrument] which Abū Saʿīd made, the horizon resembles a boat. In the interior of it, he made a perpendicular which extends beyond the [small] circle [around the center of the plate], whose boundary is “halved” (*mukharraqa*) [as a type of alidade] and which [boundary] passes through the center [of the plate]. The pointer (*shazīya*) at its end meets the rim, so that if one works with the instrument, it (i.e., the pointer) corresponds to the pointer at the beginning of Capricornus [in the normal astrolabe]. The horizon is from the inside attached to the circle [around the center of the plate] in the same way as the spiders of the other astrolabes, because the horizon corresponds in this astrolabe to the spider in those (i.e., the normal astrolabes). It is as in the following diagram (figure missing).

[f. 9 b] (0-6-4) The plates of almucantars of it (i.e., the boat-shaped astrolabe) are the same as in a common astrolabe, regardless of whether they are southern or northern [plates], except for an additional thing. This is the ecliptic belt which is drawn in this [type of astrolabe] before drawing the almucantars, just as the names of the zodiacal signs and their degrees are drawn in the spiders [of the] normal [astrolabes]. Around it (i.e., the ecliptic belt) the [the names of the] fixed stars are written, in the same way in which they are inscribed on the northern spider, and the almucantars are inscribed on it only afterwards. They are interrupted when they reach the belt, [not drawn between the two boundaries of the belt], and are displayed again in their correct position when they leave [the belt]. Thus they are as in this figure, which is drawn for one of the various possible types of plates (figure missing).

[f. 10 a] **(0-7) The plate of horizons**

(0-7-1) This plate is not [for an] individual [latitude] (i.e., it is universal, for all latitudes), and it can be found in northern and southern astrolabes. It does not belong to their essence because it is related to (i.e., obtaining) knowledge of a type which does not belong to projection. [This is] knowledge of the arc of revolution of the celestial equator in time-degrees which have elapsed during the night or day, by means of sines (i.e., sine quadrants) and hour-lines which belong to the field of instruments but not to the doctrine of the projection of the sphere. (0-7-2) And this [plate] carries successive horizons in order of altitude [of the pole (i.e., geographical latitude)] which intersect the celestial equator in four diameters in the four quadrants of the plate. If they (i.e., the horizons) are drawn for successive [degrees in successive quadrants], they will differ in each quadrant by four [degrees]. If they are drawn with an assumed difference of degrees, the above-mentioned difference [between two successive horizons in one quadrant] will be equal to that [difference of the latitude] of the drawn [lines] multiplied by four. But sometimes one does not consider a systematic order in the differences [in geographical latitude] between them and the drawing [of the successive horizons], but one follows one's will, for a special reason or without any reason.

(0-7-3) Then, some craftsmen draw for every horizon the entire part which is located on the plate, on the left and the right side, so that the [horizons] are for the east and the west together. Other craftsmen only draw the eastern half of each horizon, and omit the western part. Still others draw neither the complete horizons nor the halves, but only the eastern parts of the horizons between the tropics of Cancer and Capricorn, not the western parts of the horizons. This is all for aesthetic reasons, and has no effect on working with the plate. The figure of the [plate] of horizons is as follows (figure missing).

(0-7-4) If someone wants to increase the number of horizons on one plate, he can divide the front side [of the plate] into eight parts by means of four diameters, in the same way as inscribing it by dividing it into four parts by means of two diameters. Then by means of them (i.e., the four diameters) the plate contains twice as many [horizons] as it contains by means of the two [diameters], and [this is possible] if two additional diameters are also drawn. As for the western horizons, they are not allowed to be entangled with the eastern ones, and it (i.e., this plate) is

decorated by inscriptions, compatible with the craftsman's competence and ability in knowledge and practice to [achieve] the aims of the craft [of making such instruments].

[f. 10 b] (0-7-5) I think some craftsman have been inspired by the [plate of] horizons to place almucantars in the south-eastern quadrant and the corresponding hour lines in the opposite quadrant, that is the north-western, and in the two other quadrants the same [lines (i.e., almucantars and hour lines)] for a different latitude. Thus one face [of a plate] serves two latitudes, and the two faces of the plate serve four latitudes. Then another [craftsman] added to [the number of latitudes] by means of doubling this, that is to say, he engraved on each quadrant of the plate the horizon for a latitude together with the corresponding almucantars, so the circles will repeat closely together, like the successive cogs of bobbins. Thus one face of the plate serves four latitudes. (0-7-6) After this, the [plate of] horizons was constructed for more horizons, but it is not used because those [additional horizons] are useless.

(0-7-7) There are astrolabes, [f. 11 a] that have been composed from the two types of [projections] in a different arrangement [of the northern and southern projections of the zodiacal signs], such as the shell-shaped (*ṣadaḥḥī*), the fish-shaped (*samkī*), the turtle-shaped (*sulahḥī*) [astrolabe] and similar ones, but someone who is guided by [our instruction] for using the [astrolabes] which we have described above, will also be guided by this to [use] those [other astrolabes]. (0-7-8) There are astrolabes which, although their construction is contrary to the well-known [astrolabe], their use is not different from it, such as the melon-shaped [astrolabe] which was set up by Ya'qūb Kindī and perfected by Ḥabash Ḥāsib. (0-7-9) Another example is [the astrolabe] which I constructed on the basis of the cylindrical projection, and which I have called "the comprehensive [astrolabe]" (*ḥāwī*). The use of these two [astrolabes] is not different from the use of the well-known [astrolabe]. (0-7-10) There are also unusual types not [directly] based on projections, and uncommon methods [for making astrolabes], following the ways for making timekeeping instruments, and horizontal plates for timekeeping and [determining] ascendants. Examples are the ruler-shaped (*mīṣṭarī*), the cross-shaped (*ṣalībī*) and the spiral-shaped (*lawlabī*) [astrolabes] and similar ones.

(0-8) Preliminary section, on some names and terms which we want to mention

Simple astrolabes cannot [be discussed] without naming their parts and defining their lines and circles, so for mixed [astrolabes] this is needed even more urgently. And for this reason it is necessary that we have a look at this (i.e., the names and terms).

(0-8-1) The spider is the pierced network carrying the zodiac and the pointers of the fixed stars; they are the sharp pointers like the ends of splinters, and near each of them the name of a star is inscribed. The place of the spider is on top of the plates, rotating on them while they are always fixed and do not move. The spider can be rotated either directly, that is [by a movement] from the left toward the throne, which protrudes from the rim so that the astrolabe can be suspended, and from the throne toward the right; or [it can be rotated] reversely that is [by a movement] from the right toward the throne [and then] toward the left. The [direct] order of the [zodiacal] signs is for instance from the sign Aries to Taurus and then to Gemini and in the same manner until the last [sign], and the reverse order of the [zodiacal] signs is from Aries to Pisces then to Aquarius and in the same manner until the first [sign].

(0-8-2) [Zodiacal] signs can be northern in two ways. First, [f. 11 b] by way of their declination toward these two directions, so those [signs that] are in the half from the beginning of Aries to the end of Virgo in the order [of the zodiacal signs] have northern declination and those [signs that] are in the other half from the beginning of Libra to the end of Pisces in the order [of the zodiacal signs] have southern declination. And [declination] is for them in the [celestial] sphere an essential property which does not change. And the second way is with regard to pole and projection. If the astrolabe is northern, then all of its signs will be [projected according to] northern [projection], and if it is southern, its signs will be [projected according to] southern projection, and if it is [of] mixed [type], each sign will keep (i.e., will be projected according to) one of the two above-mentioned types [of projection], and the stars in the domain of each sign follow its [type of] projection. The position of the celestial equator is the same for both types of astrolabe, in the northern astrolabe, the part of the spider which rotates inside it (i.e., the celestial equator) toward the pole of the astrolabe is of northern projection

and of northern declination, and the part [of the spider] which rotates outside it (i.e., the celestial equator) toward the rim, is of northern projection and of southern declination. In the southern astrolabe, the part of the spider inside the celestial equator, is of southern projection and of southern declination, and the part [of the spider] which outside of it is of southern projection and of northern declination.

(0-8-3) The “absolute” pointer (*murī*) unrelated to an alidade or a fixed star, is a pointer which protrudes from the beginning of Capricornus in the northern astrolabe or from the beginning of Cancer in the southern [astrolabe], and which is tangent to the rim while the spider is rotating, as if it counts the degrees [on the scale] of it. And sometimes there is some distance between the [outer] tropic of the solstice and the rim, if the plate is large. Then the absolute pointer is not found on the astrolabe, but [in this case] it is necessary that there is a ring between them [the tropic and the rim]. This ring meets the rim and it carries a line which is part of the diameter passing through the two solstitial points. So its endpoint meets the rim while the spider rotates, and it represents the pointer of the beginning of Capricornus or Cancer in the applications [of the astrolabe]. So if we say pointer we mean in this case the end [f. 12 a] of that line.

(0-8-4) The horizon is an arc intersecting the celestial equator at its two points of intersection with the straight East-West line. Its left half is called the eastern horizon and [its] right half the western horizon. In the northern astrolabe its concavity is towards the throne, and in the southern astrolabe its convexity. The part [on the plate] above it toward the throne is the domain of the day, and the part below it in the opposite direction of the throne is the domain of the night. Therefore the part above the horizon of the diameter which bisects the throne is called the midheaven-line (*khatṭ wasaṭ al-samā`*), and the part of it below [the horizon] is called the line of the pillar of the earth (*khatṭ watad al-`arḍ*). And this is the situation of the horizon and its figure for localities with [non-zero] latitude (figure missing). But on the [terrestrial] equator, the horizon is the same as the East-West line, and at the latitude of ninety [degrees] it (i.e., the horizon) is the same as the celestial equator.

(0-8-5) The horizon is the beginning of the almucantars, which are nested circles and they can be either for altitude or for depression. [The almucantars] for altitude are located above the horizon and [almucantars] for depression are located

below the horizon, so [the horizon] is common to both of them (i.e., the two types of almucantars) and the numbers of each of them (i.e., the two types) begin at it (i.e., are zero at the horizon).

(0-8-6) And if you hold the astrolabe opposite to your face [in such a way that] the throne is above [the astrolabe] in front of your face, it will be the standard position, but if you keep it [opposite to your face but in such a way that] the throne is under [the plate] in front of your breast, it will be the converse position. Then what is in this case [in the converse position] opposite to a side, takes the place [of that side]: the line of the pillar of the earth [takes the place of] the midheaven-line; the depression of the east which is in your left hand (i.e., when you hold the astrolabe with your left hand in the normal position) <is then (i.e., when the astrolabe has been turned) the altitude of the west in your right hand> and the western horizon in the standard position will become the eastern horizon in the converse position, and likewise the two directions of the straight East-West line will be interchanged. (0-8-7) And almucantars of depression in the standard position will become almucantars of altitude if the astrolabe is turned upside down, and then almucantars of altitude [in the standard position] will become almucantars of depression, and [thus] they belong to the type [of projection] that is different from the type [of projection] based on which the astrolabe is called [northern or southern], [f. 12 b] I mean that almucantars of altitude in the northern [astrolabe], by the turning upside down, become almucantars of depression on the southern astrolabe, and almucantars of depression on the northern [astrolabe], by the turning upside down, become almucantars of altitude on the southern astrolabe. In the southern astrolabe they are opposite of this description. This is why we have said: if you want, you can call them almucantars of altitude and depression, or if you want, you can call them almucantars according to northern and southern projection, in the sense that you relate [the name] to the type [of projection].

(0-8-8) And the horizon is common between them and sometimes it can be according to northern [projection] and at other times it can be according to southern [projection]. In mixed astrolabes there is another horizon called “transverse”, and its position is in contrary to [the position of] the common horizon (i.e., common to the almucantars) in convexity and concavity. It (i.e., the common horizon) intersects it (i.e., the transverse horizon) at the celestial equator, and in order to make it better visible for the observer, it can, for instance, be

dotted, because if it is not dotted, it can only be distinguished from the almucantars by means of the numbers [of almucantars] (?).¹ (0-8-9) They are the mirror images of each other in the plate of projection. I mean that if the common [horizon] is [drawn according to] the northern projection, the transverse [horizon] will be [based on] the southern projection, and vice versa. And the signs are of the same type [as the horizon (i.e., a sign should be used together with a horizon)] if they [are based on] the same projection, and they are incompatible (i.e., should not be used together) if their projections are different.

(0-8-10) The [problems] for which the astrolabe is needed are: the determination of the four pillars, namely ascendant, descendant, midheaven, and the pillar of the earth (Imum Coeli); the determination of the centers (i.e., cusps) of the adjacent second, fifth, eighth and eleventh house; the determination of the remaining cadent houses; and the precise determination of the [time] which has elapsed from the day or night. This is sufficient for someone whose level in the art [of astronomy] is low. But there are problems which are indispensable for someone with an intermediate level in it (i.e., astronomy). As for the problems of the highest level, it is not satisfactory to just add [such problems], but one will only be contented by [mathematical] proofs of them. (0-8-11) And therefore we will make it our aim here (i.e., in this treatise) to solve [the problems of] the intermediate level [of students of astronomy], because the best of things is the happy medium! [f. 13 a] And in ethics the moderate people who are the equilibrium between excess and neglect are witnesses of the others, and they attain the life of the blissful people between them; and God is a supporter of goodness. We have tabulated the chapters and their sections [below], to give comprehensive [information] for searching their contents.

¹ The Arabic word is “*awrāq*” (papers) which does not make sense. Perhaps the original text had “*arqām*” (numbers) but the corruption is not very plausible.

Chapter one

Section one: On taking the altitude of the sun.

Section two: On taking the altitude of stars.

Section three: On the determination of the altitude of mountains and walls.

Chapter two

Section one: On the determination of the depression of the sun below the horizon on high mountains.

Section two: On [the determination of] the depression of certain things on the earth with respect to high(er) places.

Chapter three

Section one: On the determination of the [solar] altitude and the direct shadow (i.e., cotangent) from one another.

Section two: On the determination of the [solar] altitude and the reversed shadow (i.e., tangent) from one another.

Section three: On the use of the ladder shadow [on the back of the astrolabe]

Chapter four

Section one: On the determination of the direct sine (i.e., the normal sine) and the versed sine of an assumed arc.

Section two: On the determination of the arc corresponding to [a given] direct sine or versed sine.

[f. 13 b] Chapter five

Section one: On the determination of the maximum obliquity in the northern and southern direction.

Section two: On the determination of the amount of declination of each [ecliptical] degree.

Section three: On the determination of the distance of a star from the celestial equator.

Section four: On the determination of the stars passing through the zenith and [the stars] passing [the meridian] north or south [of the zenith].

Chapter six

Section one: On the determination of the stars rotating in the orbit of an [ecliptical] degree and the stars which do not [rotate in such an orbit].

Section two: On the determination of the permanently visible (i.e., circumpolar) stars and permanently invisible stars at a [given] locality.

Section three: On the determination of the minimum and maximum altitudes of permanently visible [stars].

Chapter seven

Section one: On the determination of the latitude of a locality by means of stars which are permanently visible in it.

Section two: On the determination of the latitude of a locality by means of stars which rise and set at it (i.e., that locality).

Section three: On the determination of the latitude of a locality by means of the sun.

Chapter eight

Section one: On the determination of the altitude of the sun or a star in the meridian circle.

Section two: On the determination of the noon shadow and the corresponding [solar] altitude from one another.

Section three: On the determination of the [solar] altitude [corresponding to] the two *‘aṣrs* [prayer times] based on the shadow of [noon plus] one time [the gnomon] and the shadow of [noon plus] twice [the gnomon].

[f. 14 a] Section four: On the determination of the times of the beginning of dawn and the end of dusk.

Chapter nine

Section one: On the determination of right ascensions of [zodiacal] signs and of assumed arcs on the ecliptic, and the converse of this [process], that is the transformation of these ascensions into equal (i.e., ecliptical) degrees.

Section two: On the determination of ascensions of equal (i.e., ecliptical) degrees and their descensions in localities with [non-zero] latitude (i.e., oblique ascensions or descensions).

Section three: On conversion of [oblique] ascensions and descensions of a [certain] locality into [ecliptical] arcs.

Chapter ten

Section one: On taking the position of the sun on the ecliptic [on the astrolabe, if the solar ecliptical longitude is known].

Section two: On determining the almucantar of a [given] altitude [on the astrolabe, if the corresponding almucantar circle is not drawn].

Section three: On determining the [ecliptical] degree of the ascendant and midheaven [by interpolation].

Chapter eleven

Section one: On [the determination of] the equation of daylight of the [ecliptical] degree of the sun or of the body of a fixed star.

Section two: On [the determination of] the day arc and night arc.

Section three: On the division of the day arc and night arc into the two types of hours (i.e., equinoctial and seasonal).

Chapter twelve

Section one: On the determination of the degree of transit, that is [the ecliptical degree] which passes through the meridian together with (i.e., at the same time as) the [given] star.

Section two: On the determination of the [ecliptical] degree which rises [simultaneously] with a star and the [ecliptical] degree which sets [simultaneously] with it.

[f. 14 b] Section three: On the determination of the stars which rise or set or pass through the meridian [simultaneously] with the rising, setting or meridian transit of another [star].

Section four: To determine whether the rising of a star or its setting or its meridian transit happens during daytime or night.

Section five: On the determination of the time of rising, setting or meridian transit of a star during daytime or night.

Chapter thirteen

Section one: On the determination of the elapsed [time] of day from the altitude of the sun.

Section two: On the determination of the arc of revolution [since sunrise] by means of the hour-lines which are engraved on the back of the alidade.

Section three: On the determination of the arc of revolution by means of the hour-lines which are engraved on the back of the mater of the astrolabe.

Section four: On the determination of the arc of revolution by means of [lines of] sines.

Section five: On the determination of the arc of revolution and the altitude of the sun or star from one another.

Chapter fourteen

Section one: On the determination of the ascendant by means of the altitude of the sun or a star.

Section two: On the equalization (i.e., computation) of the houses other than the pivots (i.e., midheaven, *imum coeli*, ascendant and descendant).

Chapter fifteen

Section one: On the determination of the azimuth by an astrolabe on which azimuthal lines have been engraved.

Section two: On taking the number of the circle of the azimuth [by interpolation, if the circle has not been drawn on the astrolabe].

<Section three:> On the determination of the rising amplitude of the sun and the stars.

<Section four: On finding the meridian and East-West lines>.

Section five: On how to observe the azimuth on the circle of the horizon and the determination of the arc of revolution and the ascendant <from it (i.e., the azimuth)>.

[f. 15 a] Section six: On the determination of the azimuth of the *qibla* and the azimuth of any desired locality [from one's own locality].

Chapter sixteen

Section one: On the determination of the distances of the degrees [of the ecliptic] or of the planets from the pivots (ascendant, descendant, midheaven and *imum coeli*).

Section two: On the determination of the projection of the rays of a planet if it coincides with the degree of one of the pivots.

Section three: On [the determination of] the projection of the rays of the planets when they are between the pivots.

Section four: On the progression (*tasyīr*) of indicators (*adillā*) to assumed positions.

Section five: On the year-transfers (*taḥwīl al-sinīn*) and the amount of the progressions in our opinion.

Section six: On the projection of the rays [of the planets] by means of the [special] plate which is named after it (i.e., the “plate for the projection of the ray”).

Section seven: On the progression of the indicators by means of this plate.

Chapter seventeen

Section one: On the determination of the height of an object whose base can be reached, by means of an isosceles right-angled triangle.

Section two: On the determination of the height of an object whose base can be reached, by means of a non-isosceles right-angled triangle.

Chapter eighteen

Section one: On the determination of the height of an object whose base cannot be reached, by means of two altitudes (i.e., altitude measurements) of its top.

Section two: On the determination of the height of an object whose base cannot be reached, by means of two gnomons.

Section three: On the determination of the height of an object whose base cannot be reached, by means of the shadow [scales engraved] on the astrolabe.

Chapter nineteen

[f. 15 b] Section one: On the determination of the depths of depressed places (i.e., wells and pits) on the earth.

Section two: On the determination of a distance [from the observer] on the surface of the earth, in the radial direction (*samt al-ṭūl*), which you follow, if you go forward.

Section three: On the determination of a distance [between two points] transverse to the radial direction which [distance] is taken towards the right or left or in both directions.

Section four: On finding out about the [movement of] a group [of people]: whether they are approaching you, or moving away from you, or are moving towards the right or towards the left.

Chapter twenty

Section one: On the determination of the diameter of the earth and its circumference.

Section two: On the correction of [the locations of] the stars [for precession] on old astrolabes.

This is the end of the table of contents.

Chapter one

(1-1) Section one: On taking the altitude of the sun

(1-1-1) The altitude of celestial bodies is the shortest spherical distance between the [body] above the horizon – of which [the altitude] is measured – and the circle of the horizon. Thus it is an arc of a great circle perpendicular to the horizon, between it (i.e., the horizon) and the [body] above the horizon. This circle receives its name from the altitude, because [the circle] between the two (i.e., the point on the horizon and the body) is the rising to the point above the head, and that is the highest [point] of that (i.e., the celestial sphere) which contains the locality. But if the body which is considered is below the horizon, under the earth, then the [arc] of the above-mentioned circle of altitude between it (i.e., the body) and the horizon is called depression. And if it is necessary to mention its circle, it is called “the depression circle” because of that (i.e., its being below the horizon). (1-1-2) And if a [body] above the horizon emits a ray, gnomons which are set up on the ground cast a shadow of it (i.e., the ray of the body), and its altitude [can be measured] by two sights with consecutive (i.e., parallel) faces, and they are also called “targets” because there are two holes [f. 16 a] in the middle of them in such a way that the ray enters the upper one and then reaches the lower one. And the astrolabe in this situation is freely suspended from the ring with a hole in it, and the targets are set up on the back of the astrolabe. Either [the targets are placed] on the alidade, a long rectangular piece like a ruler attached to the pole through a hole in its (i.e., the alidade’s) middle, and behind its two targets there are two sharp ends (*shaziya*), each of them called pointer (*murī*) of the alidade, or pointer of the altitude, because it indicates it and points it out.

(1-1-3) There are two types of alidade. One is [called] perfect (*tāmm*), and it is such that the diameter through the pole [of the astrolabe] passes through the middle of it and bisects it in length. The other type is cut in half along the above-mentioned diameter. One of its halves is discarded, except a circular piece around the pole which is maintained, so that the pole can be attached to it (i.e., the alidade) by it (i.e., the circular piece). It is called edged (*muḥarraf*)¹ because so many applications are based on its edge, or because it is twisted from the perfect [form]

¹ *Muḥarraf* (مُحَرَّف) has two literal meanings in Arabic: “edged” and “twisted”. Morrison (p. 13) translates it as “counterchanged”.

to the half. Some people call [it] torn (*mukharraqa*) because it has been torn by discarding half of it, just like the spider [of the astrolabe] is torn (i.e., pierced), to create the net. (1-1-4) Or the two targets may be placed on the circumference of a [special] pierced plate for the operations concerning the moon, its light[ed part], its increase, decrease, and its eclipse. Sometimes the back of the astrolabe is used in applications, as in [instruments] like the lunar box (*huqq al-qamar*) with almucantars, for [different] poles and horses preventing the alidade from rotating. (1-1-5) Then the two targets of the ring of the spider are placed on the two ends of the straight [perpendicular] bar which passes through the disk of the pole. In these two cases, it is better that they (i.e., the targets) are distant from the bar in the same direction by the same amount, so that the pole will not be an obstacle between the two [targets], and [will not] prevent the ray [of the celestial body] to reach the hole of the lower target. This is just as the method which has been used by the designer of this scorpion-shaped astrolabe (i.e., the astrolabe which must have accompanied this treatise), and like [the method which] is always used in the crescent-shaped [astrolabe] and the boat-shaped [astrolabe].

(1-1-6) If the pole [of the astrolabe] with its horse is between the two targets, it is necessary in taking the altitude to turn the pole upside down and [f. 16 b] fasten it with its horse at the back of the mater of the astrolabe, and [thus] you empty the front [of the astrolabe] from obstacles. If the two sights are at the [required] figure (i.e., position), then it is necessary that the bar, which is in the middle between them as in the boat-shaped [astrolabe], indicates the altitude, or that the line [segment] of the diameter between them (i.e., the two sights) and the circular edge serves as the pointer. (1-1-7) And the design of [the circular scale of] the ninety degrees of altitude is that you divide [by ninety] the quadrant that [begins] from the throne toward the left. And the numbers start from the horizontal line called “the line of east” which is at the back [of the astrolabe] and they end at the middle of the throne, and then they can be used by the perfect and the edged alidade, and also for the moon-plate if the two pointers of the altitude are at the two targets. But if the pointer of the altitude is in this plate at the middle between the targets on its (i.e., the plate’s) circumference, then the altitude degrees (i.e., scale) are in the quadrant which [starts] (with 90) from the throne toward the right, and the numbers begin (with zero) at the throne and they end at the “line of the west”.

(1-1-8) So if you want to determine the altitude of the sun at any time of day, suspend the astrolabe from your right [hand] freely and put the left quadrant [of the astrolabe, beginning] from the throne toward the sun, so that the back of the astrolabe faces you. Then look on the alidade and notice the position of the ray through the hole of the upper target. If it passes through the hole of the lower target, it is as required, but if it (i.e., the ray) passes above or below it (i.e., the lower hole), then move the alidade and rotate its lower edge toward the shadow of the upper sight, up or down, until it (i.e., the ray) ends at it (i.e., the lower hole) and coincides with it, and the light [spot] of the upper hole falls on the lower one. So if that has been obtained, you look at the upper pointer of the alidade [to find] on which degree of the altitude it is placed. And this is determined easily by means of the completely written fivefolds (5, 10, 15, 20, ...) above (i.e., less than) it, to which have to be added [the amount] cut off from the incomplete fivefold by the pointer. [f. 17 a] The result is the altitude of the sun at that time. And if the pointer of the altitude is on the circumference of the plate of the moon between the two sights, then [the distance] to the vertical line – which bisects the throne – toward the right quadrant is the altitude of the sun. (1-1-9) The [way of] taking the altitude of the moon will be the same, if it is shiny and objects casts shadows on the earth, but this is never used except in urgent cases, because working with the moon produces incorrect results on account of its parallax, the speed of its motion, and the [fast] change in its position [longitude] and latitude. If (1-1-10) the two targets are placed on the spider, then the front of the astrolabe must face you.

(1-1-11) About the determination of the direction of the altitude: whether it is eastern or western is clear to someone who has noticed the course of it (i.e., the sun), except if it is close to the meridian. In that case, one should wait a moment then take the altitude of the sun at noon again. If [the second altitude] is more than the first, the first [altitude] is eastern and if they are equal, the situation is the same (i.e., the first altitude is eastern). If [the second altitude] is less than the first one, it is possible that the first one is western if it is less than the meridian altitude [of the sun on that day]. And that depends on the derivation of it (i.e., the meridian altitude) which will be discussed below, or on the almanac for the year if this contains a list of the maximum altitude of the sun for every day. It is possible that the first [altitude] is for the meridian, if it is equal to [the meridian altitude] known from [the almanac]. It is possible that the first altitude is eastern when it is equal to

the second altitude, and is less than the maximum altitude at the meridian. But this time interval should not be [too] long, for if this is the case, one cannot feel safe from the [following] error and mistake: that the western altitude is greater than the first altitude, although it is eastern, [which could happen] if the [meridian] altitude which is greater than both of them is in [the time interval] between them [and has been ignored by the observer].

(1-2) <Section two:> On taking the altitude of the stars

(1-2-1) And about the altitude of the stars: [the altitude] of the planets is not [often] used, because they are in a similar situation as [f. 17 b] the moon; except if you look carefully at it (i.e., the altitude) and avoid the passing of time. And likewise, [the altitude] of fixed stars is only considered for stars whose names and pointers are recorded on the astrolabe. [For] other [stars] you should use the calculations which are included in astronomical handbooks (*zījēs*) instead of using it (i.e., the astrolabe). (1-2-2) If you want to take the altitude of the star, while the star is not so clear that it is possible to use [its light] as described previously [for the sun and moon], then suspend the astrolabe from your right hand freely, and put the quadrant of the altitude toward that star. Lift the upper edge of the alidade toward it (i.e., the star) and look toward it through the hole of the lower sight by one eye while keeping the other eye closed. Lift the alidade toward it and align it so you see the star through the two holes [at the same time]. Then at that time, look at which degree of altitude the pointer of the alidade is located, just as you did for the sun, then it (i.e., the degree) is the altitude of the star at that time. Whether it is eastern or western can be known as has been explained before for the sun. (1-2-3) Sometimes there is a notch on the upper side of the two sights, above the hole, for finding the stars [in the sky] easily. And if it is hard for you to look through the two holes at the same time, take a small hollow pipe of silver, so that the width inside is exactly six lentils, and it should be completely even and straight, and its inside [should be] devoid of irregularities. Then attach it to the brass, along an arbitrary side of the alidade. Rotate the alidade and look through the interior of the pipe by one eye, as if looking through the holes or the notches. Then, when you see the star through the inside of it (i.e., the pipe), the pointer of the alidade shows its altitude.

(1-3) <Section three:> On the determination of the altitude of mountains and walls

(1-3-1) Taking the altitude of mountains and buildings such as minarets, pyramids and so on, is similar to the [f. 18 a] measurement of the altitude of the stars as has been described before: you look through the two holes of the alidade or [through] the interior of the pipe by one eye toward the summit of the mountain or the minaret or the highest point of the pyramid until you see it. Then [the degree] on which the pointer of the alidade is located, is its altitude at the locality of observation.

<Chapter two

(2-1) Section one:> On the determination of the depression of the sun below the horizon on high mountains

(2-1-1) If the altitude of the sun is taken at the same time at the summit of a mountain and at its foot, there is necessarily a difference, but the very small size of the height of the mountain compared to the large size of the earth makes this difference very small, just like the small size of the earth compared to the large size of the orb of the sun [with radius the distance sun-earth] makes the location [of the sun] with respect to the center of the earth not sensibly different from its location as seen on its (i.e., the earth's) surface. (2-1-2) But if the instrument for measuring the altitude is so large that the [integer] degrees on its [scale] are subdivided, and the mountains are high, then this difference will be perceptible. Abū Ṭayyib Sind ibn 'Alī narrated that Ma'mūn ordered him [to observe the depression of the sun] and he did that and found for it (i.e., the sun) a depression of (?)¹ [minutes] below the East-West line [on the astrolabe]. He presented that to Ma'mūn and he showed him by means of it (i.e., this value) the method for the determination of the diameter of the earth. (2-1-3) And likewise we followed [his example] in the land of India on a mountain which is not very high and its height in cubits does not reach one thousand. We measured on the summit of it (i.e., the mountain), the apparent meeting of the sky and the earth (i.e., apparent horizon). Thus we found its depression [as measured from the summit] below the horizon on the foot of it (i.e., the mountain) [equal to] two-fifths plus one sixth of a degree

¹ The word is illegible.

(i.e., 34 minutes). (2-1-4) So let it be granted that the mountain is as high as possible, such as the mountain of Dīnbāvand (Damāvand) in Ṭabaristān (Māzandarān) or Ḥuvayrith (Ararat) in Azarbāyjān (now Turkey) or Qāqūs (the Caucasus Mountains, between the Black sea and Caspian Sea) in Anatolia, then this depression is even more noticeable in it. If [the depression of] [f. 18 b] the body of the sun is measured on its (i.e., the mountain's) summit by the two holes of the two targets while half of it (i.e., the disk of the sun) has risen or set, the pointer of the alidade is found depressed below the horizontal line [on the astrolabe] by the same magnitude as the depression [of the sun] below the horizon at that locality; this magnitude is not variable and we call it "total" [magnitude]. (2-1-5) So if the lower quadrant, to which the pointer of the alidade [is pointing], is divided [in degrees and minutes] in the same way as the quadrant of the altitude, the magnitude of it (i.e., the depression) is obtained in these units. Otherwise it is necessary to suspend the astrolabe from your left [hand] and put the quadrant of the altitude toward your face, then you measure [the depression of] the sun. Then the altitude of the pointer of the alidade in the altitude quadrant is the magnitude of the depression of the apparent [horizon] in that locality, below the observed horizon at the foot [of the mountain]. And while the sun is between its rising place and the place in which the pointer reaches the East-West line [on the astrolabe], it (i.e., the sun) is depressed by a magnitude less than the total [depression]. And if this total [depression] as obtained for here is retained, and then the altitude in the mountains is increased, then [the new] horizon is depressed below the horizon at the lower place (i.e., the "here").

(2-2) Section two: On [the determination of] the depression of certain things on the earth with respect to high(er) places

(2-2-1) If the object is close [to the observer], even if the place of the observer is not very high, this [type of] depression can exceed the fractions of the one degree, and it becomes a multiple of [one degree]. So when you are in place high above the surface of the earth, above the place which has been indicated to you or of something specific on its (i.e., the earth's) surface, look towards it through the two holes or through the pipe, while the astrolabe is suspended from your left [hand]. If you see it (i.e., the object), the height of the pointer of the alidade on the [scale of] degrees of the altitude [quadrant] is equal to the depression of the object.

Chapter three

(3-1) Section one: On the determination of the [solar] altitude and the direct shadow (i.e., cotangent) from one another

(3-1-1) The shadow is [indicated] on the astrolabe on the circumference of the quadrant opposite to the altitude quadrant, in [a scale of] unequal parts beginning [f. 19 a] at the vertical line. Sometimes [the shadow] is [reckoned] in digits if its gnomon is divided into twelve equal parts, <and sometimes it is reckoned in feet, categorized in two types, one of which is divided into seven equal parts>, and is called “integer” [feet] and “sevenfold” [feet], and the other [type] is when it is divided into six and one-half and it is called “fractional” [feet]. (3-1-2) And to determine what type [of shadow] is used on the astrolabe, put the pointer of the alidade at forty-five degrees on the altitude [quadrant], and read what [number] of the shadow [scale] is shown by the other pointer, then that is the number of parts (i.e., units) of the gnomon by which [we measure] the shadow. So if it shows twelve, the shadow is [measured] in digits, and if it shows seven, the shadow is in integer feet, and if it shows six and a half, [the shadow] is in fractional feet. (3-1-3) Then if the shadow is given in [units of] the type which is [used] on the astrolabe, put the pointer of the alidade on the magnitude of the given shadow, and look at which degree of the altitude [quadrant] the other pointer is located, then that is the altitude of the sun at the time when the shadow has the given magnitude. And if the given shadow is not of the type [used] on the astrolabe, you first have to convert it to that [type], and then do as we have explained. (3-1-4) [The method of] converting it, is that you multiply it by the [number of units of the] gnomon to which you want to convert it and then divide the product by [the number of units of] the gnomon from which you want to convert it, and then the result of the division is [the shadow] converted to the type on the astrolabe. Then you do as we have explained so that you find the altitude. If you want, you can convert digits to integer feet by dividing the digits in half and adding to the half one-sixth of it. [To convert digits] to fractional feet, add to the digits one-twelfth of them and divide the result in half. To convert integer feet to fractional feet, subtract one-fourteenth from the [integer feet], and [to convert integer feet to] digits, subtract one-seventh of its double from its double. And to convert fractional feet to integer [-feet], add one-thirteenth of [the fractional feet], and to convert [fractional feet] to digits, subtract [f. 19 b] one-thirteenth of its double from its double. So, if you have converted the shadow to [units] of the type on the astrolabe, the altitude can be

derived as has been explained, and this is for the direct shadow which is cast on the surface of the earth by a [vertical] gnomon perpendicular to it. (3-1-5) And in the converse situation, if the altitude is given to you and the shadow is wanted, put the pointer of the alidade on the given altitude and look on what number on the shadow [scale] the other pointer is located, then that will be the required [shadow] if the astrolabe is of the indicated type; otherwise convert it (i.e., the shadow) to that [type] as explained.

(3-2) Section two: On the determination of the [solar] altitude and the reversed shadow (i.e., tangent) from one another

(3-2-1) The reversed shadow is cast on a wall facing the sun by a gnomon that is fixed perpendicular to it (i.e., the wall) and it is not usual on the astrolabe. [The method] of engraving it is to divide its gnomon into sixty equal parts and they are called “parts” and they are subdivisions for it. So if an assumed [magnitude for the] altitude of the sun is given to you, and the [corresponding] reversed shadow is wanted, subtract the altitude from ninety and put the pointer of the alidade on the remainder, and take (i.e., find) its [corresponding direct] shadow by means of the other pointer, and multiply it by sixty and divide the result [number of units of the] gnomon of the shadow which is [used] on the astrolabe, then the result is the reversed shadow of the given altitude. (3-2-2) And conversely, if a reversed shadow is given to you and its [corresponding] altitude is wanted, first convert it to the [type of] shadow on the astrolabe by multiplying it by its gnomon and dividing the result by sixty, then put the pointer on the number on the shadow [scale] equal to the result [of the calculation] and look at what degree of altitude the other pointer is located. If you subtract it from ninety, the remainder is [the altitude of] the sun corresponding to that shadow.

(3-3) Section three: [f. 20 a] On the use of the ladder shadow [on the back of the astrolabe]

(3-3-1) This shadow is [in] a square in the quadrant located opposite to the altitude quadrant, [and] one of its angles is at the center [of the astrolabe], the angle opposite to it is located at the middle of the quadrant, and its two closest sides on the circumference [of the square] are divided into the [number of] units of the gnomon of the shadow, which [units] are counted from the two diameters, I mean the horizontal line and the vertical line. So the ends of the two numbers (i.e., the maxima of the two scales) meet at the circumference, and one of these two sides is toward the earth (i.e., horizontal) and the other is perpendicular to it, and in the

middle of the quadrant on its diagonal, the base-number of the division is written: If the shadow is [measured in terms of] digits, one hundred and forty four, and if [the shadow] is [measured in terms of] fractional feet, forty two and a quarter. This quadrant is only [found] in astrolabes with edged alidade [because we need the edge to read the quadrant]. (3-3-2) So if it (i.e., the ladder shadow) is engraved on the back of the astrolabe and an altitude of the sun is given to you and the direct shadow is wanted for that time, put the pointer of the alidade on the given altitude and look through which of the two sides [of the square] the edge [of the alidade] passes. So if passes through the lower [horizontal] side, the number [through which the edge passes] is the shadow; and if it (i.e., the edge) passes through the vertical [side], divide the number [written] in the middle of the square as the base [number] for division, by this number [indicated by the edge of the alidade], then the result is the [direct] shadow. If it (i.e., the result of the division) is in terms of the required type [of shadow], that is it (i.e., the result), otherwise convert it [to the required type]. (3-3-3) And in the converse situation when [the magnitude of] the shadow is given to you and [the magnitude of] the altitude of the sun at that time is wanted, if the shadow is of the type used on the astrolabe [then proceed], otherwise convert it. Then if it (i.e., the magnitude of the shadow, converted if necessary) does not exceed [the units of] the gnomon, put the edge of the alidade on the same [number] on the lower side, then the upper pointer shows the desired altitude. And if the given shadow, converted [if necessary], is more than [the parts of] the gnomon, divide the base number by it, then put the edge of the alidade on the same as it (i.e., the quotient) on the vertical side, then the pointer shows the magnitude of the altitude in degrees (i.e., scale).

(3-3-4) And if the height on **f. 20 b** a wall of a shadow [cast] by another [wall] opposite to it is given to you, look how much is the total height of the wall casting the shadow in the units (i.e., the scale) of the shadow which is given to you, and subtract [the magnitude of] the given shadow from it (i.e., the total height of the shading wall). Multiply the remainder by the gnomon which is [used] on the astrolabe, and divide the result by the distance from the shading wall [to the other wall], then the result is the converted [shadow]. So if this converted [shadow] is equal to the gnomon, the altitude is forty-five degrees, and if the converted [shadow] is less than the magnitude of the gnomon, put the edge of the alidade on the same [number] of the vertical side, then the pointer shows the altitude. And if the converted [magnitude] is more than the gnomon, divide the base number by the

converted [magnitude], then put the edge of the alidade on the same [number] on the lower side, and look at the altitude shown by the pointer, and that is the desired [altitude]. (3-3-5) Sometimes the square is not engraved on the back of the mater but on the back of the plate of the moon, at a center which does not coincide with the pole. Then an alidade is suspended from it which moves smoothly, and is edged and thin, and whose length is equal to the diameter of this square, and which rotates easily around its pole. Its end is pierced so that a plumb line can be attached, in order to prevent it from being an obstacle, and to make its suspension stronger.¹ So if the altitude is taken by means of this plate, the motion of this alidade on the two sides of this square replaces the motion of the edged alidade of the astrolabe on the two [sides].

Chapter four

(4-1) Section one: On the determination of the direct sine (i.e., the normal sine) and the versed sine of an assumed arc

(4-1-1) The arc is a piece of the circumference of a circle, its chord is the straight line between its two ends, and its direct sine is half of the chord of the double of it (i.e., the arc), and its versed sine is the arrow (sagitta) of its double. Thus the square of the chord of the arc is equal to the sum of the squares of its direct and versed sine. (4-1-2) The sine [-lines] on the astrolabe are parallel straight lines on its back, each of them drawn from each of the degrees of altitude [f. 21 a] parallel to the horizontal line. In this way half of the vertical line is divided into ninety unequal parts. (4-1-3) One of the halves of the alidade is divided in the same [unequal parts] and is called the “half for finding arcs” or “ninety-division half”, and its other half is divided into sixty equal parts and is called the “half for finding sines” or “sixty-division half”. (4-1-4) Sometimes, in addition to [the horizontal sine lines] similar lines are also drawn from the degrees of altitude parallel to the vertical line. Some of them (i.e., astrolabe makers) limit the sine lines to the left altitude quadrant, and others extend these lines in both upper quadrants [of the astrolabe] so that the entire [upper] half of it (i.e., the astrolabe) looks like a sieve. (4-1-5) So if you have a known arc and want its direct sine: if the arc is ninety equal degrees, its sine will be sixty equal parts, and it is called the total sine. And if [the arc] is less than ninety degrees, put the sixty-division half [of the alidade] on the vertical line and take [on the circular scale] the degrees of altitude equal to that

¹ The meaning of the text is not clear to me.

arc, and look at the [horizontal] line which begins [at the altitude arc] and [find] at which of the numbered parts on the edge of the alidade this [horizontal] line ends, where the numbers begin at the middle, the pole, and that [number] is the number of its direct sine. And if the arc is more than ninety, subtract it from one hundred eighty, then take the sine of the remainder as has been [explained] before, then that is the direct sine of that arc. (4-1-6) And if the sines (i.e., the sine lines) have not been engraved on the back of the astrolabe, but the two halves of the alidade have been divided as we have explained, then put the edge of the ninety-division half on either the vertical line or the horizontal line, and, beginning from the center of the pole, count [the number] of unequal parts equal to [the number of degrees] of the arc which is given to you. Where you end, put a mark on the line and then rotate the alidade until its sixty-division edge coincides with that [horizontal or vertical] line. Then the part which coincides with that mark is the number (i.e., magnitude) of the direct sine of that [f. 21 b] [f. 22 a] arc. (4-1-7) And if you want the versed sine of an arc, take the difference between it and ninety and obtain the direct [sine] for this difference. If the arc is less than ninety, subtract this sine from sixty, and if the arc is more than ninety, add this sine to that (i.e., sixty), and the result of the addition or subtraction is the versed sine for that arc.

(4-2) Section two: On the determination of the arc corresponding to [a given] direct sine or versed sine

(4-2-1) If you have [the magnitude of] a direct sine and want its arc, put the sixty-division half [of the alidade] on the vertical line and count of its numbered parts beginning from the pole [a number] equal to the sine which you have. Then look at the straight line issuing from this end, and find which degree of altitude it reaches, then that is the arc of the direct sine. (4-2-2) And if the sine-lines are not engraved on it (i.e., the astrolabe) but the two halves of the alidade are divided into the parts [we mentioned], put the sixty-division half on one of the two above-mentioned (i.e., horizontal or vertical) lines and count the same [amount] on it (i.e., the sixty-division half) as the direct sine which you have, and put a mark at the end of the segment [between the pole and the endpoint], then rotate the alidade until its sixty-division half coincides with the segment, and then the [number] of its [scale] divisions which coincides with the mark, is [the magnitude] of the arc of that direct sine. (4-2-3) If it is a versed sine and you want its arc, take the difference between it and sixty, and determine its arc as we have explained for the direct [sine]. If sixty is more than this [versed] sine, subtract this arc from ninety, and if this [versed]

sine is more than sixty, add this arc to ninety, then the result of the addition or subtraction is the arc of this versed sine. And if the sine of any type, direct or versed, is equal to sixty, its arc will be equal to ninety, [f. 22 b] just as if the arc is equal to ninety, its sines of both types will be equal to sixty.

Chapter five

(5-1) Section one: On the determination of the maximum obliquity in the northern and southern direction

(5-1-1) The sun approaches the zenith of the people who live in the inhabited part of the earth, in the northern region [of the sky] during the summer, and is far away from them towards the south during the winter, by a deviation [from the mean] in both directions with the same magnitude, which does not exceed its two limits (i.e., north and south). Each of them is called “maximum obliquity”. And whenever you want to find it on the plate [of the astrolabe], look at the midheaven-line [and consider] the number of almucantars between the celestial equator and either the circle of Capricornus or Cancer: that is the maximum obliquity. If they (i.e., the almucantars) are towards the beginning of Cancer (i.e., the summer solstice), it (i.e., the maximum obliquity) is northern, and if they are towards the beginning of Capricornus (i.e., the winter solstice), it is southern. (5-1-2) If you intend to find it (i.e., the maximum obliquity) by arranging an observation, then observe at the end of spring, when the noon shadows [of the gnomon] shorten on the northern side of the gnomon [for localities north of the Tropic of Cancer], or lengthen on the southern side of the gnomon [for localities south of the Tropic of Cancer], the meridian altitude of the sun every day, when its altitude reaches the maximum magnitude in the middle of the sky, and [after this moment] the going-down of the sun to the western region is definite and continuous. Then you will find [in localities north of the Tropic of Cancer] that it increases every day if it is in the southern region [of the sky] and compared to what you found on the previous day, until the noon-altitude [of the sun] reaches the maximum magnitude of [all] days, and thereafter it starts to decrease. Or you find it [in localities south of the Tropic of Cancer] decreasing if it is in the northern region [of the sky] compared to what you found on the previous day, until the noon-altitude reaches its [minimum] limit of [all] days, thereafter it starts to increase. So, when it (i.e., the sun) is situated at the limit which is followed by decrease after increase, or [is followed by] increase after decrease, you retain it (i.e., its altitude) for what follows. (5-1-3) Then,

observe the meridian altitude of the sun every [f. 23 a] day in late autumn when the noon-shadows [of the gnomon] increase until they also stop at a magnitude, and do not decrease [on the next day] afterwards, but stop at a unique magnitude, and then [after some days] they start to increase, and retain this limit too. Then, return to what you retained first at the beginning of the summer. (5-1-4) And if the decrease followed the increase (i.e., if you are north of the Tropic of Cancer), you subtract the retained [minimum altitude] for the winter from it, and take half of the remainder; it will be the maximum obliquity. But if the summer [limit] turned out to increase after the decrease, subtract the summer [limit] from one hundred and eighty, then subtract the winter [quantity] from the remainder and take half of the difference; that is the maximum obliquity. And if you want, subtract each of the two retained quantities from ninety, add the remainders and take half of the [sum]. Or add the two retained quantities, subtract the sum from one hundred and eighty, and halve the remainder; then in all these methods the result is the maximum obliquity.

(5-2) Section two: On the determination of the amount of declination of each [ecliptical] degree

(5-2-1) On the plate [of the astrolabe], put the [intended] degree on the midheaven-line and look at the almucantars on this line between the degree and the celestial equator, then that is the declination of the degree. So if it is inside the celestial equator on the northern astrolabe or outside it on the southern [astrolabe], the declination is northern, and if it is outside the celestial equator on the northern astrolabe or inside it on the southern [astrolabe], the declination is southern. And the total maximum declination (i.e., the obliquity of the ecliptic) only belongs to two degrees, namely the beginning of Cancer and the beginning of Capricornus. And the partial declination which belongs to the [other ecliptical] degrees is the same amount for four degrees, at equal distances from both sides of the two equinoxes, that is, the beginning of Aries and Libra. (5-2-2) Example: [if] the declination is seventeen degrees [f. 23 b] northern, for the seventeenth degree of Taurus, whose distance from the beginning of Aries – in the [direct] order of the [zodiacal] signs – is forty-seven, then it is also the northern declination of the thirteenth degree of Leo, whose distance from the beginning of Libra in the reverse order of the [zodiacal] signs is also forty-seven degrees, and that is [also] the southern declination of the seventeenth degree of Scorpio and of the thirteenth

degree of Aquarius. It (i.e., the declination) is increasing and rising (i.e., northern) in the spring quadrant, from the beginning of Aries to the end of Gemini, by the same amount by which it is decreasing and rising (i.e., northern) in the summer quadrant, decreasing and falling (i.e., southern) in the autumnal [quadrant], and increasing and falling (i.e., southern) in the winter [quadrant].

(5-2-3) On the boat-shaped astrolabe, you determine it (i.e., the declination) as follows: Place the edge of the mast on the [ecliptical] degree and put a mark on it, then rotate the boat to place the mark on the midheaven-line and count [the number of] the almucantars between it (i.e., the mark) and the celestial equator, that is the declination of the degree.

(5-2-4) If the back of the astrolabe is [engraved with] sines (i.e., sine lines) and there is a small quarter circle around the pole in its sine quadrant, that is the circle of the maximal declination. To determine the declination of the [given ecliptical] degree by it, take the shortest distance between the degree and the closest equinox in either direction, in the [direct] order or reverse order of the [zodiacal] signs; this distance will never exceed ninety degrees. Then count the same distance from the beginning degree of [the circular scale of] the sine quadrant. Put the end of the edged alidade on [that] amount [on the circular scale] and put a mark on [the point of] the edge [of the alidade] which passes through the [maximal] declination circle, then look at the sine [line] which passes through that mark [and find] the degree of [the circular scale of] the quadrant where [the sine line] ends, that is the declination of the degree. (5-2-5) And in the converse situation, if the declination is given and the distance of its degree from the equinox is required, count the same amount as the given declination from the beginning of the [circular scale of] degrees [f. 24 a] on the sine quadrant, and look where the sine [line] which begins at its end (i.e., at the amount) intersects the declination-circle, then mark on it at that [point], and put the edge of the alidade on the mark, then its pointer intersects one of the degrees of [the circular scale of] the quadrant, and that is the distance of the degree with that declination from the equinox. (5-2-6) To determine which equinox it is and whether the distance is in the [direct] order or the reverse order [of the zodiacal signs] will only be possible if one knows the season of the year. So if it is spring, the distance is in the [direct] order [of the signs] from the beginning of Aries, and if it is summer, it is in the reverse order from the beginning of Libra, and if it is autumn, it is in the [direct]

order from it (i.e., the beginning of Libra) and if it is winter, it is <from> the beginning of Aries in the reverse order.

(5-3) Section three: On the determination of the distance of a star from the celestial equator

(5-3-1) The distance of the sun from the celestial equator is the declination of its [ecliptical] degree, and we do not take into account planets which are different from it (i.e., the sun) in this chapter. For fixed stars whose pointers are constructed on the astrolabe: to determine its distance from the celestial equator, its pointer should be placed on the midheaven-line, then [the number of] almucantars which are between it and the celestial equator are the required distance which is called its “declination” or “declination of transit”. And for [finding] the direction of its [declination], look at the vertex of its pointer: if it is located inside the celestial equator in the northern astrolabe, or outside it on the southern [astrolabe], that distance is northern, and if it (i.e., the pointer) is located outside the celestial equator on the northern [astrolabe] or inside it on the southern [astrolabe], that [distance] is southern. (5-3-2) And for [a fixed star] which does not have a pointer on the astrolabe, there is no way to know the desired [distance] by it (i.e., the astrolabe) unless there is a plate on the astrolabe for the latitude of sixty-six plus one quarter plus one-sixth of a degree, and the almucantars of altitude and depression should be engraved on it (i.e., the plate of the astrolabe) [f. 24 b] together and select (i.e., consider)¹ the azimuth-circles on both [parts] of them [altitude and depression]. If it (i.e., the plate) is in it (i.e., the astrolabe) according to this description, put the pointer of the beginning of Capricornus [on the northern astrolabe] or of the beginning of Cancer [on the southern astrolabe] on the midheaven-line. Then obtain the azimuthal circle which passes through the [ecliptical] degree of the given star which does not have a pointer on the spider, and count on it (i.e., the azimuthal circle), starting at its degree on the ecliptic, by means of the almucantars exactly the same [number] as [the number of] the [ecliptical] latitude of the star: if its [ecliptical] latitude is northern, then on the northern astrolabe count [the latitude] inside the ecliptic and on the southern [astrolabe] count outside it, and if its [ecliptical] latitude is southern, on the northern [astrolabe, count] outside the ecliptic and on the southern [astrolabe,

¹ The Arabic “*ikhtar*” can also be read as “*anqar*” and translated as “engrave”.

count] inside it. Where your [counting] ends will be the place of the pointer of that star on the plate. So around it (i.e., the star) towards the ecliptic, attach a thick [piece of] paper with a pointed end to the brass [of the spider in such a way that] its pointed end represents the pointer of the star which you have marked on the plate. Then rotate the spider until the pointed end of the paper coincides with the midheaven-line, and measure by it as has been explained for stars which have been recorded [by a pointer] on the astrolabe. (5-3-3) And if you want [to determine] the distances of the planets, apply the same instruction to its [ecliptical] degree and its latitude in its direction (i.e., north or south), until its pointer has been realized, and do with it what has been explained above.

(5-3-4) In the boat-shaped astrolabe, place the edge of the mast on the middle of the circle of that star and put a mark on the [point] on the [edge] which coincides with it, then this mark will represent its pointer, so if you put it (i.e., the mark) on the midheaven-line and count the almucantars from it (i.e., the mark) towards the celestial equator, then it will be the distance of that star from the celestial equator.

(5-4) Section four: On the determination of the stars passing through the zenith and [the stars] passing [the meridian] north or south [of the zenith]

(5-4-1) If the sun reaches each of the equinoxes, it passes through [f. 25 a] the zenith of the equator and of its inhabitants. After [passing through] the beginning of Aries, it (i.e., the sun) inclines from the zenith towards the north, and after [passing through] the beginning of Libra, it [inclines from the zenith] towards the south. In localities with [non-zero] latitude, which are in the northern region [with respect to the equator], it is (i.e., culminates) south of the zenith [when it is] in the two equinoxes. There are two types of localities that are distant by their [non-zero] latitudes from (i.e., not located on) the equator: one of them is called “with two [types of] shadows” and the other [is called] “with only one [type of] shadow” (i.e., a northern shadow). The first type consists of [localities] whose latitudes are less than the obliquity of the ecliptic; then the sun passes through the zenith twice a year, when it (i.e., the sun) is located in two [ecliptical] degrees which are not the equinoxes and which have equal declinations. The time interval between the two passings through the zenith shortens as the latitude increases, until the latitude is equal to the obliquity of the ecliptic. Then the two passings through the zenith

coincide and the noon shadow shortens and becomes slight until it corresponds to nothing. That is the beginning of the localities with only one shadow.

(5-4-2) So if you want to determine the two different [ecliptical] degrees of the passings through the zenith, rotate the spider on the plate for the latitude for which one wants to determine that (i.e., the two mentioned degrees), and look at the degrees of the spring quadrant and the summer quadrant which pass through the point 90 of the almucantars – which is their limit – and in the plates for these localities with two shadows, this point is located between the celestial equator and the Tropic of Cancer. So if you have determined the two degrees which pass through the point 90, the one in the spring quadrant is [the degree] in which the first passing through the zenith happens, and the one in the summer quadrant is [the degree in which] the other zenith passing [happens]. The time interval between them is the period in which through which the sun traverses [the arc] between the two degrees, [to find it] you take by approximation for every degree of [the interval] one day. (5-4-3) For the second type of localities, whose latitudes are more than the obliquity of the ecliptic, the sun does not pass through the zenith of any of them, and the end of the noon shadow of the gnomon is never found [f. 25 b] towards the south, unlike [the localities] with two shadows, where [the end of the shadow] is sometimes towards the north, and towards the south at other times [when the sun is] between the two zenith passings. (5-4-4) The [locality] whose latitude is equal to the obliquity is the beginning of the second type [of localities] but it can also be considered as an intermediate between the two types. For it is like [localities] with two shadows, because the sun passes through the zenith once, at the beginning of Cancer, and it is like [the localities] with only one shadow since the noon shadow of the gnomon is never towards the south. For this latitude, the point 90 is located exactly on the circumference of the Tropic of Cancer, and for [latitudes] with only one shadow, [the point 90] is located inside this tropic. (5-4-5) And this is for the northern astrolabe which is more clear than in the southern [astrolabe], except in case it (i.e., the southern astrolabe) has a considerable space outside the Tropic of Cancer, in which the remaining [parts of the] southern almucantars have been engraved. (5-4-6) And regarding the fixed stars, put their pointers on the midheaven-line. If [a pointer] passes through the point 90, it (i.e., the star) will pass through the zenith at that latitude for which this plate has been drawn. If [the pointer] passes behind it towards the rim in the

northern [astrolabe], or in front of it towards the pole in the southern [astrolabe], then [the star] passes [the meridian] south of the zenith at that latitude. [Stars] whose [pointer] passes in front of it (i.e., 90) towards the pole in the northern [astrolabe] or behind it towards the rim in the southern [astrolabe], pass [the meridian] north of the zenith at it (i.e., that latitude).

Chapter six

(6-1) Section one: On the determination of the stars rotating in the orbit of an [ecliptical] degree and the stars which do not [rotate in such an orbit]

(6-1-1) Each star whose distance from the celestial equator is less than the obliquity of the ecliptic, necessarily rotates in the orbits of two ecliptical degrees which are northern if the distance of the star [from the celestial equator] is northern and southern if [the distance of the star from the celestial equator] is southern. So if you assume a star and you want to know whether it is like this, put its pointer which is engraved on the spider or [f. 26 a] added [to the spider] as [a piece of] paper as we have explained, on the midheaven-line. If it (i.e., the pointer) is located between the two tropics of Cancer and Capricorn, it (i.e., the star) is like this (i.e., it rotates in the orbit of an ecliptical degree), and if it is located outside or inside both of them, it (i.e., the star) does not belong to those which are in the orbit of any [ecliptical] degree. (6-1-2) And [for] the determination of the two [above-mentioned ecliptical] degrees, you should mark the place where its pointer meets the midheaven-line, then rotate the spider back and forth, and the two degrees which pass through the mark are the [ecliptical] degrees in whose orbit the star rotates. If its distance [from the celestial equator] is northern, one of the degrees passing through its mark belongs to the spring quadrant and the other to the summer quadrant, and if its distance [from the celestial equator] is southern, one of the two degrees is in the autumnal quadrant and the other is in the winter [quadrant]. If the pointer coincides with the Tropic of Cancer or the Tropic of Capricorn, it (i.e., the star) rotates in the orbit of a unique [ecliptical] degree which is the beginning of one of them (i.e., Cancer or Capricornus): if its distance [to the equator] is northern, then the beginning of the sign of Cancer, and if southern, then the beginning of the sign of Capricornus.

(6-2) Section two: On the determination of the permanently visible (i.e., circumpolar) stars and permanently invisible stars at a [given] locality

(6-2-1) If the distance of any star from the celestial equator is equal to the difference between the latitude of the locality and ninety, it meets the horizon during its [daily] rotation, but does not rise or set. If its distance from the celestial equator is less than the [above-mentioned] difference, it rises on the eastern side and sets on the western side [of the horizon]. And if its distance [from the celestial equator] is more than the [above-mentioned] difference, then you look: if its distance is northern, it will be permanently visible, and if [its distance is] southern, it will be permanently invisible. If the excess [of the distance] for a permanently visible star over the [above-mentioned] difference is more, then its circular path in the sky is higher, it is farther away from the earth (i.e., the horizon), and its movement is seen to be slower because of its closeness to the [celestial] pole. (6-2-2) And to determine this [f. 26 b] by the astrolabe, if there is a pointer for it (i.e., the star) on the spider, or [a pointer] is made for it (i.e., the star) of paper, you put its pointer on the “line of the pillar of the earth” (i.e., the part of the meridian line below the pole). Then if [the pointer] is located exactly on the horizon, it (i.e., the star) is tangent to it (i.e., the horizon) in its [daily] rotation. On the northern astrolabe, this is the beginning of the permanently visible [stars], and on the southern [astrolabe] this is the beginning of the permanently invisible [stars]. And if it (i.e., the pointer) is located under it (i.e., the horizon) in the night region, then on the northern astrolabe [the star] would be rising and setting, and on the southern [astrolabe] it would be permanently invisible. If it (i.e., the pointer) is located above it (i.e., the horizon) in the day region, it (i.e., the star) is on the northern [astrolabe] permanently visible, and on the southern [astrolabe] it rises and sets.

(6-3) Section three: On the determination of the minimum and maximum altitudes of permanently visible [stars]

(6-3-1) From what has been explained it has become clear that there are three types of stars in every locality with [non-zero] latitude: [stars] which rise and set in it (i.e., the locality), describe a day arc above the earth (i.e., the horizon) and a night arc below it; permanently visible [stars] which rotate around the North Pole, are visible and neither rise nor set and their entire orbit is [their arc of] day; and permanently invisible [stars] which rotate around the South Pole below the earth,

are invisible, neither rise nor set and their entire orbit is [their arc of] night. On the equator there are only [stars of] the first type; all stars rise and set there in such a way that the times of their day and their night (i.e., their day arc and night arc) are the same. Then, in the localities outside the equator they (i.e., the stars) become a mixture: the first type turns into the second [one] by going towards the north, and the second [type] turns into the first [one] by returning from the north, and likewise the third [type] turns into the first [type, by going] towards the south, and the first [type turns] into the third [type] by returning from the south. (6-3-2) And one of the characteristics of the permanently visible [stars] is that every day and night (nychthemeron) they pass through the meridian circle twice above the earth (i.e., the horizon): once above the [celestial] pole [f. 27 a] and this can be distinguished because it is higher than Polaris, which is the daughter farthest away from the small “Na‘sh”¹ and the closest [of the two meridian passings] to the zenith, and this [position] is its maximum altitude; and the other [transit of the permanently visible star] is below the pole and it can be distinguished because it is below Polaris and by its [greater] distance from the zenith towards the northern horizon, and that is its minimum altitude. (6-3-3) And if you want to determine it (i.e., the maximum and minimum altitude of a permanently visible star) by the northern astrolabe, because there is not any approach (i.e., easy way) to [find] it by the southern astrolabe, put the pointer of the [permanently visible] star on the midheaven-line between the pole and the throne, and look at the almucantar which coincides with it, then that (i.e., the number) is its maximum altitude. Rotate it (i.e., the pointer) until it coincides with the midheaven-line below the pole, between [the pole] and the horizon, and look at the number of the almucantar on which the pointer is located, then that is its minimum altitude.

(6-3-4) If you consider something like that by means of the southern astrolabe, then the fixed stars which rotate around the pole below the horizon are permanently invisible, and there is no use in knowing their maximum depressions. The other [stars] rise and set, and you do not find any permanently visible [star] except if the plate is so big that the horizon is completely drawn on it, and then beyond it (i.e., the horizon) is [also] the circle tangent to it (i.e., the horizon) which is the first [orbit of the] permanently visible [stars], and [the plate also contains] the remaining orbits inside it at the latitude of that place. And I do not think if

¹ An Arabic star name for the four stars forming a parallelogram in Ursa Minor.

anybody has bothered to do that, because it is difficult to make and not elegant in appearance.

Chapter seven

(7-1) Section one: On the determination of the latitude of a locality by means of stars which are permanently visible in it

(7-1-1) The latitude of a locality on earth is the shortest spherical distance between that locality and the equator. Someone who is unable to travel along it (i.e., the distance) and to measure it – because of the long distance and the mountains, rivers and seas which are obstacles in it – [can] suppose it similar to [the arc] of the sky [f. 27 b] between the zenith and the celestial equator on the meridian circle, or make it equal to the altitude of the North Pole for the senses (i.e., the difference is negligible). And these two [methods] are sufficient for determining the latitude of the locality. Since the altitude of the pole and the latitude are the same, both of them are nonexistent (i.e., zero) on the equator because the latitude is [counted] from it, but it does not have latitude and the pole is attached to its horizon and is not above it. If the locality deviates from the equator, the altitude of the pole is above it, [and equal to] the magnitude of its deviation from it (i.e., the equator). (7-1-2) If it (i.e., the pole) has [non-zero] altitude, stars which rotate around it are [always] visible (i.e., above the horizon) in that locality and do not rise from the east, nor set in the west, but during the day they are invisible because of the sunlight. The number of these stars is low if the orbit of the latitude is small, and the number is big if it (i.e., the orbit) is big. [Examples] among these stars are Kochab and Pherkad (*al-farqadān*, β and γ Ursae Minoris) and the rectangle (*na'sh*, i.e., the stars α , β , γ , δ Ursae Majoris) from the daughters of the rectangle (i.e., Ursa Major the Big Dipper), which are circumpolar in the area of the Maghreb. (7-1-3) Some of the daughters [of the rectangle] are visible in the third climate, and all of them are in the fifth climate [always] above the horizon. And if the orbit of the star is completely visible, it (i.e., the star) meets the meridian circle above the pole at its maximum altitude, and a second time below the pole at its minimum altitude. (7-1-4) If you want to determine the latitude of a locality by means of one of the permanently visible [stars], choose one of the well-known [stars], which you cannot easily confuse with [another star]. Observe its maximum altitude, at the moment when it (i.e., the permanently visible star) stops to increase

its altitude and starts to decrease [its altitude], and retain it. It (i.e., the maximum altitude) is not useful without obtaining the minimum altitude, so observe it (i.e., the altitude) when it stops decreasing and starts to increase. And it is obvious that observing the stars by eyesight is possible only at night. The remaining sunlight in the beginning or end of a night makes it impossible to observe the same star on the meridian circle two times during the same night or in successive nights, except at certain localities in the north. At other [localities] an interval not less [f. 28 a] than a month is needed between the two observations. (7-1-5) So when you have obtained the two altitudes of a star, the minimum is necessarily northern, but three cases are possible for the maximum [altitude]: in the first case it is northern, in the second case it is southern, and in the third case it is neither northern nor southern but exactly ninety degrees. In the first case, where both altitudes are northern because the star passes [the meridian] north of the zenith, add them and take half of the sum, then this is the latitude of the locality. If you want, add half of the difference between them to the minimum or subtract it from the maximum, then the latitude of the locality is obtained in both [methods]. In the second case, where the directions of the two altitudes are different because the star passes [the meridian] south of the zenith, subtract the maximum from one hundred and eighty and add the minimum to the remainder, and take half of the sum, then this is the latitude of the locality. If you want, subtract the northern [altitude] from the southern [altitude], halve the remainder and subtract it from ninety, then the result is the latitude of the locality. In the third case, where the maximum is [equal to] a quadrant of a circle (i.e., 90°) because the star passes through the zenith, do exactly as explained for the first case. If in this third [case] it happens that the minimum [altitude] disappears (i.e., becomes zero) and the star does not rise and set, its orbit is tangent to the horizon, so then the latitude is exactly forty five [degrees], nothing else. But the tangency of the star to the horizon cannot be observed by the senses although it can be imagined in thought.

(7-2) Section two: On the determination of the latitude of a locality by means of stars which rise and set at it (i.e., that locality)

(7-2-1) If a star which rises and sets in a [given] locality is not recorded on the astrolabe, it is not useful for determining the latitude. This is because of the need for calculation in most [parts] of the operations, and because of those [calculations] it does not belong to the type of applications of the astrolabe. But if the chosen star

is recorded on it (i.e., the astrolabe), observe its [f. 28 b] eastern altitude until it stops to increase and its body is [exactly] in the middle of the positions of its rising and setting, and that is its meridian altitude. (7-2-2) When you have obtained it, put the pointer of the star on the midheaven-line and look at the [number of] almucantars between it and the celestial equator and retain it (i.e., the number). If [the star-pointer] is inside the celestial equator, then it (i.e., the star) is northern, or if it is outside it, then it (i.e., the star) is southern, and [if] the altitude which you found is taken on the side of the south, subtract the altitude from ninety and add the remainder to the retained [number], then the sum is the latitude of the locality. And if the altitude is exactly ninety degrees, the retained [number] is the latitude of the locality. And if the found altitude of it (i.e., the star) has been taken from the north, because the star passes [the meridian] north of the zenith, subtract the altitude from ninety and subtract the remainder from the retained [number], then the result is the latitude of the locality.

(7-3) Section three: On the determination of the latitude of a locality by means of the sun

(7-3-1) This [method] is analogous to [the method of determining the latitude by means of] stars which rise and set in the locality. So if you want [to do] that, observe the maximum altitude of it (i.e., the sun) on that day and whether its direction is southern or northern. Then derive its declination and the direction of it (i.e., the declination) for that moment. Then, if the same direction is assigned to the altitude and declination, and the direction is southern, add the declination and the altitude, and subtract the sum from ninety, then the remainder is the latitude of the locality, but if the direction [of the altitude and the declination] is northern, subtract ninety from the sum, then the remainder is the latitude of the locality. If different directions are assigned to the altitude and the declination, take the difference between the declination and the altitude, and subtract it (i.e., the difference) from ninety, then the remainder is the latitude of the locality. If the altitude is exactly ninety [degrees], you do not need it (i.e., the calculation), for then the declination of the sun is [equal to] the latitude of the locality.

(8-1) Section one: On the determination of the altitude of the sun or a star in the meridian circle

(8-1-1) The altitudes of the sun and stars are [measured by means] of a great circle passing through the zenith. If [this circle] passes through the pole of the universe, it is the meridian circle, and the altitude which is found on it is the meridian altitude. So if you want [to determine] it for the sun, use its [ecliptical] degree for that day, and if you want [to determine] it (i.e., the meridian altitude) for a fixed star, use its star-pointer. Put the degree or the star-pointer on the midheaven-line, then the almucantar which passes through it (i.e., the degree or pointer) is its meridian altitude. If it is with respect to the point 90 (i.e., projection of the zenith) towards the rim on the northern [astrolabe] or towards the pole on the southern [astrolabe], the altitude is southern, and if it is with respect to the point 90 towards the pole on the northern [astrolabe] or towards the rim on the southern [astrolabe], the altitude is northern. If the degree or the star-pointer passes through the point 90 itself, that altitude is exactly ninety [degrees] and not attributed to the north or south. (8-1-2) If the line of noon is engraved on the back of the astrolabe, it is on the quadrant opposite to the altitude quadrant. [To use it,] find the position of the sun in its zodiacal sign, and look at the end (i.e., intersection) of the circle [on the quadrant] through this [ecliptical] degree and this line [of noon], and put the edge of the alidade on it (i.e., the intersection), then the altitude degree shown by the pointer is the meridian altitude of the sun in that day.

(8-2) Section two: On the determination of the noon shadow and the corresponding [solar] altitude from one another

(8-2-1) The noon shadow at the moment of noontime is called Abū Mirja‘a (“father of return”) because the shadows of the gnomon, at the beginning of the day, have [their] greatest length, and their amounts shorten and decrease continuously until reaching the shortest [size] at noon, then they start to lengthen and return to their earlier amounts [f. 29 b] until reaching the greatest length again at nightfall. (8-2-2) If you want to know the shortest of the day shadows on a certain day, determine the noon altitude of the sun and put the pointer of the alidade on the corresponding altitude degree [on the rim], then the shadow division (i.e., marking on the shadow

scale) upon which its other pointer falls is the noon shadow. If the altitude is southern, the end of the shadow is toward the north, and if the altitude is northern, the end of the shadow is toward the south, and if it (i.e., the altitude) is exactly ninety [degrees], the [number of] feet of their shadows becomes small and then completely annihilated at midday.

(8-2-3) And if [the length of] the noon shadow is known, you put the pointer of the alidade on it, and then its other pointer shows you the noon-altitude. And if you want to put the edge of the alidade on the intersection of the circle [of the ecliptical degree] of the sun and the line of noon, put its pointer on the divisions (i.e., the scale) of the shadow at the [given] noon shadow; but by this method it is difficult to determine the direction of the end of the shadow and the direction of the altitude, except for an astrolabe maker who can achieve this by tricks, if he is blessed by a perfect knowledge and a complete adeptness in [this] science, together with a fine competence, intelligence and skill in astrolabe making.

(8-3) Section three: On the determination of the [solar] altitude

[corresponding to] the two ‘aṣrs [prayer times] based on the shadow of [noon plus] one time [the gnomon] and the shadow of [noon plus] twice [the gnomon]

(8-3-1) When you have determined the noon shadow as a known magnitude of digits or feet, add to it the gnomon which belongs to [the same scale], then the sum is the shadow [length] of the gnomon for the beginning time of the ‘aṣr prayer based on the *Hijāzī* school. And if you put the pointer of the alidade on the same amount of the divisions of the shadow, its other pointer will show the altitude of the sun in the beginning time of the ‘aṣr. (8-3-2) Then add to the first ‘aṣr [the length of] the gnomon once again, then the sum is the shadow of the end of the ‘aṣr, but that is the beginning of its time [interval] based on the *Irāqī* school. From this you [can] determine the altitude of the sun as has been explained before. [f. 30

a] (8-3-3) And between the leaders of the two factions there are many differences and particular traditions regarding this subject, which are outside the scope of our discussion but they concern what we have said. They (i.e., the leaders) determine it (i.e., the ‘aṣr prayer time) by means of one times or two times, that is one gnomon or two gnomons after (i.e., added to) the noon shadow. And some of them (i.e., the leaders) do not mention the noon shadow together with (i.e., which should be added to) one or both of them (i.e., the gnomons), and they do not know the subject

exactly, whether they should mention or omit it (i.e., the noon shadow), so they cause mistakes to others, and trouble and hardship for themselves.

(8-3-4) And if the line of noon has been engraved on the back of the mater of the astrolabe, the lines of the beginning and the end of the *'aṣr* [prayer time] are also engraved together with it, intersecting the circles. So if you know the intersection point of the circles of the [ecliptical] degree of the sun with each of them (i.e., the *'aṣr* prayer time lines) and do as we have explained for the line of noon, you will obtain their altitudes and shadow [lengths] in any scale you want.

(8-4) Section four: On the determination of the times of the beginning of dawn and the end of dusk

(8-4-1) The sunlight causes three types of rising [phenomena] which rise before [the sun] itself. The first is the “false dawn” (*ṣubḥ kāḍib*) which is oblong, high, and thin, and it is called the “wolf tail” (*dhanab al-sirḥān*) to which it is similar, and it is not used in any religious rules and bans. The second is the dawn which extends across the horizon, and the rules for fasting and prayer are based on it. The third one is the redness spread out on the horizon when sunrise is coming, and it (i.e., the redness) surrounds it (i.e., the sun) until it rises in it, and it (i.e., the redness) will remain in what follows until it turns yellow when its (i.e., the sun’s) altitude increases, and then it remains in this condition [of being yellow].

(8-4-2) And for the sun there are also three types of dusk, i.e., remaining phenomena which follow it (i.e., the sun) after sunset, and these phenomena are connected to the [three] dawns in inverse order. The first is the redness spread out above the horizon after sunset, like the third dawn, and this is dusk according to the followers of the Prophetic tradition. The second one is the whiteness extended above the horizon, like the second phenomenon of dawn, and this is dusk according to the school of the speculative jurists. [f. 30 b] The third one is a thin oblong whiteness which remains until the *'atama* and a bit after, and which corresponds to the first phenomenon of dawn, so you can call it “false dusk” or whatever you want.

It is not used in any rule, and the common people hardly ever notice it, just as they [hardly ever] notice the “false dawn”. (8-4-3) For [the phenomena] which are used in [religious] rules, there are <on> some astrolabes two arcs similar to the

seasonal hour lines; with “beginning of dawn” written on the eastern [arc] and “end of dusk” written on the western [arc], and the degree of the sun reaches these two [arcs] at these two times (i.e., beginning of dawn and end of dusk). If you want to know the time [interval] between the beginning of dawn and sunrise, and [if] the two above-mentioned lines are engraved on the astrolabe, put the [ecliptical] degree of the sun on the arc of the beginning of dawn and make a mark on the location of the pointer [of the alidade] on the rim, then rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the [ecliptical] degree of the sun coincides with the eastern horizon. Then of the degrees which the pointer moved from the mark, every fifteen degrees is equal to one equal (i.e., equinoctial) hour, and of [the remaining degrees] which are less than fifteen, every degree is equal to four minutes of an hour, and they are until sunrise. If you put the degree of the sun on the line of the beginning of dawn, look up the fixed star whose pointer coincides with the eastern horizon, then it will be the rising [star] at the time of [beginning of] dawn, and the [fixed] star whose pointer coincides with the western horizon will be the setting star for that moment. (8-4-4) And in the same way, if you want to [know] the interval between sunset and the end of dusk, put the [ecliptical] degree of the sun on the western horizon and mark the position of the pointer [of the alidade] on the rim. Then rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the degree of the sun reaches the line of the end of dusk, and [look] how far the pointer moved from the mark: every fifteen degrees is one equal hour, and if [remaining] degrees are less than fifteen, multiply them by four, then the result will be minutes of an hour. Likewise, notice [f. 31 a] which star-pointer coincides with the eastern horizon at that moment, that [star] will be rising, and [the fixed star whose pointer] coincides with the western horizon is the setting [star].

(8-4-5) If these two arcs have not been engraved [on the astrolabe], put the [ecliptical] degree diametrically opposite the [ecliptical] degree of the sun on the western side of the almucantar of eighteen, and place a mark on the location of the pointer [of the alidade on the rim]. Then rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the [ecliptical] degree [of the sun] coincides with the eastern horizon, then the interval which the pointer moved from the place of the mark is the revolution in time-degrees, so convert it to hours and their fractions. And for the determination of the [time] interval between sunset and the end of dusk, put the degree of the sun on the western horizon and place a mark on the location of the pointer [on the rim].

Then put the [ecliptical] degree diametrically opposite to the degree of the sun on the eastern side of the almucantar of eighteen, and notice how much the pointer moved away from the mark, then that is the [arc of] revolution between them, so convert it to hours.

(8-4-6) And on mixed astrolabes these two lines are not engraved, so use the second method after observing the condition which is general for all its types: you look at the zodiacal sign of the sun and its projection [on the astrolabe] and find which of the two projections (i.e., northern or southern) was used, and then use it for the almucantars of the same type [of projection] and [also] for the horizon, whether it is the common or the transverse [horizon]; and do not use two conflicting things, I mean a zodiacal sign in northern projection on a horizon or almucantar in southern projection.

(8-4-7) On the boat-shaped astrolabe, put the edge of the eastern horizon of the spider – which is the left side of the boat – on the [ecliptical] degree of the sun on the plate, and place on the edge of the horizon a mark on the degree. Similarly, put the edge of the western horizon – which is the right side of the boat – on the [ecliptical] degree diametrically opposite the degree of the sun, and place a mark for the diametrically opposite degree on the edge [of the horizon]. Put this mark on the almucantars of eighteen in the west side, and put a mark on [the position of] the pointer of the mast, that is the straight perpendicular, on the rim. Rotate [f. 31 b] the boat directly (i.e., clockwise) until the degree-mark coincides with the horizon of the plate. Then the [interval] moved by the pointer from [the place of] the mark, is the arc of revolution of the time interval between the beginning of dawn and sunrise, and it is the remaining [part] of night. (8-4-8) And for the end of dusk, put the degree-mark [of the eastern horizon] on the almucantar of eighteen among the eastern almucantars, then rotate the boat conversely (i.e., counter-clockwise) until the degree-mark coincides with the eastern horizon on the plate. Then the interval moved by the pointer from [the place of] the mark, is the arc of revolution between the two disappearances (i.e., sunset and the end of dusk).

Chapter nine

(9-1) Section one: On the determination of right ascensions of [zodiacal] signs and of assumed arcs on the ecliptic, and the converse of this [process], that is the transformation of these ascensions into equal (i.e., ecliptical) degrees

(9-1-1) Assumed arcs on the ecliptic, regardless whether they are complete signs, less than one sign or multiple [signs], are measured in parts (i.e., units) called “equal degrees”, and on the celestial equator, [the units are called] “time-degrees” (literally: “times”) or “ascensions”. The ascensions of all assumed arcs of the ecliptic are the time-degrees which rise simultaneously with them, and the corresponding descensions are the time-degrees which set simultaneously with them. (9-1-2) If the latitude of the horizon on which the rising or setting happen is zero, the ascensions are called ascensions “in the right sphere” (sphaera recta),¹ but for the two [ascensions and descensions] it is better not to use this term, for reasons whose explanation is outside the scope of this work. The best is to use “on the equator” instead of it, and we have done this. The descensions of every arc here (i.e., on the equator) are equal to its ascensions on it (i.e., the equator).

(9-1-3) And if the horizon belongs to a locality with non-zero latitude, [its ascensions] are called “ascensions at the locality” and they are different from the descensions, which are at it (i.e., the locality) equal to the ascensions of the diametrically opposite arcs. In some cases the ascensions at the locality are more than the ascensions [of the same arcs] at the equator, and in other cases they are less, and the difference between them is called the “ascensional difference”. (9-1-4) So, if a zodiacal sign <or> [an arc] less [f. 32 a] or more than it is assumed for you and its right ascension is required, put the beginning of your assumed arc on the midheaven-line and mark the position of the pointer [of the spider, at the beginning of Capricornus] on the rim. Then rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the end of your assumed arc coincides with the midheaven-line, then, the interval which the pointer has moved from the mark is the [right] ascension of your assumed [arc], which can be a zodiacal sign or more or less. (9-1-5) And if the right ascension of [an arc] from the beginning of Aries to an assumed ecliptical degree is wanted, put the beginning of Aries on the midheaven-line and mark the [position of the] pointer [on the rim], then rotate the spider until

¹ We will translate this expression as “right ascension” in the following.

that [assumed ecliptical] degree coincides with the midheaven-line, then [the interval] which the pointer has moved away from the mark is the desired ascension. (9-1-6) And if it (i.e., the right ascension) is wanted from the beginning of Capricornus, for this method is sometimes used: then either you put the assumed degree on the midheaven-line and look at the number on the [scale of the] rim which the pointer shows – the numbers begin from the middle of the throne and they continue (i.e., increase) towards the right – then that is the required ascension; or you always add ninety to the result which you obtained from the beginning of Aries, then it will be converted from the beginning of Aries to the beginning of Capricornus.

(9-1-7) And for [doing the] converse [process] for these ascensions and taking the amounts of their equal (i.e., ecliptical) degrees: If you are given the [right] ascension of an arc of the ecliptic, and either its beginning or its end is [also] known, and you want [to determine] the other (i.e., the end or the beginning): put the known one of the two (i.e., the beginning or end) on the midheaven-line and mark [the position of] the pointer. If the known [point] is the beginning of the arc, count from it (i.e., the mark) towards the right [an amount] equal to the given ascension, and if the known [point] is the end point of the arc, [count the amount from the mark] toward the left. Then put the pointer on [the end of] whatever of the amounts it is (i.e., the amount which the pointer has rotated), then [the degree] of the ecliptic that coincides with the midheaven-line is the end point [of the required arc] [f. 32 b] if the beginning was supposed [to be known]; or it is the beginning [of the required arc] if the end was supposed [to be known]. Since you now know the beginning and the end [of the required arc] in the ecliptic, the [interval] between them are the equal degrees which have that ascension. (9-1-8) And if the assumed ascension is [reckoned] from the beginning of Aries or the beginning of Capricornus, put either of them on the midheaven-line and count from the pointer toward the left [an amount] equal to the [assumed] ascension, and move the pointer to the amount [on the rim] which has been reached. Then the equal (i.e., ecliptical) degree which coincides with the midheaven-line is the degree to which the given ascension belongs. The conversion of ascensions into equal (i.e., ecliptical) degrees is called “transforming into an arc”.

(9-1-9) To determine the right ascension on the boat-shaped astrolabe, [you should] put the edge of the mast on the degree which is the beginning of the given

[arc of] equal (i.e., ecliptical) degrees and mark the location of the pointer on the rim. Then rotate the boat (*zawraq*) conversely until the edge of the mast is located on the degree which is the end of [the given arc of] equal (i.e., ecliptical) degrees. Then the [interval] moved by the pointer of the sail away from the mark is the required ascension.

(9-1-10) And on the crescent-shaped astrolabe, the pointer [of the spider] sometimes meets the parts (i.e., the scale) of the rim and sometimes does not reach [the scale] because [the rim] is cut off. But then it can be replaced by every straight line which passes through the center of the spider and reaches it, such as the interior edge of the straight line which divides the ecliptic into two halves (i.e., the northern and the southern parts), and also lines similar to it, after it has been determined and retained. (9-1-11) So if you want [to determine] the [right] ascension of [an arc consisting of] a zodiacal sign or part of it or one sign together with [another] sign, so look: if both the beginning and the end of the assumed [arc] are located in the same half of the ecliptic, either the northern or southern half, put the beginning ecliptical degree [of the arc] on the midheaven-line, and mark the position of the pointer or its replacement on the rim. If the given [arc] belongs to the southern half [of the ecliptic], rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the end of those equal (i.e., ecliptical) degrees (i.e., the end of the arc) assumed by you coincides with the midheaven-line. Then [the interval] moved by [f. 33 a] the pointer – or its replacement - from the mark is the right ascension of the [given arc of] equal (i.e., ecliptical) degrees. If it (i.e., the assumed arc) belongs completely to the northern half [of the ecliptic], then do as has been explained above, but the rotation [of the spider] should be in the converse direction to obtain the ascensions. And if part of your assumed [arc] belong to one half [northern or southern] and part to the other, determine the ascensions of both parts [individually] by the two different rotations, and add the two results, then the sum will be the right ascension of your assumed [arc] of equal (i.e., ecliptical) degrees.

**(9-2) Section two: On the determination of ascensions of equal (i.e.,
ecliptical) degrees and their descensions in localities with [non-zero] latitude
(i.e., oblique ascensions or descensions)**

(9-2-1) Put the beginning of the zodiacal sign or of the part or multiple of it which is assumed, on the eastern horizon in the plate of that latitude, and mark [the position of] the pointer on the rim, then rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the end of the assumed [arc] coincides with the eastern horizon. Then [the interval] moved by the pointer away from the mark (i.e., the difference between the mark and the point reached by the pointer) is the ascension of the [given arc of] equal (i.e., ecliptical) degrees for that locality. So if [the ascensions] are required <from> the beginning of Aries – and it is not common [to do this process] from the beginning of Capricornus and it is not permissible unless it is clearly permitted¹ – put the beginning of the one you want (i.e., Aries or Capricornus) on the eastern horizon and mark [the position of] the pointer, then rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the assumed degree at the end [of the arc] rises, [then] look how much the pointer has moved from the mark, and that is the ascension of the [assumed] degree from the beginning of Aries or Capricornus in the locality in question. Whenever you do exactly the same process on the western horizon, then the amount which the pointer moved from the mark is the same amount as the descensions of [the ecliptical arc] that was assumed by you for the latitude of that locality.

(9-2-2) For the boat-shaped astrolabe: put the edge of the eastern horizon of the boat on the beginning of the given [arc of] equal (i.e., ecliptical) degrees, and mark [the position of] the pointer of the mast. Rotate the boat conversely (i.e., counter-clockwise) until that edge coincides with the end of them (i.e., the ecliptical degrees of the given arc). [f. 33 b] Then look how much the pointer has moved from the mark, and that is the required ascension for the latitude of the boat. And whenever you want [to determine] the descension, do exactly the same process on the edge of the western horizon on the boat, so you obtain the descension.

(9-2-3) For the crescent-shaped astrolabe: if both assumed ends (i.e., the beginning and the end of the ecliptical arc) are located in the same [northern or

¹ This is perhaps a sarcastic remark, aimed at other authors who wrote about the astrolabe.

southern] half of the ecliptic, then work for [determining] the ascensions by means of the eastern horizon and for descensions by means of western horizon, and do the same thing that has been explained for [determining] the right ascensions but in this case use the horizon instead of the midheaven-line. If it (i.e., the assumed ecliptical arc) is divided to two halves such that one end is located in one of the two [halves of the ecliptic] and the other end is located in the other [half of the ecliptic], then follow the instruction for the different [sense of] rotation for each of the two parts, and add the two outcomes, then the sum is the required [oblique] ascension if you work with the eastern horizon, and the required [oblique] descension if you work with the western horizon. (9-2-4) For the mixed astrolabes, in order to [determine] the ascensions and descensions, use every zodiacal sign together with the horizon for the same type of projection [as used for the sign], and ignore [the horizon] for the other type of projection. Then add the results for the different signs, and follow the example of what has been explained, then you will obtain the required thing.

(9-3) Section three: On conversion of [oblique] ascensions and descensions of a [certain] locality into [ecliptical] arcs

(9-3-1) [For this converse process] it is necessary to know the beginning or the end of the [required arc of] equal (i.e., ecliptical) degrees to which the ascension or the descension belongs. Then put it (i.e., the known beginning or end) for the ascension on the eastern horizon, and for the descension or on the western horizon, and mark [the position of] the pointer. If the supposed (i.e., known point) is the beginning, rotate the spider directly (i.e., clockwise) and if the supposed [point] is the end, [rotate the spider] conversely (i.e., counter-clockwise) until the pointer has moved away from the mark by the given amount of ascension or descension. Then look at the horizon on which you put [the known point] and find with which ecliptical [degree] it coincides. That is the end of those equal [ecliptical] degrees if you had [first] put the beginning [on the horizon], [f. 34 a] or the beginning, if you had put the end [on the horizon]. When you have determined the beginning or the end, you know how many equal degrees are between them [and hence the required ecliptical arc].

(9-3-2) On the boat-shaped astrolabe, put the edge of the eastern horizon – for the ascensions – or of the western horizon – for the descensions – on the one of

the two ends [of the arc of ecliptical degrees] which is known to you, and mark the [position of the] pointer of the mast. Then rotate the pointer directly (i.e., clockwise), if you have put (i.e., fixed) the beginning of it (i.e., the unknown arc) by it (i.e., the mast), and conversely (i.e., counter-clockwise), if you have put [the pointer] towards it (i.e., the end). Move it until the pointer has moved from the mark by the amount of ascensions or descensions which have been given to you. Then look which ecliptical [degree] has been reached by the horizon of the boat which you have used, and that is the other end of the [required ecliptical] arc of equal degrees. (9-3-3) It will be clear to you how to do that on the crescent-shaped astrolabe if you carefully consider what we have explained about the operations with it.

Chapter ten

(10-1) Section one: On taking the position of the sun on the ecliptic [on the astrolabe, if the solar ecliptical longitude is known]

(10-1-1) The [number of] degrees of the ecliptic is three hundred and sixty. If every zodiacal sign is divided into thirty [equal] parts, the astrolabe is called complete or perfect, and if [every zodiacal sign] is divided into fifteen [equal] parts, [the astrolabe] is called bipartite, and if [every zodiacal sign] is divided into ten [equal] parts, [the astrolabe] is called tripartite, and if [every zodiacal sign] is divided into five [equal] parts, [the astrolabe] is called sexpartite. And that is according to the division that is possible for the zodiacal signs, according to divisibility [of 30] and size [of the astrolabe]: if [minimally] it becomes so small that the signs are divided into three parts, it (i.e., the astrolabe) is called ten-partite.

And let [each of] these numbers (2, 3, 6, 10) be called “the division base”. But the numbers four, seven, eight and nine are not used in it (i.e., the division) because thirty cannot be divided by them in a numerical way without fractions. When [the astrolabe] is not complete but divided by the division base, the remaining degrees between the lines in (i.e., dividing) the zodiacal signs are omitted, and there are two ways to know them.

(10-1-2) [The first method] is estimating them by just looking at them (i.e., the degrees) conjecturally. This does not allow [the user] to divide [f. 34 b] the zodiacal sign into six [equal parts], because [then] the interval between the two

lines [of the ecliptic] is five degrees, and dividing a distance into five [equal] parts is not usually easy by approximation, in comparison with the easy division of it into three parts to obtain one-third, and the division of each of two halves into three [equal parts] to obtain one-sixth. Because of this (i.e., difficulty in division), it is not common to draw quinquepartite (i.e., five-degree interval) [divisions] on the astrolabe, but if a craftsman tries to do this, he will not receive any complaint.

(10-1-3) [The second method] is calculation, as follows: you [should] put the first (i.e., closest) line before the degree of the sun on the midheaven-line and mark [the position of] the pointer. Then put the second (i.e., closest) line after the degree of the sun on the midheaven-line and look how much the pointer has moved away from the mark, and that is the “degree base”. Then you obtain how much [the distance] is between the first line and the degree of the sun, and you take the ratio of it to the “division base”, to know whether [to take the longitude difference times] one-half, or one-third, or one-sixth or one-tenth, and take the corresponding ratio times the “degree base”, then that is “the equation”. Then, count [an amount] equal to it from the mark towards the left, and put the pointer on the result, then look which [point] between the first line and the second line coincides with the midheaven-line, then that is the degree of the sun, so make a mark on it on the ecliptic. And if you want [to know] the equation by calculation, multiply what is between the first line and the degree of the sun by “the degree base” then, divide the result by “the division base”, then, the result will be that equation.

(10-1-4) And the situation is also like this on the boat-shaped astrolabe: if the edge of the mast coincides with the first line, mark [the position of] the pointer on the rim. Then put it (i.e., the edge of the mast) also on the second line, and then the pointer will move by an amount [equal to] “the degree base”. Then obtain the “equation” and count [this amount] from the mark towards the left and put the pointer on the end point, then, the edge of the mast will coincide with the degree of the sun. Put a mark on it on the ecliptic.

[f. 35 a] (10-2) Section two: On determining the almucantar of a [given] altitude [on the astrolabe, if the corresponding almucantar circle is not drawn]

(10-2-1) If the astrolabe is not perfect and complete[ly graduated], then its almucantars are engraved with the same [difference] as the difference between the degrees on the ecliptic. This is done because it looks nice, not by necessity. So if they are not engraved (for each integer degree of altitude)¹ and the [observed] altitude of the sun or a star is [a number] between two almucantars, put the degree [of the sun] or the star-pointer at the almucantar whose number is the lesser of the two, and it is the first [almucantar], [and put it] on the side of the altitude (i.e., the side where the sun or star is), either eastern or western, and put a mark on [the position of] the pointer [of the spider] on the rim. Rotate the spider directly (i.e., clockwise) for an eastern altitude, or conversely for a western altitude, until the degree [of the sun] or the star-pointer² ends at the second almucantar with the greater number. Then the amount by which the pointer has moved from the mark is “the almucantar base”. Look how much is [the difference] between the first almucantar and the found (i.e., observed) altitude, and take the ratio of it to “division base” as has been explained above, and take the equal [ratio] times the “almucantar base”, that is the equation. And if you want, you multiply [the difference] between the first almucantar and the given altitude by the “almucantar base” and divide the result by the “division base”, then the result is the equation. Count this amount from the mark on the rim towards the right for an eastern altitude and towards the left for a western altitude, and put the pointer on the result. Then [the point] reached by the degree [of the sun] or the star-pointer is the position of the almucantar of altitude.

(10-2-2) On the boat-shaped [astrolabe] put the edge of the mast on the degree of the sun or on the center of the star and mark its [position] on the [edge of the] mast. Put that mark on the first almucantar <and> mark [the position of] its pointer on the rim. Find the “equation” by means of the mark on the mast between the two almucantars, and count [an amount] equal to that from the mark in the [direction] according to the previous consideration, and put the pointer of the mast

¹ One Arabic word is illegible.

² Bīrūnī means: the mark on the edge of the mast.

on the resulting point, then, <the replacement of> the degree [of the sun] or of the pointer of the star will coincide with [f. 35 b] the given altitude.

(10-3) Section three: On determining the [ecliptical] degree of the ascendant and midheaven [by interpolation]

(10-3-1) The sign of the ascendant is [the zodiacal sign] which is situated on the eastern horizon, and the degree of [the ascendant] is [the degree] which coincides with it (i.e., the eastern horizon). So if the horizon is located between two lines of the sign of the ascendant [on the ecliptic], make a middle mark [on the position of] the pointer on the rim. Rotate the spider conversely until the eastern horizon coincides with the first line of the ecliptic, and <put the first mark on the place of the pointer on the rim, and rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the eastern horizon is put on the second line of the ecliptic> and make a second mark on the rim at [the position of] the pointer, and take the ratio of [the difference] between the first and the middle mark to [the difference] between the first and the second [mark], and take an amount equal to this [ratio] times the “division base”, then this is the equation. And if you want, multiply [the difference] between the first and the middle mark by the “division base” and divide the result by [the difference] between the first and the second mark, then the result is the equation. Then always add the equation to the number of the first line (i.e., the ecliptical degree), then the sum will be the number of the degree of the ascendant in its sign. The situation is similar for the [zodiacal] sign of the midheaven, which is situated on its (i.e., the midheaven) line, and its degree [of the sign of the midheaven] which coincides with it (i.e., the midheaven-line). If the midheaven-line is situated between the two lines of its [zodiacal] sign, then if you do for the midheaven-line the same as what you did for the horizon, you will obtain the degree of the midheaven in its [zodiacal] sign.

(10-3-2) And likewise, in the boat-shaped astrolabe, if the edge of the eastern horizon on the boat is situated between two lines of the ecliptic, do with it what you did for the horizon there (i.e., for the normal astrolabe), and if the edge of the mast is situated between two lines of it (i.e., the ecliptic) do with it (i.e., the mast) what you did for the midheaven-line there (i.e., for the normal astrolabe), so that you obtain what you desired.

Chapter eleven

(11-1) Section one: On the [determination of the] equation of daylight of the [ecliptical] degree of the sun or of the body of a fixed star

(11-1-1) The equinoctial day is [the day] which is equal [f. 36 a] to its night, and each of them is [equal to] a semicircle containing one hundred and eighty “parts” (i.e., degrees), when it (i.e., the sun) is at the beginning of either the sign of Aries or the sign of Libra. So, if they are equal at the beginning of Aries, it is called “vernal equality” and at the beginning of Libra, it is called [autumnal] equinox or “autumnal equality”. Thereafter, in the northern [celestial] hemisphere, the day increases over the equinoctial day, and the part of its [equinoctial] night which enter into it is called “excess of daylight”, that is, excess over its night or over the equinoctial day, and half of this excess is called the “equation of daylight”. (11-1-2) And in the southern hemisphere, the day becomes shorter than the equinoctial day and the part of it which enters into its night is called the “excess of daylight”, but it should be called “excess of night”, that is, [excess] over its day or over the equinoctial night. But it is better to call it “increase of daylight” in the northern [hemisphere], and “decrease of daylight” in the southern [hemisphere]. Its half which is [called] the “equation of daylight”, is always for every [ecliptical] degree equal to the difference between its right ascension and its [oblique] ascension in the [assumed] locality. (11-1-3) So if you want [to determine] the equation of daylight for an assumed [ecliptical] degree, put it on the straight East-West line and mark the position of the pointer on the rim. Rotate the spider until that degree coincides with the eastern horizon. Then the [interval] which the pointer moved from the mark is the equation of daylight, and its daylight is more than the equinoctial day if the rotation towards the horizon is in the converse direction; and less if the rotation towards the horizon is direct [clockwise]. For the stars, do with their star-pointers as you did with the [ecliptical] degree, and this will lead you to their equation of daylight.

(11-1-4) On the boat-shaped astrolabe, put the eastern horizon of the boat on the [ecliptical] degree and make a mark on it (i.e., the boat) at it (i.e., the degree), then [rotate the boat to] put the mark on the East-West line. Then the [interval] between the beginning point (i.e., zero point) of the numbers in the middle [f. 36 b] of the throne and the pointer of the mast is the equation of daylight; if it is from the

beginning point towards <the right>, its day is more [than the equinoctial day], and if it is towards the left, its day is less [than the equinoctial day]. For the stars, put the eastern horizon on the center of that star, and place a mark on it (i.e., the eastern horizon) at [that position], and follow the above-mentioned [instruction] for the mark of the [ecliptical] degree.

(11-2) Section two: On the [determination of the] day arc and night arc

(11-2-1) What is above the earth is characterized as “day” and what is below the earth is characterized as “night”. The day in the absolute (i.e., natural) sense is the period in which the sun is above the horizon, and night in its absolute (i.e., natural) sense is the period of its concealment below the horizon.

(11-2-2) The situation for every star or every assumed point is similar, but its “day” or “night” are [artificial concepts] assigned to it and ascribed to it (i.e., the star or the point). And to each “day” or “night” a word “arc” is added, because every moving [celestial body] describes during the circular movement [of the universe] a circle in the aether (the fifth element), which is divided by [its] rising and setting into day and night, and each of them (i.e., day and night) are an arc of it (i.e., the circle). Moreover, it (i.e., the path) is clearly curved to the eye, especially for the case of oblique movement, nor for the vertical [movement] which happens on the equator, nor the horizontal¹ [movement] which happens under (i.e., near) the pole. (11-2-3) So if you want to determine the day arc of an [ecliptical] degree, put it (i.e., the degree) on the eastern horizon and make a mark on [the position of] the pointer [on the rim], then rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the mark coincides with the western horizon, then the day arc of it (i.e., the degree) is [the interval] moved by the pointer on the rim. If you rotate the spider conversely (i.e., counter-clockwise), the interval is the night arc of it (i.e., the ecliptical degree). And by the direct motion (i.e., rotation), if you begin by putting the [ecliptical] degree on the western horizon, then you rotate the spider directly (i.e., clockwise) until [the ecliptical degree] coincides with the eastern horizon, [then,] the [interval] moved by the pointer is equal to the magnitude of the night arc of it (i.e., the ecliptical degree). And if you know one of the [f. 37. a, l. 12] day [arc] or night [arc] and subtract it from three hundred and sixty, the remainder is the other [arc].

¹ Literally: millstone-shaped

The situation for the day arc and night arc of the stars is similar if you use their star-pointers as you used the [ecliptical] degree [above].

(11-2-4) And in the boat-shaped astrolabe put the eastern horizon of the boat on the [ecliptical] degree on the spider or on the center of the stars, and make a mark on it (i.e., the boat), then you do as we have explained above with this mark on the fixed horizon on the plate. Then you obtain the day arc and the night arc of the [ecliptical] degree or of the stars.

(11-2-5) And in mixed astrolabes this application is not different [from the above-mentioned astrolabes], if you observe the type [of the projection] in it [f. 37 b], so, apply the [zodiacal] sign and the [ecliptical] degree with the corresponding horizon in the projection.

Section three: On the division of the day arc and night arc into the two types of hours (equinoctial and seasonal)

(11-3-1) The hour is a technical term for the period of the rotation of fifteen time-degrees [by the daily motion of the universe], so, the [total] rotation [of the celestial sphere] is divided into twenty four hours by means of it. They are called equal [hours] because their magnitude is constant, it changes neither during the day nor during the night. The day and night are different [from one another] during the year except at the two times of equinox, so the number of the hours of each of them (i.e., the day and night) is not equal except in case of the twelve which is the number of the hours of the equinoctial day and night. So the equal hours are equal in magnitude, but different in number for every day and its night. They (i.e., the equal hours) are also called equinoctial and equatorial, in the sense that they are the hours of day and night at the equator during the year and because they are also the number of hours at the equinox in all localities, and because they are the average between the magnitudes of the summer and winter [seasonal] hours.

(11-3-2) And although six [zodiacal] signs rise during every day and every night, and it (i.e., six) has [an integer] half, third and sixth, the users of hours prefer to halve them (i.e., the signs) so that their number (i.e., 24) agrees with the number of hours of the equinoctial day, and in order that two fractions be added to their [integer] fractions which are “a quarter” and “half of sixth (twelfth)”. So they made

each day and night twelve hours, and called them seasonal (literally: crooked, distorted) as opposed to the equal (literally: smooth) hours, because their distortion appears by comparing the magnitude of a [seasonal] hour of a non-equinoctial day with the magnitude of an [seasonal] hour of its night; thus they are the same in number and different in magnitude during the day and night. And they are also called “temporal” because by means of them, the elapsed time of day or night can be expressed in proportion to the whole of it (i.e., day or night), so it can be called half, third and fourth [of a day or night]. They are also called “measurement hours” [f. 38 a] because they are used in sundials and [other timekeeping] instruments and they (i.e., these hours) are measured by means of them.

(11-3-3) To convert them to equal hours, you only need to know how much is the arc of day or night in it (i.e., in degrees): if you divide it (i.e., the day or night arc) by fifteen, the number of their (i.e., day's and night's) equal hours will be derived. If you determine it (i.e., the number of equal hours) for one of the two (i.e., day and night) and subtract it from twenty-four, the remainder will be the [number of] equal hours of the other. And regarding the seasonal [hours] you do not need [to determine] their number, because it is always exactly twelve, but you need [to determine] the length of one of them, because it (i.e., one seasonal hour) is longer [while the sun is] in the northern half [of the ecliptic] and shorter [while the sun is] in the southern half [of the ecliptic], and it is different for the day and the night. The parts (i.e., time-degrees) of the celestial equator which rotate during one [seasonal hour] are called the “parts” (i.e., degrees) of the hours and also their time-degrees, and they can be diurnal and nocturnal. So if you want them, divide the arc of day or night by twelve, then the result is the degrees of the hour.

(11-3-4) Alternatively, put the [ecliptical degree] diametrically opposite the degree of the sun on one of the lines of seasonal hours below the horizon, and make a mark on [the position of] the pointer on the rim, then, rotate the spider directly (i.e., clockwise) or conversely (i.e., counter-clockwise) until the degree diametrically opposite the degree of the sun is moved down one hour and reaches the other [hour-line] from the two [hour-lines] which surround the (i.e., one assumed) hour. Then the [interval] moved by the pointer from the mark is the degrees of the hour of the day. And if you do with the degree of the sun itself what you did with the diametrically opposite degree, the degrees of the night hour will be obtained. If you know it for one of the two (i.e., the time-degrees of the seasonal

hour of the day or of the night) and subtract it from thirty, the remainder will be the degrees of the other. And if you want [to determine] the “degrees of the equal hours” add one-fourth to it, [and you do this] by multiplying it by five and dividing the product by four, then the result is the degrees of the “degrees of the hours”. In the converse situation, if you subtract from the “degrees of the hours” one-fifth, by multiplying it by four and dividing the product by five, the number of equal hours will be obtained.

(11-3-5) The people of India use an amount which they call “*Kaharī*”, and they call it “minutes of days”. If you divide the day arc or the night [arc] by six, the number of *Kaharī*’s for it (i.e., one for the day and the other for the night) will be obtained. And if you want [to determine] it (i.e., the *Kaharī*’s) from the number of equal hours, [you should know that] they (i.e., the *Kaharī*’s and the number of the equal hours) are proportional. Therefore put it (i.e., the number of the equal hours) [f. 38 b] in two places, and halve one of them and double the other, then, add both of them and the sum is the number of the *Kaharī*’s. And to determine the number of equal hours from a number of *Kaharī*’s, take two-fifths of it by doubling it and dividing the result by five, then the number of equal hours will be obtained. And if you want [to determine] the number of *Kaharī*’s from the degrees of the hours, double them, and in the converse situation, if you want [to determine] the degrees of the hours from the number of the *Kaharī*’s, halve them.

Chapter twelve

(12-1) Section one: On the determination of the degree of transit, that is [the ecliptical degree] which passes through the meridian together with (i.e., at the same time as) the [given] star

(12-1-1) The sun and any star which does not have latitude (i.e., with zero ecliptical latitude) pass through the midheaven (i.e., meridian) [at the same time as] their longitudinal degrees. If a star with [non-zero ecliptical] latitude is in the beginning of Cancer or Capricornus, its [longitudinal] degree is not different from its degree of transit. But if its [ecliptical] degree does not coincide with the solstices, then its degree of transit passes the midheaven-line before its [longitudinal] degree if its [longitudinal] degree is in the ascending half [of the ecliptic], which is bisected by the beginning of Aries, and if its latitude is northern,

or [if] it is in the descending half [of the ecliptic], which is bisected by the beginning of Libra, and its latitude is southern. And its degree of transit is behind its [longitudinal] degree if its [longitudinal] degree is in the ascending half [of the ecliptic] and its latitude is southern, or [if its longitudinal degree is] in the descending half [of the ecliptic] and its latitude is northern. The [size of the] difference between them depends on its latitude, whether it is small or large, and its distance from the beginning of Cancer or Capricornus, so that its magnitude is maximal at the beginning of Aries or Libra. (12-1-2) So if you want to determine that degree which coincides with the midheaven-line at the time when it (i.e., the star) [also] coincides with it (i.e., the midheaven-line), then put its star-pointer, or the endpoint of the special piece of paper [for the star], which was provided by the [special] plate for the latitude of sixty-six degrees and one quarter plus one sixth of a degree, on the midheaven-line [on the normal plate for the latitude of the locality]. Look at the [zodiacal] sign and the degree which coincides with this line: it is its degree of transit on the [f. 39 a] midheaven-line or the line of the pillar of the earth. (12-1-3) And in the boat-shaped astrolabe put the sail on the center of the star, then the degree of the ecliptic which coincides with its edge is its degree of transit.

(12-2) Section two: On the determination of the [ecliptical] degree which rises [simultaneously] with a star and the [ecliptical] degree which sets [simultaneously] with it

(12-2-1) The sun and stars which do not have ecliptical latitude in either direction, rise and set together with (i.e., at the same time as) their [ecliptical] degrees. For [stars] with [non-zero] latitude, their situations are different in localities with only one [type of] shadow or [localities with] two [types of] shadows. The reason is that the ecliptic pole is always visible (i.e., above the horizon) in [localities] with only one [type of] shadow, so any star with northern latitude rises before its [ecliptical] degree and sets after it, and any [star with] southern latitude rises after its [ecliptical] degree and sets before it, and none of them (i.e., the stars) rises or sets simultaneously with its [ecliptical] degree in it (i.e., this kind of locality) at all. But regarding the localities where the sun passes through the zenith once or twice a year: in the [localities] where the sun passes once [through their zenith during a year], the orbit of the pole of the ecliptic is tangent to the horizon, and the situation of the rising and setting of the stars in it (i.e., this locality) is similar to what we

have said regarding [the localities] with only one [type of] shadow, but [the only difference is that] when the beginning of Cancer is in the midheaven, the ecliptic pole is on the horizon. Then if it happens that at that moment a star with [non-zero] latitude is at [ecliptical longitude] the beginning of Libra, then it rises together with its [ecliptical] degree, and if it is at the beginning of Aries, [the star with non-zero latitude] sets together with its [ecliptical] degree. (12-2-2) And regarding the [localities with] two [types of] shadows and two [yearly] passings [of the sun through their zenith], the orbit of the ecliptic pole intersects its horizon, and it (i.e., the pole) rises and sets in it (i.e., the locality). Thus, as long as it (i.e., the ecliptic pole) is above the horizon, the rising and setting of the stars are the same as in [localities] with one shadow. And when [the ecliptic pole] is at the eastern horizon, any star on it (i.e., the horizon) rises together with its [ecliptical] degree. And when [the ecliptic pole] is on the western horizon, any star on that horizon sets together with its [ecliptical] degree as well. But when the ecliptic pole [f. 39 b] is under the horizon there (i.e., in that locality), what we have said [regarding the rising and setting of the star] is reversed. Thus the rising of a star with northern latitude occurs after [the rising of] its [ecliptical] degree, and its setting occurs before [the setting of] its [ecliptical] degree, and the rising of the star with southern [ecliptical] latitude [occurs] before [the rising of] its [ecliptical] degree, and its setting [occurs] after [the setting of] its [ecliptical] degree.

(12-2-3) And, in this regard, the equator is not different from [localities] with two [types of] shadows, except at two [ecliptical] degrees where the rising and setting of [a star] are at the same time as [the rising and setting] of the [ecliptical degree] of the star. For that is on the equator at the time of rising of the two solstices and at their setting (i.e., when the ecliptical longitude of the star is at one of the two solstices), and in that [case], the rising and setting degrees [of the star] are [also] the same as [its] degree of transit. But that is not the case in the [localities] with two [types of] shadows. So if you want to determine the rising degree of a star, put its pointer on the eastern horizon and look at the [zodiacal] sign and degree which coincides with this horizon; this [is the degree which] rises [simultaneously] with it. And for its setting, put its pointer on the eastern horizon and look at the [zodiacal] sign and the [ecliptical] degree which coincides with this horizon, and that [is the degree] which sets [simultaneously] with it (i.e., the star). And if you want to examine that on the equator, use the east[ern part of the East-

West] straight line instead of the eastern horizon, and [use] the west[ern part of the East-West] line instead of the western horizon, and do with them what you did with the two horizons, then, it (i.e., this method) will show you its rising and setting [on the equator].

(12-2-4) And in the mixed astrolabes, [first, you should] know by which [type of] projection the pointer was constructed, by means of the [zodiacal] sign in whose domain it (i.e., the star) is located, [that is, the domain] between the two diameters passing through the beginning and end [of the sign]. Then, put its pointer on the eastern horizon which has the same type [of projection] as it, either the common horizon or the transverse horizon. Look at the [zodiacal] signs and their degrees which coincide with both of them (i.e., the two kinds of horizons), and take [the zodiacal sign and degree] by means of the horizon with the same type of projection, that is to say, the two projections [of the zodiacal sign and the horizon] are both northern or both southern, and avoid the [zodiacal] sign whose projection is different from the horizon on which it (i.e., the sign) is located. Then the ecliptical degree which is the same type of projection of its horizon, not [the degree whose type of projection is] different from it (i.e., the type of projection of the horizon), is [the degree which] rises with the star [simultaneously]. (12-2-5) And [to determine] the [ecliptical] degree which sets with it (i.e., the star), put the star-pointer on [f. 40 a] the western horizon with the same type of projection [as the star], and look at the [zodiacal] signs and [ecliptical] degrees which coincide with the two western horizons (i.e., both the common and opposite horizon). Take the [ecliptical degree] by means of the [horizon] with the same type of projection, not the different [type of projection], then it is the [ecliptical] degree which sets with it (i.e., the star). And in the boat-shaped astrolabe, put the edge of the eastern horizon for rising, and of the western [horizon] for setting, on the center of the star on the plate, and look at the [point] of the ecliptic which coincides with that horizon, then it is the rising or setting [ecliptical] degree for whichever of the two [situations] you worked out.

(12-3) Section three: On the determination of the stars which rise or set or pass through the meridian [simultaneously] with the rising, setting or meridian transit of another [star]

(12-3-1) Put the pointer of the proposed star on the eastern horizon and look: if the pointer of another star coincides with it (i.e., the eastern horizon), that one rises [simultaneously] with it, and [a star whose pointer] coincides with the western horizon sets while it (i.e., the proposed star) is rising, and similarly, [a star whose pointer] coincides with the midheaven-line passes through the midheaven-line at the moment when it (i.e., the proposed star) is rising. Then put the pointer of the proposed star on the western horizon, then [a star] whose pointer coincides with the eastern horizon rises while it (i.e., the proposed star) is setting; and [a star] whose pointer coincides with the midheaven-line passes through the midheaven-line while it (i.e., the proposed star) is setting. Likewise, put the pointer of it (i.e., the proposed star) on the midheaven-line, and consider [the stars] whose pointers coincides with it (i.e., the midheaven-line) or the eastern horizon or the western horizon. If it happens in these three situations that the degree diametrically opposite the sun is on the almucantar of eighteen [degrees], the [following] situation happens for the star: if the almucantar is western, the beginning of dawn [happens simultaneously] with it (i.e., the situation); and if [the almucantar] is eastern, the end of dusk [happens simultaneously] with it (i.e., the situation).

(12-3-2) And in the boat-shaped astrolabe, put the edge of the eastern horizon of the boat on the center of the proposed star and look at that edge: if it passes through the center of another star, it rises simultaneously; if the edge of the western horizon on the boat passes through the center of a star, it sets simultaneously with the rising of it (i.e., the proposed star), and if the edge of the mast passes through the center of a star, it passes through the meridian [simultaneously].

(12-4) Section four: [f. 40 b] To determine whether the rising of a star or its setting or its meridian transit happens during daytime or night

(12-4-1) Put the star-pointer on the eastern horizon, then, if the degree of the sun coincides with it (i.e., the eastern horizon) simultaneously with it (i.e., the star), it (i.e., the star) rises simultaneously with it (i.e., the sun), and if [the sun] coincides

with the western horizon, it (i.e., the star) rises at the time of the sunset in the evening. If the degree of the sun is above the horizon in the daytime part [of the celestial sphere], the star rises during daytime, and if it (i.e., the degree of the sun) is below the horizon, the star rises during the night. Then put the pointer of it (i.e., the star) on the western horizon. If the degree of the sun coincides with it (i.e., the western horizon) simultaneously with it (i.e., the star), the setting of it (i.e., the star) happens at sunset, and if it (i.e., the degree of the sun) coincides with the eastern horizon, the setting of it (i.e., the star) happens [simultaneously] with sunrise in the morning; and if it (i.e., the degree of the sun) is above the horizon, the setting of it (i.e., the star) happens during daytime, and if it (i.e., the degree of the sun) is below the horizon, the setting of it (i.e., the star) happens during the night. And likewise, put the pointer of it (i.e., the star) on the midheaven-line and consider the degree of the sun [in the same way] to know whether its meridian transit happens during daytime or night.

(12-4-2) On the boat-shaped [astrolabe], put the edge of the eastern horizon, the edge of the western [horizon], and [the edge of the] the mast on the center of the star, and in each [situation], consider which [of the following two degrees] is inside the boat: if the degree of the sun is there, that situation happens during daytime, and if the degree diametrically opposite the sun is there, it (i.e., that situation) happens during the night.

(12-5) Section five: On the determination of the time of rising, setting or meridian transit of a star during daytime or night

(12-5-1) Put the star-pointer on the eastern horizon and make a mark on the rim at the position of the pointer of the beginning of Capricornus or Cancer. If the star rises during daytime, rotate the spider conversely (i.e., counter-clockwise) until the degree of the sun coincides with the eastern horizon. Then in the interval between the pointer and the point, take every fifteen degrees as one hour, and [take] every degree in the remainder which is less than one hour as four minutes. The result is the time elapsed from the [beginning of] day until the rising of the star. And if the star rises during the night, put its pointer on the eastern horizon and put a mark on the position of it (i.e., the pointer on the rim). Rotate the spider [f. 41 a] conversely (i.e., counter-clockwise) until the degree of the sun reaches the western horizon. The interval which the pointer moved from the mark is the arc of revolution of [the

time] elapsed from the [beginning of the] night until the rising of [the star], so, convert it to hours. And likewise, operate for its meridian transit by putting the pointer of it (i.e., the star) on the line of it (i.e., the midheaven-line) and consider the night and daytime and the degree of the sun in it (i.e., the situation when the star is on the meridian). Then, to [determine] the setting of it (i.e., the star), put its pointer on the western horizon and make a mark on [the position of] the pointer. Rotate the spider conversely (counter-clockwise) until the degree of the Sun coincides with the eastern horizon during the day and the western horizon during the night.

(12-5-2) On the boat-shaped astrolabe, put the edge of the eastern horizon on the center of the star and make a mark on the [position of the] pointer of the mast [on the rim]. If the rising of the star happens during daytime, rotate the boat directly until the edge [of the boat] coincides with the degree of the sun. Then the interval moved by the pointer from the mark is the arc of revolution of the [time which] elapsed from the day. If the rising of it (i.e., the star) happens during the night, and if the edge [of the boat] coincides with the degree diametrically opposite to the degree of the sun, then the interval which the pointer moved from the mark is equal to the magnitude of the arc of revolution of the [time which] elapsed from the night. And use the western horizon for the setting of it (i.e., the star) and the edge of the mast for its meridian transit, similar to what we have described for the eastern horizon.

Chapter thirteen

(13-1) Section one: On the determination of the elapsed [time] of day from the altitude of the sun

(13-1-1) Find the degree of the sun in the ecliptic, and on the plate [find] the almucantar whose number is equal to the altitude of the sun you found, and put the degree of the sun on that side of the almucantar in which you found the altitude, either eastern or western, and make a mark at the position of the pointer on the rim. Then rotate the spider conversely (i.e., counter-clockwise) until the degree of the sun coincides with the eastern horizon. Then the distance between the pointer and the mark is the arc of revolution [of the universe] from sunrise until the moment at which you measured its altitude, [and the method is valid] on both sides. (13-1-2)

So if you divide this arc by fifteen, you will obtain the corresponding equal hours. But if you divide it by the “degrees of the hour” corresponding to the degree of the sun, [f. 41 b] you will obtain the corresponding [number of] seasonal hours, and if you divide it by six, you will obtain the *Kaharī*’s. [You do this] just as you find these quantities when it (i.e., the time) is known, for [then] you multiply it by what you have used for the division [above]. This is to say: [you multiply] equal hours by fifteen; and seasonal [hours], if they are diurnal, by the “hour degrees” [corresponding] to the degree of the sun, and if they are nocturnal, then by the hour degrees [corresponding to] the degree diametrically opposite to it (i.e., the sun); and [you multiply] *Kaharī*’s by six. Then you obtain the arc of revolution of the universe in time-degrees corresponding to it (i.e., the elapsed time). (13-1-3) And if you put the degree of the sun on [the almucantar of] its altitude, look at which of the hours (i.e., hour lines), whether equal or seasonal hours, the diametrically opposite degree is located. If it (i.e., the diametrically opposite degree) coincides with one of the [hour] lines, their numbers, beginning from the western horizon downwards, enable you [to know] the elapsed [hours], and they are complete [hours]. (13-1-4) But if the degree diametrically opposite the sun is located between two hour lines, there will be some fraction together with the complete [hours]. And [to] determine the amount of it (i.e., the fraction) of the hour, mark the position of the pointer on the rim as a “middle mark”, then rotate the spider conversely (counter-clockwise) until the degree diametrically opposite [the degree of the sun] coincides with the first hour line, and mark the [position of] the pointer on the rim as a “first mark”. If the hours are equal, consider each [degree] between the first and the middle mark as four minutes of an hour, then the result is the fraction which follows the complete [hours]. (13-1-5) If [the hours] are seasonal hours, rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the degree diametrically opposite [of the degree of the sun] coincides with the next of these hours (i.e., hour lines), and make a mark on [the position of] the pointer as a “second mark”. Then find the ratio of the difference of the first and the middle [marks] to the difference of the first and the second [marks], then this is the fraction which follows the complete [hours]. The method for this is to multiply the difference between the first and the middle [mark] by sixty, and divide the result by the difference between the first and the second [marks], then the result is the fraction in minutes.

(13-1-6) Sometimes the hour lines are constructed above the horizon in dotted form to be distinguished from the almucantars, as is necessarily the case on the crescent-shaped astrolabe. Then their beginning [in numbers] is at the eastern horizon. Therefore use [in such hour lines] the degree of the sun itself, as you [f. 42 a] have used the degree diametrically opposite it when they were drawn below the horizon. (13-1-7) If the astrolabe is halved, containing the halves of the eastern almucantars between the eastern horizon and the midheaven-line, but not their western halves, then the determination of the arc of revolution [of the universe] is as we have described above if the altitude is eastern. But if it (i.e., the altitude) is western, you consider it as eastern, find its almucantars and put the degree of the sun on it. <Then put a first mark at the position of the pointer. Then put the sun on the meridian line and> put a second mark on the position of the pointer. You retain the difference between the two marks and call it “the retained [quantity]”. Then rotate the spider conversely (i.e., counter-clockwise) until the degree of the sun coincides with the eastern horizon, and add the “retained [quantity]” to the interval moved by the pointer from the second mark. The sum of them is the arc of revolution [corresponding to the time since sunrise].

(13-1-8) On the boat-shaped astrolabe, put the edge of the eastern horizon of the boat on top of the degree of the sun and make a mark [at the position of the degree] on the edge of it (i.e., the boat). Rotate the boat until this mark coincides with the eastern horizon on the plate, and mark the position [on the rim] of the pointer of the mast. Then rotate the boat directly until that mark [on the edge] coincides with the almucantar of the altitude on the side where the altitude was measured, that is, eastern or western. Then the interval moved by the pointer [of the mast] from the mark [on the rim] is the arc of revolution [corresponding to the time since sunrise].

(13-1-9) The operation in the crescent-shaped [astrolabe] is similar to what has been described above, if it is applied [separately] for the signs of the concavity of the northern crescent and its southern convexity. It is as follows: The degree of the sun [should] be put on its (i.e., the sun’s) altitude on the same side [of the side of the altitude, i.e., eastern or western], if the degree is southern, and on the opposite side, if it is northern. You mark [the position of] the pointer [on the rim] or of the fixed [replacement] of it. Then the spider is rotated conversely (i.e., counter-clockwise) for the southern [signs] and directly (i.e., clockwise) for the

northern [signs], until the degree [of the sun] coincides with the horizon (i.e., the eastern horizon for the southern signs and the western horizon for the northern signs). Then the interval moved by the pointer from the mark is the arc [of revolution corresponding to the time since sunrise].

(13-1-10) In the mixed [astrolabes], the situation is similar, if you observe the condition that the same type [of projection] has to be used for [1] the [zodiacal] sign of the degree of the sun and its (i.e., the sun's) altitude, [f. 42 b] and [2] the horizon which coincides with it (i.e., the zodiacal sign) by the converse rotation.

(13-2) Section two: On the determination of the arc of revolution [since sunrise] by means of the hour-lines which are engraved on the back [of the scale] of the alidade

(13-2-1) Turn one of the sights of the alidade downward, that is the sight on which the letter *waw* (6) is written. Set the pointer of the other [sight] on the [number of] altitude degrees equal to the meridian altitude of the day which you [assumed]. Then align the altitude quadrant exactly with the sun, and do not move the alidade from that position. Then the shadow of the edge of the upper sight, namely the lowest of the two edges, crosses [one] of the longitudinal lines on the alidade, which [line] passes through the middle of the pole (i.e., the center) and bisects it (i.e., the alidade), at the [point of] intersection of one of the [little] hour lines with it. Then you take the number of the elapsed seasonal hours of the day, which is written on the two sides [of the hour line]. If the time is before noon, then [take] the number less than six, and if it is after noon, then [take] the number greater than six. (13-2-2) If the shadow of that edge does not pass precisely through the intersection but crosses the longitudinal line on the alidade between two [little] hour lines, then make a mark on it (i.e., the intersection with the shadow). Find the [number of] complete hours before it, and make a mark on the end of it [on the hour line] so that you can determine the [remaining] fraction of the seasonal hour by approximation, as follows. Place a ruler on the intersection of the beginning of that [incomplete seasonal] hour with the longitudinal line on the alidade, while the side [of the ruler] is tangent to side of the alidade which casts the shadow, that is [the side of the alidade] towards the earth. Make a first mark on the amount [corresponding to the incomplete hour] on the altitude scale of the edge of the ruler. Then place the edge of the ruler on the mark which you have made on the

crossing of the shadow with the longitudinal line on the alidade, tangent to that edge [of the ruler], and make a second mark on the [corresponding] amount on the altitude scale on the edge [of the ruler]. Place the ruler also on the intersection of the line of the end of that [incomplete] hour with the longitudinal line on the alidade, tangent to the above-mentioned [side of the alidade which is joined to the] edge of the sight [f. 43 a] and make a third mark on the amount on the altitude scale on the edge of the ruler. Then multiply the difference between the first and the second mark by sixty, and divide the amount by the difference between the first and the third mark, then the outcome is the fraction [of the hour] in minutes. You add them to the complete [hours] which you have, and the result will be seasonal [hours]. (13-2-3) If you want [the time] in equal (i.e., equinoctial) hours, convert them (i.e., the seasonal hours) into the arc of revolution, and from that into equal [hours] by division by fifteen. You [should] know that the same one of these hour lines is before noon the beginning of an hour, and after noon the end of another hour. So study this very carefully and apply it in all that is done on the instruments by means of [seasonal] hour lines. This is inexact in every respect, except the division of the arc of revolution by the degrees of the [seasonal] hours.

(13-3) Section three: On the determination of the arc of revolution by means of the hour-lines which are engraved on the back of the mater of the astrolabe

(13-3-1) These hours (i.e., hour-lines) are engraved either on the altitude quadrant or on the quadrant opposite it, and their lines are diverging between the concentric circles which have been drawn [on the quadrant] at equal distance. They can be constructed for the two types: seasonal and equal [hours]. Their situation (i.e., whether the lines are for equal or seasonal hours) will not be hidden to you: if you consider the Tropic of Cancer and [find that] there are more than six hours in it, or in the Tropic of Capricorn less than six, then they are for equal [hours], and such a construction is rare; but if they are [constructed in such a way that they are] in them (i.e., the tropics of Cancer and Capricorn) six regardless [of which tropic], they are for seasonal [hours]. (13-3-2) And [to] determine the elapsed time from the day by means of them: if they (i.e., the hour lines) are in the altitude quadrant, you investigate the altitude of the sun, and it is necessary that the alidade is edged. Look at the intersection of its edge with the [concentric] circle of the degree of the

sun of that day. Then, if it (i.e., the intersection) coincides with the line of the beginning of an hour and if the altitude is eastern, then [the hours] under it (i.e., the hour line) are the complete hours of the day which have elapsed. (13-3-3) If the intersection [between the edge of the alidade and the circle of the degree of the sun] is somewhere between two hour-lines, you make a “second mark” on the position of the pointer of the alidade [on the rim]. Then rotate it (i.e., the alidade) towards the beginning (i.e., zero) point of the altitude degrees until you put the edge of it (i.e., the alidade) [f. 43 b] on the intersection of the circle of the degree of the sun and the line of the beginning of the hour, and put a “first mark” on [the position on the rim of] the pointer of it (i.e., the alidade). Then rotate it (i.e., the alidade) towards the throne until you put its edge on the intersection of the line of the end of the hour and the orbit [of the degree of the sun], and make by means of the pointer [on the rim] a “third mark”. Then, multiply the difference between the “first” and the “second mark” by sixty and divide the result by the difference between the “first [mark]” and the “third [mark]”, then the result is the minutes of the fraction of the hour. Add it to the complete [hours] which you have, and the sum is the elapsed time from the day. (13-3-4) And since the method of converting one [type] of them (i.e., the hours) into another [type of hours] has been described, it is not necessary to repeat it here. And if the altitude is western, then the result of this operation is the remaining time of the day. So if the [hours] are seasonal, subtract it from twelve hours so that the remainder is the elapsed [time] of the day. If [the hours] are equal [hours], [subtract the result] from the day arc so that the remainder is the elapsed [time of the day].

(13-4) Section four: On the determination of the arc of revolution by means of the [lines of] sines

(13-4-1) By approximation, from the center of the half [of the alidade] with the scale of 90, count [the degrees] equal to the meridian altitude of the day which you [assumed], and place a mark on the edge of the alidade at the [altitude] amount. Rotate it (i.e., the alidade) until the mark coincides with the sine-line which issues from the observed altitude (i.e., from the point on the rim), and then look at the number which is shown by the pointer of the alidade on the altitude scale. Then [of this number], you take every fifteen degrees as one seasonal hour and you multiply [the remaining degrees] less than fifteen by four to find the minutes of the hour; [the sum] is the elapsed time of the day if the altitude is eastern, or the remaining

[time] of it (i.e., the day) if [the altitude] is western. (13-4-2) For the exact result: subtract the latitude of the locality from ninety, then the remainder is its complement. Put the pointer of the alidade on that [amount] (i.e., the complement of the local latitude). If the quadrant opposite the altitude quadrant is divided into the same parts as it (i.e., the altitude quadrant), count from each one of the two pointers, [an amount] equal to the declination of the sun, if it (i.e., the declination of the sun) is northern, towards the throne, and if it is southern, in the opposite direction. Then, put the edge of a ruler on the end of the given declination [f. 44 a] at each one of two pointers toward one [certain] direction, and put a mark on the intersection of it (i.e., the edge of the ruler) and the horizontal line. Then, attribute it to the north, if the declination is northern, and [attribute it] to the south, if [the declination] is southern. And if the quadrant is <not> graduated, to derive these two marks, obtain the equation of daylight on that [assumed] day. (13-4-3) Then, take the alidade away from the pole, [and] if the declination of the sun is northern, on the half with the [sinusoidal] ninety-scale, count [degrees] equal to the equation of daylight from the pole, and put a mark on the end [of the degrees]. Then put the pointer of the sixty-half on the altitude degree which is equal to the meridian altitude of the day which you [assumed] and hold it (i.e., the pointer) on [that position], and move the alidade until the mark at the end coincides with the horizontal line, then that is the northern mark; and if the declination of the sun is southern, in the sixty-half [of the alidade], count the amount which is equal to the sine of the equation of daylight from the pole, and put a mark on the end [of the amount on the alidade], then, put the pointer of the sixty-half [of the alidade] on the amount which is equal to the meridian altitude of the day which you [assumed] and hold it (i.e., the pointer) and move the alidade until the ending mark coincides with the horizontal line, it would be the northern mark, and hold the pointer of the alidade on the mark of the meridian altitude regarding the direction of the declination, and look up the point at which the sine [-line] – which comes out from the altitude of the sun of the [assumed] time – coincides with the edge of the sixty-alidade, and in that situation, count from it (i.e., the point) to the pointer, it is a versed sine, [then,] take its arc as has been described above. (13-4-4) If the altitude is eastern, take the difference between this arc and half the day arc, and if the altitude is western, add this arc to the half the day arc, then, the difference or sum is the arc of revolution [of the universe] from sunrise to the time at which you measured its altitude. If it is night time, and the altitude [which you measured]

belongs to a star which has a pointer on the astrolabe: find its declination, which is its distance from the celestial equator, and hence its meridian altitude and its equation of daylight. Do similar to what has been described above during daytime for the sun, then you will obtain the arc of revolution [f. 44 b] from the rising time of it (i.e., the star) until the time when you took its altitude, based on it and on the degree of the sun the elapsed time of night can be determined.

(13-5) Section five: On the determination of the arc of revolution and the altitude of the sun or star from one another

(13-5-1) If you know the degree of the sun in the ecliptic and [on which] almucantar of altitude and on which side [that is, whether the sun is eastern or western], among the almucantars, put the degree [of the sun] on the altitude of it (i.e., the sun) and make a mark at the position of the pointer on the rim. Rotate the spider conversely (i.e., counter-clockwise) until the degree of the sun coincides with the eastern horizon, then the interval moved by the pointer from the mark is the arc of revolution corresponding to the elapsed [time] of the day. (13-5-2) And in the converse situation, when the arc [of revolution] is known and the altitude is wanted, put the degree of the sun on the eastern horizon and make a mark on the position of the pointer [on the rim]. Rotate the spider until the pointer is distant from the mark by an amount equal to the given arc [of revolution]. Then look with which almucantar the degree of the sun coincides, then it (i.e., its number) is the altitude of the sun, which is on the same side [eastern or western] as on the almucantar. (13-5-3) If the degree of the sun is located between two almucantars, make a “middle mark” at [the position of] the pointer on the rim. Then put the degree of the sun on that one of the two different almucantars which has the lower [altitude] number, and make a “first mark” on [the position of] the pointer [on the rim]; put it (i.e., the degree of the sun) on that one of the two almucantars which has the higher [altitude] number and put also a “second mark” [on the rim]. Multiply the difference between the first mark and the middle one by the division base and divide the result by the difference between the first mark and the second [one]. Then add the result to that one of the two almucantars which has the lower number, then the sum is the altitude of the sun for the time at which the arc [of revolution] is given. (13-5-4) If you replace the degree of the sun by a star-pointer, and apply to it what we have described [above concerning the degree of the sun], then you will obtain the arc [of revolution] since [its] rising time, or its altitude

corresponding to that arc. (13-5-5) If you want the arc [of revolution] from the beginning of the night, put the star-pointer on the given altitude of it (i.e., the star) and make a mark on the [position of the] pointer [on the rim]. Then rotate the spider conversely (i.e., counter-clockwise) until the degree diametrically opposite the degree of the sun coincides with the eastern horizon [f. 45 a]. Then the interval which the pointer moved from the mark is the arc [of revolution]. In the converse [situation], put <the degree diametrically opposite to> the degree of the sun on the eastern horizon and make a mark on the [position of the] pointer [on the rim]. Then rotate the spider directly (i.e., clockwise) [so the pointer] moves on the rim away from the mark by an amount equal to the arc [of revolution] corresponding to the elapsed time from the night. Then the [almucantar of the] star-pointer corresponds to its altitude at that time. (13-5-6) If the astrolabe is of the halved [type] and the altitude is western, consider it as eastern. Put the degree of the sun on its almucantar and make a mark on the [position of the] pointer [on the rim]. Rotate the degree of the sun directly until it is located on the midheaven-line. Then, add [the interval] moved by the pointer to half the day arc of it (i.e., the sun), then the sum is the arc of revolution. And if the arc of revolution is given and [if] it is more than half the day arc, retain the difference between them. Then put the degree of the sun on the midheaven-line, make a mark on [the position of] the pointer and rotate the spider conversely (counter-clockwise) until the pointer moved away from the mark by an amount equal to the retained [amount]. Then, the degree of the sun is located on the almucantar of its altitude, although it is western; and work in the same way with the star-pointers. (13-5-7) And in the boat-shaped astrolabe, put the edge of the eastern horizon on the degree of the sun and make from that (i.e., the position of degree of the sun) on it (i.e., the edge of the horizon) a mark for the degree. Put it (i.e., the degree mark) on the eastern horizon of the plate, and put a mark on the position [on the rim] of the pointer of the mast. Then rotate the boat directly until the degree-mark is located on [the almucantar with number] equal to the given altitude, and at the [corresponding] side [eastern or western]. Then the interval which the pointer of the mast moved from the mark is the arc of revolution. And if the altitude is wanted from the arc of revolution, count an amount equal to it (i.e., the arc of revolution) from the mark [on the rim] towards the left, and move the pointer of the mast to its endpoint [of the counting]. Then the degree-mark shows [by its position on an almucantar] the altitude of it (i.e., the sun) and its side [eastern or western]. And if you make by means of the center of a

star [a mark] similar to the degree-mark, and use it (i.e., the mark of the star) instead of it (i.e., the mark of the degree of the sun), you will find out the two subjects. (13-5-9) And in the mixed [astrolabes] the procedure is according to these examples, if you observe the above-mentioned conditions in them.

Chapter fourteen

(14-1) Section one: On the determination of the ascendant by means of the altitude of the sun [f. 45 b] or a star

(14-1-1) In the revolution of the first movement [of the universe] (i.e., the rotation of the celestial sphere from east to west), the horizon and the meridian circle are the positions of the beginnings of the daily changes, and [the four points] of the ecliptic which coincide with them are called “pivots”. Two corresponding [circles] (i.e., corresponding to the horizon and the meridian) in the orbit of the moon also define the beginnings of the changes relating to the months: in the two of them are new moon, full moon, and the equality of light and darkness (i.e., first and last quarter). There are also two corresponding [circles] in the orbit of the sun for that (i.e., to define the beginning of the changes of the months and seasons), and in them (i.e., these two circles) are the two equinoxes and the two solstices, which are called “the transforming points” by the natural philosophers.

(14-1-2) If you have determined the altitude of the sun and its side (i.e., eastern or western), and put the degree of it (i.e., the sun) on the almucantar of it (i.e., the altitude), then the eastern horizon coincides with the degree of the ascendant, and the western horizon coincides with the degree of the descendant, and the lines of the midheaven and of the pillar of the earth [coincide with] their degrees and [zodiacal] signs. The situation for the stars is similar, if you put their pointers on the almucantar of their found (i.e., observed) altitude. (14-1-3) If the astrolabe is [of] halved [type], [its situation] is not different from the complete [astrolabe] as long as the altitude is eastern. But if it (i.e., the latitude) is western, you consider it eastern, and you put the degree of the sun on it (i.e., the almucantar) and make a “first mark” on the position of the pointer [on the rim]. Then you rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the degree of the sun coincides with the midheaven-line and you make a “second mark” on the position of the pointer [on the rim]. You rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the

distance of the pointer from the second mark is equal to the distance between the first and second [marks]. Then look at the eastern horizon - there is no other [horizon] than it (for the ascendant) to coincide with - then it will show the sign of the ascendant with its degree. The descendant [zodiacal sign] is the corresponding [degree] in the seventh sign of it (i.e., the diametrically opposite sign). The degrees of the midheaven and the pillar of the earth are on their two lines in their two [zodiacal] signs.

(14-1-4) On the boat-shaped astrolabe, you [should] extract the arc of revolution for the elapsed time of day. Then put the edge of the eastern horizon of the boat on the ecliptical degree of the sun, and count from the position of the pointer of the mast towards the left [f. 46 a] [an amount] equal to that arc [of revolution]. You move the pointer to the end [of the arc of revolution] by moving the boat conversely. Then look where the edge of the eastern horizon of the boat meets the ecliptic, that is the degree of the ascendant in its [zodiacal] sign. The meeting [point] of the edge of the mast with it (i.e., the ecliptic) is the [zodiacal] sign of the midheaven and its degree, and the degrees of the two other pivots are diametrically opposite to these two [ascendant and midheaven].

(14-1-5) On the crescent-shaped astrolabe, the [zodiacal] signs which have southern declination are located on the convexity of its crescent, and their segment [of the ecliptic] is between the celestial equator and the Tropic of Capricorn. In this segment, the horizon and the almucantars are eastern on the left side of the midheaven-line and western on the right side [of the midheaven-line]. The [zodiacal] signs with northern declination are in the concavity of its crescent and their segment [of the ecliptic] is between the celestial equator and the Tropic of Cancer. In this segment the horizon and the almucantars are eastern on the right side of the midheaven-line and western on the left side, and that is written below these two segments on the two sides. If the degree of the sun is on the convex side, put the degree [on the correct side, i.e., eastern or western] on the almucantar of the altitude of it (i.e., the sun), and look at the eastern horizon in the segment of it (the sun, i.e., the segment between equator and Tropic of Capricorn). Then, if a [zodiacal] sign with southern declination coincides with it (i.e., the eastern horizon), it is the ascending [zodiacal sign] with its degree; and if a [zodiacal] sign with northern declination coincides with it (i.e., the eastern horizon), you look at the western horizon in the [same] southern segment [of the ecliptic], then, the

southern [zodiacal] signs which coincides with it (i.e., the western horizon), shows the descending [zodiacal sign] with its degree, and the ascendant [zodiacal sign and] degree is diametrically opposite to it. (14-1-6) If the degree of the sun is on the concave side and the altitude is eastern, then take it (i.e., the altitude) from the western [almucantars in a normal astrolabe], which are [on this astrolabe] eastern in the northern segment, and if [the solar altitude] is western, you take it from the eastern [almucantars in a normal astrolabe] which are in this segment western. Put the degree of the sun on its almucantar and look at [the point on the ecliptic] which coincides with the eastern horizon of this segment [between equator and Tropic of Cancer]; if the declination of the [zodiacal] sign is northern, it is the ascendant [sign] with its degree. If the declination of the [zodiacal] sign is southern, look at the western horizon which is on the left side [f. 46 b] [of the meridian] in this segment, then [the ecliptical degree] which coincides with it (i.e., the western horizon) is the descending [zodiacal] sign with its degree, which is diametrically opposite to the degree of the ascendant. (14-1-7) And according to what we have described previously regarding this astrolabe: if you put the degree of the sun on the altitude (i.e., almucantar) of it in its [corresponding] side, it is possible that the horizon is devoid of the [zodiacal] sign. So if that happens, look at the position of the pointer among the numbers of the rim; these numbers begin (i.e., are zero) on both ends of the East-West line on the right and the left and end with ninety on the midheaven-line. Look at which number the pointer is located, then shift it (i.e., the pointer) to the equal number on the other side. Then look at the [zodiacal] sign and degree which coincide with the eastern horizon in that segment. And subtract the number [of complete signs], taken from the beginning of Aries, from twelve signs, then, the remainder is the number of the ascending [zodiacal] sign. Subtract the degree from thirty, then, the remainder is the degree of the ascendant.

(14-1-8) On the [astrolabes with] mixed projections, put the degree of the sun on the almucantar of its altitude whose type of projection corresponds to the [zodiacal] sign [of the sun], and look at the [zodiacal] sign and [ecliptical] degree which coincide with the eastern [part of the] common and transverse horizons. The ascendant is the one of the two [zodiacal signs] which coincides with the horizon whose type of projection is the same [as that of the sign in which the sun is located], and you should ignore [the other zodiacal sign] whose horizon is [of] different [type of projection].

(14-1-9) On the plate of horizons: derive the arc [of revolution since sunrise] in any of the ways that we have described. Then, among the horizons choose the left half or the left eastern part of that one of the horizons whose number is equal to the latitude of your locality. Put the degree of the sun of the ecliptic of the spider on it (i.e., the horizon) and make a mark on the position of the pointer [on the rim]. Then rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the pointer moves from the mark by an amount equal to the arc [of revolution]. Then the [point of the ecliptic] which coincides with the eastern horizon is the ascendant [sign] with its degree. One of the four diagonals [of the plate] is the midheaven-line, and [the point] of the ecliptic which coincides with it (i.e., the midheaven-line) is the degree of midheaven. If everything that is done with the degree of the sun in this chapter, is done in the same way with the star-pointers, it will lead [you] to the purpose: **f. 47 a** the ascendant and the rest. (14-1-10) If the altitude is taken in a place very high above the surface of the earth, for which the depression of the horizon [as seen from the summit] with respect to the [local] horizon as seen from the surface of the earth has already been obtained: [In this situation,] obtain for the measured altitude the [preliminary] degree of the ascendant as has been described above. Then you move up [that ecliptical degree a little bit] until it coincides with the eastern almucantar [above the horizon] whose number is equal to the total depression. Then [the point of the ecliptic which] coincides with the eastern horizon [in this new situation] is the degree of the ascendant on that summit.

(14-2) Section two: On the equalization (i.e., computation) of the houses other than the pivots (i.e., midheaven, imum coeli, ascendant and descendant)

(14-2-1) The ecliptic is divided into [four] quadrants in connection with the celestial equator, namely by the two points at minimum distance where they intersect (i.e., the equinoxes) and the two points at the maximum distance in similar situations (i.e., the solstices), and each one of the quadrants is divided into three [zodiacal] signs, in which the planets move. In the same way, the ecliptic is divided into four parts by the two circles of the local horizon and the meridian, and each one of them (i.e., the quadrants) is divided into three houses which are not equal to one another, unlike the [zodiacal] signs. Each house which starts from [one of] these two circles (i.e., the horizon and meridian) is called “pivot”¹ and

¹ In Latin, the pivots are called “cardines”

each pivot is between two houses which (i.e., whose boundaries) coincide with [the boundaries of] it (i.e., the pivot) on both sides. The one [of the two houses] which is towards the [direct] order of the [zodiacal] signs is called “succeedent” (Ar. *mā`il*; literally: inclined, bending down) in relation to the pivot. This [house] is like the following in the succession which happens when the pivot withdraws from its position because of the rotation of the universe. That [house] which is towards the reverse order of the signs, is called “cadent” because there is a pivot before it, and it (i.e., the house) withdraws from it (i.e., the pivot). And if the [zodiacal] sign which is on the midheaven-line is the tenth [zodiacal] sign from the ascendant, the pivots are called “upright” and “fixed”. But the [term] “upright” is better than “fixed” in this [regard]. But if the [zodiacal] sign which is on the midheaven-line is the eleventh [zodiacal] sign from the ascendant, [the pivots] are called “succeedent” and when [it is] the ninth [zodiacal sign from the ascendant], [the pivots] are called “cadent”.

(14-2-2) And concerning the houses: if you want [to determine] them by means of the seasonal hour-lines under the horizon, put the degree of the ascendant on the eastern horizon which has the same type of projection [f. 47 b] as its (i.e., the degree of the ascendant) [zodiacal] sign. Move the degree of the seventh [house] down the [western] horizon with the corresponding [type of projection] by a distance of two hours, so it (i.e., the degree of the seventh house) reaches the [hour-line of the] beginning of the third hour, and look at the [zodiacal] sign and degree which coincide with the midheaven-line, and this is the beginning of the eleventh house. Move it (i.e., the degree of the seventh house) down [again] by two more hours, until it (i.e., the degree of the seventh house) reaches the [hour-line of the] beginning of the fifth hour, then [the point of the ecliptic which] coincides with the midheaven-line is the beginning of the twelfth house. Put the degree of the ascendant on the beginning of the eleventh hour, then, the beginning of the ninth house coincides with the midheaven-line. Put the degree of the ascendant on the beginning of the ninth hour, then the beginning of the eighth house coincides with the midheaven-line. [Zodiacal] signs [corresponding to] the opposite houses are opposite, and their degrees are equal. (14-2-3) And if you want, derive the equation of daylight of the degree of the ascendant, and add one-third of it to thirty degree if the declination of the degree is northern, and subtract one-third of it from thirty if the declination [of the degree] is southern, and retain the result of the addition or

subtraction. (This is the “retained amount” in what follows.) Then put the degree of the ascendant on the eastern horizon with corresponding [type of projection], then, the degrees of the pivots take their [correct] positions [on the astrolabe].

Rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the pointer has moved the retained amount. Then the midheaven-line coincides with the beginning of the <eleventh house, and make a mark. Rotate the spider again until the pointer has moved the retained amount. Then the midheaven-line coincides with the beginning of the> twelfth house. Rotate it (i.e., the spider) again until the pointer moves sixty degrees, then, the midheaven-line coincides with the beginning of the second house. Then return to the mark and count one hundred and twenty from it, and move the pointer towards the end [of this amount], then the midheaven-line coincides with the beginning of the third house. (14-2-4) And if the ascendant is located on a high place, determine the depression of the horizon. Then take one-third and two-thirds of this depression and add the one-third [of the depression] to the beginning of the eleventh house and to the beginning of the third house which you have derived by the [preceding] equalization [procedure], and add two-thirds [of the depression] to the beginning of the twelfth house and to the beginning of the second [house] [f. 48 a], thus they will be corrected for that place.

(14-2-5) On the boat-shaped astrolabe: derive the “retained [amount]”, which is eastern, and subtract it from sixty, then the remainder is the western [retained amount]. Put the eastern horizon of the boat on the degree of the ascendant, then the edge of the mast passes through the [zodiacal] sign and degree of the tenth house. Place a “middle mark” on the position [on the rim] of the pointer of the mast. Rotate the boat directly until the pointer moves from the mark by an amount equal to the “western retained amount”. Then the edge of the mast coincides with the beginning of the ninth house. Move it (i.e., the pointer of the mast) again from the place which is had reached, by an amount equal to the “western retained [amount]”. Then the edge of the mast reaches the beginning of the eighth house. Return the pointer to the middle mark, and rotate the boat conversely by an amount equal to the “eastern retained [amount]”,¹ then, the edge of the sail coincides with the twelfth house.

¹ The determination of the eleventh house is missing.

(14-2-6) On the crescent-shaped [astrolabe]: derive both the eastern and western retained [amounts]. Put the degree of the ascendant on its horizon, then, the beginning of the tenth [house] coincides with the midheaven-line. Make a “middle mark” on the [position of the] pointer [on the rim] and count from it (i.e., the middle mark) directly (i.e., clockwise) equal to the “eastern retained amount” regarding the horizon of the ascendant, and make a “first mark” wherever it ends on the rim. Count from it a second time [the same amount], and make a “second mark” at the end [of counting]. Then return to the middle [mark] and count from it <conversely (i.e., counterclockwise) equal to the “western retained amount” and make a “third mark” on the rim> then count from it conversely a second time [the same amount], and make where [you end] a “fourth mark”. If you put the pointer on the first mark, the midheaven-line coincides with the beginning of the eleventh house, and on the second [mark], the beginning of the twelfth house, and on the third [mark], the beginning of the ninth house, and on <the fourth [mark]>, the beginning of the eighth house. The determination of six houses is a key for the other six [houses], because their [zodiacal] signs and degrees are [diametrically] opposite.

Chapter fifteen

(15-1) Section one: On the determination of the azimuth by an astrolabe on which azimuthal lines have been engraved

(15-1-1) The meaning of “azimuth” is the distance on the horizon of the altitude circle from one of the two ends of the equinox-line (i.e., the East-West line). [f. 48 b] On the astrolabe, the azimuthal lines come together and intersect [each other] at the point [marked with] 90. For this reason, they are cut off (i.e., interrupted) at the circumference of the [small] almucantar which surrounds this point, just as [they are cut off] at the horizon.

(15-1-2) Sometimes they are not engraved above the horizon among the almucantars, to keep them from interlacing with each other like ivy, but [in that case] for every azimuthal circle the part under the horizon is drawn on the plate. And if they (i.e., the azimuthal lines) are engraved among the almucantars above the horizon and you take the altitude of the sun and put its degree on its [corresponding] almucantar in its [correct] side (i.e., eastern or western), then look

up the point where the azimuthal circle through the degree of the sun reaches the horizon, then you will find its number engraved near it, and that is the amount of the distance in azimuth [of the sun from the east or west point].

(15-1-3) If the degree of the sun is in the ascending half [of the celestial sphere], which is from the pillar of the earth to the ascendant and then to the midheaven, the distance in azimuth will be [counted] from the east [point] of the horizon (Literally: rising [point] of the equinox); and if it (i.e., the degree of the sun) is in the other, descending half, it (i.e., the distance in azimuth) will be [counted] from the west [point] of the horizon (Literally: setting [point] of the equinox).

(15-1-4) And if the position of the azimuth circle [through the sun] with respect to the two points of intersection of the horizon and the celestial equator is above the East-West line, then the azimuth is in the astrolabe [of] southern [stereographic projection] towards the north and in the northern [projection] towards the south, and if it is with respect to them below the East-West line, in the northern [projection] it (i.e., the azimuth) is northern and in the southern [projection] it is toward the south; and the situation in this regard is the same for [ecliptical] degrees and star-pointers. Then, the half of the horizon which is bisected by the east point (literally: middle of the east) is [called] eastern, and the other half is [called] western. The half of it (i.e., the horizon) which is bisected by the south point (literally: midst of the south) is [called] southern, and the other half is [called] northern. In each quadrant, the description of the azimuth is combined from two azimuths, thus, the part [of the horizon] between the east and the south point is [called] the south-eastern quadrant, and [from the south point] towards the west point is the south-western [quadrant], and [from the west] towards the north point is the north-western [quadrant], and the rest is the north-eastern [quadrant].

(15-1-5) And if the azimuth circles are engraved below the horizon, and the degree of the sun is placed on [f. 49 a] the almucantar of its altitude, on the [correct] side (east or west), then look at the azimuthal circle which passes through the degree diametrically opposite to the degree of the sun and its junction with the horizon, then the number of it is the distance of the azimuth [of the sun from the east or west point]. Then consider the quadrant of the azimuth [of the diametrically opposite degree], and convert its two attributes [to obtain the azimuth of the degree

itself]. I mean that for instance if [the azimuth] is in the north-east quadrant, the azimuth of the sun is south-west, and the situation for the other altitudes is similar.

(15-2) Section two: On taking the number of the circle of the azimuth [by interpolation, if the circle has not been drawn on the astrolabe]

(15-2-1) Sometimes the azimuthal circles are engraved on the astrolabe with a difference [between the numbers of successive azimuthal circles] equal to the difference between [the numbers of successive] almucantars if the astrolabe is not complete, or [equal to] another difference.

If the degree of the sun is between two lines of them (i.e., azimuth circles) such that the number of one of them is higher and the other number is lower, then put a secure mark on the position of the pointer [on the rim]. Rotate the spider until the degree [of the sun] is on the [azimuthal] circle with the lower number, and put a “first mark” on the position of the pointer [on the rim]. Then rotate it (i.e., the spider) until it (i.e., the degree of the sun) is on [the circle with] higher number, and put a “second mark” on the position of the pointer [on the rim]. Multiply <the difference between the second mark and the first mark by the difference between the numbers of the two azimuthal circles, and divide the result by> the difference between the first and second marks, then the result is the “equation”. Always add it (i.e., the equation) to the lower number of the two [azimuthal] circles, then, the sum is the number of the [not engraved] azimuthal circle of the sun in one of the quadrants of the horizon. (15-2-2) There is no (i.e., zero) azimuth if the circle passes through one of the two intersection points of the horizon with the celestial equator, and this circle is called the “circle without azimuth”. The altitude [of the sun or other celestial body] on it [is called: “altitude] without azimuth”. Some of them (i.e., the astronomers) call this circle “the beginning of the azimuths” (i.e., the prime vertical). If the azimuth is ninety, the corresponding altitude is the meridian altitude.

(15-3) Section three: On the determination of the rising amplitude of the sun and the stars

(15-3-1) The rising amplitude is the distance of the rising point from the east point of the horizon (literally: the rising point of the equinox) towards the northern or southern direction, and the setting amplitude is equal to it (i.e., the rising amplitude) and in the same direction, from the west point of the horizon (literally: the setting point of the equinox). To determine it, put the degree of the sun or the star-pointer [f. 49 b] on the eastern horizon on the astrolabe on which azimuthal lines have been engraved, then the number of the azimuth circle passing through it (i.e., the sun or the star-pointer) is the rising amplitude of it. If the degree or the star-pointer is outside the celestial equator, the rising amplitude is southern in the northern astrolabe and in northern in the southern [astrolabe], but if [the degree or star-pointer is located] inside the celestial equator, it (i.e., the rising-amplitude) is northern on the northern astrolabe and southern on the southern [astrolabe].

(15-3-2) If the degree or the star-pointer, while being located on the horizon, is between two azimuthal circles, look which ecliptical degree on the horizon coincides with the [azimuth-] circle [of the two] carrying a lower number, and that is [called] the first [degree], and [then, look which ecliptical degree on the horizon] coincides with the [azimuth-] circle [of the two] carrying a higher number, and that is [called] the second [degree] and between these two [degrees] is your desired [degree]. Then multiply the difference between the first degree and your proposed [degree], which you put on the horizon, by the difference between the numbers of the two azimuthal circles on the horizon, and divide the result by the difference between the first degree and the second degree. Add the result to the lower number of the two [azimuthal] circles, then the sum is the desired rising amplitude of the degree, in the same [direction as] its declination. It (i.e., the rising-amplitude) increases by increasing it (i.e., the declination) and decreases by decreasing it (i.e., the declination).

(15-3-3) If the astrolabe does not have azimuthal lines, but if it has sine-lines and the circle of declination is engraved among the sine [-lines], put the pointer of the half [alidade] with scale of ninety [units] on the on the altitude-scale on the degree equal to the complement of the latitude of the locality. Then, count from the beginning of the parts (i.e., units of the altitude scale) the same amount as the

declination of the degree, and look where the sine [-line] which is drawn through this amount [on the altitude scale] meets the edge [of the alidade] with the scale of ninety [units]. Then, its number from the pole is the rising amplitude of the degree.

(15-4) Section four: On finding the meridian and the East-West line

(15-4-1) Flatten the ground as far as possible until [if there is] a considerable amount of water, [it] flows toward every direction equally, and a small ball with an [everywhere] equally round shape stops on every place of it (i.e., the flat zone) and does not roll by itself towards [f. 50 a] any direction. Then, attach a piece (i.e., a ring) of ebony of small height to the rim of the astrolabe on its face in such a manner that if you put it (i.e., the astrolabe) horizontally on the flat ground, it stands on the edge of the ebony [piece], parallel with the flatness of its (i.e., the ground's) face while it (i.e., the ground) does not meet the pole [of the astrolabe].

(15-4-2) Then you assume (i.e., take) an [arbitrary] altitude of the sun on your [supposed] day in one of the two directions, and determine its azimuth in its direction. Observe [the altitude of the sun] until it becomes equal to the sun's altitude which you assumed [at first], and put the astrolabe reversely on the [above mentioned] flat ground. The pointer of the alidade [should be] towards the determined azimuth if it is south-eastern or north-western. Put the altitude quadrant towards the direction of the sun, and rotate the astrolabe around itself until the shadow of the target, which is on the side of the sun, fits upon the alidade equally (i.e., symmetrically) and coincides with it (i.e., the alidade), and the light beam of its hole falls on the straight line which is [engraved] along the alidade. Then extend the horizontal and vertical diameters rectilinearly on the ground, in both directions. Then the rectilinear extension of the horizontal [diameter] is the East-West line, and the rectilinear extension of the vertical diameter is the meridian-line. If the azimuth is either south-western or north-eastern, subtract the azimuth from ninety and put the pointer of the alidade on the altitude-scale on the degree which is equal to the remainder. Place this quadrant (i.e., the quadrant with the altitude-scale) towards the direction [of the azimuth] and rotate the astrolabe until the shadow of the target fits on the alidade itself. Then extend the two diameters rectilinearly in both directions. Then the rectilinear extension of the vertical line (i.e., diameter) is the East-West line, and the rectilinear extension of the horizontal [diameter] is the line of noon.

(15-4-3) And if you determine on your day an altitude with zero azimuth (i.e., an altitude on the prime vertical), and put the pointer of the alidade on the beginning point of the [scale of] altitude degrees and observe the sun until its altitude is equal to the determined altitude and the shadow of the target fits on the alidade, the horizontal line [on the astrolabe] coincides with the [f. 50 b] East-West line. Beware that this [method] is not general [for the sun for all days of the year] because the altitude with zero azimuth exists only for [ecliptical] degrees which have northern declination.

(15-5) Section five: On how to observe the azimuth on the circle of the horizon and the determination of the arc of revolution and the ascendant from it (i.e., the azimuth)

(15-5-1) Whenever <you want to do it after> deriving the East-West line and the meridian on the surface of a smooth [piece] of low land, draw a circle such that its center is the intersection point of the two [lines], then it (i.e., the circle) will be divided by them into four equal quadrants. Then place at its center a smooth conical gnomon – with a sharp tip – in such a way that it is perpendicular to the surface of that piece of land. The method for [placing] it is to take a strong straight reed such that in one of its two ends there is a small hole in which the tip of the gnomon can be fastened. You determine its length so that it reaches the circumference of the circle and rotates on the circumference. Then, if the end [of the reed] coincides with it (i.e., the circumference of the circle) during the entire rotation, the gnomon has been set up perpendicularly. But if the end [of the reed] goes outside the circumference [of the circle], for example in a place where it (i.e., the circumference) makes an inclination towards it, it is necessary to flatten [the ground] or to insert an inclined wooden staff outside the flat [piece of] earth, in such a way that the end of it (i.e., the staff) or [some] part of it is [precisely] above the intersection of the two lines, and suspend from it (i.e., the staff) a plumb line with a small bob which hangs exactly above the intersection [of the two lines]. Then, if it hangs in such a way, tie the string to the point [on the staff] from which you suspended [the plummet], move the plumb line upwards, and set the gnomon in such a manner that if you lower the plumb line, its lower end points to the sharpened tip of the gnomon. Then it has been set up as you intended.

(15-5-2) Then observe the shadow of this gnomon at an arbitrary time, and draw a straight line from the center of the circle to the tip of the shadow. Take the gnomon away, and put the astrolabe upside down on its (i.e., the gnomon's) place in such a way that the horizontal line on it (i.e., the back of the astrolabe) coincides with the East-West line [on the ground], the vertical line [coincides] with the meridian, and the line which is drawn in the middle of the shadow meets the altitude quadrant of the astrolabe. [f. 51 a] Look which [altitude-] degree is indicated by it (i.e., the line), then, the difference between it (i.e., the degree) and the East-West line is the azimuth of the shadow, which is equal [in number] to the azimuth of the sun. If the shadow is in the southern half, the azimuth of the sun is in the northern half, and vice versa, and if the azimuth of the shadow is in the western half, the azimuth of the sun is in the eastern half, and vice versa. And if you have determined it, find the [suitable arc of the] azimuthal circle whose number is equal to the amount of the azimuth [in degrees] and which is located on its (i.e., the azimuth's) side and in its direction. Put the degree of the sun on it <and put a mark> on the position of the pointer [on the rim], then, the ascendant [of that moment] is the [zodiacal] sign and degree at the eastern horizon [on the astrolabe].

(15-5-3) To [determine] the arc of revolution of the universe, rotate the spider conversely (i.e., counter-clockwise) until the degree of the sun coincides with the eastern horizon, then, the [distance] which the pointer moved away from the mark is the arc [of revolution of the universe since sunrise]; then convert it to the [kind of] hours in which you compute (i.e., either equal or seasonal hours).

(15-6) Section six: On the determination of the azimuth of the *qibla* and the azimuth of any desired locality [as seen from one's own locality]

(15-6-1) Localities are specified by their longitudes, taken with reference to the meridian circle of a certain place on the earth which is made the starting point (i.e., zero point) of the longitudes in the terminological sense, and which is agreed to be the western end of the inhabited [world], and by their latitudes which are the amounts of their distances from the equator. (15-6-2) For [determining the direction of] the *qibla*, you only need Mecca because you face the *Ka'ba* in prayers and other rituals according to it (i.e., the *qibla*). Mecca belongs to the localities with two [types of] shadows, because its latitude is equal to twenty-one degrees plus one-third of a degree. The sun passes through the zenith of it when it is in five

and a half degrees (i.e., $5;30^\circ$) of Gemini and again when it is in twenty-four and a half degrees of Cancer. At these two [times], its (i.e., the sun's) light shines on the water of its (i.e., Mecca's) wells and the [(i.e., the sun's)] shadow would be the noon-shadow, and it (i.e., the sun) moves toward the north between the two [zenith] transits [at $5;30^\circ$ Gemini and $24;30^\circ$ Cancer]. (15-6-3) The meridian of it (i.e., Mecca) is close to the meridian of Baghdad: the difference is three degrees in longitude. Since it (i.e., the situation) is like this, [f. 51 b] to determine the direction of the qibla, put one of these two degrees on the midheaven [-line], <and make a mark on the position of the pointer on the rim>. Find the longitude difference between your city and Mecca. If the longitude of Mecca is more [than the longitude of your city], the counting is from the mark toward the left, and move the pointer to the point which you reached after counting the [longitude] difference from the mark. Then look at the azimuthal circle which is reached by the degree which you put on the midheaven-line (i.e., $5;30^\circ$ Gemini or $24;30^\circ$ Cancer), and find its number on the horizon and the direction where it is located, and that is the amount and direction of the azimuth of the qibla in your city. (15-6-4) If it (i.e., the azimuth) is [on the astrolabe] between the intersection of the horizon and the celestial equator (i.e., the east point) in the direction of the [line of] midheaven on the northern [astrolabe], it (i.e., the azimuth) is towards the south, and on the southern [astrolabe] it is towards the north; and if [the azimuth] is between the intersection [of the horizon and the celestial equator] towards the line of the pillar of the earth on the northern [astrolabe], it is towards the north, and in the southern [astrolabe] it is towards the south; and if it (i.e., the azimuth) is exactly on the point of intersection, the prayer [should be done] on the East-West line: if the intersection is on the western horizon, [the prayer should be done] by turning your back [exactly] towards the east, and if it (i.e., the intersection) is on the eastern horizon, [the prayer should be done] by turning your back [exactly] towards the west. And if the longitudes of Mecca and your city are the same, the prayer [should be done] on the line of noon: if the latitude of Mecca is less than the latitude of your city, [pray] towards the south, and if it is more [than the latitude of your city, pray] towards the north.

(15-6-5) If the azimuth of a locality other than Mecca is wanted, and if it is with two [types of] shadows, find the two [ecliptical] degrees whose northern declinations are equal to the latitude of your city. To do this, you count the

[number of] almucantars equal to the latitude of the city on the midheaven-line from the celestial equator: in the northern astrolabe [count them] towards the inside, and in the southern [astrolabe] towards the outside, and put a mark at the end on the line [of midheaven]. Rotate both the spring and summer quadrants, then the two degrees in them (i.e., the quadrants) which pass through the mark, pass through the zenith of it (i.e., the locality). Then take the difference between the longitude of it (i.e., the locality) and the longitude of your city, and do with it on your plate as you did with Mecca for the qibla, [f. 52 a] hence the azimuth and direction of the [proposed] locality will be derived for your city. (15-6-6) And if the [proposed] locality has [only] one shadow, you find the mark on the midheaven-line by means of the latitude of it (i.e., the locality) and you attach a piece of paper to the ecliptic such that its (i.e., the piece of paper's) pointer coincides with the mark. Then you consider this pointer as one of the two above-mentioned [ecliptical] degrees, and you do with it (i.e., the pointer) and with the difference between the two longitudes the same as what you did before for the qibla. Then the azimuthal circle which coincides with the pointer [in its rotated position] is the azimuth-circle of that [proposed] city in (i.e., as seen from) your city, so you determine its number and direction according to what has been described above.

Chapter sixteen

(16-1) Section one: On the determination of the distances of the degrees [of the ecliptic] or of the planets from the pivots (ascendant, descendant, midheaven and imum coeli)

(16-1-1) Let us call the [ecliptical] degree or the pointer of a star or planet, which is either engraved [on the astrolabe] or attached to it by a piece of paper, the “indicator” (*dalīl*), for easy reference in what follows. Then put it¹ on the eastern horizon and make a mark on the place of the pointer [on the rim]. If you want [to determine] the distance of the indicator from the cusp of the tenth house while it (i.e., the indicator) is above the earth (i.e., horizon), or [want to determine its distance] from the cusp of the fourth house while it (i.e., the indicator) is below it (i.e., the horizon), then rotate the spider directly (i.e., clockwise) if the indicator is

¹ The text is erroneous. Bīrūnī should have said: put the ascendant on the eastern horizon. In *Ikhraj* (43-2) the procedure is explained correctly

in the ascending half above the horizon or in the descending [half] below it (i.e., the horizon), until it (i.e., the indicator) coincides with the line of midheaven or of the pillar of the earth (i.e., the meridian line). Then the amount which the pointer moved from the mark [on the rim] is the distance in time-degrees. If the indicator is in the descending half below the horizon or [in] the ascending [half] above the horizon, then let the movement [of the spider] be in the reversed direction until the indicator coincides with the line of midheaven or the pillar of the earth. Then the pointer has moved from the mark by the amount of the distance in time-degrees. (16-1-2) If you use [it]¹, you [can] correlate [it] to half of the day arc of the indicator [if it is] above the earth, and to half of its night arc [if it is] below the horizon, and both of them (i.e., the previous procedure and the earlier method) are used together; and if you divide it (i.e., the distance of the indicator to the meridian line in time-degrees) by fifteen, you have expressed [the result] in [equinoctial] hours of the half day or half night arc. If you divide it (i.e., the distance) by the degrees of the (i.e., one seasonal) day hours of the indicator, if it is above the earth, or the degrees of its (i.e., one of its seasonal) hours of night if it is below the earth, the result is the seasonal hours of distance, and they are always related [f. 52 b] to six (i.e., the maximum number is six, when the indicator is on the horizon).

(16-2) Section two: On the determination of the projection of the rays of a planet if it coincides with the degree of one of the pivots

(16-2-1) It is customary to use the [ecliptical] degrees of the planets [for astrological aims], even in case they have [non-zero] latitude in one of the two directions. (16-2-2) If the planet happens to be on the degree of the ascendant, put it on the eastern horizon and make a mark on the position of the pointer, and it is [called] “the base” from which the numbers of the [astrological] aspects (*manāzīr*) – which are sixty for the sextile [aspect], ninety for the quartile [aspect] and one hundred and twenty for the trine [aspect] – are counted. Count each of these numbers towards the right and towards the left from “the base”, and make a mark on the end [of each count] for that [corresponding] ray. Then, the marks towards the right are for the left rays which are in advance of the planet in the [direct] order of the [zodiacal] signs, and the marks towards the left are for the right rays which come after it (i.e., the planet) and are in the reverse order of the [zodiacal] signs.

¹ It means: if you want to use the distance [of the indicator to the cusp of the tenth or the fourth house] in hours.

Then, put the pointer on each one of the marks of the rays and for each one of them, look at the ecliptical [degree] which coincides with the eastern horizon, and that is the projection of that ray.

(16-2-3) If the planet happens to be on the degree of the descendant, add six [zodiacal] signs to each of the rays which you determined for the degree of the ascendant, then it is the ray for it (i.e., the planet) when it is at the degree of the descendant. If it is on the degree of midheaven, put the pointer on those marks but do not consider [the ecliptical point] coinciding with the eastern horizon, but look at [the ecliptical point] coinciding with the midheaven-line, and that is the projection of that ray. And if it is on the degree of the pillar of the earth, add six zodiacal signs to each of the rays which you determined for the midheaven-line, then, it (i.e., the result) is [the projection of the ray] for it when it is at the degree of the pillar of the earth.

(16-3) Section three: On the [determination of the] projection of the rays of the planets when they are between the pivots

(16-3-1) Determine the distance of the planet from the midheaven-line and half its (i.e., the planet's) day arc [f. 53 a] when it is above the horizon, and [determine] its distance from the line of the pillar of the earth and half its night arc when it is below the horizon. For each one of its rays, determine the "first amount" and the "second [amount]". (16-3-2) For the first [amount], put the [ecliptical] degree of the planet on the midheaven-line and make a mark on the position of the pointer [on the rim], and that is the "first base". Then, count sixty degrees from it <towards> the left and put the pointer on the end [of the counting], and that is "the sextile mark". Then [the point] of the ecliptic which coincides with the midheaven-line is the "first amount" for the right sextile [ray]. Count again thirty degrees from the "sextile mark" towards the left and put the pointer on the end [of counting], and that is the "quartile mark". Look at [the point] of the ecliptic which coincides with the midheaven-line, and that is the "first amount" for the right quartile [ray]. Count another thirty degrees from [the quartile] mark towards the left, and put the pointer on the end [of counting]. Then [the point of] the ecliptic which coincides with the midheaven-line is the "first amount" for the right trine [ray]. And similarly, determine the "first amount" for each of the left rays by returning to the first base, and counting from it towards the right the same numbers

which you counted towards the left, and follow what has been described above, so that the “first amount” is also obtained for each of these rays.

(16-3-3) For the “second amount” for them (i.e., the rays): if the planet is located in the ascending half [of the ecliptic], put its degree on the eastern horizon, and [if the planet is located] in the descending [half] put it (i.e., its ecliptical degree) on the western horizon, and make a mark on the position of the pointer [on the rim]. This is the “second base”, which plays the same role in the determination of the “second amount” as the “first base” in the determination of the “first amount”. Count sixty [degrees] in the right and left direction from it (i.e., the second base), and [count] thirty [degrees] from [the end of] sixty, and [count] another thirty [degrees] from [the end of the last] thirty [degrees], and make a mark on where [these counting processes] end. Put the pointer on each of them, and each time you look at [the ecliptical point] that coincides with **f. 53 b** the [eastern of western] horizon on which you have put the ecliptical degree of the planet, and that is the “second amount” for every ray of it (i.e., the planet).

(16-3-4) And when you have finished obtaining these two amounts for each of the rays of the seven planets, take the two amounts of every ray in one direction, as in [our] example the left sextile [ray]. If the two amounts are equal, [each] one of them is the projection of this sextile [ray] on the ecliptic. If they are not equal, you take the difference between them, and you know to whom [of the two] the excess is (i.e., that is, which of the two is the greatest). You multiply it (i.e., the difference) by the distance [of the planet] from the tenth [house] and divide the result by half its day arc, then the result is the “equation”, if it (i.e., the planet) is above the horizon. If it is below it (i.e., the horizon), multiply the difference by its distance from the fourth [house], and divide the result by half its night arc, then the result is the “equation”. If the excess belongs to the first amount, [and] it is with respect to the second amount in the order of the [zodiacal] signs, subtract the equation from the first amount. But if the excess is over it (i.e., the first amount), it is with respect to the second amount towards the reverse order of the zodiacal signs; then add the equation to it. Then the result of the addition or subtraction is the place of the sextile ray which we have treated as an example.

(16-3-5) And do the same for the other right and left rays, so all of them appear to you. The opposite [ray] is diametrically opposite to the planet.

(16-4) Section four: On the progression (*tasyīr*) of indicators (*adillā*) to assumed positions

(16-4-1) The indicator (*dalīl*) is either on the degree of one of the pivots or it is between two of them, and the promissor (*musayyar ilayh*) is either the body of a planet, or its ray, or a position which is characterized by a situation different from the others; and all of them are in known degrees of the ecliptic, or on pointers which are established on the astrolabe or on pieces of paper attached to the astrolabe as we have described above. So, let us call the degree of the intended [point] the promissor. If the indicator is exactly on the degree of a pivot, put it (i.e., the indicator) on its [corresponding] horizon or its line (i.e., either the midheaven-line or the line of the pillar of the earth), and make a mark on the position of the pointer [on the rim]. Rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the degree of the destination [point (i.e., the promissor)] coincides with that horizon or [meridian] line on which you had put [f. 54 a] the indicator. Then the [number of degrees] which the indicator moved from the mark is the progression in time-degrees.

(16-4-2) If the indicator is located between two pivots, put it on the midheaven-line, make a mark on the position of the pointer [on the rim], and rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the degree of the destination or its pointer coincides with the midheaven-line. Then [the number of degrees] which the pointer [on the rim] moved from the mark is the “first amount”. Then put the indicator on the eastern horizon if it is in the ascending half and on the western horizon if it is in the descending half, make a mark on the position of the pointer [on the rim], and rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the degree of the destination [point] or its pointer, instead of the indicator, coincides with that horizon. Then [the number of degrees] which the pointer moved from the mark is the “second amount”. Multiply the difference between the two amounts by the distance of the indicator from the tenth [house], and divide the result by half the day arc of it (i.e., the indicator) if the indicator is above the horizon, and if [the indicator] is below it (i.e., the horizon), multiply the difference by the distance of the indicator from the fourth [house] and divide the result by half the night arc of it (i.e., the indicator), then the result is the equation. Then, look if the first amount is less than the second [one], then add the equation to the first [amount] and if the first [amount] is more

than the second [one], subtract the equation from the first [amount]. The result of the addition or subtraction is the progression in time-degrees.

(16-5) Section five: On the year-transfers (*taḥwīl al-sinīn*) and the amount of the progressions in our opinion

(16-5-1) When the sun returns to the [same] place at which it was at an assumed time of some event in world, the duration of that return is called the “year” attributed to it (i.e., the return). (16-5-2) In most cases, for [determining] the years of the world and its beginnings, the entrance of the sun in the beginning of the sign of Aries is used, and in [determining] the years of the births and their beginnings, the position on which it (i.e., the sun) happened to be at the time of birth is used. (16-5-3) And the appropriate method for determining the transfer time for an assumed year by means of the astrolabe is that you subtract one unit from its year [-number], then, the completed years which are anterior to it will remain. If it is, for instance, the twenty-fifth [year] [f. 54 b], which is an incomplete [year] for which the time of the transfer is desired, the complete year before it is twenty-four. Put the degree of the ascendant for the “first year” on the eastern horizon, and make a mark at the position of the pointer on the rim. This beginning (i.e., the “first year”) is for transfers of world years an assumed year of known date, in which [year] the ascendant for the vernal equinox is known; and for births, it is either a year like this or the time of birth. Then you start to rotate the spider directly (i.e., clockwise) so that the pointer moves from this starting point for each completed year after this beginning [the amount of] eighty-six degrees and forty-one minutes – which is approximately equal to five hours and fifty-seven minutes – until those years are finished. Then you look which [point] of the ecliptic coincides with the eastern horizon, and that is the sign and degree of the ascendant of the [moment of] transfer. (16-5-4) It is a tradition among astronomers (or astrologers) to let every time-degree of the progression correspond to one solar year. [Then] it is obvious that the amount for one solar month, that is one-twelfth of a solar year, is five minutes of a time-degree, and the amount for one [formal] “solar day” is ten seconds of [a time-degree]. (16-5-5) And an approximation [method] for converting an amount of natural days (*ṭulū ʿī*, literally: defined by sunrise) to an amount of solar days is to multiply [the natural days] by nineteen thousand four hundred and forty, and divide the result by nineteen thousand seven hundred and twenty three, then the result is the solar [days] which correspond to the natural

[days]. And conversely, you multiply the solar days by [the number] by which [you] divided in the first [case], and you divide the result by [the number] by which you multiplied [in the first case], then, [the solar days] are converted to natural [days].

(16-5-6) And if a date is given to you, it is inevitably counted in natural days. If you are asked to [find] the positions [of the planets] which the progressions reach in that day, it (i.e., the day) is either at the beginning of the year transfer or some time after it during an incomplete [year]. The interval between its beginning and the given date is known in terms of natural [days], so, convert it to solar [days]. If the indicator, which is progressed, is at the original [time of] birth at [f. 55 a] the degree of [the cusp of] the tenth [house], put it (i.e., the indicator) on the midheaven-line, or if it is in the degree of [the cusp of] the fourth [house], put it (i.e., the indicator) on the line of the pillar of the earth. Count [on the rim] towards the right from the position of the pointer [a number of degrees] equal to the number of completed years [from the beginning] before the year of the transfer and with an [added] fraction if there is [also an amount of] solar days: convert [them] to the corresponding [fraction] of time-degrees. Move the pointer to the result [of the counting], and look at [the point] of the ecliptic which coincides with the line on which you had put the indicator, and that is the place which the progression of the indicator has reached at that time.

(16-5-7) If it (i.e., the indicator) in the original [time of] birth is at the degree of the ascendant, put it (i.e., the indicator) on the eastern horizon, or [if it is] at the degree of the descendant, put it (i.e., the indicator) on the western horizon. From the [position of the] pointer [on the rim], you count towards the right [degrees equal to] that number of years with the fraction as you counted before. Move the pointer towards the result [of counting] and look at [the point] of the ecliptic which coincides with the horizon on which you have put the indicator, and that is the place on which the progression of the pointer has arrived. If the indicator at the original [time of birth] is not [located] on the degree of one of the pivots, put it (i.e., the indicator) on the midheaven-line and rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the pointer moved from its [original] position by a number [of degrees] equal to the number of the completed transfer years plus the fraction [of a year], if any (literally: “if it follows them”). Look at [the point] of the ecliptic which coincides with the midheaven-line, and that is the “first amount”. Then, put

the indicator on the eastern horizon if it is at the original [time of birth] in the ascending half, or [put it] on the western horizon if it is in the descending half. Move the pointer [on the rim] from its [original] position by [a number of degrees equal to] the number of those years and the fraction with it. Then [the point] of the ecliptic which coincides with the horizon on which you have put the indicator is the “second amount”. Multiply the difference between these two amounts by the distance of the indicator at the original [time of birth] from the beginning of the tenth [house] or [from] the beginning of the fourth [house], and divide the product by half its day arc if it is above the horizon, or by its half the night arc if it is below the horizon, then the result is the “equation”. Add it (i.e., the equation) to the first amount or subtract it (i.e., the equation) [f. 55 b] from it (i.e., the first amount) according to the condition which has been explained several times, then the result is the position which is reached by the progression of the indicator. And if the two amounts are the same, its (i.e., the indicator’s) progression reaches the position where [the two amounts] coincide [with each other].

(16-6) Section six: On the projection of the rays [of the planets] by means of the [special] plate which is named after it (i.e., the “plate for the projection of the ray”)

(16-6-1) On this plate are engraved the line of the midheaven and the pillar of the earth, and the East-West line, each of which is intersected by the celestial equator in two intersection points. Sometimes a small circle is drawn with center the intersection point of the horizon and the midheaven-line, and in it is written the latitude for which it (i.e., the plate) has been made. Then the other circles [on the plate] converge toward the center of this circle but they are cut off at its (i.e., the circle’s) circumference close to it (i.e., the center), like the azimuth-circles which are cut off at the circumference of the circle including the letter ζ (90).

(16-6-2) If you intend to work with this plate, put the degree of the ascendant on the eastern horizon, that is the left [half of the horizon] if no indication has been written on it. Then, look up on which of the circles the [ecliptical] degree of the planet is located. Make a mark on it (i.e., the circle) and also put the “base mark” on the position of the pointer [on the rim]. Count from this mark towards the right and the left [a number of degrees] equal to the six amounts, that is sixty [degrees] towards the right for the left sextile and towards the left for the right sextile; ninety

for the two quartiles and one-hundred and twenty for the two trine [aspects], and make a mark on the endpoints [of the counting]. Put the pointer on each of the marks, then, that marked circle coincides with the place of the ray of the planet to which the mark belongs, towards the right or the left.

(16-6-3) And if the [ecliptical] degree of the planet does not coincide with any circle on the plate, but is located between two circles among them, call [the circle] which is towards the midheaven or the pillar of the earth “the first” and the other [circle] the “second”. In that case, the rays of the planets are also located between two of them. Make the “middle mark” on the pointer [on the rim] and move the spider until the [ecliptical] degree of the planet is located [f. 56 a] on the first one of the two circles <and make the “first mark” on the pointer [on the rim], then rotate the spider until the [ecliptical] degree of the planet is located on the second circle> and make the “second mark” on the pointer [on the rim]. Obtain the difference between the first mark and the middle [mark], that is “the retained remainder”, and the difference between the first and second [marks], that is “the retained excess”. Then, if you put the pointer on the mark of a certain ray of the planet, this ray falls between these two circles. Look at [the point] of the ecliptic which coincides with the first [circle], that is “the first degree”, and [look] at [the point] of it (i.e., the ecliptic) which coincides with to the second [circle], that is “the second degree”. Multiply the difference between the two degrees by “the retained remainder”, and divide the result by “the retained excess”, then the result is the equation. If the two circles are situated in the eastern quadrant above the earth (i.e., the horizon), or in the western quadrant below it (i.e., the horizon), add the equation to the first degree, and if the two circles are situated in the eastern quadrant below the earth or [in the] western [quadrant] above it (i.e., the horizon), subtract the equation from the first degree. The result of the first [degree] after addition or subtraction is the position of the ray which belongs to that mark.

(16-7) Section seven: On the progression of the indicators by means of this plate

(16-7-1) “Every person works according to his own manner”¹ and goes back to his belief during his contemplation (16-7-2) and therefore I think it is better to call this plate “the plate of progression” instead of “the plate of the projection of the ray”.

¹ This is a verse of the *Qur'an* (17:84).

For I believe that the projections of the rays are not connected to the ascensions and descensions of the [zodiacal] signs, and also that they do not change if they are rotated by the rotation of the universe. (16-7-3) If you want to [determine] the progression by means of it (i.e., the plate) precisely, put the degree of the ascendant on the eastern horizon and find the circle on which the [ecliptical] degree of the indicator is located. Make a mark on it (i.e., the circle) and on the place of the pointer [on the rim]. Rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the [ecliptical] degree of the destination, or the destination of the pointer of the planet, coincides with the marked circle. Then the [number of degrees] which the pointer [on the rim] moved from its [original] position is the time-degrees of the progression. If the [ecliptical] degree of the indicator is located not on a circle but between two circles, determine the “retained remainder” and “[retained] excess” and the marks [as above] of [f. 56 b] the pointer on the rim. Then rotate the spider directly (i.e., clockwise) until the [ecliptical] degree of the destination or the destination of the pointer coincides with the first circle, then the [number of degrees] which the pointer moved from the “middle mark” will be the unequated time-degrees of the progression; then, multiply (a) the number of degrees which the pointer moved by the motion of the promissor between the two circles by (b) the “retained remainder”, and divide [the product] by (c) the “retained excess”, then the result is the equation. If the two circles are situated in the eastern diurnal quadrant or the quadrant opposite it, subtract the equation from the unequated time-degrees of the progression, and if [the two circles] are situated in the two other quadrants, add the equation to them (i.e., the unequated time-degrees of the progression). Thus the desired equated time-degrees of the progression time-units are obtained.

Chapter seventeen

(17-1) Section one: On the determination of the height of an object whose base can be reached, by means of an isosceles right-angled triangle

(17-1-1) If you want to [determine] the height of a mountain with a smooth¹ surface, such that if a stone drops from its top, the place of its (i.e., the stone’s) fall will not be far from its (i.e., the mountain’s) foot and it (i.e., the place of its fall)

¹ It means roughly vertical.

should not seem to be [a] different [point] from it (i.e., the foot)¹, or [if you] want [to determine] the height of a minaret or a pyramid or one of the similar obelisks which are in the land of Egypt, [or want to determine] its side or its top, observe the sun until its altitude reaches forty-five degrees. Then measure [how far it is] from the end of the shadow of the top of the [intended] object (i.e., one of the aforementioned structures) to its base, and the result is equal to the distance of its top (i.e., its height).

(17-1-2) If there is some obstacle to do this procedure, [for example, if] for the object to be set up in such a way that you can reach the end of its shadow to measure [the shadow length] from there in that hour, or [if] on that day, the maximum altitude of the sun is less than its equivalent (i.e., less than 45 degrees) during [its] rotation, or [if] it (i.e., the altitude of the sun) is more than it (i.e., 45 degrees) on that day, if it is at the intended time in the east with more altitude than it (i.e., 45 degrees) or in the west with less altitude than it, or [if] the sun is located somewhere in the sky so that it does not shine on it (i.e., the object): then [use the astrolabe and] place the indicator of the alidade on the forty-fifth degree on the altitude [scale], and fix it in that situation and do not change it. Then, move forward and backward until [f. 57 a] you find its position such that you can see the top of the object through the two holes of the alidade, while it (i.e., the alidade) is in its situation. Then go from your feet (i.e., standing-place) towards its (i.e., the object's) base and measure it (i.e., the distance) and add to it the amount of your height, that is the distance from your eye to the ground, then the result is the height of the object.

(17-2) Section two: On the determination of the height of an object whose base can be reached, by means of a non-isosceles right-angled triangle

(17-2-1) And if the place cannot be measured in any way [by an isosceles right-angled triangle] which agrees with the described [instruction], then measure the altitude of the top of the object [by means of the astrolabe] and take its sine, and that is “the first [sine]”, and [then, take] the sine of the difference between this height and ninety (i.e., the height's complement), that is “the second [sine]” (i.e., the cosine). Multiply the amount of your height [of your body] by “the second sine”, and divide the result by “the first [sine]” and retain the result, then add it to

¹ It means that the difference should be so small as to be indistinguishable for the eye.

[the distance] between your feet and its (i.e., the object's) base, and multiply the total amount by "the first sine", and divide the result by "the second [sine]", then the result is the desired height [of the object]. And if you want, multiply the amount of your height by [the distance] between your feet and the base, and divide the result by what you retained, and add your height to the result, then it is the height [of the object]. And if you want, multiply [the distance] between the feet and the base by "the first sine", and divide the result by "the second sine", and add [your] height to the result, then it is the height of the object.

(17-2-2) And if you want, set up a gnomon on the earth and measure its shadow [length] in terms of the parts of [the scale of] the gnomon. Multiply [the distance] between the feet and the base by twelve, and divide the result by the shadow [length] which you found, and add [your] height to the result, then it is the height [of the object].

Chapter eighteen

(18-1) Section one: On the determination of the height of an object whose base cannot be reached, by means of two altitudes (i.e., altitude measurements) of its top

(18-1-1) Measure the top of the object in two places, in such a way that the line between the two [places] passes through the base [of the object], and compute the sine of each of the two altitudes and the sine of the difference between the two altitudes. Measure the distance between the two places at which you took [f. 57 b] the two altitudes, and multiply it by the sine of the smaller altitude. Divide the result by the sine of the difference between the two altitudes, and multiply the result by the sine of the larger altitude. Divide the result by sixty, then, the height of the object will come out in terms of the magnitude (i.e., the unit) in which you measured the [distance] between the two standing-places.

(18-2) Section two: On the determination of the height of an object whose base cannot be reached, by means of two gnomons

(18-2-1) Set up two gnomons far from one another on a flat place, in such a manner that (1) if the sun shines on the top of the object, they cast different shadows at the same time, and (2) the feet of the two [gnomons] should be on a

straight line with the base of the object. Then, for each one of the two gnomons, find a position on the surface of the earth such that if you put your eye on it, you can see both the tip of the gnomon and the top of the object simultaneously. Then, [for each gnomon, the distance] between the position of the eye and the foot of the gnomon is the shadow of it (i.e., the gnomon, that is the cotangent of its altitude). Determine [the distance] between the two positions of the eye. Subtract the smaller of the two shadows (i.e., cotangents) from it (i.e., the distance), retain the remainder, then, add it (i.e., the remainder) to the larger of the two shadows (i.e., cotangents). Multiply the total amount by twelve, and divide the product by the larger shadow, then the result is the “shorter column”. Then, add the retained [amount] to the sum of the two shadows, and multiply the result by twelve, and divide the product by the larger shadow, then the result is the “longer column”. Subtract twelve from it, and subtract the remainder from “shorter column”, then the remainder is the “separated amount”. After that, multiply the smaller shadow by itself, and add one hundred and forty-four to it, and take the root of the sum. Multiply it by “shorter column”, and divide the result by the “separated amount”. Multiply the quotient by twelve, and divide the result by the root which you took, then the quotient is the height of the object.

(18-3) Section three: On the determination of the height of an object whose base cannot be reached, by means of the shadow [scales engraved] on the astrolabe

(18-3-1) Take the altitude of the top [f. 58 a] of the object at a known location and look up which [number] on the [horizontal] scale of the shadows is indicated by the lower pointer of the alidade. Add one digit to it [on the [horizontal] scale of the shadows], put the pointer (i.e., the edge of the alidade) on the end (i.e., the result), and move away from the object, or subtract one digit from it, put the pointer on the second [number], and approach the object. Then during this forward and backward movement, look for a place on the straight line between the [original] location and the foot of the object, at which you can see its (i.e., the object’s) top through the two holes [of the alidade] simultaneously, without moving the alidade from its position, and that is the second location. Then measure the distance between the two locations and multiply it by twelve, then the product is the height of it (i.e., the object). If the shadow [scale] is in feet, add one foot to the feet on which you have put the pointer of the alidade, or subtract [from them] one foot, and multiply [the

distance] which is between the two locations [as above] by seven if the feet are integer, and [multiply the distance] by six and a half if [the feet] are non-integer, instead of what you multiplied by twelve above. Then the product is the height of the object.

(18-3-2) If the shadow [scale] is “the ladder-shadow”, and the digits in the first location do not exceed eleven, and the [number of] integer feet [does not exceed] six, and the [number of] non-integer [feet does not exceed] five and a half, the procedure is as before. But if they exceed the [above-mentioned] amounts [but the edge of the alidade is still on the horizontal side of the ladder square], the edge of the alidade will move, by the addition of one in the second position, to the vertical side. Then divide one hundred and forty-four by the sum of the shadow length plus one digit, so the result will be the number on the vertical side. Put the edge on it for finding the second position. And if the upper pointer of the alidade is in the first position at forty-five degrees [so the alidade is at the diagonal of the ladder square], divide one hundred and forty-five by thirteen. And if it is in the first position [already] on the vertical scale, necessarily it is there also in the second position. Then subtract from what [you obtained, dividing one hundred and forty-five by the number on the vertical scale] in the first position one digit, so you arrive [again by dividing one hundred and forty-five by the result] at the [number for] the second position, so you obtain it at that time. So obtain it and follow what has been described above, and do the same in the other cases of it (i.e., the procedure).

Chapter nineteen

(19-1) Section one: On the determination of the depths of depressed places (i.e., wells and pits) on the earth

(19-1-1) If you want to determine the depth of a well, look at its bottom and at the water which is inside it. Then divide [f. 58 b] the circumference of its edge into two halves. The parts of the well connected to two halves are either precisely even (i.e., vertical), or they are seen as widened <or> tightened. Set up a straight wooden staff equal in magnitude to a branch whose width is on (i.e., covers) its (i.e., the well's) opening. Divide it (i.e., the wooden staff) into an arbitrary number [of units] and stand near it (i.e., the wooden staff) and [hold] the astrolabe from its upper side. Look with one eye through the two holes of the two targets until you

see the edge of water in the bottom [of the well] at the opposite side of the well. Determine the depression of the alidade with respect to the horizontal line, and take the sine of this depression, that is the “first sine”, and the sine of the complement of the depression, and that is the “second sine”. Multiply the “first [sine]” by the diameter of the well on which you have fixed the graduated wooden staff with its magnitude (i.e., the diameter), and divide the product by “the second [sine]”. Subtract from the result the distance between your eye and the earth in terms of the units of the wooden staff, then the remainder is the depth of the well in terms of the units [of the wooden staff]. And if you know how many of them (i.e., the units) are in one cubit, you divide them (i.e., the units of the depth) by the units in one cubit, then the depth is converted to cubits. This [procedure works] provided that the depth of the well is even (i.e., vertical).

(19-1-2) But if it is frustum-shaped and its bottom is wider [than its opening], put a [source of] light in a concave thing (i.e., plate) like the scale of a balance or a hollow [thing] such that its hollowness makes it impossible for the light to reach the water, so that the light in it does not appear to you as another light (i.e., mirror image) in it (i.e., the water) and the procedure is mixed up for you by the two [lights]. Then lower it (i.e., the scale) into the well from the opposite side until it reaches the water, and let your servant fix it there while you are standing on the other side [of the well]. Look through the holes of the two targets as usual, until you see the light through both of them (i.e., the holes) simultaneously, and determine the depression. Then proceed as before, and this will lead you to the vertical magnitude of the depth of the well.

(19-2) Section two: On the determination of a distance [from the observer] <on> the surface of the earth, in the radial direction (*samt al-tūl*), which you follow, if you go forward

(19-2-1) [To determine] this distance, if it is small and the observer is near, the height of the eye of a person who stands on the surface of the earth may be enough, [because in this case,] the two lines of sight from the two endpoints of it (i.e., the distance) contain an angle with a sensible magnitude. By means of it you can determine, by [putting] two marks, the width of rivers [f. 59 a] or pieces of land which are confined by two borders. For [determining] the width of rivers, when you stand on one side – if the mark which you have [already] put, is on the other

side – [as one condition] you should try to have the width of the river as small as possible by sight and conjecture [because a shorter distance is easier to measure]. Then take the astrolabe in your right [hand] and look through the holes of the two targets until you can see the mark on the other side opposite [you]. Fix the alidade in its position, and turn around on your standing-place until you face a flat area. Look through the two targets until you can see through them a spot on the earth where you [can put] a mark. Measure [the distance] between your feet and the mark which you reached (i.e., the spot), and that is the width of the valley or bog or [in general] a distance which you cannot measure [directly]. (19-2-2) But if there is no flat [area] around you which you can face, take the sine of the degree on the altitude scale at which the pointer is located, and that is the depression. Its sine is the “first sine”, and the sine of the complement of this depression is the “second [sine]”. Then multiply the “second sine” by the magnitude of the height of [your] eye above [your] feet in digits or spans or whatever [units] you want, and divide the result by “the first sine”, then the result is width of the river in terms of [the units] of [your] height.

(19-2-3) And if the standing-place is chosen at the sign which is closer to you, do [with this sign] what has been explained before for the sign which is farther away to determine its distance from you. Then replace mark of the closer sign by the mark of the sign which is farther away, to determine the same thing for it (i.e., the distance). Subtract the minimum distance of the two marks [from you] from the maximum [distance], then the remainder is the width of the river.

(19-2-4) And if your height is not sufficient in this [problem] to find the depression by means of it, you need to move up to a higher place above the earth so you can overlook the river from there and the depression which is found for the marks will increase. So after you have moved up, apply exactly the same procedure as before, except that in that [former] case you considered the distance of your two eyes to the ground as [your] height, but here (i.e., in this case) it is [f. 59 b] the sum of your height plus the altitude of [your] location, on the roof of a building, or the top of a minaret, or a hill, or something similar to it.

(19-3) Section three: On the determination of a distance [between two points] transverse to the radial direction, which [distance] is taken towards the right or left or in both [directions]

(19-3-1) The method is that you put the astrolabe upside down, in such a way that its front side is [turned] towards the surface of a flat area or a [horizontal] plane. You put the pointer of the alidade on the beginning (i.e., zero point) of the altitude scale while its (i.e., the altitude) quadrant is facing the [required] two endpoints [of the line segment which you want to know the length]. You turn the astrolabe [horizontally] in such a manner that the alidade does not move from the beginning [zero] degree, until one of the two endpoints of that [required] line segment can be seen through the holes of the two sights. Then fix the astrolabe in its position and rotate the alidade until the other end of that line segment can be seen through the two holes, and you retain the degree on the altitude [scale] which the pointer has reached. Then repeat the procedure which has been described above for the determination of a distance in longitudinal direction (i.e., with the same direction as your line of sight). According to it, obtain [the two distances] between your location and each of the two endpoints of this line segment: they must be either equal or different.

(19-3-2) If they are equal, take the sine of half the retained [degree on the altitude scale]. Multiply it by one of the two equal distances which you have obtained, and divide the product by sixty, and double the result, then that is the length [between the two endpoints] of that distance in terms of the units in which you determined the distance between your location and the end of that distance.

(19-3-3) If they are different, take the sine of the retained [degree on the altitude scale]. Multiply it by the shorter of the two distances [to the endpoints of the line segment] and divide the result by sixty, then, the result is the “perpendicular” [of the triangle with angular points your location and the two endpoints of the line segment]. Multiply it by itself and subtract the product from three thousand and six hundred, and take the root of the remainder, and that is one of the two parts of the base [of the triangle]. Subtract it from the larger of the two distances to the endpoints [of the line segment]. Then, square the remainder and the perpendicular, and add the two results and take the root of the sum, and that is the desired length [of the line segment].

(19-4) Section four: On finding out about [the movement of] a group [of people]: whether they are approaching you, or moving away [f. 60 a] from you, or are moving towards the right or towards the left

In this regard, [one] needs to be in a high place above them (i.e., the people of the group) and to have an interval of time between the measurements. If you want [to determine] it, find [the distance] of them from your location as we have described above. Then, wait a bit, and repeat the earlier procedure (i.e., find the distance again). If the distance between you and them becomes shorter, they are approaching you, and if it becomes longer, they are moving away from you. And regarding moving toward the right or the left: put the pointer of the alidade on the beginning of the altitude scale. Then hold the astrolabe upside down and rotate it until the person, or one of two ends of the group, can be seen through the two holes [of the alidade] simultaneously, without moving the alidade. Then wait an hour and repeat the measurement. If the pointer did not move away from its position, they are staying at one place or they are coming towards us [or moving away from us]. If it (i.e., the pointer) moved away from the beginning [the zero point] toward them (i.e., the altitude degrees), they are moving towards the right, and [if the pointer moves away] toward the [other] quadrant below it, they are moving towards the left.

Chapter twenty

(20-1) Section one: On the determination of the diameter of the earth and its circumference

(20-1-1) If God most high helps you and changes difficulty to easiness, then climb a mountain so high that from its summit you can discern, at sunrise or sunset, the depression [of the sun] with respect to the horizon, and the complement of it (i.e., the depression), by looking over an empty and level plain without any curve or hill. (20-1-2) This is more preferable to me than looking out over a sea, as has been established in a treatise which I composed on “[observing] the sunset from the lighthouse of Alexandria”. If the sunrise or sunset [happens] in the direction of that plain or of the sea, then you observe the depression of it (i.e., the sun) at the time when its center coincides with the horizon, until you obtain it; but if neither of them (i.e., sunrise or sunset) is in that direction, you look through the two holes of the two targets toward the apparent meeting of the sky and the earth (i.e., apparent

horizon) in that direction, until you find the depression of their meeting [place] (i.e., apparent horizon). You take its <versed> sine <and retain it>, which is the “first [amount]”, and the sine of the complement of the depression, which is the “second [amount]”. You have [already] derived the vertical height of the mountain in whatever [units] you want, [for instance] *farsakh*, or [Arabic] miles, or types [f. 60 b] of cubits or spans, provided that it (i.e., the height) is known by a precise determination (that is, the unit of measurement does not matter, but the procedure of its determination does matter). You multiply this height by the latter place (i.e., the second amount) and divide the result by what you retained, then the result is the distance of the center of the earth to its circumference in terms of the units by which you measured the height of the mountain.

(20-1-3) If you multiply it by forty-four, and divide the product by seven, the result is the circumference of the earth, by which the surface of it (i.e., the earth) is divided into two equal halves. And this is the approach of the method [about] which Sind ibn ‘Alī narrated [that] [Caliph] al-Ma‘mūn [used it] for this subject. We followed it in the plains of India as I explained in detail in a book which I wrote on the determination of the size of the earth by means of the depression of the visible horizon on summits, with respect to the horizon which is perceived at the feet [of the mountain].

(20-1-4) In the west and north of Khwārizm and Jurjān there is a plain which takes several months to cross, and almost no region of it has been conquered. In this plain there is no preferred direction for escape, except [a way] into a strange land in which one’s soul is not protected [against death] unless [he would be] accompanied by friends who can oppose them (i.e., the inhabitants of the land). When I was young, I encouraged them (i.e., the friends) but the authorities did not support me by [providing] assistants for the [scientific] work, and guards to protect me from disasters, and by protecting the one who goes beyond (i.e., traverses) it (i.e., the plain) against the aggressor in the strong winds.

So I was unable to [visit this area] in those days because of [my] difficult [financial] condition, therefore, I [only] absorbed the stories [about these regions], and the sun left there. Then, at the time when I was eminent and rich, I couldn’t do that. (20-1-5) If I had been able to do it, I would have determined a place in that area as the fixed center to be used as a reference [point], and at it I would have

measured the solar meridian altitude or the exact altitude of one of the fixed stars in the same way [in the meridian]. Then I would have left that place in the meridian-line towards the north, facing the pole. During nights, the sizes of [consecutive] fires cover one another for you, because [they appear] as one through [the two holes of] the pointer – for it is the characteristic of a straight line that its two ends cover the middle of it, and this condition is realized only in one of its two ends. During the day, the smoke of consecutive [fires] is also united (i.e., in one direction) as well [if the fires are in a straight line]. And I would have put some marks on the way, by which one can be guided on the way back, and I would have covered [a distance] not less than [f. 61 a] twenty *farsakh*, but rather more than it, and I would have measured the meridian altitude of the sun at the end and would have subtracted the northern declination from the altitude and added the southern [declination] to it (i.e., the altitude) [to determine the complement of the latitude]. Then I would have returned along the marks and measure the distance from the beginning to the end. I would have multiplied this distance between the beginning and the end by three hundred and sixty, and then have divided it by the difference between the two altitudes in them (i.e., these localities: the first meridian altitude and the second meridian altitude). Then the result would be the circumference of the earth in the same units of this distance, according to the direct method in which only great circles lead to the exact result. (20-1-6) The ancients applied this method: one of them measured the distance between Raqqa and Tadmur (Palmyra), because these two [cities] are located [exactly] on the same meridian line. Another one measured the distance between Alexandria and Aswan, as Galen reported about Eratosthenes, because these two cities are also [on the] same [meridian].

(20-1-7) Then [Caliph] al-Ma'mūn ordered that it (i.e., the method) be used by Khālīd Marwarūḍī and 'Alī ibn 'Īsā Ḥarrānī and a group of people similar to them in the plain of Sinjār in the land of Mosul. A group of them went towards [the direction of] the north pole and the other [in the direction of] the south pole. When they met after returning, the two groups compared the [number of] miles – each of which is equal to one third of a *farsakh* – which they obtained for one degree of the three hundred and sixty degrees of the circumference of the earth.

The difference [between their results] was only two-thirds of mile: one of them found fifty-six miles plus one-third, and the other fifty-seven miles. To be accurate they added the two [magnitudes] and took half [of the sum] and took fifty-

six miles plus two-thirds as the amount [of miles] of one degree. (20-1-8) If you multiply it by three hundred and sixty, the product is twenty thousand and four hundred miles, and that is the circumference of the earth. If you multiply it by seven and divide the result by forty-four, the result is the radius of the earth, which is between the center of the world and the surface of the earth. And if you multiply the double of it (i.e., the radius) by the circumference of it (i.e., the earth) which you had obtained, the result is the magnitude of its surface area, including desert, sea and inhabited land. And using [f. 61 b] the radius of the earth as a unit, the distances of the planets and their bodies (i.e., volumes) are measured. If you multiply these distances by the radius of the earth which you have obtained in miles or other [units], the distances will be converted into the units in which you have measured it (i.e., the radius of the earth).

(20-2) Section two: On the correction of the [locations of the] stars [for precession] on old astrolabes

(20-2-1) When a long time has passed for the astrolabe [after its construction], the places of the star-pointers have changed by the change of the positions of them (i.e., the stars), and working by them (i.e., the old star-pointers) leads [the user] to mistakes because some of them (i.e., the star-pointers') are erroneous. So compute the longitude of the positions of the fixed stars for your time; their latitudes did not change. Put the beginning of Aries on <the left side of> the East-West line on a plate which is used for the latitude of sixty six degrees and twenty five minutes on which both the almucantars of altitude and depression are engraved, and the azimuthal circles on the plate [should be engraved] completely so they cut both types of almucantars (i.e., above and below the horizon).

On this plate there is a wide space outside the Tropic of Capricorn, and in that situation the ecliptic will coincide with its horizon. So, look at the [ecliptical] degree of the star which you adjusted, and put a mark on it in the ecliptic. Find the azimuth circle which passes through it, and count on it a number of almucantars equal to its latitude, if it is northern, [count] towards the inside the ecliptic, and otherwise, if the latitude is southern, [count] towards the outside of it (i.e., the ecliptic). Then, the point which you reach in one of the two directions is the adjusted position of this star. <Make a mark on it and> fix the beginning of Aries on the eastern horizon and its line (i.e., the intersection of the eastern horizon and

the East-West line). Hammer its [star-] pointer on the spider and bend it towards that mark until it (i.e., the pointer) coincides with it (i.e., the mark), then it (i.e., the star-pointer) is adjusted for your time. And do the same with the other star-pointers until the tips of their pointers have been adjusted, with God's permission and His help.

(20-2-2) Scientific treasures are different from worldly practices, because they (i.e., the treasures) increase if they are exchanged, while those [material goods] are decreased [by exchange]. But they (i.e., the scientific treasures) would be worthless if they are not acquired with diligence, or if they are not in the possession of experts and scholars. So, it is necessary for a wise [f. 62 a] benefactor [person] not to withhold it (i.e., this work) from being distributed among the public as far as possible. Such an error and imperfection would not be committed by someone who practices [the art], but only by someone who only receives [astronomical] advice in a passive way, because of his offensive [behavior] and slowness: every container leaks its content. May God reward us for [our] good intention and finish our work by means of bringing the certainty which annihilates fear and sorrow, [because] He is gracious and merciful. It is finished.

2-2: Commentary

(0-0) Introduction

(0-0-1) Bīrūnī's contemporaries, predecessors and successors also considered the astrolabe as the noblest astronomical instrument.¹ The work to which he refers (*Book on Bringing what is in the Potentiality of the Astrolabe into Actuality*) is the *Ikhrāj* which we have also edited in this thesis. That work contains 69 chapters, not 100.

As far as we know, three treatises by 'Abd al-Raḥmān al-Ṣūfī² (903 – 986 A.D.) on the astrolabe are extant.³ One of these treatises contains a very large number of chapters, and the two others are much shorter. Bīrūnī's reference must have been to al-Ṣūfī's largest astrolabe treatise, which survives only in incomplete form; the total number of chapters is not indicated in the extant manuscript which is now in Paris. Bīrūnī says that the treatise consisted of 1680 chapters, but the original text by al-Ṣūfī must have contained 1760 chapters according to the foreword of the shorter treatise by al-Ṣūfī on the astrolabe entitled *Book on the Use of the Astrolabe (Kitāb al-'Amal bi al-Uṣṭurlāb*, preserved in Aya Sofya, ms. 2642/2).⁴ There are reports about a predecessor to this enormous treatise on the astrolabe in the earlier Islamic tradition, entitled *Collection of Theory and Practice on [the Construction of] the Astrolabe (al-Jāmi' fī al-Uṣṭurlāb 'Ilman wa 'Amalan)*, compiled by Jābir ibn Ḥayyān⁵ (fl. late 8th and early 9th c. A.D.). This treatise must have existed because Muḥammad ibn Sa'īd ibn Saraquṣṭī, also known as Ibn Mashshāṭ al-Uṣṭurlābī al-Andalusī (11th c. A.D.), had seen it in Cairo and described it as a unique work consisting of one thousand problems on the construction of the astrolabe.⁶

(0-0-2) Bīrūnī mentions a treatise on the use of the planispheric astrolabe by Abyūn/Anbūn(?) the Patriarch as the only ancient Greek treatise on this subject which was available in the Islamic tradition. The identity of the author is

¹ See the astrolabe treatises by al-Ṣūfī (1962, p. 1), Kūshyār ibn Labbān (10-11th c. A.D.; 2014, p. 2), Muḥammad ibn Ayyūb Ṭabarī (11th c. A.D.; p. 57).

² For biographical information of al-Ṣūfī, see Sezgin, *GAS*, vol. 6, pp. 212-215.

³ Sezgin, *GAS*, vol. 6, p. 215 listed them as two (not three) items. See: Vafea, 2006, p. 41.

⁴ al-Ṣūfī, 1986, p. 2. The unique manuscript of the largest astrolabe treatise by al-Ṣūfī has been preserved in the National Library in Paris, Ms. Fonds Arabe nr. 5098. Al-Ṣūfī's *Book on the Use of the Astrolabe* as well as his largest treatise on the astrolabe have been studied by Dr. Flora Vafea in her PhD thesis at the University of Paris 7- Denis Diderot, under the supervision of Dr. Régis Morelon, defended in 2006.

⁵ For biographical information on Jābir ibn al-Ḥayyān and his works, see: *DSB*, vol. 7, pp. 39-43.

⁶ Ṣā'īd, p. 61, Qifī, pp. 160-161, Sezgin, *GAS*, vol. 6, p. 134.

not certain¹ and the treatise is lost, but according to Bīrūnī it contained around 157 chapters and had been either translated or revised by Thābit ibn Qurra² (836 – 901 A.D.). Such a treatise is not mentioned by Ibn al-Nadīm (d. 990 A.D.) and Qifṭī (ca. 1172 – 1248 A.D.) among Thābit’s translations.³ Another ancient treatise on the astrolabe is mentioned by the Muslim historian Ya‘qūbī (d. ca. 905 A.D.) in his *History (Tārīkh)*, as a book by Ptolemy⁴ (ca. 100 – ca. 170 A.D.) on the planispheric astrolabe entitled [*The Instrument*] *Possessing Plates (Dhāt al-Ṣafā’ih)*, and containing twenty chapters.⁵ If this reference is correct, Abyūn/Anbūn’s treatise cannot have been the only ancient Greek treatise on the planispheric astrolabe that had been transmitted to the Islamic tradition. In any case, Bīrūnī’s statement shows that he had not seen this Ptolemaic work.

(0-0-3) In his [*Book*] *on the Investigations of the Categories [of Things] in India, which are Acceptable to Reason or Despicable (Taḥqīq mā li al-Hind min Maqūla Maqbūla fī al-‘Aql aw Marḍūla*; hereafter *India*)⁶ and in his *Exhaustive Treatise on Shadows (Ifrād al-Maqāl fī Amr al-Zilāl*; hereafter *Shadows*),⁷ Bīrūnī describes the method of the people of India for timekeeping by means of the shadow length of a gnomon and water clocks. As Bīrūnī explains in his *India*,⁸ he intended to dictate a treatise on the astrolabe for the people of India in the form of Sanskrit verses that he called *Slokas*. This implies that the Indian astronomers did not have any treatise on the astrolabe at the time of Bīrūnī.

(0-0-4) In *Smoothing the Basis for the Investigation of the Notion of Transit (Tamhīd al-Mustaqarr li-Taḥqīq Ma‘nā al-Mamarr*; hereafter *Transits*)⁹ Bīrūnī also praises Ptolemy: “his works are to the works of others as wakedness is to sleep and his position is (actual) sight as compared to the hallucinations of dreams.” It is worthy of note that Bīrūnī refers to Ptolemy’s *Planispherium* (or

¹ King, 1981, p. 49.

² For biographical information on Thābit ibn Qurra and his works, see: Sezgin, *GAS*, vol. 5, 264-272; vol. 6, pp. 163-170.

³ Ibn al-Nadīm, vol. 2, p. 228; Qifṭī, pp. 116-120.

⁴ For biographical information on Ptolemy and his works, see: *DSB*, vol. 11, pp. 186-206.

⁵ Ya‘qūbī, vol. 1, pp. 171, 178-180. The same title is attributed to Theon of Alexandria (335 – 405 A.D.) by Ibn al-Nadīm (vol. 2, p. 217). It is quite probable that Ya‘qūbī substituted Ptolemy for Theon. Ya‘qūbī’s description of this astrolabe treatise agrees with an astrolabe treatise preserved in a work by Severus Sebokht (Neugebauer, 1949, pp. 242-245 who attributes the treatise to Theon).

⁶ Bīrūnī, *India*, pp. 281-289 (Arabic), vol. 1, pp. 334-344 (English). For the Arabic edition, English translation and commentary see: Bīrūnī, *India* in the bibliography. This work is available online at: www.albiruni.nl.

⁷ Bīrūnī, *Shadows*, pp. 33-35 (Arabic), pp. 72-74 (English). For the Arabic edition, English translation and commentary see: Bīrūnī, *Shadows* in the bibliography. This work is available online at: www.albiruni.nl.

⁸ Bīrūnī, *India*, p. 106 (Arabic), vol. 1, pp. 137 (English).

⁹ Bīrūnī, *Transits*, p. 62 (Arabic), p. 67 (English). For the Arabic edition, English translation and commentary see: Bīrūnī, *Transits* in the bibliography. This work is available online at: www.albiruni.nl.

Flattening the Surface of the Sphere) as a work on the construction (rather than the use) of the astrolabe, although Ptolemy does not mention of the astrolabe in that work. Ptolemy explains in this treatise the methods to make a plane diagram of the celestial sphere by stereographic projection, which methods can immediately be used for making the planispheric astrolabe.¹ Thus Bīrūnī's interpretation shows that he was well aware of the connection. The original Greek text of the *Planispherium* has been lost, but the work is extant in medieval Arabic translations which have been studied and translated into English with a commentary.² Bīrūnī also mentions the commentary of Pappus of Alexandria³ (fl. 300 – 350 A.D.) to the above-mentioned treatise by Ptolemy. This commentary is also lost but a translation by Thābit is also mentioned by Ibn al-Nadīm.⁴

(0-0-5) Bīrūnī uses an interesting method to describe the stereographic projection which is a witness to his scientific imagination. In his description, Bīrūnī explains the stereographic projection in an optical way interpreting the pole of the projection as the eye of an imaginary observer. In this procedure, the visual rays play the role of the straight lines which connect the pole of the projection to the points whose projection is desired. However, it is worthy of note that the constellations on the spider of the astrolabe appear to the imaginary observer as the mirror images of the constellations which are actually seen in the sky. In a similar passage on the stereographic projection in his *Full Discussion of All Possible Ways to Construct the Astrolabes (Istī'āb al-Wujūh al-Mumkina fī Ṣan'at al-Uṣṭurlāb*; hereafter *Astrolabe Construction*),⁵ Bīrūnī says that such an imaginary observer would see the universe as a colorless transparent sphere, on which orbits could be indicated with different colors.⁶ Before Bīrūnī, Ibrāhīm ibn Sinān⁷ (909 – 946 A.D.) had already used a more or less similar way to describe the stereographic projection in his work on the astrolabe entitled *A Treatise by Ibrāhīm ibn Sinān to Abī Yūsuf al-Ḥasan ibn Isrā'īl on the Astrolabe (Risāla Ibrāhīm ibn Sinān ilā Abī Yūsuf al-Ḥasan ibn Isrā'īl fī al-Uṣṭurlāb)*.⁸ In his

¹ Neugebauer, 1975, vol. 2, pp. 857-858.

² See: Sidoli and Berggren, pp. 37-139.

³ For biographical information of Pappus and his works, see: *DSB*, vol. 10, pp. 293-304 and Sezgin, *GAS*, vol. 5, pp. 174-176.

⁴ Ibn al-Nadīm, vol. 2, p. 218.

⁵ The Arabic text of this book was edited by Mr. Muhammad Akbar Javadi Huseyni, Mashhad 2001; available online at: www.albiruni.nl.

⁶ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, pp. 4-5

⁷ For more information on Ibrāhīm ibn Sinān and his works, see: Sezgin, *GAS*, vol. 5, pp. 292-295; vol. 6, 1978, pp. 193-195.

⁸ The Arabic text of this treatise was edited by A. S. Saidan, and published as the seventh chapter of his book entitled *The Works of Ibrahim ibn Sinan with Two more Tracts*, Kuwait 1983.

treatise, Ibrāhīm ibn Sinān uses the northern projection and he chooses as his plane of projection the plane tangent to the (North) pole of the celestial sphere.¹

(0-1) Description of the northern and southern astrolabe

(0-1-1) Normally, the northern projection was used for the construction of astrolabes in the medieval Islamic tradition. As Bīrūnī mentions, one of the reasons for preferring the northern projection over the southern is related to the difficulty of drawing large circles on the plate of the astrolabe.² For a northern locality, the radii of almucantars are smaller on northern astrolabes than on southern ones, so the almucantars on the northern astrolabes are easier to draw and look nicer than on the southern astrolabes.

For the lines engraved on the plate of the astrolabe, Bīrūnī used the terms that were standard among other (earlier and later) Islamic astronomers (Figure 8c).

(0-1-2) In his *Optics*, Euclid³ (fl. ca. 295 B.C.) proved that if an arc of a circle is located in the same plane as the eye, the arc appears to the eye as a straight line. So, for example, because the meridian circle passes through the pole of projection, it is projected as a straight line on the plate of the astrolabe. For the projection of other types of circles, Bīrūnī refers to Apollonius' *Conics* in a concise way, which is well adapted to the "intermediate" readership for which he wrote the *Taṭrīq*, with no geometrical proofs. In proposition I-5 of his *Conics*,⁴ Apollonius⁵ (b. second half of third century B.C., d. early second century B.C.) proved that if an oblique cone with a circular base is intersected by a plane in a special position (called subcontrary), not parallel to the base, the plane will intersect the cone in a circle. This subcontrary case is exactly the case that occurs in stereographic projection if the pole of projection coincides with one of the poles of the celestial sphere.⁶ So in this case all circles on the sphere which do not pass through the pole of projection are mapped onto circles on the projecting plane.⁷ This means that all of the arcs engraved on the plate of the astrolabe are

¹ Ibrāhīm ibn Sinān, pp. 309-310.

² On drawing large circles in the medieval Islamic tradition, see: Ibn al-Haytham's *Treatise on the Compass for Drawing Great Circles*, in: Rashed, 2006, vol. 5, pp. 861-879.

³ Euclid, pp. 361-362; for more information on Euclid and his works, see: *DSB*, vol. 4, pp. 414-459; Sezgin, *GAS*, vol. 5, pp. 83-120.

⁴ Apollonius, pp. 2-3; for the Medieval Arabic translation see: Rashed, 2009, pp. 271-275.

⁵ For more information on Apollonius, see: *DSB*, vol. 1, p. 179-193; Sezgin, *GAS*, vol. 5, pp. 136-143.

⁶ For all details see Morrison, pp. 45-52.

⁷ For the proofs see: Morrison, pp. 49-50.

(parts of) circles. A reference to the same proposition of Apollonius can be also found in Ibrāhīm ibn Sinān's treatise on the astrolabe.¹

(0-1-3) Since the applications of the standard stereographic projection to the construction of astrolabes are fully described in a large number of sources,² I restrict myself to what Bīrūnī mentions in the *Taṭrīq*. In his *Book on Perfect Projection [of a Sphere onto a Plane] (Kitāb fī Taṣṭīḥ al-Tāmm)*,³ Ṣāghānī⁴ (d. 990 A.D.) claims that he is the first person who used conic sections in the astrolabe construction process.⁵ He obtained these curves by proposing a new type of stereographic projection in which the pole of projection is not one of the two poles of the sphere, but it is located on the axis of the sphere, inside or outside the sphere.⁶ In the latter case, the eye of the imaginary observer is supposed to be outside the universe! In his book entitled *The Remaining Traces of the Centuries that have Passed (al-Āthār al-Bāqīya 'an al-Qurūn al-Khālīya*; hereafter *Chronology*),⁷ Bīrūnī mentions this type of projection,⁸ and in his *Astrolabe Construction* he praises Ṣāghānī for this invention⁹ and describes Ṣāghānī's method of projection in detail.¹⁰ Nevertheless, the drawing process is so impractical that no astrolabes of this type are known to exist.

(0-1-4) The two philosophical terms, physical properties (*al-'awāriḍ al-ṭabī'īyya*) and mathematical objects (*al-ajsām al-ta'līmīyya*), which Bīrūnī used to describe the possible sizes of circles on the plate of the astrolabe, were adapted from Aristotle's *Physics*.¹¹ Many types of cubits (Ar. *dhirā'*) existed in the medieval Islamic tradition, and the length of a cubit was usually between 50 and 70 cm.¹²

¹ Ibrāhīm ibn Sinān, pp. 311-312.

² For example: North, 1974, pp. 97-104; Morrison, pp. 45-52.

³ The Arabic text of this treatise has been edited and published entitled *Properties of the Projection of a Sphere onto a Plane (Kayfīyya Taṣṭīḥ al-Kura)* in Hyderabad, 1948. This treatise was studied (not translated) by Richard Lorch, in his paper entitled "al-Ṣāghānī's Treatise on Projecting the Sphere", in *From Deferent to Equant*, New York 1987, pp. 237-252.

⁴ For more information on Ṣāghānī and his works, see: Sezgin, *GAS*, vol. 5, p. 311; vol. 6, pp. 217-218.

⁵ Ṣāghānī, p. 3.

⁶ Ṣāghānī, pp. 6-62; for an analytic discussion on Ṣāghānī's method of projection see: Lorch, 1987, p. 239-251

⁷ The Arabic text of this book was published by C. Eduard Sachau, Leipzig 1878; available online at: www.albiruni.nl.

⁸ Bīrūnī, *Chronology*, pp. 357-358.

⁹ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 184.

¹⁰ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, pp. 93-118.

¹¹ Aristotle, *Physics*, pp. 732-736.

¹² Hinz, pp. 80-90.

(0-1-5) For the main parts of the astrolabe, Bīrūnī uses the standard terminology (see: Introduction, 1-3).¹

(0-1-6) For explanations on the almucantars and spider see: Introduction 1-3.

(0-2) The myrtle-shaped (*āsī*) and the drum-shaped (*muṭabbal*) astrolabes

(0-2-1) We can trace the earliest description of the spider of the two basic types of mixed astrolabes (the myrtle-shaped and drum-shaped astrolabe) back to an astrolabe treatise by Ibrāhīm ibn Sinān (908-946 A.D.), entitled *Letter of Ibrāhīm ibn Sinān to abī Yūsuf, al-Ḥasan ibn Isrā'īl on the Astrolabe (Risāla Ibrāhīm ibn Sinān ilā abī Yūsuf, al-Ḥasan ibn Isrā'īl fī Uṣṭurlāb)*.² For more information about these two types see: Introduction, 1-5-1.

(0-2-2) In the *Astrolabe Construction*, Bīrūnī prescribed that the plate and the spider of the myrtle-shaped astrolabe would extend to the Tropic of Capricorn, just like the standard astrolabe. There, he divided the celestial sphere into two halves by the plane through the celestial equator and the two equinoxes. He projected half with the northern ecliptical signs by the northern stereographic projection and the other half with the southern ecliptical signs by the southern stereographic projection. Then the ecliptic is inside the celestial equator but some astrolabe stars on the spider are outside it. In order to restrict the size of the astrolabe to the celestial equator, Bīrūnī needed a new type of projection in the *Taṭrīq*. He now divides the celestial sphere by the plane of the equator. He projects the entire northern celestial sphere by the northern stereographic projection and the entire southern half of the celestial sphere by the southern stereographic projection. Thus the northern and southern projection of the spider are superimposed. The projection in the *Taṭrīq* resembles the projections that were used in al-Andalus by al-Zarqālluh. Note that the projection of the *Taṭrīq* (not the Astrolabe Construction) is used on the spider of the astrolabe which was made in Taza and which is now in the Oxford Museum of the History of Science.

(0-2-3) Bīrūnī mentions the similarity of the drum-shaped astrolabe and a type of drum called “*al-ṭabl al-kurrā'a*”. I have not found this term in Arabic dictionaries, but I guess it should be a double-drum.

¹ For a comprehensive description of the Arabic terminology of the astrolabe, see: Hartner, pp. 292-293

² For a brief descriptions of the two basic types of mixed astrolabes, see Ibrāhīm ibn Sinān, p. 309

(0-3) The crab-shaped (*musarṭan*) astrolabe

(0-3-2) For general explanations on the crab-shaped astrolabe see: Introduction, 1-5-2.

(0-3-3) For every latitude, both types of horizon and almucantars (northern and southern) were engraved on the two halves of the corresponding plate of the crab-shaped astrolabe. According to Bīrūnī's explanations in the *Tatrīq*, the western halves of the northern almucantars were engraved on the right side of the midheaven-line and the eastern halves of the southern almucantars on the left side. The corresponding northern and southern almucantars were supposed to join each other on the midheaven-line. What Bīrūnī describes here regarding the almucantars of the crab-shaped astrolabe is the opposite of Sijzī's explanations in this regard. Sijzī puts the northern almucantars on the left side of the midheaven-line and the southern ones on the right.¹ In his *Astrolabe Construction*² Bīrūnī implies that both arrangements of almucantars are correct. A concrete example of a plate of a crab-shaped astrolabe, probably made in the 13th century, is preserved in the Ahwan Gallery, London.³ In figure 0-1b we actually see on the left side: halves of almucantars of altitude according to the southern projection, and images of these halves of almucantars mirrored in the (horizontal) East-West line; on the right side: halves of almucantars of altitude according to the northern projection and images of these halves of almucantars mirrored in the horizontal East-West line. The result looks cute but would be difficult and confusing to use. This astrolabe was intended to be a piece of art rather than a serious instrument.

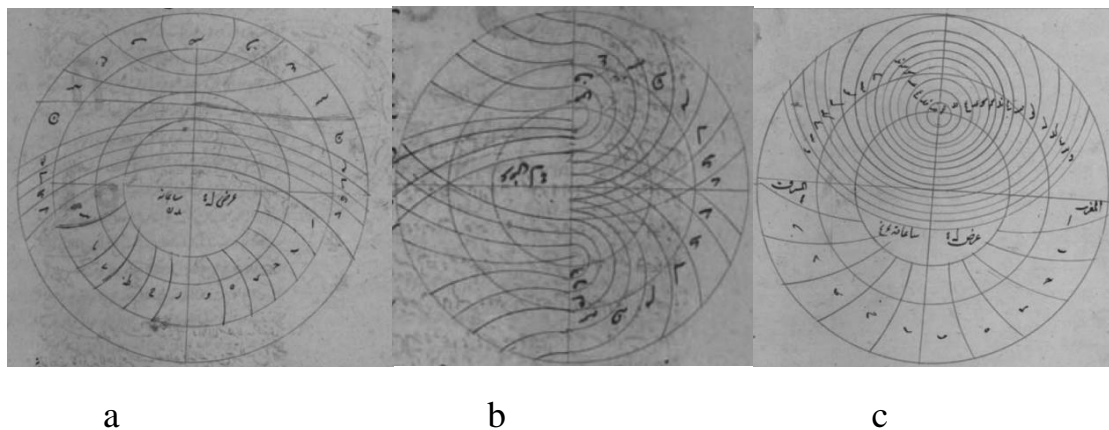


Figure 0-1. The almucantars and hour-lines on the plates of the southern (a) and northern (c) astrolabes, and the almucantars of the crab-shaped (b) astrolabe, Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, Majlis Library, ms. 1926, pp. 15, 29, 51

¹ Sijzī, f. 150 a.

² Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 122.

³ King, 2004-5, vol. 2, pp. 684-687.

Figure 0-2 shows the two projections of a given almucantar. We use it to analyse Bīrūnī's statement that the two types of almucantars meet on the meridian line on the plate of a crab-shaped astrolabe.

For simplicity we only draw the figure for one almucantar h ; but we will use it for two instances h_n and h_s . We suppose that h_n and h_s are the altitudes of two almucantars (by northern and southern projections) which meet at the meridian lines: then their points of intersection must be equidistant from the center O of the astrolabe. We assume a locality with latitude φ and let R be the radius of the celestial sphere in the stereographic projection, R is also the radius of the celestial equator on the astrolabe.

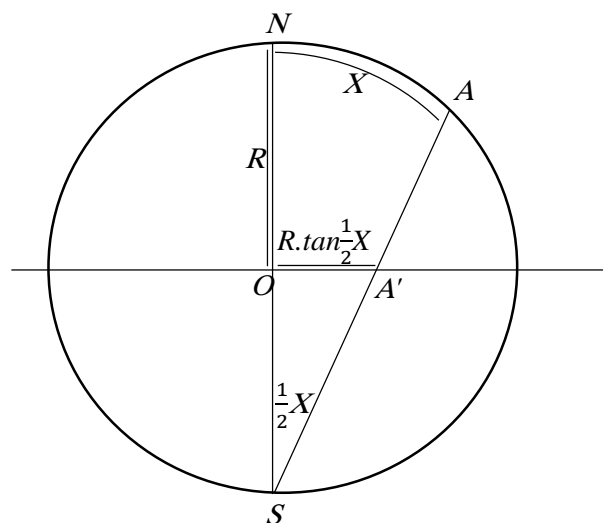


Figure 0-2. The projection of a given altitude on the crab-shaped astrolabe

We use a property of northern stereographic projection: a point at distance X from the celestial North Pole on the sphere is projected at distance $R.tan(\frac{1}{2}X)$ from the center. A similar property holds for southern stereographic projection. The northern and southern almucantars are drawn for fixed degree intervals m (m can be 1, 2, 3, 6, or 10). Choose an arbitrary southern almucantar for altitude pm , where p is a natural number (compare fig 0-1b). This will intersect the meridian above the pole at distance $R.tan(\frac{1}{2}(\varphi + pm))$ from the center; the other point of intersection does not matter because it is outside the astrolabe. A northern almucantar for altitude qm will intersect the meridian at points at distance $R.tan(\frac{1}{2}(qm - \varphi))$ from the center, below the zenith, and possibly also at distance $R.tan(90 - \frac{1}{2}[qm + \varphi])$ above the zenith. So the southern almucantar continues in a straight line with a northern almucantar, if there is an integer q such that $\varphi + pm = qm - \varphi$ or $\varphi + pm = 180 - qm - \varphi$. This leads to the conditions $2\varphi = (p + q)m$ or $2\varphi = 180 - (p + q)m$. Note that m divides 180. If p is given we can find an

integer q to fulfill the condition, if and only if m is a divisor of 2ϕ .¹ So in a decempartite astrolabe ($m = 10$) the almucantars will only continue in straight lines on plates for latitudes which are multiples of 5. Therefore Bīrūnī's condition is invalid.

(0-3-4) The *shaqā'iqī* astrolabe has been called “anemone astrolabe” in modern Western sources.² But because of the similarity of the spider of this kind of astrolabe with the petal of a poppy (*shaqā'iq*), the correct translation must be “poppy-shaped astrolabe”. The word “anemone” refers to a kind of plant, called *shaqā'iq al-Nu'mān*, which is different from poppy. For general explanations on the poppy-shaped astrolabe see: Introduction, 1-5-3

(0-3-6) In his *History (Tārīkh)*, Beyhaqī (995–1077 A.D.) quoted some information about Abū al-'Abbās Khwārizm-Shāh from Bīrūnī's lost book on the history of Khwārizm, entitled *Nobles of Khwārizm (Mashāhīr-e Khwārizm)*, which is likely identical with *The Book of Confabulation of Information on Khwārizm (Kitāb al-Musāmira fī Akhbār Khārazm)*.³ According to Beyhaqī (quoting from Bīrūnī), Abū al-'Abbās Khwārizm-Shāh was the last ruler of the house of Ma'mūnids (995–1017 A.D.),⁴ killed in March, 1017 A.D.⁵ He was well thought of by Bīrūnī, as a hardworking, learned and respectful ruler, who patronized the scholars of his time. Beyhaqī quoted that Bīrūnī resided at the court of Abū al-'Abbās for seven years.⁶ Abū al-'Abbās' nephew, Abū al-Ḥārith Muḥammad ibn 'Alī (who was the nephew of the first and the most prominent ruler of the Ghaznavid dynasty (977–1186 A.D.), sultan Maḥmūd of Ghazni (997–1030 A.D.), as well) was immediately appointed as the successor of Abū al-'Abbās, while he was just 17 years old. He was dismissed in the same year and sultan Maḥmūd himself then took control of Khwārizm.

(0-4) The scorpion-shaped (*mu'aqrab*) astrolabe

(0-4-1) Unfortunately no information about 'Amr ibn Ḥasan Khwārizmī is available, but the appellation “may God support him” by Bīrūnī shows that 'Amr ibn Ḥasan was alive at the time when Bīrūnī wrote the *Taṭrīq*. (0-4-2) The scorpion-shaped astrolabe is another type of mixed astrolabes whose spider is based on that of the myrtle-shaped and drum-shaped astrolabe. It is worthy of note that, although the diagram of the scorpion-shaped astrolabe is shown in the

¹ Compare a similar argument on the crab-shaped astrolabe in Frank, 1920, p. 16-17.

² Frank, 1920, p. 18; Charette, p. 71.

³ The latter title is cited by Bīrūnī in the list of his own works, see: Boilot, p. 283-284, no. 160.

⁴ Beyhaqī, p. 639.

⁵ Beyhaqī, p. 647.

⁶ Beyhaqī, p. 639.

manuscripts of Bīrūnī's *Astrolabe Construction*, the name and description of this type of astrolabe are omitted there.¹ An explanation of the scorpion-shaped astrolabe cannot be found in any other available work by Bīrūnī except the *Tatṛīq*. Before Bīrūnī, Sijzī mentioned this type of astrolabe in his *Treatise on the Application of the Astrolabe*, but only in the following short passage in which he explains that the spider of the scorpion-shaped astrolabe is derived from the spiders of the myrtle-shaped and drum-shaped astrolabes. Unfortunately the passage is only barely legible in the unique manuscript. Sijzī says:²

“And as for the scorpion-shaped astrolabe, it is very similar to the scorpion, and [to design such an astrolabe] we need to draw the ecliptic as on the myrtle-shaped astrolabe and to connect the ends of the [zodiacal] signs in the form of the feet, two claws and tail of a scorpion, and [we need to] put (?) on the end of the feet and its two thorns as base [a circle], that is a base for the [pointers of the] fixed stars, and [we need to] draw the sixths of the [zodiacal] signs which represent the sixths that (?) their bases are feet [of the scorpion] (meaning unclear). And these (i.e., the sixths) are arcs of the ecliptic which are remaining from the myrtle-shaped [astrolabe] and that (i.e., the other parts?) is remaining from the drum-shaped [astrolabe] and this [configuration] allows us to draw the star-pointers on the lines which are on the concavities of its (i.e., the scorpion's) back. And as for its almucantars, they are northern and southern.”³

Sijzī gave a brief explanation on the construction of this astrolabe, but he did not claim that he made a concrete example of this type, although he did so for many other types of astrolabes. Bīrūnī introduces his contemporary, ‘Amr ibn Ḥasan Khwārizmī, as the person who actually made a scorpion-shaped astrolabe, although not as the designer of the instrument. Sijzī and Bīrūnī used two different names for this kind of astrolabe (‘*aqrabī* and *mu‘aqrab*) with roughly the same meaning. In the 16th century, Najm al-Dīn Miṣrī used the name scorpion-shaped astrolabe for a different design.⁴

(0-4-3) We can now give the details of the construction of the scorpion-shaped astrolabe according to Bīrūnī. We consider the spider of a drum-shaped astrolabe, with the northern zodiacal signs (from Aries to Virgo) mapped by

¹ Bīrūnī, *Astrolabe Construction* (ms), p. 52; Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p.123.

² Sijzī, f. 153 b.

³ وأما الأسطرلاب القبري وهو أشبه شيء بالعقرب وذلك ينبغي أن ترسم المنطقة على مثل ما رسم الأسطرلاب الآسي وتصل أطراف البروج أشباه أرجل العقرب وزبانه وذنبه وتضع (?) على طرف الأرجل وشوكه دستوراً أعني دستور الكواكب الثابتة وترسم أسداس من البروج تنوب عن الأسداس التي (?) قواعدها الأرجل. وهي تكون من باقي قسي المنطقة من الآسي وهو من المطيل وينبغي أن ترسم مري الكواكب على المخطوط التي على حورات ظهره. وأما مقطراته فهي الشمالية والجنوبية.

⁴ Charette, pp. 265-266.

southern projection, and the southern ones (from Libra to Pisces) mapped by northern projection. To make the spider of the scorpion-shaped astrolabe, remove the two parts of the drum-shaped spider corresponding to the signs of Scorpio and Aquarius; these two parts should be mapped separately by southern projection, as in the myrtle-shaped spider. The two pairs of consecutive signs (Libra-Scorpio, Scorpio-Sagittarius, and Capricornus-Aquarius, Aquarius-Pisces) should be joined by means of two small curves (Figure 0-3). Then, another part of the drum-shaped spider, consisting of the signs of Gemini and Cancer, should be removed; these signs should also be mapped by northern projection, as in the myrtle-shaped spider. In the spider of the scorpion-shaped astrolabe, the end of Taurus is then joined to the beginning of Gemini by means of a metal piece similar to a half of a crescent figure, and the end of Cancer should be joined to the beginning of Leo in a similar way. Then the two half crescent-shaped pieces are joined to form a full crescent, whose convex side is then connected to a small circle around the pole of the astrolabe by two connecting strips equipped with two sights, which are used as the movers of the spider as well. Table 5 represents the arrangement of the zodiacal signs on the spider of this type of astrolabe based on the two kinds of projection.

	♏	♏	♏	♏	♏	♏	♏	♏	♏	♏	♏	♏
The scorpion-shaped astrolabe	S	S	N	N	S	S	N	S	N	N	S	N

Table 5: The type of stereographic projection (northern [N] and southern [S])

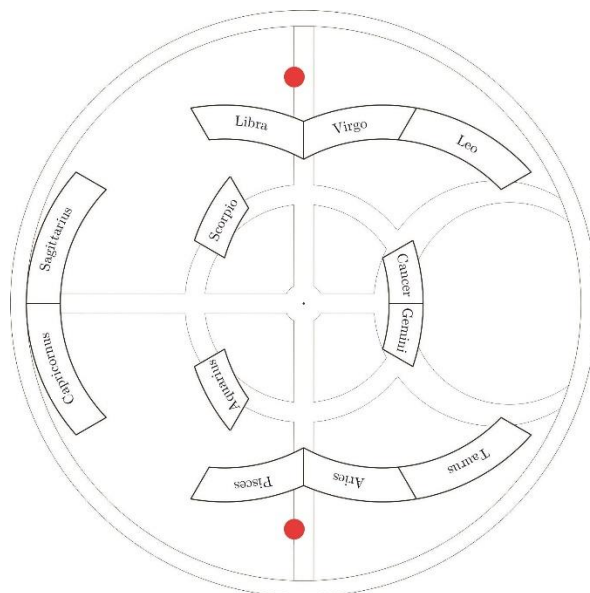


Figure 0-3. The diagram of the spider of the scorpion-shaped astrolabe, drawn by Wilfred de Graaf; The two points on the straight bar indicating the places of the sights

(0-4-4) I will now show that the construction of the spider of this astrolabe makes it possible to use it simultaneously as a so-called lunar-box (*huqq al-qamar*). The lunar-box is a mechanical geared calendar, presumably with

Hellenistic or Byzantine origins, and further developed in the Islamic tradition.¹ Bīrūnī discusses two variants of this instrument in his *Astrolabe Construction*.² The instrument contains eight cogwheels, which serve to represent the positions of the sun and moon by approximation, to simulate the shapes of the lunar phases, and to show how many days of the (lunar) month have passed (Figure 0-5). According to Bīrūnī's explanations in his *Astrolabe Construction*, the lunar box is provided with cogwheels with 7, 10, 19, 24, 40, 48 and (twice) 59 teeth. To use the lunar box, we rotate the axis through the center of the plate; one rotation corresponds to one week. On the axis two small cogwheels with 7 teeth and 10 teeth are mounted. The 10-teeth cogwheel rotates the 40-teeth cogwheel which will make one rotation in 28 days and which is used to indicate the position of the moon in the zodiacal signs. The 7-teeth cogwheel rotates another 59-teeth cogwheel, which will rotate in 59 days, that is approximately two synodic months, and is used to illustrate the phases of the moon and the number of days that have passed in the lunar calendar. This wheel is mounted on a second axis together with a concentric 19-teeth cogwheel; this in turn rotates another 59-teeth cogwheel, mounted on a third axis together with a 24-teeth cogwheel, which rotates a final 48-teeth cogwheel. The final wheel will rotate in $59 \times (59/19) \times (48/24)$ days, which is approximately 366 $\frac{1}{2}$ days, and the wheel is used to display the position of the sun in the zodiacal signs.³ Variants of this instrument can be imagined, and the approximations can be somewhat improved by slightly changing some of the numbers of teeth.



Figure 0-5. The front (left) and back (right) of the lunar-box. This device indicates the number of the day in the lunar calendar as well as the corresponding phase of the moon, and the position of the moon and the sun. Made in 1221-2 A.D., Isfahan, Iran; Oxford Astrolabe Collection, no. 48213 [CCA 5]

¹ Hill, p. 140.

² Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, pp. 219-228; for a German commentary, see: Wiedemann, 1913, pp. 5-13, for an English translation and technical commentary, see: Hill, pp. 156-163.

³ See Wiedemann, 1913, p. 8.

According to my interpretation, the cogwheels of some form of lunar-box could be assembled on the back of a scorpion-shaped astrolabe; then the circular space inside the crescent-shaped part of the spider could be used to make the shapes of the lunar phases visible to the user. See Figure 0-5 left, where the small circle on the top visibly displays the lunar phases.

(0-4-5) In connection with the scorpion-shaped astrolabe, Bīrūnī mentions a young man who made an instrument comprising sixty wooden parts and two coin-frames. In the light of Bīrūnī's explanations about the scorpion-shaped astrolabe and the possibility of assembling the lunar-box (including two coin-frames, one of which could be covered by pure silver according to the *Astrolabe Construction*)¹ on its back, I suggest that the instrument made by the young man for Abū al-'Abbās Khwārizm-Shāh (see above, commentary to 0-3-6) included some kind of lunar-box. In this curious instrument, the white coin-frame was fixed and the black one could be moved by means of a cogwheel. Thus the movement of the black coin-frame on the white one could simulate the moon phases (Figure 0-6). Bīrūnī reports that the weight of "the whole" was less than half a *dirham*. Since in the time of Bīrūnī, one *dirham* was almost equal to three grams,² the word "whole" in this statement should refer to "the scoop", not to the instrument. From Bīrūnī's explanations we gather that he obviously saw this instrument, but no example of it is known to exist today. Bīrūnī adds that he applied the method of this young boy in the construction of mirrors.³ According to Bīrūnī's description, the young boy was apparently a skilful craftsman who did not possess much scientific knowledge.

¹ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 221. The editor of the *Ist'īāb* transcribed *sīmsukhtaj* as *sīmsanahtaj* erroneously.

² *EF*², vol.2, pp. 319-320, s.v. "Dirham"

³ The construction of mirrors is unclear to me.

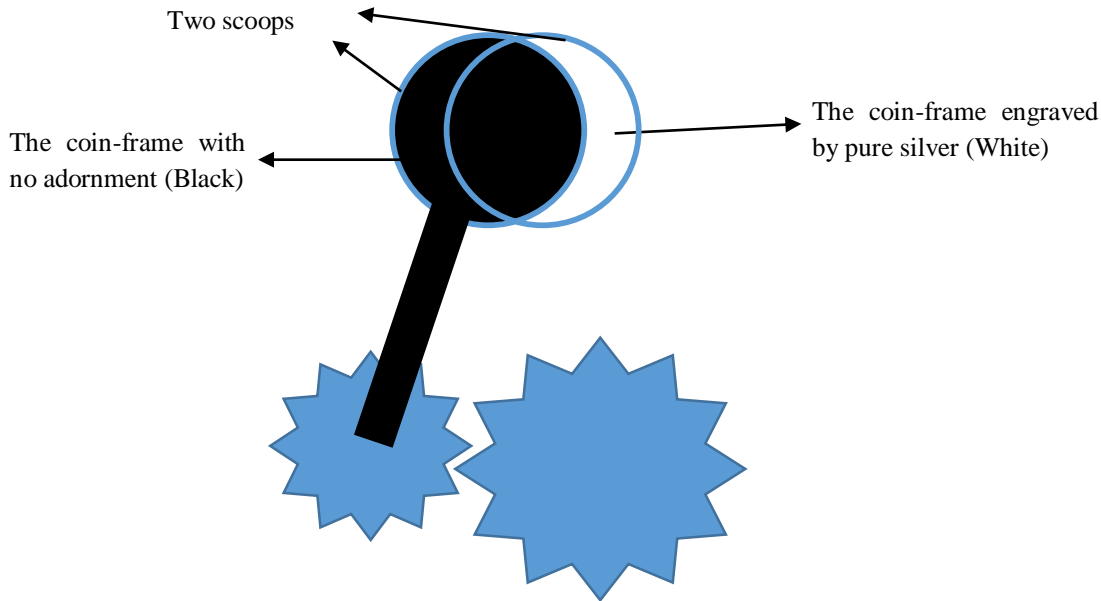


Figure 0-6. An instrument for simulating the moon phases (not to scale)

(0-5) The crescent-shaped (*hilālī*) astrolabe

(0-5-1) In his *Astrolabe Construction* Bīrūnī did not mention the crescent-shaped astrolabe. The only explanations about the crescent-shaped astrolabe in medieval sources are the relevant passages in Bīrūnī's *Taṭrīq* and in Sijzī's astrolabe treatise. Sijzī's rather unclear explanations in his astrolabe treatise are as follows:¹

“The crescent-shaped astrolabe: As for the crescent-shaped astrolabe, it contains a mater with the shape of half of the [standard circular] plate, and the rim which is on (i.e., attached to) the mater is also a semicircle. A wider part of the rim and the throne are at the middle of the diameter of the half (i.e., semicircular) plate, but the half of the ring (i.e., the curved part) of the rim is parallel to the face of the spider and in its plane, just as on the [standard] astrolabe. The perpendicular to the diameter (?) is parallel to the surface of the plate which is on top of the [other] plates, so that the spider can rotate at the time when it is used, and it can move outside of the mater. The place of the handle on the throne should be pierced (?), and the handle which we have drawn [should be] chained to the throne. Its back is different from what is on the [standard] astrolabe, in such a way that when the spider rotates, the handle and the ring would be placed on the back of the mater, not on its two sides. As for the plates: near their centers, there are circular additional pieces which cover part of the throne so that the almucantars can be drawn on them completely.

¹ Sijzī, f. 153 b, f. 114 a.

And as for the spider: one side of the half of the plate should be straight as is common, but there should be an excess on the diameter in order that the hole can be made for the pole, and the spider is pierced as is common [in the standard astrolabe]. As for the half of the ecliptic from the beginning of Libra to the beginning of Aries, and the two [metal] arcs which are on the edge of the spider, and the positions of the star pointers on this half of the plate, they are [all] the same as on the northern astrolabe. As for the remaining half of the [zodiacal] signs, from the beginning of Aries to the beginning of Libra, we should put one of the two legs of the compass on the beginning of Libra; then [we should put] the other leg on a line which is on the rectilinear extension of the meridian-line opposite to the first center, in such a way that its distance from the center of the plate in the other direction, is equal to the distance of the first center – from which we drew the [circle of the zodiacal] signs from the beginning of Libra to Aries – [to the center of the plate], and [then] we draw the arc of the rest of the ecliptic until a crescent shape appears. The divisions of the [zodiacal] signs from Libra to Aries are the same as on the northern spider, and the [divisions of the] remaining [zodiacal signs] are on the same [position] of the ruler from the center [of the plate] to its divisions [on the standard astrolabe]. And as for inscribing the names of the [zodiacal] signs, from Libra to Aries [the order of zodiacal signs] is the same as what is on the northern astrolabe (i.e., counterclockwise); and from Aries to Libra we join [them] from Pisces to Libra but we return (i.e., clockwise), so it is the mirror image of what is on the northern [astrolabe], as we have drawn (i.e., in a figure which is now missing). I made this astrolabe for the treasury of ‘Aḏūd al-Dawla (936 – 983 A.D.) and composed a book on its applications.”¹

In the quoted passage, Sijzī says that the signs from Libra to Aries are in the same order as in the standard astrolabe, whereas the signs from Aries to Libra are in reverse order. Thus Sijzī’s crescent-shaped astrolabe was probably the mirror image (in the vertical line) of the crescent-shaped astrolabe which I have

¹ الأَصْطِرْلَابُ الْهَلَالِي: وأما الأَصْطِرْلَابُ الْهَلَالِي فيكون له أَمٌّ على هيئة نصف صفيحة. والحجرة التي على الأَمِّ نصف دائرة أيضاً، وزيادة عرض الحجرة والكُرْسِي على وسط قطر نصف الصفيحة، إلا أن نصف حلقة الحجرة يوازي وجه العنكبوت وعلى سطحه على مثل ما هو في الأَصْطِرْلَاب. وعمود القطر يوازي سطح الصفيحة التي على وجه الصفائح الخارج منها ليدور العنكبوت وقت العمل ويقع في وقت العمل خارج الأَمِّ، وينبغي أن يكون موضع العروة من الكُرْسِي بحريق (؟) وتكون العروة التي صورناها سلسلة على الكُرْسِي. وظهره على خلاف ما في الأَصْطِرْلَاب، لتقع العروة والحلقة وقت إدارة العنكبوت خلف الأَمِّ ولا يجنبتيه. وأما الصفائح: فإن قرب مراكزها زيادات مستديرة تدخل في الكُرْسِي لينتهي فيها رسم تخطيط المقطرات بالتام.

وأما العنكبوت: فينبغي أن يسوي نصف صفيحة مجنبة على العادة وزيادة تسيرة (؟) على القطر لعمل الثقب التي يدخل فيها القطب ويخترق على العادة العنكبوت. فأما نصف المنطقة التي من أول الميزان إلى أول الحمل والقوسين اللتين على حاشية العنكبوت ومواضع مري الكواكب في هذا نصف الصفيحة فهو كما في الأَصْطِرْلَاب الشمالي. وأما النصف الباقي من البروج التي هي من أول الحمل إلى أول الميزان فينبغي أن نضع أحد رأسي البركار على أول الميزان، والرأس الآخر حيث وقع من الخط الذي على استقامة خط نصف النهار إلى خلاف جهة المركز الأول؛ أعني بعده من مركز الصفيحة في الجهة الأخرى كبعد المركز الأول الذي رسمنا عليه من منطقة البروج أول الميزان إلى الحمل. وندير قوس المنطقة الباقية حتى يحدث شكلاً هلالياً. وأقسام البروج أماً من الميزان إلى الحمل فعلى ما في العنكبوت الشمالية والباقية فعلى استواء المسطرة من المركز إلى أقسامها. وأما كتابة أسامي البروج، فمن الميزان إلى الحمل على ما هو في الأَصْطِرْلَاب الشمالي؛ ومن الحمل إلى الميزان تتصل من الخوت إلى الميزان ونرجع، ويكون على عكس هذا ما في الشمالي على ما صورناه. وعملت هذا الأَصْطِرْلَاب لخزانة عضد الدولة وألقت كتاباً في العمل به.

reconstructed in Section 1-8-2 of the introduction on the basis of the information in the *Taṭrīq*.

(0-5-2) For general explanations of the crescent-shaped astrolabe see: Introduction, 1-8-2. Bīrūnī gives several suggestions about how to avoid the alidade getting stuck during its rotation.

(0-5-3) For detailed explanations on the almucantars of the crescent-shaped astrolabe see: Introduction, 1-7-2a.

(0-6) The boat-shaped (*zawraqī*) astrolabe

(0-6-1) In his *Astrolabe Construction*,¹ Bīrūnī states that he saw an astrolabe – called “boat-shaped” – which had been invented by Sijzī and which was based on the theory of the rotating earth. In the *Taṭrīq*, however, Bīrūnī mentions only a book by Sijzī on this type of astrolabe, but not a concrete boat-shaped astrolabe made by him. Sijzī explained the construction of the boat-shaped astrolabe in his extant *Book on the Use of the Astrolabe*² (*Kitāb fī ‘Amal al-Uṣṭurlāb*) but did not mention the earth’s rotation in this connection. This absence of the concept of earth’s rotation agrees with Bīrūnī’s statement in the *Taṭrīq* to the effect that Sijzī did not understand the real background of the boat-shaped astrolabe. The extant treatise by Sijzī may be Bīrūnī’s source of information, but they may also have had other exchanges; Bīrūnī and Sijzī were in direct contact, as is evident from the letters they exchanged.³

(0-6-2) Bīrūnī hesitates to consider Sijzī the inventor of this astrolabe, because of the two following reasons. First, Bīrūnī was not sure whether the boat-shaped astrolabe made by Ja‘far ibn Muḥammad ibn Jarīr, which Bīrūnī had seen, was made before or after Sijzī wrote his book. The second reason is that in Bīrūnī’s opinion, Sijzī was unfamiliar with the concept of a rotating earth. One cannot be sure whether the rotating earth was the motivation. The boat-shaped astrolabe may also have been designed because it is easier to make than the standard astrolabe.

(0-6-3) In his *India*, Bīrūnī discussed a statement by Brahmagupta⁴ (598 – after 665 A.D.) that some astronomers such as Āryabhaṭa⁵ (b. 476 A.D.) and his followers believed in the earth’s rotation. Then Bīrūnī immediately gives

¹ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 128.

² Sijzī, f. 114 a – 114 b.

³ *DSB*, vol. 12, pp. 431-432.

⁴ For biographical information on Brahmagupta, see: *DSB*, vol. 2, pp. 416-418.

⁵ For biographical information on Āryabhaṭa, see: Gupta, pp. 244-245.

arguments against this hypothesis.¹ He also argued against the earth's rotation in his *Masudic Canon* (*al-Qānūn al-Mas'ūdī*),² but in the *Astrolabe Construction*, he left it up to the natural philosophers to decide about this subject.³ The Islamic astronomical tradition was influenced by Ptolemy, who did not accept any motion of the earth.⁴

(0-6-4) For detailed explanations on the construction of the boat-shaped astrolabe see: Introduction, 1-5-4.

(0-6-5) In the boat-shaped astrolabe, the shape of the horizon depends on the geographical latitude, so for different latitudes, different boats are necessary. The ecliptic and the projection of the fixed stars do not depend on the geographical latitude, so at first sight only one plate appears to be necessary. Because this astrolabe has only the moving horizon, not moving almucantars, the possible applications are more limited than those of the standard astrolabe. This was perhaps the reason why the initial idea was abandoned to some extent: on the plate were also engraved a horizon, almucantars and hour lines for some latitude, as if this were a normal astrolabe (Figure 21). Thus the relationship with the theory of a rotating earth was perhaps not as close as Bīrūnī suggested.

(0-7) The plate of horizons

(0-7-1) The plate of horizons was probably invented in ninth-century Baghdad.⁵ Standard plates are designed for a specific geographical latitude, but the plate of horizons for a range of latitudes, so it can be considered as a universal plate. Just like standard plates, the plate of the horizons includes the tropics of Cancer and Capricorn and the celestial equator, and it is divided into four quadrants by the meridian and East-West lines. Each quadrant usually includes one-fourth of the total number of horizons.⁶

(0-7-2) The second arrangement of horizons on the plate of horizons, which is mentioned here by Bīrūnī, was commonly used on Islamic astrolabes. In this arrangement only half of each horizon is stereographically projected on the plate. Thus there will be four sets of semi-horizontal arcs and each set contains horizons

¹ Bīrūnī, *India*, p. 231 (Arabic).

² Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 1, p. 50. The Arabic text of this book has been published in Hyderabad 1954-56; available online at: www.albiruni.nl. The English translation of the table of contents of the *Masudic Canon* has been published by E.S.Kennedy in *Al-Abhath*, vol. 24, 1971, reprinted in *Studies in the Islamic Exact Sciences*, by E.S. Kennedy, Colleagues and Former Students, American University of Beirut, 1983, pp. 573-595.

³ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 128.

⁴ Toomer, 1998, Book I, Part 7, pp. 43-45.

⁵ Charette, p. 59.

⁶ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 82.

for intervals of latitude which are multiples of four degrees. All of the arcs of each set join each other at the intersection point of the celestial equator and one of the two straight lines. The first set of arcs, starting from the horizontal arc for the lowest degree of latitude, begins at the midheaven-line or the left side of the East-West line. The next horizontal arc is projected on the next quadrant in counterclockwise direction, and so on. Figure 0-7 displays a plate of horizons on which horizons for every three degrees of latitude between 18° and 72° are engraved. The horizontal arc for 18° starts on the East-West line, the arc of 21° on the line of the pillar of the earth, and so on. To use the plate of horizons, it should be fixed on the mater of the astrolabe like a standard plate, but the selected horizon should be considered East. Each quadrant normally includes a declination scale.¹

In the *Astrolabe Construction*, Bīrūnī says that the plate of horizons might cover a range of horizons from 1° to 66°, although they could also be limited to the inhabited world, which extends from the middle of the first climate to the beginning of the seventh (i.e., ca. 16°-49°).² The arcs could be distributed over the two faces of the plate.³ In the *Taṭrīq*, Bīrūnī suggests that both sides of the plate can be used for the horizon arcs, but he adds that it is also possible to divide one face of the plate of horizons into eight equal parts by four diameters. In that case, eight sets of arcs could be represented on the same face of the plate. He also gives an interesting account of astrolabe plates with horizons and almucantars serving two latitudes: for one latitude, the almucantars and horizon are on the left of the meridian line, and for the other on the right. This seems to be the plate of the “halved” astrolabe which he mentions in (13-1-7) and (13-5-6). The plate divided into four parts (for four different latitudes) may have inspired the development of the astrolabe quadrant.

¹ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 82; see also: Morrison, pp. 64-65.

² Kennedy, 1973, p. 80.

³ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 82-83.



Figure 0-7. The plate of horizons, made in the 18th century A.D., Iran; Adler Planetarium Collections, no. A-146 (<http://www.adlerplanetarium.org/collections/>) [CCA 2564]

(0-7-7) The shell-shaped, fish-shaped and turtle-shaped astrolabes are further examples of mixed astrolabes.¹ The melon-shaped astrolabe is based on an azimuthal equidistant projection, not a stereographic projection.² In his *Astrolabe Construction*, Bīrūnī complains about the difficulty of the melon-shaped astrolabe, and he gives some relevant information about Kindī³ (d. ca. 873 A.D.) from the treatise *The Perfect (al-Kāmil)*,⁴ by Farghānī⁵ (d. after 861 A.D.). According to Bīrūnī, Farghānī mentioned the melon-shaped astrolabe in the beginning of this treatise but he was not certain whether Kindī had invented this type of astrolabe or only used it.⁶ Nevertheless no reference of Kindī is found in the edited text of Farghānī's work. Ḥabash al-Ḥāsib⁷ (d. 864 – 874 A.D.) wrote a treatise entitled *On the Use of the Melon-Shaped Astrolabe ('Amal al-Uṣṭurlāb al-Mubaṭṭakh)* and produced a set of numerical tables to plot the curves on the

¹ Sijzī (f. 152 b - 153 b) described the construction of the shell-shaped and fish-shaped astrolabe as well. For more explanations and the diagrams of these kinds of mixed astrolabes see Charette, pp. 70-73 whose descriptions consistent with Sijzī.

² Kennedy, Kunitzsch, Lorch, pp. 121-146.

³ For more information on Kindī and his works, see: Sezgin, *GAS*, vol. 5, pp. 255-259; vol. 6, pp. 151-155.

⁴ For the Arabic edition of this work with an English translation and commentary see Farghānī in the bibliography.

⁵ For more information on Farghānī and his works, see: Sezgin, *GAS*, vol. 5, pp. 259-260; vol. 6, pp. 149-151.

⁶ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 164-165.

⁷ For more information on Ḥabash al-Ḥāsib and his works, see: Sezgin, *GAS*, vol. 5, pp. 275-276, vol. 6, pp. 173-175.

plate of the melon-shaped astrolabe for the latitude of Samarra (34).¹ The treatise by Ḥabash is extant but no example of this type of astrolabe has ever been found.

(0-7-9) Farghānī had already thought of the cylindrical (orthogonal) projection, and called it “oven-shaped (*tanūrī*)”, but he finally concluded that it is not possible to make an astrolabe based on this type of projection.² Nevertheless, Bīrūnī succeeded in explaining how to make an astrolabe based on the cylindrical projection, and called it “the comprehensive/complete (*ḥāwī/kāmil*) astrolabe”, because its spider contained the stars on the entire northern and southern hemisphere.³ In the *Astrolabe Construction* Bīrūnī says that he had written a short treatise on this subject. This is probably his book on the projections of the sphere (*Fī Taṣṭīḥ al-Ṣuwar wa Tabṭīḥ al-Kuwar*)⁴ in which he explained the cylindrical projection and its background in detail.⁵

(0-7-10) Bīrūnī mentions three more types of astrolabe which are neither standard nor mixed astrolabes. The plate and almucantars of these astrolabes are the same as those of the standard astrolabe, but their spiders are different. The “ruler-shaped astrolabe” is equipped with a ruler instead of the spider. Just as the boat-shaped astrolabe, this astrolabe may have been designed in order to avoid making the standard spider. The ruler is like an edged alidade⁶ and is divided according to the (stereographic projections of) declination circles with special references to the zodiacal signs. The astrolabe is designed in such a way that there is some extra space between the Tropic of Capricorn and the rim, and this extra space contains a circular 360-degree scale, in which the zodiacal signs are indicated according to their oblique ascensions for the latitude of the plate. According to Bīrūnī, the two other types were invented by Sijzī.⁷ In the cross-shaped (*ṣalībī*) astrolabe, which is a variation on the ruler-shaped astrolabe, the spider is replaced by a cross-shaped piece. In the spiral-shaped (*lawlabī*) astrolabe, the zodiacal signs are placed on a spiral starting from the Tropic of Cancer and ending at the Tropic of Capricorn, such that every two zodiacal signs with the same declination are placed on a quadrant in the spiral. We will spare

¹ Ḥabash al-Ḥāsib, pp. 78-89; for the Arabic text of this treatise with English translation and commentary see “Kennedy, Kunitzsch, Lorch” in the bibliography.

² Farghānī, pp. 372-377.

³ For Bīrūnī’s comprehensive descriptions on the cylindrical astrolabe, see: Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, pp. 175-182.

⁴ The Arabic text of this treatise is edited and published by A. S. Saidan, Amman 1977; the English translation of the preface of this work by Lutz Richter-Bernburg and the English translation of the main text by J. L. Berggren are published in *Journal for the history of Arabic Science*, no. 6, Aleppo 1982.

⁵ Berggren, pp. 48-61, 81-95.

⁶ Bīrūnī defined the edged alidade in *Taṭrīq* (1-1).

⁷ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, pp. 134, 135.

the reader the further details of the cross-shaped and the spiral-shaped astrolabe. Bīrūnī described the construction of the ruler-shaped, the cross-shaped and the spiral-shaped astrolabes in his *Astrolabe Construction*.¹

(0-8) Preliminary section, on some names and terms which we want to mention

(0-8-1) Bīrūnī uses the phrases “the [direct] order of the [zodiacal] signs” (*tawālī al-burūj*) and “the reverse order of the [zodiacal] signs” (*khilāf al-tawālī*) to indicate the rotation of motion in the ecliptic just like other Islamic astronomers and following Ptolemy.² He also uses the two Arabic terms *mushtamil* and *mujtanib*, which we have not found elsewhere and which were probably invented by him. These two adjectives are respectively derived from *shimāl* (North) and *janūb* (South) with the meanings “northern” and “southern”.

(0-8-2) Regarding the northern and southern projections, Bīrūnī remarks that the stars which are located in the domain of a certain zodiacal sign should be projected by the same type as the projection type of that zodiacal sign. In the context of the astrolabe, Bīrūnī’s “domain of a zodiacal sign” is the area which is limited by the two great semicircles on the celestial sphere which pass through the beginning and the end of a zodiacal sign, and which end at the two celestial poles. Astrologically, one would expect the domain of a zodiacal sign to be defined by ecliptical longitude, that is, by great semicircles through the endpoints of a sign and ending at the poles of the ecliptic.

(0-8-3) His description of the almucantars of altitude and depression in northern and southern astrolabes shows that the only difference between them is in their orientation (Figure 0-1). We can exchange them by turning the astrolabe upside down: for example, the almucantars of depression in the northern astrolabe become the almucantars of altitude in the southern astrolabe.

(0-8-4) Bīrūnī makes an interesting distinction between various types of students of the astrolabe: (1) those who only need practical applications, namely the 12 astrological houses and time of day or night; (2) students whose knowledge is intermediate and whose interest extends beyond practicalities; and (3) students of the highest level, who want mathematical proofs. As far as we know, he does not give the same classification in his other astronomical works, but we can see that they agree with it. For example, his work *Astrolabe Construction* on the construction of astrolabes is also written for readers of category (2).

¹ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, pp. 133-137; he also explained how to use these three types for the determination of the ascendant in his *Pearls*, pp. 120-125.

² Toomer, 1998, introduction: p. 20.

(1-1)

(1-1-3) Several types of alidades were used on Islamic astrolabes. Figure 1-1a displays a symmetric alidade (called “perfect alidade”) with two pointers and two sights (perpendicular to the plane of the paper), but no scale.¹ In this symmetric alidade, the center line was aligned with the center of the astrolabe and with the middle of the two sights. Two other types of alidades (counterchanged and straight-bar)² were used in Islamic and European astrolabes (Figure 1-1) and both of them were called edged alidade.³ In the straight-bar alidade, one of the edges was aligned with the center and with the middle of the sights, as in figure 1-1c. This seems to have been the most common type of alidade on extant Islamic astrolabes. The counterchanged alidade consisted of two halves such that two of the edges on different sides were aligned with the center and the middle of the sights, as in figure 1-1b. Bīrūnī explains the edged alidade in his *Astrolabe Construction*⁴ and *Introduction to Astrology*,⁵ and mentions the term “torn alidade” as an alternative name in his *Introduction to Astrology*⁶ as well as in the *Tatrīq*.

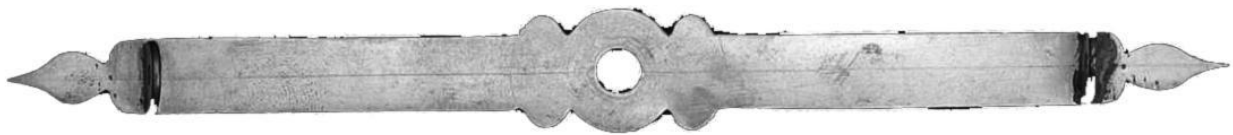


Figure 1-1a: Perfect alidade, made in the 13th century A.D., North Africa; Oxford Astrolabe Collection, above: no. 47632 (<https://www.mhs.ox.ac.uk/astrolabe/>) [CCA 139]



Figure 1-1b: Counterchanged alidade, made in the late 9th century A.D., Syria; Oxford Astrolabe Collection, above: no. 47632 (<https://www.mhs.ox.ac.uk/astrolabe/>) [CCA 1026]

¹ For two more extant examples of the perfect alidade, see: Sarma, pp. 335, 2406 (Astrolabes no. A019.3, D060.2)

² The terms counterchanged and straight-bar are used by Morrison, pp. 13-14, whereas edged and perfect are the medieval Arabic terms.

³ The figures of the edged and perfect alidades in the Arabic edition of Bīrūnī’s *Astrolabe Construction* (p. 12) are unreliable and one has to check a manuscript.

⁴ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 12, 64.

⁵ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, p. 299 (Persian), p. 198 (Arabic - English).

⁶ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, p. 198 (Arabic - English). In the edition of the Persian version of the *Introduction to Astrology* (p. 299), this term is transcribed as *muḥarrafa* (instead of *mukharraqa*).



Figure 1-1c: Straight-bar alidade, made in the early 18th century A.D., Iran; Oxford Astrolabe Collection, no. 37940 (<https://www.mhs.ox.ac.uk/astrolabe/>) [CAA 1021]

(1-1-4) If it is not possible to mount an alidade on the astrolabe, because the back is used for other reasons, Bīrūnī mentions the alternative to place the two sights with the holes on top of the spider, at the same distance from a straight bar which passes through the center of the astrolabe. Then it is necessary to have a pointer at the end of the bar (see figure 1-2). Since the spider and the plates are mounted on the astrolabe by means some sort of nut (the “horse”), it is better to have the sights at some distance from the bar so that the rays of the sun or stars cannot be obscured by the nut. This is no problem as long as the rays of the sun or star are parallel to the bar.

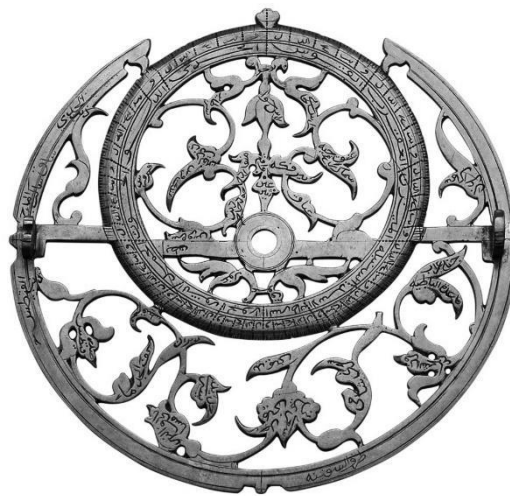


Figure 1-2. A spider with two sights (at the far right and left), made in the 17th century A.D., Lahore, Pakistan; Adler Planetarium Collections, no. L-100 (<http://www.adlerplanetarium.org/collections/>) [CCA 3917]

(1-1-8) The scale of 360 degrees on the circumference is almost always divided into 72 groups of 5 degrees, and only the numbers for multiples of five are written.

(1-1-9) Although the alidade of the astrolabe could be easily used for the determination of the altitude of the sun and other celestial bodies,¹ as Bīrūnī mentioned, it cannot be used for measuring the true altitude (the altitude from the true horizon through the center of the earth) of the moon, mainly because of its parallax.² For the determination of the direction of the altitude of the sun, Bīrūnī proposes to carry out two consecutive observations of the sun when it is close to the meridian, and compare the altitudes. He remarks that the time interval between the two observations should not be too long, because a long interval between the two observations might lead the observer to ignore the transit of the sun. One could also compare with the meridian altitude of the sun, which could be found in almanacs for every day.³

(1-2)

Bīrūnī suggests using brass (*shabah*)⁴ to attach a hollow pipe to the alidade. Figure 1-3 shows an astrolabe with a sighting tube on its alidade, made in the 18th or 19th century in India.

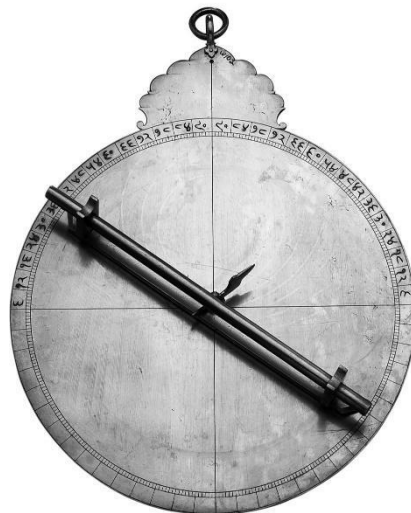


Figure 1-3. An astrolabe with a sighting tube on the alidade, made in the 18th or 19th century A.D., India; Adler Planetarium Collections, no. W-102 (<http://www.adlerplanetarium.org/collections/>)

¹ Morrison, pp. 12-14.

² For the calculation of the moon's position and its parallax, see: Toomer, 1998, book V, parts 9 - 11, pp. 237-244.

³ For more information about almanacs, see: Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, pp. 273-280 (Persian), pp. 186-191 (Arabic - English).

⁴ This is my conjectural reading of the word based on the unique manuscript of the *Tat̄rīq*.

(2-1)

(2-1-1) As in Ptolemy's geocentric system,¹ Bīrūnī assumes that the size of the earth can be ignored compared to the size of the heavens, and that the earth can be assumed spherical as a whole in spite of the unevenness of its surface.

(2-1-2) The measurement of the size of the earth has its historic roots in ancient Greece,² and was carried out in the medieval Islamic tradition by two different methods.³ In his *Coordinates*⁴ Bīrūnī describes the method of Sind/Sanad ibn 'Alī⁵ (9th c. A.D.) for finding the radius of the earth by making an observation on the top of a high mountain, but he did not cite the numerical results. Bīrūnī then reports on his own experience in India, when he was residing in the castle of Nandana (in present-day Punjab Pakistan) and measured the radius of the earth from a mountain nearby, confirming Sind/Sanad's method.⁶ In the *Taṭrīq* Bīrūnī also mentions the magnitude of the depression. Unfortunately it is not possible to read the number in the manuscript with certainty due to the omission of dots. However, since it is obviously a two-digit number, it should be a number of minutes (not a number of degrees), for otherwise the height of the mountain would be more than 98 km! The number in the manuscript is in the *abjad* alphanumerical system, and the possible readings are نج، نـح، لـج، لـح، یـج، یـح which correspond to 13, 18, 33, 38, 53 and 58 (minutes of arc).

In his *Masudic Canon*, as well as in his *Coordinates*, Bīrūnī reports that he found the magnitude of the depression on the top of the mountain near Nandana less than $0;35^\circ$ (one-third plus one-quarter of a degree) by means of an instrument, and took it as $0;34^\circ$, but he does not explain what kind of instrument he used. Nevertheless he accepts the values measured by the former astronomers, because he believes that their instruments were more accurate and that they made more efforts in this regard.⁷ The value $0;34^\circ$ of the depression angle in the *Masudic Canon* is considered a fictitious number by Raymond Mercier, because he believes that it was impossible to measure such a small angle by astronomical instruments in the time of Bīrūnī.⁸ Mercier's opinion can be refuted by the two following arguments. First, Bīrūnī's humble sentences in his *Masudic Canon* and his reference to the earlier astronomers show that he did not want to bolster his reputation by making an unwarranted claim. Secondly, observations were carried out by Muslim astronomers before Bīrūnī with a precision of two minutes.⁹ I

¹ See: Toomer, 1998, Book I:4, I:6, pp. 40-41, 43.

² Evans, pp. 63-67.

³ Mercier, pp. 178-188. See also (20-2).

⁴ For the Arabic edition, English translation and commentary, see: Bīrūnī, *Coordinates* in the bibliography.

⁵ For biographical information on Sind/Sanad ibn 'Alī, see: Sezgin, *GAS*, vol. 6, p. 138.

⁶ Bīrūnī, *Coordinates*, pp. 218-224 (Arabic), pp. 183-189 (English); Kennedy, 1973, pp. 137-140; see also: Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 2, p. 530. For more information on Bīrūnī's measurement, see: Mercier, pp. 182-184.

⁷ Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 2, p. 530-531.

⁸ Mercier, p. 183.

⁹ Giahī Yazdī, p.106.

conclude that it was not impossible for Bīrūnī to measure $0;34^\circ$ with an accuracy of two minutes by means of an instrument. Thus we should probably read the number in the *Taṭrīq* as 33.

In figure 2-1, h is the height of the mountain, α is the angle of depression, and r is the radius of the earth. If the height of the mountain is known (or measured by the astrolabe, see Chapter 18 below), the radius of the earth can be calculated in the right triangle ABO by a method equivalent to the modern formula:

$$\cos \alpha = \frac{r}{r + h}, \text{ so: } r = \frac{h \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

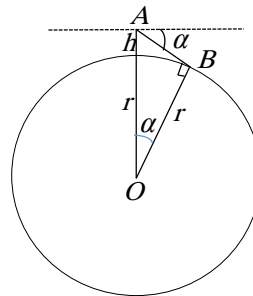


Figure 2-1. The determination of the radius of the earth by observation from a high mountain

(2-1-3) Bīrūnī gives three examples of high mountains which are suitable for this measurement. Of these three examples, Aristotle considered the Caucasus the largest mountain range, both in extent and height.¹ In his *Shadows*, Bīrūnī mentioned Aristotle’s reference to this mountain range.²

(3-1)

(3-1-1) In the seventh Chapter of his *Shadows*, Bīrūnī related the traditional divisions of the gnomon in units to the dimensions of the human body. According to him, the reason for the division in twelve digits (*aṣābi*) is that a normal span of the hand contains twelve normal digits.³ For the division in feet (*aqdām*), the ratio of a normal foot to the normal height of the same person is the ratio of one to seven, or more precisely, the ratio of one to six and a half.⁴

(3-1-2) The shadow cast by a vertical gnomon on the surface of the earth was called the “direct shadow” (a constant times the modern cotangent of the altitude, see figure 3-1, where the constant is the number g of units of the gnomon).

¹ Aristotle, *Meteorology*, I. 13 [350a 28-30] pp. 1251.

² Bīrūnī, *Shadows*, p. 55 (Arabic), p. 31 (English).

³ Bīrūnī, *Shadows*, p. 33 (Arabic), pp. 72-75 (English).

⁴ Bīrūnī, *Shadows*, p. 36-37 (Arabic), pp. 74-75 (English).

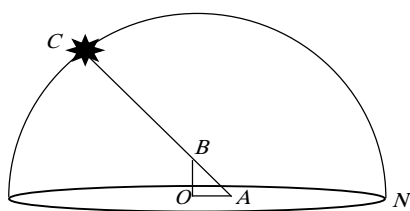


Figure 3-1. The altitude of the sun and the direct shadow of the gnomon

$$\cot(O\hat{A}B) = \frac{OA}{OB}$$

$$OB = g, \text{ so: } OA = g \cdot \cot(O\hat{A}B)$$

To determine the altitude of the sun from a given direct shadow by means of the back of the astrolabe, the given shadow should be expressed in the same units as the shadow type used on the astrolabe. Figure 3-2 shows the back of an astrolabe with two types of shadow scales on the rim, in digits and integer feet.

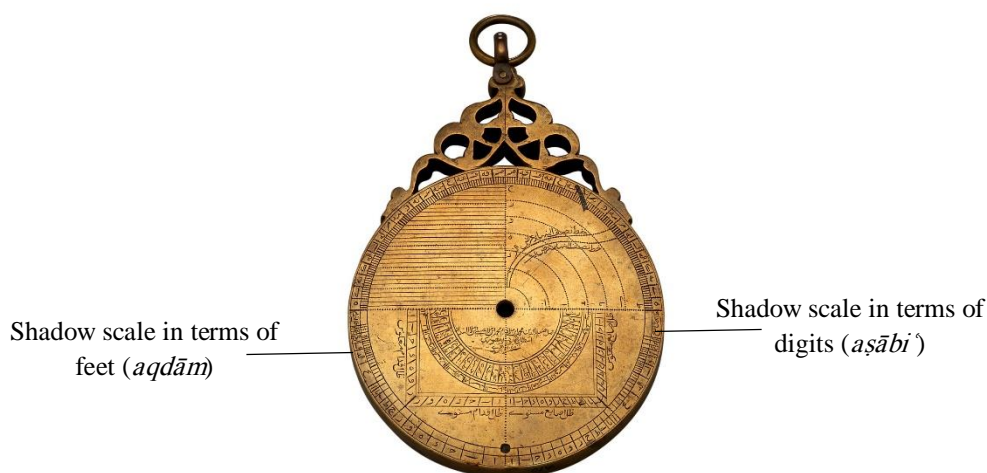


Figure 3-2. Two scales for the measurement of shadow on the back of the astrolabe, made in the 17th century A.D., Lahore, Pakistan; Adler Planetarium Collections, no. A-70 (<http://www.adlerplanetarium.org/collections/>) [CCA 1095]

(3-1-4) In Chapter 8 of the *Shadows*, Bīrūnī explains the transformation from the units to one another in even more detail than in the *Taṭrīq*.¹ For the conversions, he follows the customs in his time² and tries to use only fractions with small denominators. The shadows and their conversion is also explained in

¹ Bīrūnī, *Shadows*, pp. 41-49 (Arabic), pp. 81-88 (English); see also: Kennedy, 1976, p. 32-35.

² For example: Būzjānī, pp. 116-117; Kūshyār ibn Labbān, 1948, p. 13.

Ikhrāj (52-56, see especially 53), where only the divisions in 12 digits and $6\frac{1}{2}$ feet are mentioned.

(3-2)

(3-2-1) The “reversed shadow” is a constant times the modern tangent of the altitude, see figure 3-3, but in (3-2-1) Bīrūnī uses the constant 60. To find the reversed shadow of a given altitude on a scale for the direct shadow, one should use of the complement of the altitude (Figure 3-3), and then divide by the units of the gnomon and multiply by 60. The method boils down to the modern formula $\tan(x) = \cot(90-x)$.

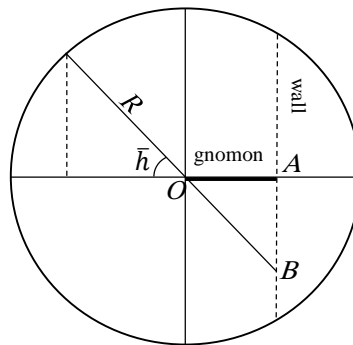


Figure 3-3. The reversed shadow of a gnomon

(3-3)

(3-3-1) The ladder shadow¹ (*zill al-sullam*) is a square engraved on one of the lower quadrants of the back of the astrolabe, diametrically opposite to the altitude quadrant. It makes it possible to determine shadow lengths for high and low altitudes alike, by means of the alidade (Figure 3-4). In some astrolabes the ladder shadow consists of two adjacent squares of the same size engraved on both sides of the vertical line in the two lower quadrants of the back of the astrolabe: the two squares form a rectangle below the horizontal line. In this case, one square indicates the shadow in digits and the other in feet. Both sides of each square are graduated in such a way that the differences between successive graduations are nearly constant (12 parts for digits and 7 for feet).² The construction and use of the ladder shadow were described in Bīrūnī’s *Shadows*.³ He attributed the invention of the ladder shadow to Khwārizmī.⁴

(3-3-2) Bīrūnī suggests using the edged alidade because the scales on the ladder shadow are not on the circumference of the astrolabe. In this case the edge

¹ This term has already been used by E. S. Kennedy in his translation of Bīrūnī’s *Shadows*, see: Kennedy, 1976, vol. 1, p. 116.

² In modern terms, if g is the number of units in the gnomon, the horizontal scale is $S \cdot \cot(45\frac{n}{g})$ and the vertical scale $S \cdot \tan(45\frac{n}{g})$ where S is the side of the square, g the number of units in the gnomon, and integer values of n from 1 to g .

³ Bīrūnī, *Shadows*, pp. 73-80 (Arabic), pp. 116-123 (English), pp. 56-60 (commentary by E.S. Kennedy).

⁴ Bīrūnī, *Shadows*, p. 74 (Arabic), p. 116 (English).

of the alidade becomes the diameter of the back of the astrolabe, and passes through the degrees on the altitude scale, the center of the astrolabe and the appropriate marks on the ladder shadow.



Figure 3-4. The ladder shadow (*zill al-sullam*) with two squares on the back of the astrolabe, made in the 17th century A.D., Lahore, Pakistan; Adler Planetarium Collections, no. A-70 (<http://www.adlerplanetarium.org/collections/>) [CCA 1095] The semicircle contains astrological information which is of no concern to us.

If there is only one square for the ladder shadow on the back of the astrolabe, one of the following numbers is usually engraved at the middle of the square to reveal the type of the gnomon divisions: 144 (equal to 12^2) for digits and 42.25 (equal to 6.5^2) for feet. If the altitude of the sun (h) is between 45° and 90° , the lower edge of the alidade intersects the horizontal side of the ladder shadow and indicates the direct shadow (cotangent). But for $0^\circ < h < 45^\circ$ the lower edge of the alidade intersects the vertical side and indicates the reversed shadow (tangent). If the gnomon is divided in g units, the product of direct shadow times reversed shadow is the number g^2 inscribed in the ladder square so each type of shadow can be derived from the other. Thus one can find the reversed shadow of altitude h for $45^\circ < h < 90^\circ$, and the direct shadow for $0^\circ < h < 45^\circ$.

(3-3-4) Bīrūnī discusses a problem in which one of the two parallel walls casts its shadow on the other. The problem seems irrelevant, and one may well ask why he discusses it here. In Chapter 14 of the *Shadows*, he gives an unconvincing explanation of the term “ladder square” by a similar situation with two walls,¹ see figure 3-5.

In the problem in (3-3-4), one apparently has to find the altitude of the sun. The idea of the solution is as follows. Subtract the shadow length (S) from the height (L) of the wall which casts the shadow, and divide the difference by the distance between the walls (d), then the result is the modern tangent of the altitude (Figure 3-1); the product with the number g of units of the gnomon is the “reversed shadow” which can be used to determine the altitude by the ladder

¹ Bīrūnī, *Shadows*, pp. 76-77 (Arabic), pp. 119-120 (English).

shadow. Depending on the ratio of $(L - S)$ to d , the altitude of the sun could be measured by the ladder square in different ways as explained above (3-3-2). Bīrūnī discusses the three cases as follows. In case 2 the altitude can be read off from the vertical side. In case 3 one has to divide g^2 by the reversed shadow to obtain the direct shadow which can be found on the horizontal scale.

- 1) $\frac{L - S}{d} g = g, \text{ so: } L - s = d, h = 45^\circ$
- 2) $\frac{L - S}{d} g < g, \text{ so: } (L - S) < d, h < 45^\circ$
- 3) $\frac{L - S}{d} g > g, \text{ so: } (L - S) > d, h > 45^\circ$

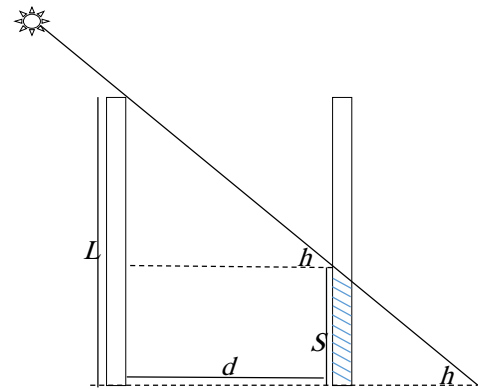


Figure 3-5. Measurement of the shadow of a wall

(3-3-5) The “plate of the moon” may be the lunar box in (0-4-4). The meaning of the text is unclear to us.

(4-1)

(4-1-1) Two types of sine were considered in Islamic mathematics. The “direct sine” is the half of the chord of the double of the arc, and the “versed sine” is the straight line which connects the starting point of the given arc to the starting point of its direct sine (Figure 4-1).¹ If R is the radius of the circle and x the arc, the direct sine is $R \cdot \sin(x)$ and the versed sine ($R - R \cdot \cos(x)$). We will use a special notation for the medieval sine: notation $Sin(x) = R \cdot \sin(x)$ and $Cos(x) = R \cdot \cos(x)$. In the *Taṭrīq* Bīrūnī uses the Greek value $R=60$. In the *Ikhrāj* (53) he says that $R=60$ is used most frequently but that $R=120$ and $R=150$ also occur. In the *Masudic Canon* (III:6) he puts $R=1$.² The chord function was used in Ptolemy’s *Almagest* from I:10 onwards with $R=60$, but the sine function and also the value $R=120$ are of Indian origin and were transmitted to the Islamic world³ and the same seems to be true for $R=150$. Bīrūnī explained the construction of the sine quadrant in a similar way in the *Astrolabe Construction*⁴ and in the *Ikhrāj* (53).

¹ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, p. 9 (Persian), p. 5 (English - Arabic).

² Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 1, pp. 305-325.

³ Plofker, pp. 50, 256-257.

⁴ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, pp. 103-104.

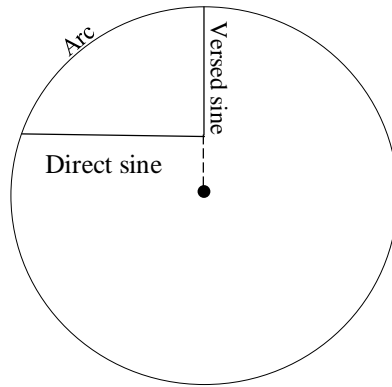


Figure 4-1. The direct sine and the versed sine of a given arc in a circle with standard radius according to the Medieval definition

(4-1-3) As Bīrūnī mentions, the alidade of the astrolabe contains two different scales on the two halves, which he calls the “ninety division half” (for finding arcs) and “sixty division half” (for finding sines). The scale on the sixty division half has equidistant marks with zero is at the center of the astrolabe and 60 at the circumference. The ninety division half is a sinusoidal scale: the divisions are unequal and the parts clutter near the circumference. On the scale, the number α is written at distance $R \sin \alpha$ from the center (where R is the radius of the astrolabe and α in the interval from 0 to 90).

Now the sine of an angle $\theta < 90^\circ$ can be found in a variety of ways. One can find θ on the altitude scale in the circumference, use the sine quadrant and look at the point where the horizontal sine line through θ intersects the vertical line, and then measure the distance between that point and the center by the sixty division half of the alidade. Alternatively, one can use the ninety-degree half to find the distance $R \cdot \sin(\theta)$ and then rotate the alidade and use the 60-degree half to measure that distance. For $\theta > 90^\circ$, use the supplement $90 - \theta$ instead of θ .

(4-1-7) The versed sine of a given arc (θ)= DB can be found as illustrated by figure 4-2. In both cases the sine quadrant is the quadrant on which B is located.

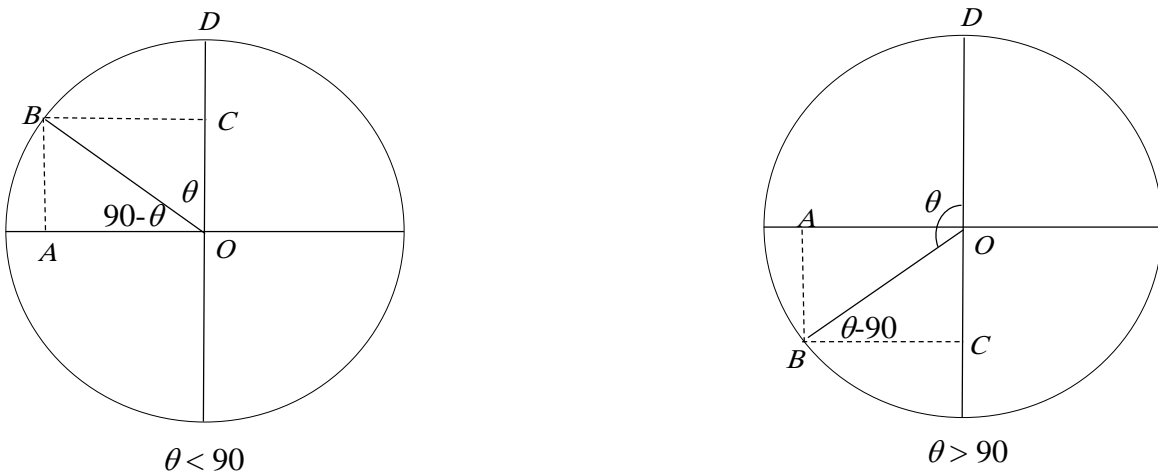


Figure 4-2. The determination of the versed sine of a given arc

$$\theta < 90:$$

$$\text{Sin}(90 - \theta) = CO; \text{Vers } \theta = 60 - \text{Sin}(90 - \theta) = DO - CO = CD$$

$$\theta > 90:$$

$$\text{Sin}(\theta - 90) = CO; \text{Vers } \theta = 60 + \text{Sin}(\theta - 90) = DO + CO = CD$$

(4-1), (4-2) The same problems are solved in the *Ikhrāj* (53-60). In this case the treatment in the *Ikhrāj* is even longer than in the *Taṭrīq*, although the text in the *Ikhrāj* is much shorter in most other problems. Perhaps Bīrūnī considered the conversion of arcs to sines and sines to arcs important for didactic reasons.

(5-1)

(5-1-1) Let φ denote the geographical latitude of the locality, which we suppose to be North of the equator, and let ε (≈ 23.5 degrees) be the obliquity of the ecliptic. Bīrūnī discusses two cases for the noon altitude of the sun on successive days in spring. If $\varphi > \varepsilon$, the noon altitude of the sun increases every day until it reaches its maximum at the summer solstice, while the sun is always in the South at noon. In localities South of the Tropic of Cancer, $\varphi < \varepsilon$, and the noon altitude of the sun increases every day, until the sun is in (or very close to) the zenith at noon. In the next days the sun is on the northern side of the zenith at noon, and the noon altitude starts to decrease. The decrease ends when the sun reaches the summer solstice. In the days following the solstice, the noon altitude slowly starts to increase, until the sun reaches the zenith again. The maximum obliquities in the northern and southern directions are of course the same. (5-1-2) To calculate the maximum obliquity based on the observations of the noon altitudes of the sun at the solstices, Bīrūnī proposes one method for the first case, and three equivalent methods for the second case. His methods are summarized by the following equations, where h_s and h_w denote the noon altitudes of the sun at the summer and winter solstices.

$$a. \varphi > \varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{h_s - h_w}{2}$$

$$b. \varphi < \varepsilon$$

$$1. \varepsilon = \frac{(180 - h_s) - h_w}{2}$$

$$2. \varepsilon = \frac{(90 - h_s) - (90 - h_w)}{2}$$

$$3. \varepsilon = \frac{180 - (h_s + h_w)}{2}$$

(5-2)

(5-2-1) The absolute value of the declination (between 0 and ε) is the same for four points on the ecliptic at the same distance of the equinoxes, as A , B , C and D in figure 5-1 ($A \mathcal{V} = B \mathcal{V} = C \underline{\Omega} = D \underline{\Omega}$).

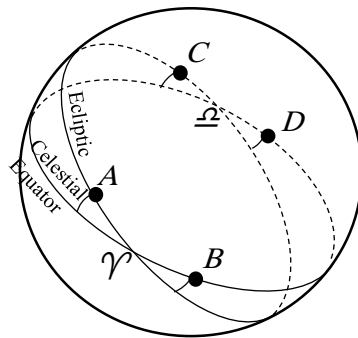


Figure 5-1. The same absolute value of the declination for four equidistant degrees of the ecliptic relative to the equinoxes

Bīrūnī describes how the declination changes in the course of a year. The obliquity of the ecliptic, which is the same as the declination of the solstices, is called the “total declination” (*al-mayl al-kullī*) in the text. Bīrūnī uses the term “partial declination” (*al-mayl al-juz’ī*) for the declination of other points on the ecliptic. This declination is called “partial” because it is less than the “total declination”.

(5-2-2) The declination (δ) can be computed by the following modern formula, which is equivalent to the methods in Ptolemy’s *Almagest* (I:14-15) and Bīrūnī’s *Masudic Canon* (IV:2),¹ and where λ denotes the ecliptic longitude:

$$\sin \delta = \sin \lambda \cdot \sin \varepsilon$$

To check Bīrūnī’s example, we substitute $\varepsilon=23;35^2$ and $\delta=17$, and obtain $\lambda = 46;57$ of which Bīrūnī’s 17 Taurus is a rounded integer value. The astrolabe

¹ Toomer, 1998, pp. 69-72; Bīrūnī, *Masudic Canon*, pp. 369-377.

² Bīrūnī takes the standard medieval Islamic value 23;35 as the obliquity of the ecliptic, see: *Masudic Canon*, vol. 1, p. 366.

makes it possible to see the (approximate) solution to this trigonometrical calculation at once, without computation.¹

(5-2-2) The declination is the distance to the celestial equator; Bīrūnī finds the declination of a point of the ecliptic or a star by putting the object on the meridian, which is perpendicular to the celestial equator. On the standard astrolabe, the distance to the celestial equator can then be found by counting almucantars; this is possible because the zenith (pole of the almucantars) is also on the meridian. (5-2-3) On the boat-shaped astrolabe, one should count the relevant almucantars after setting the mast (with the mark of the ecliptic degree or star) on the midheaven-line.

(5-2-4) The procedure presupposes that the sine quadrant with radius R contains an additional smaller quarter circle with the same center and with radius $R\sin\varepsilon$ where ε is the obliquity of the ecliptic; note that $R\sin\varepsilon \approx 0.4R$. We suppose that the circumference contains an altitude scale in degrees, from 0 on the horizontal line to 90 on the vertical line. The smaller quarter circle (called the “circle of the maximal declination”) can be constructed by choosing ε on the altitude scale and drawing a line parallel to the horizontal line of the quadrant, as in figure 5-2. To determine the declination of the sun for a given date,² one should first take the ecliptical longitude λ of the sun from an astronomical handbook, and then find the minimal difference n between this longitude and the closest equinox. Bīrūnī describes the details in (5-2-6). They are as follows in modern notation. If $0 < \lambda < 90$ (spring), $n = \lambda$; if $90 < \lambda < 180$ (summer), $n = 180 - \lambda$; if $180 < \lambda < 270$ (fall), $n = \lambda - 180$; and if $270 < \lambda < 360$ (winter), $n = 360 - \lambda$. Note that the beginning points of Aries and Libra are the vernal and autumnal equinoxes with ecliptic longitudes $\lambda = 0$ and $\lambda = 180$. We also note that n is approximately equal to the number of days between the given date and the beginning of spring or autumn, whichever is closer. Then the pointer of the alidade is placed on the number n on the altitude scale, and we locate the point of intersection of the edge of the alidade with the circle of maximal declination. The horizontal line which passes through this point meets the altitude scale in the required declination δ (Figure 5-2). In figure 31, δ is constructed such that:

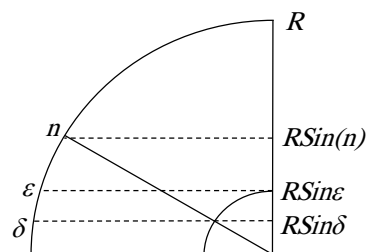


Figure 5-2. The determination of the declination by means of the sine quadrant

¹ See Bīrūnī, *Ikhṛāj*, no. 17.

² The earliest treatise on the sine quadrant is an anonymous text attributed to Muḥammad ibn Mūsā Khwārizmī (9th century A.D.), see: Lorch, 2000, p. 253.

$$\frac{R \sin \delta}{R \sin(n)} = \frac{R \sin \varepsilon}{R}$$

Because $\sin(n) = \sin(\lambda)$ (note that $\sin(x) = |R \cdot \sin(x)|$ is the medieval sine),

the method boils down to the modern formula $\sin \delta = \sin \lambda \cdot \sin \varepsilon$.

(5-2-5) One can find the ecliptical longitude from the declination by following the steps in reverse order.

(5-3)

(5-3-1) For astrolabe stars, finding the declination is self-explanatory. (5-3-2) for stars other than astrolabe stars, Bīrūnī assumes that the ecliptic longitude and latitude of the star are known. Bīrūnī then wants to indicate the position of the other star by a pointer of paper on the spider, and so he has to transform the ecliptic coordinates into equatorial coordinates. Bīrūnī assumed $\varepsilon = 23;35^{\circ 1}$ and he introduces the plate for a locality on the arctic circle with geographical latitude $90 - \varepsilon = 66;25^{\circ}$. In such a locality the pole of the ecliptic passes the zenith once a day; at this moment the ecliptic coincides with the horizon (Figure 5-3).² Then the altitude of a given celestial body is the same as its ecliptic latitude; the azimuth (α) is not exactly the same as the ecliptical longitude (λ) but can be easily found from it, if we note that the equinoxes and solstices coincide with the cardinal directions on the horizon (the vernal equinox with the East, the summer solstice with the North, the autumnal equinox with the West and the winter solstice with the South.) In the *Taṭrīq*, Bīrūnī counts the azimuth from the East and West points of the horizon towards either North or South (so the azimuth could never be more than 90°).³ Thus the azimuth is exactly the number n in the procedure (5-2-3) above. If altitude and azimuth are known, we can place the body on the plate. In figure 5-4 we have shown how to do this for a celestial body with ecliptic longitude 150° (corresponding to beginning of Virgo) and ecliptic latitude 48° . Then its azimuth is 30° from West towards the North (or 300° based on the modern definition in which the azimuth is reckoned from North in clock-wise direction). Note that in the astrolabe plate in figure 5-4, the almucantars are drawn for intervals of 6 degrees and the azimuthal circles for intervals of 10 degrees. Thus we can mark the position of a star with given ecliptic longitude and latitude on the plate.

¹ Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 1, p. 366.

² Morrison, p. 66; for an example of a plate for this coordinate conversion, see: King, 2004-5, vol.2, p. 414.

³ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, p. 183 (Persian), p. 134 (English - Arabic).

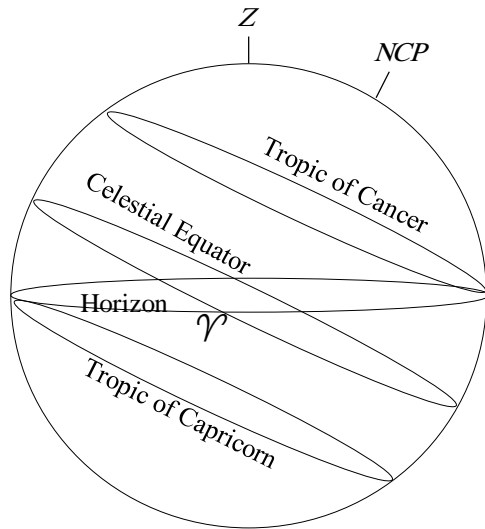


Figure 5-3. The main celestial orbits in a locality with the latitude of 66;25

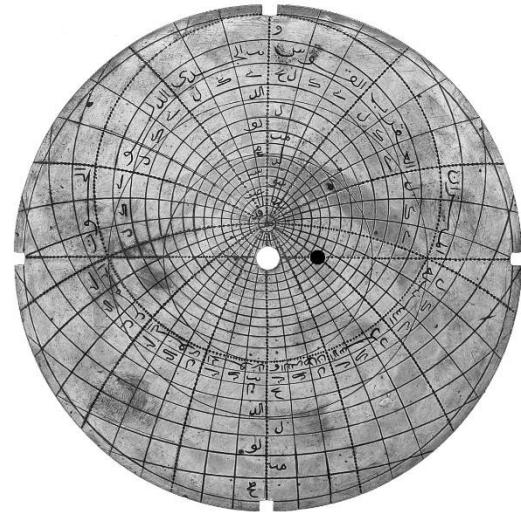


Figure 5-4. A plate for the latitude of 66;25, made in 1641/2 A.D., Lahore; Oxford Astrolabe Collection, no. 46935 (<https://www.mhs.ox.ac.uk/astrolabe/>) [CCA 2531]. The black point on the right side of the East-West line on the plate indicates the azimuth of 30° from West towards North

Now the spider should be placed on the astrolabe and rotated such that the summer solstice is on the meridian and coincides with the North point of the horizon. The point on the plate will then indicate the position of the star on the spider. We should attach a piece of paper to the spider such that the point is on the mark.

(5-4)

(5-4-1) In localities at the terrestrial equator, the sun passes through the zenith when it is at the equinoxes (Figure 5-5a). Following Ptolemy in *Almagest* (II:6),¹ Bīrūnī divided the localities North of the equator into two categories based on their latitudes. The first type includes localities with geographical latitude (φ) less than the maximum obliquity (ε) (Figure 5-5b). Such localities are called “localities with two shadows” (*al-bilād dhawāt al-ḡillayn*) in the text, because in these localities the noon shadow of a vertical gnomon will be cast toward the South in part of the year, including fall and winter, and toward the North in another part of the year. The second type are the localities with geographical latitude more than the maximum obliquity (Figure 5-5c). These localities are called “localities with one shadow” (*al-bilād dhawāt al-ḡill al-wāḥid*) because the noon shadow of a vertical gnomon is always cast toward the North. These terms were used by later Muslim astronomers as well.²

¹ Toomer, 1998, pp. 82-85.

² For example see: Shīrāzī, Book II, Chapter 3, p. 39; Ulugh Beg, Book II, Chapter 16, p. 83 (Persian) in which these two terms are discussed along with the third term “localities with circular shadow” (*al-bilād ḡawāt al-ḡill al-dā’ir*) for the localities with $\varphi \geq 90 - \varepsilon$ (not mentioned by Bīrūnī).

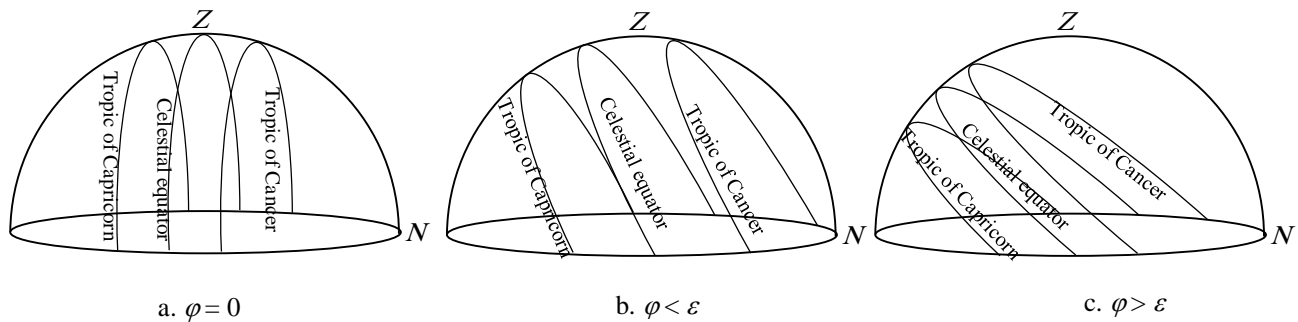


Figure 5-5. The movement of the sun regarding the zenith in three types of locality

(5-4-2) To determine the ecliptical degree which passes through the zenith by means of the astrolabe, insert a plate for the latitude $\varphi < \varepsilon$ of your locality, and rotate the spider until the outer edge of the ecliptic meets the zenith which is represented by the point 90 (indicated by the Arabic letter ص = 90 in the *abjad* alphanumerical system) inside the almucantars. The meeting will happen for two points on the ecliptic (Figure 5-6): one in the spring quadrant, and the other in the summer quadrant. To check whether an astrolabe star passes through the zenith, its pointers should be placed on the midheaven-line. If the pointer coincides with the point 90 in one of the two possible positions, the star will pass through the zenith.

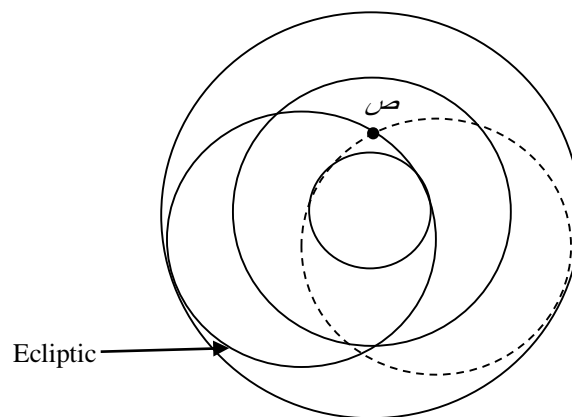


Figure 5-6. Finding the degrees passing through the zenith by means of the astrolabe

(6-1)

The problem in this section is very easy. Since in the celestial sphere the ecliptic is tangent to the tropics of Cancer and Capricorn, all the orbits passing through the ecliptical degrees (i.e., circles parallel to the celestial equator) are located between these two borders. Thus a star rotates in the orbit of an ecliptical degree if and only if its (northern or southern) declination is equal to or less than the obliquity of the ecliptic, that is to say, if the star pointer is between the tropics of Capricorn and Cancer. Bīrūnī then shows how to determine the ecliptical degrees whose declination is the same as that of the astrolabe star. As Bīrūnī describes in

his *Introduction to Astrology*,¹ the “orbits of ecliptical degrees” were important for astrological reasons.

(6-2)

Bīrūnī grouped the fixed stars into three types based on their declinations δ , that is, distances from the celestial equator. If φ is the northern geographical latitude, then φ is also the distance of the celestial North Pole to the horizon, and if δ is also northern, $90 - \delta$ is the distance of the star to the pole. Thus the star is circumpolar if $90 - \delta < \varphi$, tangent to the horizon if $90 - \delta = \varphi$, and it intersects the horizon if $90 - \delta > \varphi$. In a similar way one can show that if the declination is southern, the star is always under the horizon if $90 - \delta < \varphi$.

(6-3)

(6-3-1) To determine the maximum altitude of a permanently visible star by means of the northern astrolabe, one should put the pointer of the star on the midheaven-line, above the pole of the astrolabe, then, that one of the almucantars passes through the pointer indicates the maximum altitude of the star (Figure 6-1a). For the minimum altitude, the process should be repeated by putting the pointer of the star on part of the midheaven-line located between the pole of the astrolabe and the horizon (Figure 6-1b).

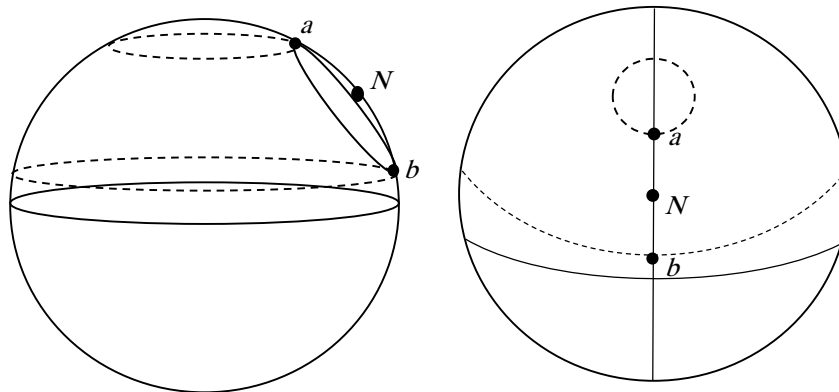


Figure 6-1. The determination of minimum and maximum altitudes of circumpolar stars on the celestial sphere (left) and on the northern astrolabe (right). The figure displays the horizon, the celestial North Pole, and the almucantars of minimum and maximum altitude of the star (left side) and their stereographic projections (right side).

¹ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, pp. 347-349 (Persian), p. 227-228 (English - Arabic).

(6-3-2) In this section Bīrūnī uses the term *juday al-qibla* for Polaris, as in his *Masudic Canon*.¹ This term was already used by al-Ṣūfī² before Bīrūnī, and also by other authors such as Qalqashandī³ (an Egyptian writer in 14th-15th centuries A.D.). The small *naʿsh* is the small rectangle of bright stars in the Little Bear (Ursa Minor). Note that around 1000 A.D., the distance between Polaris and the celestial North Pole was more than 6 degrees,⁴ although it was still the brightest star closest to the celestial North Pole.

(6-3-3) On a plate for a locality of northern geographical latitude but with southern projection, the center of the plate represents the invisible South celestial pole, so the area around the center is invisible in the sky. In order to represent a single circumpolar star, the astrolabe should be so big that the plate contains the entire horizon and even an area outside it where the circumpolar star would then be rotating.

(7-1)

(7-1-1) Since the earth is assumed by Bīrūnī to be a perfect sphere, the latitude of a locality on the northern hemisphere is equal to the distance arc on the celestial sphere between the celestial North pole and the true horizon, that is the plane through the center of the earth parallel to the horizon of the observer. Because of the large radius of the celestial sphere (around 20.000 earth radii), the size of the earth can be ignored, and therefore the intersections of the celestial sphere with the true horizon and with the horizon through the observer are approximately the same. That is why Bīrūnī remarks that the latitude of a locality is equal to the altitude of the celestial North Pole (above the apparent horizon) “for the senses”.

(7-1-2) The concept of “climate” is ancient Greek. According to Ptolemy’s *Almagest* the inhabited quadrant of the earth was divided into seven strips (or climates) parallel to the equator, defined by the longest day in the central part of the strip.⁵ In his *Coordinates*, Bīrūnī remarks that the third climate contains all localities with latitudes from 27;28° to 33;37° (longest day between $13\frac{3}{4}$ and $14\frac{1}{4}$ hours) and the fifth climate from 38;34° to 43;33° (longest day between $14\frac{3}{4}$ and $15\frac{1}{4}$ hours).⁶

(7-1-3) In a locality with northern latitude φ , any star with northern declination $\delta > (90 - \varphi)$ is circumpolar, as explained in (6-2). Al-Farqadān, literally “the two calves”, are the two bright stars Kochab and Pherkad in the Little Bear (beta and

¹ Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 3, p. 1014.

² al-Ṣūfī, 1954, p. 27.

³ Qalqashandī, vol. 2, p. 172. On the name see also Kunitzsch, p. 136.

⁴ See: P.V. Neugebauer, p. 26, no. 31.

⁵ Toomer, 1998, Book II, part 13, pp. 123-129; Pedersen, pp. 106-109.

⁶ Bīrūnī, *Coordinates*, p. 141 (Arabic), p. 106 (English); Kennedy, 1973, p. 80.

gamma Ursae Minoris), and the *banāt na 'sh* are the three stars in the tail of the Great Bear (epsilon, zeta and eta Ursae Majoris)¹. Since the declinations of all bright stars of the Little Bear were more than 75° in 1000 A.D. (Bīrūnī's time), the whole constellation was circumpolar in the third and fifth climates.² But the situation for the Great Bear is different. Only α Ursae Majoris (Ar.: *Dubhe*, declination 66;54°) and δ Ursae Majoris (Ar.: *al-Khāfi*, declination 62;35°) were circumpolar in the third climate. The declination of the end of the tail (eta Ursae Majoris) in 1000 A.D. was a bit more than 54° (=90° – 36°) so the seven brightest stars of the Great Bear were circumpolar in the fifth climate.³

(7-1-5) The minimum meridional altitudes of circumpolar stars are always northern, but for the maximum altitude different cases are possible, depending on the northern declination δ of the star and the latitude φ of the locality: the maximum altitude is northern if $\delta > \varphi$, southern if $\delta < \varphi$, and the star passes through the zenith if $\delta = \varphi$ (Figure 37, left). Bīrūnī's procedure for the determination of the local latitude for these three cases can be represented as follows (h_M and h_m respectively denote the maximum and minimum meridional altitudes):

$$a) \delta > \varphi: \varphi = \frac{h_M + h_m}{2} = \frac{(h_M - h_m)}{2} + h_m = h_M - \frac{(h_M - h_m)}{2}$$

$$b) \delta < \varphi: \varphi = \frac{(180 - h_M) + h_m}{2} = 90 - \frac{(h_M - h_m)}{2}$$

$$c) \delta = \varphi: \text{Like case a}$$

In order to apply this method, one does not need to know the declination of the star in advance (one can of course determine δ from h_M and h_m). Bīrūnī explains the same method with the same three cases in the *Coordinates*,⁴ and he adds a measurement of the latitude of Baghdad using the middle star (*mi'zar*) of the *banāt al-na 'sh* by the sons of Mūsa ibn Shākir in the 9th century A.D. He also devoted *Masudic Canon* (IV:8) to the determination of the geographical latitude from the circumpolar stars, with a geometrical figure.⁵ There he also explains the argument about the true and apparent horizons as in (7-1-1).

¹ See: Kunitzsch, pp. 71, 149.

² Since the declination changes slightly over the centuries, the declinations of the stars of Ursae Minor and Ursae Major have been reconstructed for 1000 A.D. by means of the computer program "Cartes du Ciel". For the updated magnitudes of these declinations see: Moore, p. 453. For the declinations of certain stars in 1000 AD, including the three stars in the tail of the Big Dipper and Kochab, one may also consult e.g., P.V. Neugebauer.

³ For a list of the stars of Ursae Major and their declinations see: Moore, p. 449.

⁴ Bīrūnī, *Coordinates*, pp. 64-67 (Arabic), pp. 35-38 (English).

⁵ Bīrūnī, *Masudic Canon*, pp. 404-408.

(7-2)

This determination of the latitude of a locality by means of the astrolabe is not dependent on the latitude of the plate on which the spider rotates. The method can only be used with astrolabe stars. One obtains the declination δ of the star (“the retained number”) from its position on the spider and one then measures the noon meridian altitude h using the alidade. Bīrūnī then mentions the following three cases for the determination of the geographical latitude φ :

- a. If h is southern, $\varphi=90-h+\delta$
- b. If $h=90$, $\varphi=\delta$
- c. If h is northern, $\varphi=\delta-(90-h)$.

(7-3)

For the determination of the latitude of a locality (φ), one first needs to take the solar longitude from an astronomical handbook and then determine the corresponding solar declination δ and its direction (northern or southern). One also needs to measure the noon altitude of the sun (h) and find its direction (northern or southern). Bīrūnī distinguishes four cases:

- a) δ southern, h southern: $\varphi=90-(h+\delta)$
- b) δ northern, h northern: $\varphi=h+\delta-90$
- c) δ northern, h southern: $\varphi=90-(h-\delta)$
- d) δ northern, $h=90$: $\varphi=\delta$

(8-1)

(8-1-2) In some astrolabes, the altitude quadrant is provided with a series of noon-lines – each line for a certain geographical latitude – which encode all information on the noon altitudes of the sun for its position in the ecliptic. In the *Astrolabe Construction* Bīrūnī describes the construction of these lines and he says that the custom of the astrolabe makers is as follows.¹ On the quadrant draw seven equidistant circles: the outer for the winter solstice, the inner for the summer solstice, and the remaining five for the beginning points of two signs of the zodiac as indicated in figure 8-1. When the sun is at the beginning of these two signs (for example Aries and Libra, Taurus and Virgo, etc.) the noon altitude is the same. For a fixed latitude, one can determine the noon altitudes for the beginnings of the two signs, place the alidade at this altitude on the degree scale on the circumference, and mark its intersection point with the circle for the two signs. The same can be done for the winter and summer solstice. Finally one joins all these marks by a curved line to produce the noon line for the geographical

¹ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 110.

latitude. To find the noon altitude when the sun is at a given point in the ecliptic, place the edge of the alidade on the intersection of the noon-line of that locality and an appropriate circle (if the sun is in the middle of a sign, interpolated between two engraved circles), then, the upper pointer of the alidade indicates the noon altitude on the scale on the circumference (Figure 8-1)

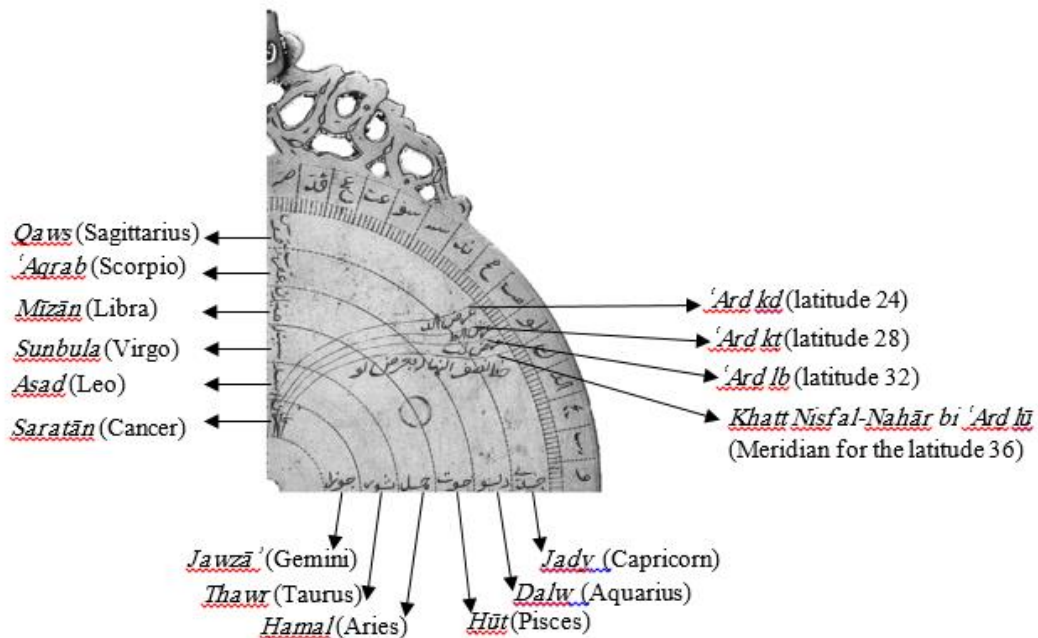


Figure 8-1. The back of the astrolabe with noon-lines, Oxford Astrolabe Collection, no. 33796 [CCA 90]

(8-2)

In Section (3-1) Bīrūnī discusses the determination of the noon shadow and the corresponding solar altitude from one another in more detail than in (8-2-3). Here he adds that it is difficult to use this information to determine the time around noon, because the shadow increases and decreases very slowly around noon, so the shadow will have approximately the same length for a long interval of time. Bīrūnī may have intended the last sentence in an implicitly sarcastic way. To use the method, the craftsman would have to engrave the almucantars very accurately, and preferably for every degree, so that the altitude of the sun could be measured very precisely. Thus, this method can only be applied if the astrolabe is extremely accurate. The “tricks” to which Bīrūnī refers may well involve the azimuth, see (15-5-2), and the sarcasm may be directed at his predecessor al-Ṣūfī who did not know them. See also *Shadows* where Bīrūnī concludes that the person who wants to determine noon accurately should master theoretical knowledge from several works of the ancient Greeks.¹

¹ Bīrūnī, *Shadows*, pp. 175-180 (Arabic), pp. 226-230 (English), Kennedy, 1976, pp. 142-143.

(8-3)

In early Islamic jurisprudence there were two schools, called the *Aṣḥāb al-Ḥadīth* (the followers of the Prophetic tradition) and *Aṣḥāb al-Ra'y* (the speculative jurists) with essentially different opinions on the prophetic tradition. Based on the geographical regions to which the main leaders of these two schools belonged, the Schools were also called the *Hijāzī* School and *Irāqī* School. The *Aṣḥāb al-Ḥadīth* accepted the doctrines of Aḥmad Ḥanbal (founder of the *Ḥanbalī* legal School, 164-241 A.D.) and Abū 'Abd-allāh al-Shāfi'ī (founder of the *Shāfi'ī* legal School, 767-820 A.D.) while the *Aṣ-ḥāb al-Ra'y* followed Abū Ḥanīfa (founder of the *Ḥanafī* legal School, 699-767 A.D.).¹

The two conditions for the 'aṣr prayer still used in modern Sunni Islam. According to the modern Ḥanafī School (predominant in e.g., Turkey), the 'aṣr prayer begins when the shadow increase after noon is twice the length of the gnomon; according to the other legal schools, the 'aṣr prayer begins when the shadow increase is once the length of the gnomon (e.g., Saudi Arabia, Morocco).

(8-3-4) The construction of the two 'aṣr lines on the back of the astrolabe is explained in the *Shadows*² and in the *Astrolabe Construction*.³ It is surprising that Bīrūnī does not mention the lines for the 'aṣr prayers on the plates of the astrolabe in the *Taṭrīq*. He explained the construction of the 'aṣr prayer lines on the astrolabe plates in the *Astrolabe Construction*,⁴ their construction and use in the *Shadows*,⁵ and their use also in the *Ikhrāj* (51).

(8-4)

(8-4-1) Bīrūnī discusses these three phenomena before sunrise and after sunset in his *Masudic Canon* and *Introduction to Astrology* as well, and gives almost the same description as in the present section of the *Taṭrīq*.⁶ In the *Masudic Canon*, Bīrūnī states that some Muslim astronomers consider 18° as the angle of solar depression below the horizon at the time of the beginning of dawn and the end of dusk, while others suggest 17°. ⁷ In the *Ikhrāj* (53) he gives 17° and says that some astronomers use 18°. Depression angle values between 16° and 20° were used by medieval Islamic astronomers,⁸ and dawn and dusk were defined in different

¹ *EP*, vol. 1, pp. 259-260, 692; for more information on different opinions regarding the permitted time interval of the 'aṣr prayer time in Islamic tradition see: Ibn Qudāma, vol. 2, pp. 12-15; and Bīrūnī, *Shadows*, pp. 168-169 (Arabic), p. 219 (English).

² Bīrūnī, *Shadows*, pp. 186-188 (Arabic), pp. 236-238 (English), Kennedy, 1976, pp. 147-149.

³ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, pp. 109-110.

⁴ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, pp. 107-108.

⁵ Bīrūnī, *Shadows*, pp. 182-184 (Arabic), pp. 232-234 (English), Kennedy, 1976, pp. 145-146.

⁶ Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 2, pp. 948-950; *Introduction to Astrology*, pp. 67-68 (Persian), pp. 51-52 (English-Arabic). For more information on the false dawn (which is the first phenomenon after the sunrise in Bīrūnī's description) see: Schmidl. The false dawn is also mentioned in the *Shadows*, Arabic: p. 167 line 16, English: p. 218.

⁷ Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 2, pp. 948-950.

⁸ For more information on this range of values see: *EP*, vol. 9, pp. 179-180.

ways among scholars of Islamic law.¹ As Bīrūnī mentions, the plates of astrolabes were often provided with lines for the beginning of dawn and the end of dusk which were engraved below the horizon. These lines are actually arcs of the almucantar of depression for 18° (see: Introduction, figure 9a).

(8-4-2) In the *Taṭrīq* as well as the *Shadows*,² Bīrūnī uses the Arabic word *al-‘atama* for the time of the Islamic evening (‘*Ishā’*) prayer.³ In Arabic literature, this term was also used to mean the first third of the night.⁴

(8-4-3) For the determination of the time interval between dawn and sunrise or between sunset and dusk, one should rotate the spider of the astrolabe according to Bīrūnī’s instructions and then convert the distance (arc of revolution of the universe) in “time-degrees” between the two positions of the pointer to (equinoctial) hours and minutes (see: Introduction, 1-2a).

(8-4-4) For astrolabes without the line of dawn and dusk, Bīrūnī’s method is based on the fact that if the sun is 18° below the horizon, the diametrically opposite point is 18° above it. Thus one can determine dawn and dusk also from the almucantar of altitude of 18° . This second method can also be used for the mixed astrolabes and the boat-shaped astrolabe.

(9-1)

(9-1-1) For the determination of the ascensions of an arbitrary point P of the ecliptic, having celestial longitude λ , in a locality with a terrestrial latitude φ , the observer should consider the instant when P is on the local eastern horizon. Then, the distance from the point Q of the celestial equator which is simultaneously rising in the same locality, to the vernal equinox (γ) is called the ascension of the point P (shown as $A_\varphi(\lambda)$ in figure 9-1).

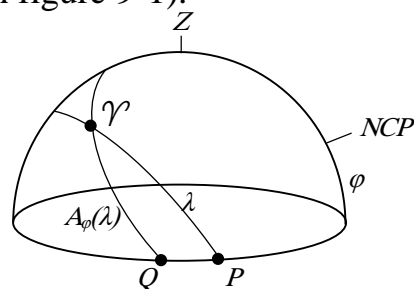


Figure 9-1. The ascensions of an arbitrary point (P) of the ecliptic in a locality with non-zero latitude

(9-1-2) For the case $\varphi = 0$ (a locality on the equator), the distance is called “right ascension” a term which is still used today. The term “oblique ascension” (for $\varphi \neq 0$) is obsolete in modern astronomy, but both right and oblique ascensions

¹ For a detailed discussion on various definitions of dawn and dusk by Muslim legal scholars see: Ibn Qudāma, vo. 2, pp. 25-27; King, 2004-5, vol. 1, pp. 544-552.

² Bīrūnī, *Shadows*, p. 161, line 5.

³ For Islamic prayer times see also: *ET*², vol. 8, s.v. “Ṣalāt”, pp. 928-929.

⁴ For example see: Nuwayrī, vol. 1, p. 123.

were fundamental concepts in Ptolemy's *Almagest* and in medieval Islamic astronomy.¹ (9-1-3) For oblique ascensions see further (9-2).

(9-1-4) In figure 9-1, the oblique ascension $A_\phi(\lambda)$ is computed from the beginning of Aries, but for Bīrūnī and other Islamic astronomers, the “ascensions” were also computed for arcs of the ecliptic with arbitrary beginning and end points (if the end and beginning points are λ_2 and λ_1 , then the ascensions are $A_\phi(\lambda_2) - A_\phi(\lambda_1)$).² For the determination of the right ascensions by means of the plate of a locality different from the equator, Bīrūnī correctly uses the midheaven-line instead of the horizon. The reason is that the celestial equator, unlike the horizon of a locality different from the equator, is always perpendicular to the meridian.

(9-1-6) Sometimes the right ascension was reckoned from the beginning point of Capricorn (instead of the vernal equinox), which case the result would differ by 90° from the right ascension with beginning point the vernal equinox.

(9-1-10) On the crescent-shaped astrolabe, the southern zodiacal signs are projected on the lower arc of the spider with the pointer (P in figure 9-2) at the midpoint, touching the rim during half of the 180° rotation of the spider. Thus the pointer is located at either end of the rim, if one of the tips of the horns of the crescent (the beginning of Aries, the end of Virgo, the beginning of Libra, or the end of Pisces) coincides with the midheaven-line. For other degrees of the ecliptic (D) coinciding with the midheaven-line, the pointer touches the rim somewhere between the midheaven-line and one of the ends of the rim (Figure 9-2). Thus, in spite of Bīrūnī's description, there is no need to use a replacement for the pointer in the determination of right ascensions by means of the crescent-shaped astrolabe. But such a replacement would be needed to determine the oblique ascensions, when the pointer can be located outside the plate (see 9-2).

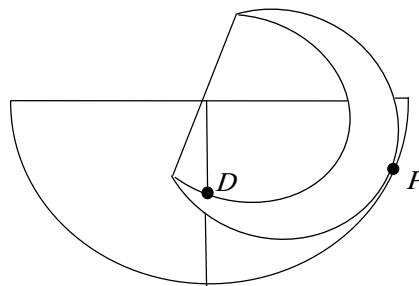


Figure 9-2. The determination of the right ascensions by means of the crescent-shaped astrolabe

The southern zodiacal signs are projected on the lower arc of the crescent in counter-clockwise direction, and the northern signs on the upper arc in

¹ For the detailed discussion and computation of the right and oblique ascension see: Pedersen, pp. 99-101.

² For example: al-Battānī, p. 20; Ṭūsī, pp. 282-287.

clockwise direction. Therefore the following three cases can happen for the beginning and end points of an ecliptic arc of which the right ascension is sought:

1. Both the beginning and the end are in the southern part. The spider should be rotated in clockwise direction;
2. Both the beginning and the end are in the northern part: The spider should be rotated in counter-clockwise direction;
3. One point is in the northern part and the other in the southern. Then the arc should be divided at the vernal or autumnal equinox. For each part, the spider should be rotated accordingly, and then the two amounts of rotation should be added.

It should be noted that the semicircular rim of the crescent-shaped astrolabe contains a scale with a division in degrees. The scale begins with 0 at both ends of the horizontal edge of the instrument and ends with 90 at the lowest point of the meridian line.

(9-2)

(9-2-1) Just as right ascensions are determined by means of the meridian line (or the mast of the boat-shaped astrolabe), oblique ascensions should be determined by means of the eastern horizon. Bīrūnī mentions the analogous concept of “oblique descension” of an ecliptic arc, which is the arc of the equator that sets together with it on the western horizon. This “oblique descension” is obviously equal to the oblique ascension of the diametrically opposite arc of the ecliptic. In oblique ascension tables in Ptolemy’s *Almagest* (II:8) and in Islamic astronomical handbooks, oblique ascensions are reckoned from the beginning of Aries. As Bīrūnī mentions, it is also possible to reckon oblique ascensions from the beginning of Capricorn, but we should note that the oblique ascension of the quadrant between the beginnings of Capricorn and Aries depends on the geographical latitude and is not a “nice” number. The ecliptic degrees corresponding to given oblique ascensions or descensions in a certain locality can be found by the inverse process.

(9-2-4) For the mixed astrolabes, compare with sections (0-8-2) to (0-8-9).

(10-1)

(10-1-1) In the *Astrolabe Construction*, Bīrūnī says that the divisions of the zodiacal signs on an astrolabe should be the same as the divisions of its almucantars, in the following sense.¹ If the interval between two successive almucantars of an astrolabe is, for instance, three degrees, each of its zodiacal signs should be divided into 10 parts of three degrees as well. However, in (10-

¹ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 30. The intervals in a zodiacal sign are for an equal number of degrees but they do not have the same length on the spider because of the distortion properties of stereographic projection.

2-1) Bīrūnī says that this equality is motivated by aesthetic reasons only. Bīrūnī’s contemporary Kūshyār ibn Labbān¹ (ca. 990 A.D.) also suggests that the intervals should be for the same number of degrees. Farghānī² and Sijzī³ mention intervals of 1, 2, 3 and 6 degrees between the successive almucantars, but Muḥammad ibn Ayyūb Ṭabarī⁴ (11th c. A.D.) adds the 5-degree interval, and in his *Astrolabe Construction*, Bīrūnī considers intervals of 1, 2, 3, 6 and 10 degrees,⁵ just as in *Ṭatrīq* (10-1-1), where these numbers are called “division base”. Although five is another divisor of 30, Bīrūnī does not use five as a “division base” for the following reason. If an interval is small one can assume that all degrees in it have the same length on the spider. The ecliptic longitude of the sun is usually not a multiple of 5 so often one has to estimate its position by guessing the individual degrees as explained in (10-1-2). However, it is not easy to divide an interval into five equal parts. According to him this is easier to divide intervals into two or three equal parts and then also into six equal parts.

(10-1-3) In this and the next sections, Bīrūnī explains a second method to estimate degrees in an interval, this time by an interpolation process which resembles modern linear interpolation. First he deals with placing the sun on the spider of the astrolabe if the ecliptic longitude (X) of the sun is not engraved on the astrolabe. One needs to find the ecliptic degree (X) of the sun for the actual time, from astronomical handbooks (*zījēs*). The ecliptic degree (X) is located between two ecliptic degrees (a and b) which are engraved on the spider (Figure 10-1). First turn the spider to place a on the upper meridian, and read the number D on the rim which is the position of the pointer of the spider. Secondly, put b on the meridian and read the corresponding position of the pointer at F on the rim. Then compute the equation E as follows:

$$E = \frac{(X - a) \cdot (F - D)}{(b - a)}$$

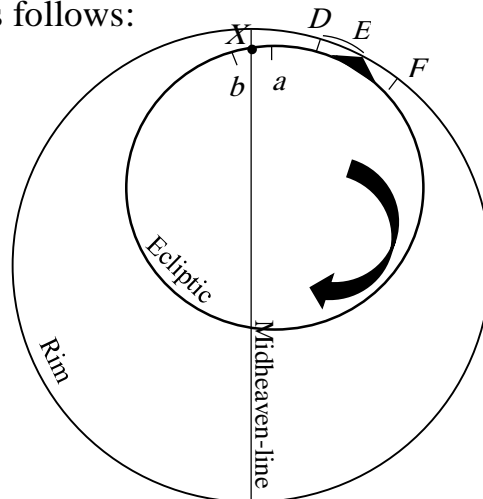


Figure 10-1. The determination of the ecliptical degree of the sun on the spider

¹ Kūshyār ibn Labbān, 2014, p. 117; for biographical information of Kūshyār ibn Labbān Gīlānī and his works see: Sezgin, *GAS*, vol. 5, pp. 343-345, vol. 6, pp. 246-249.

² Farghānī, pp. 314 – 316.

³ Sijzī, f.134 v. - 135 r.

⁴ Ṭabarī, p. 92.

⁵ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 25.

Note that $(b - a)$ is the division base. Now put the spider so that the pointer points to D and rotate the spider clockwise so that the pointer moves from D over the distance E in the direction of F . Then look at the point of the ecliptic which is situated on the midheaven-line: this is the approximate position of the sun (X) on the spider.

Since the size of the astrolabe is normally not that big (usual diameter 15-25 cm), this interpolation method seems not to be very practical. However, Bīrūnī prescribes the same procedure in other chapters in the *Taṭrīq* (10-2, 10-3, 15-2, 16-3, 16-4, 16-5, 16-6, 16-7) and also in the *Ikhṛāj* (no. 4, 5, 43, 44, 46). The same type of interpolation is explained by Bīrūnī's contemporary Kūshyār ibn Labbān in his astrolabe work (Part 2, Chapters 3-5),¹ and also by Bīrūnī's predecessor al-Ṣūfī.²

(10-2)

(10-2-1) For this purpose we have to know not only the amount of the altitude of the sun or an astrolabe star, but also whether it is eastern or western. Then Bīrūnī prescribes the same type of interpolation as in (10-1).

(10-2-2) On the boat-shaped astrolabe there are no star-pointers. The stars are projected on the plate as little circles where the center is the exact position. The mark on the edge of the mast now replaces the star-pointer or the degree of the sun on the spider of the standard astrolabe. Thus Bīrūnī returns from the boat-shaped astrolabe to the standard astrolabe and therefore the rest of the procedure is exactly the same. The result is a point on the plate which corresponds to the given altitude between two almucantars on the plate.³ In (10-3-2) Bīrūnī suggests the same procedure for the determination of the ecliptic degree of the ascendant and midheaven.

(10-3)

(10-3-1) In this section Bīrūnī prescribes interpolation just as in (10-1-3). He assumes that the spider of the astrolabe has been set by observing the sun or a star. The scribe must have skipped one line in the Arabic text by an oversight and therefore I have reconstructed the procedure based on the mathematical sense. Without the restored passage, the procedure does not make sense, because "the first mark" is not introduced in the text.

¹ Kūshyār ibn Labbān, 2014, pp. 122-124.

² al-Ṣūfī, 1962, Ch. 168-172, pp. 150-160.

³ For the diagram of a boat-shaped astrolabe with a set of almucantars, see: Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 130, (ms): p. 58.

(11-1)

(11-1-1) The “equation of daylight” is defined (e.g., by Bīrūnī in the *Masudic Canon*) as the difference between half the day arc of the sun and 90° .¹ As Bīrūnī mentions in this section, the “equation of daylight”, also called “equation of day”, is the same as the difference between the right ascensions and the oblique ascensions for a given point of the ecliptic which is taken as the position of the sun. This difference is called “ascensional difference” in Ptolemy’s *Almagest* (II:7).²

(11-1-2) Although Bīrūnī talks about the southern hemisphere, there is no evidence that he had ever been there, and therefore it is likely that he was just doing mathematics. In the *Coordinates* he argues that civilization is impossible in the southern hemisphere.³

(11-2)

(11-2-2) Concerning the angle between the day arc⁴ and horizon, Bīrūnī used the terms baldric-shaped (*ḥamā’ilīyya*), reclinate-shaped (*munḥanawīyya*) and millstone-shaped (*rahāwīyya*) respectively for the diurnal movement of the sun in the localities with the latitude $0 < \varphi < 90$, $\varphi = 0$, $\varphi = 90$ (Figure 11-1). We have rendered these terms as oblique, vertical and horizontal. He used the first and third terms in his *Masudic Canon* as well.⁵

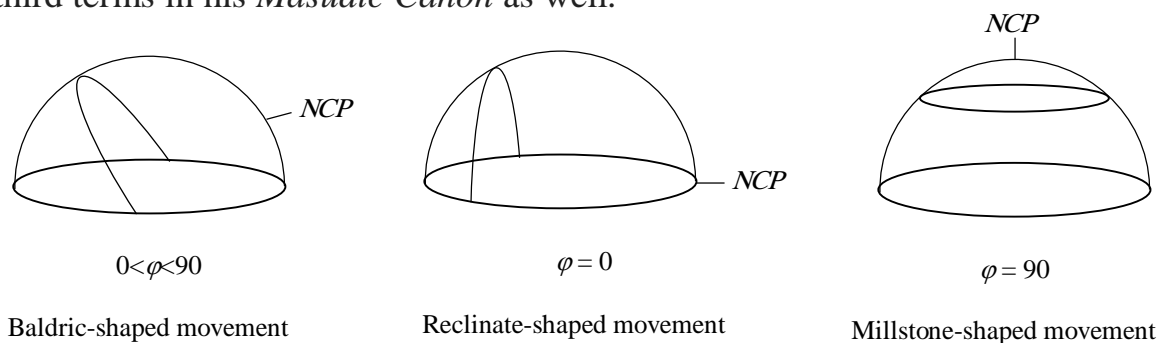


Figure 11-1. Three kinds of day arc based on Bīrūnī’s categorization

¹ Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 1, p. 457. For the definition of the day arc (or the diurnal arc) and its computations see: King, 2004-5, vol. 1, pp. 28-29.

² For the computation of the ascensional difference, see: Pedersen, pp. 110-111.

³ Bīrūnī, *Coordinates*, p. 59-62 (Arabic), p. 29-31 (English), Kennedy, 1973, p. 12-15.

⁴ For the parallel passages in the *Introduction to Astrology*, see: Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, p. 177 (Persian), pp. 131 (English-Arabic). For the definition of the day arc (or the diurnal arc) and its computations see: King, 2004-5, vol. 1, pp. 28-29.

⁵ Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 2, pp. 533, 535, the third term also in *Coordinates* p. 146 line 10 (Arabic), p. 110 (English).

We should note that the day arc (or night arc) is expressed in time-degrees, where the “degree” is $\frac{1}{360}$ of a daily rotation of the universe, and one degree equals four minutes of clock time. The day and night arcs of a star were already defined before Bīrūnī as well.¹ Bīrūnī interestingly remarks that there is no night arc for circumpolar stars. In the *Coordinates*, he discussed the situation in polar areas on the earth from a mathematical point of view.²

(11-3)

(11-3-1, 11-3-2) The same subject is discussed in the *Masudic Canon* (I:7),³ where seasonal hours are also called “measurement hours”, and also in the *Introduction to Astrology*.⁴ Equinoctial and seasonal hours were already used in Greek astronomy.⁵ Bīrūnī’s theory about the origin of the 12 seasonal hours cannot be found in his other works.

(11-3-3; 11-3-4) In (11-3-3) Bīrūnī determines the length of a seasonal hour from (11-2-3), in (11-3-4) he uses the special seasonal hour lines on the astrolabe plates below the horizon. In the end of (11-3-4) he introduces an obscure unit, “part (or: degree) of an hour”. This unit is also discussed in the *Masudic Canon* (I:8)⁶ and is equal to $\frac{1}{30}$ of a day and night, or $\frac{4}{5}$ of an equinoctial hour. It should not be confused with the “time-degrees” (Arabic: *azmān*) in one equinoctial or seasonal hour.

(11-3-5) The *Kaharī* (*k*) is defined as $\frac{1}{60}$ of the day and night (nychthemeron). Bīrūnī defines this Indian unit of time in the same way in his *India* and *Introduction to Astrology*.⁷ The word *Kaharī* was derived from the Sanskrit *ghatī* or *ghatika*,⁸ and transcribed by Bīrūnī in slightly different ways.⁹ If we consider a *Kaharī* as one sixth of the day arc, as it is defined in the *Taṭṭrīq*, *Kaharīs* can be converted into equinoctial hours *h* and time degrees *t* (and vice versa) as follows:

¹ al-Battānī, pp. 48-49.

² Bīrūnī, *Coordinates*, p. 145-146 (Arabic), p. 109-110 (English), Kennedy, 1973, p. 82.

³ Bīrūnī, *Masudic Canon*, pp. 76-79.

⁴ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, p. 69 (Persian), pp. 53-54 (English-Arabic).

⁵ Toomer, 1998, II:9, p. 99, 104; Pedersen, p. 113-114; Neugebauer, 1975, vol. 3, p. 1069.

⁶ Bīrūnī, *Masudic Canon*, pp. 81-83.

⁷ Bīrūnī, *India*, pp. 281-282 (Arabic), vol.1, p. 334 (English); Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, p. 71 (Persian), pp. 54-55 (Arabic - English). In the English translation of Bīrūnī’s *India* the word *Kaharī* is transliterated as *ghaṭī*.

⁸ Plofker, p. 37.

⁹ Kennedy, 1973, p. 225.

$$24h=60k, \text{ so } h=2.5k$$

$$360t=60k, \text{ so } k=6t$$

What Bīrūnī suggests for converting the equal hours into *Kaharīs* is a complicated way to multiply by 2.5. The identity $k=6t$ is used for converting day arcs and night arcs to *Kaharīs*. The fact that Bīrūnī deals with *Kaharīs* in the *Taṭrīq* indicates that he considered people from Indian origin (who were able to read Arabic) as part of the audience of this treatise. So, it is likely that he compiled this treatise in Ghazni, where also some Hindu people were living, after he came back from India.

(12-1)

Transits is the subject of an entire treatise by Bīrūnī, entitled: *Smoothing the Basis for the Investigation of the Notion of Transit (Tamhīd al-Mustaḡarr li-Taḥqīq Ma'nā al-Mamarr*; hereafter *Transits*). Bīrūnī provided trigonometrical methods to compute the degree of transit in the *Masudic Canon* IV:5¹ and in the *Keys*.² The problem is traditional and had also been solved by Ptolemy in *Almagest* VIII:5.³ A very brief solution by means of the astrolabe is found in the *Ikhrāj* (30-3). For a given star (1), with non-zero ecliptic latitude and with ecliptic longitude (2), the degree of transit is a degree of the ecliptic (3) which passes through the meridian simultaneously with that star (Figure 12-1, where *NEP*, *NCP* are the ecliptic and celestial North pole).

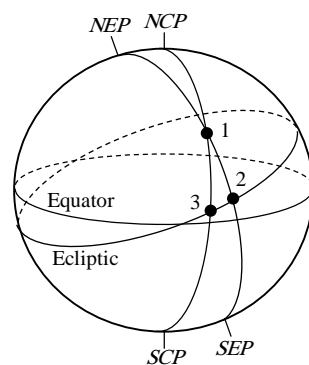


Figure 12-1. The degree of transit for a given star

¹ Bīrūnī, *Masudic Canon*, pp. 394-398.

² Bīrūnī, *Keys*, pp. 216-219.

³ Toomer, 1998, pp. 411-412.

⁴ Bīrūnī, *Transits*, pp. 2-3.

The degree of transit of a star is historically relevant because the coordinates in medieval Islamic star lists were often declination and degree of transit, rather than declination and right ascension. The degree of transit of a star is obviously the same as its ecliptic degree if the star is on the ecliptic itself, and also if it is at the solstitial colure (the great circle through the poles of the ecliptic and celestial equator, which also passes through the two solstitial points of the ecliptic). But for a star which is neither on the ecliptic nor on the solstitial colure, the situation depends on the ecliptic half in which the star is located. The solstitial colure divides the celestial sphere into two halves, which are called “ascending” and “descending”.¹ The ascending half includes the ecliptic winter and spring signs Capricornus, Aquarius, Pisces, Aries, Taurus, and Gemini, and the descending half comprises the summer and fall signs Cancer, Leo, Virgo, Libra, Scorpio and Sagittarius. For a star with (1) northern ecliptic latitude in the ascending half or (4) southern ecliptic latitude in the descending half, the ecliptic longitude of the degree of transit is less than the ecliptic longitude of the star itself. In the words of Bīrūnī, the star passes the midheaven-line before its ecliptic degree. The situation is reversed for a star with (2) southern ecliptic latitude in the ascending half or (3) northern ecliptic latitude in the descending half (Figure 12-2).

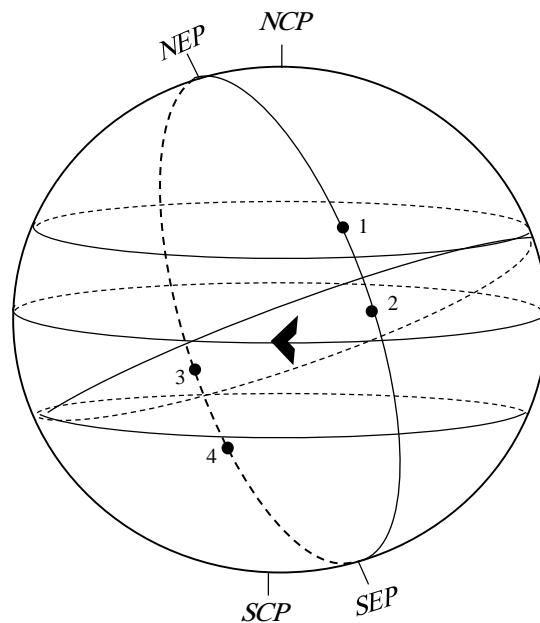


Figure 12-2. Four conditions for the degree of transit of a star based on its ecliptical latitude and longitude

¹ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, p. 144 (Persian), pp. 110-111 (Arabic - English).

The degree of transit of an astrolabe star can easily be found by putting the star on the meridian. For other stars whose ecliptic coordinates are given, (see: 5-3), one can use the plate for the latitude $66;25^\circ$ to find their equatorial coordinates and then add the star to the spider by means of a pointer made of paper.

(12-2) Bīrūnī solves the problem by computation in the *Keys*¹ and the *Masudic Canon* IV:19,² and gives preliminary descriptions in his *Introduction to Astrology*.³ For the solution by Ptolemy (see *Almagest* VIII:5).⁴

(12-2-1) Although the solution of the problem by the astrolabe is immediate, Bīrūnī begins with some remarks of theoretical interest. His question is whether any star with non-zero latitude rises and sets before or after its “ecliptic degree”, that is the point with the same ecliptic longitude as the star but zero latitude. The answer to this question depends not only on the coordinates of the stars (as in 12-1) but also on the time of day and the geographical latitude. The crucial factor is whether the pole of the ecliptic is above the horizon, on the horizon or under the horizon. If the pole is above the horizon, stars with northern ecliptic latitude (e.g., *A*) rise before their ecliptic degree and set after their ecliptic degree. The situation is the opposite for stars with southern ecliptic latitude (e.g., *C*) (Figure 12-3; *AB* and *CD* are perpendiculars from the horizon to the ecliptic). If the latitude φ is greater than the obliquity ε (in Bīrūnī’s words: in localities with only one type of shadow, see: 5-4) this is always the case, including the arctic regions, where the pole of the ecliptic can be in the zenith or South of it.

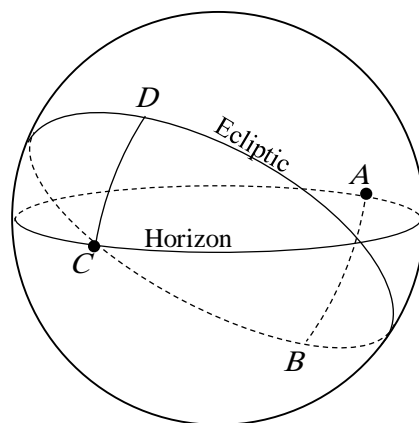


Figure 12-3. Rising and setting of a star and its ecliptic degree in localities with $\varphi > \varepsilon$

¹ Bīrūnī, *Keys*, pp. 220-223.

² Bīrūnī, *Keys*, pp. 472-476.

³ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, p. 204 (Persian), pp. 147-148 (Arabic - English).

⁴ Toomer, 1998, pp. 412-413.

For $\varphi < \varepsilon$ (in Bīrūnī's words: localities with two types of shadow see: 5-4) the pole of the ecliptic can be under the horizon; if this is the case one can just mirror the figure in the horizon to see that the situation is the opposite. The case where the pole of the ecliptic is on the horizon, every star rises and sets at the same time as its ecliptic degree; Bīrūnī does not state this in full generality. In the *Ikhrāj* (30-1, 30-2) Bīrūnī discusses a solution without noticing that it is only valid for the case $\varphi > \varepsilon$, just like al-Šūfī.¹ Perhaps Bīrūnī's theoretical considerations in the *Taṭrīq* were also intended as criticisms of al-Šūfī.

(12-2-3) Bīrūnī discusses the situation on the equator, although there were no centers of Islamic civilization on the equator in his time. This confirms that Bīrūnī's explanations about the rising and setting ecliptical degrees of a star in different localities have theoretical interest only. On a plate for the equator, the horizon is the East-West line, so this is why Bīrūnī can also use other astrolabe plates for the equator.

(12-2-4) Bīrūnī tacitly assumes that the degree of transit and the ecliptical degree of longitude are in the same ecliptical sign or are projected in the same way. Here Bīrūnī defines the "domain" of an ecliptic sign as the area of the sphere between two great circle arcs through the endpoints of the sign and ending at the poles of the celestial equator. These two arcs project onto the diameters through the endpoints of the signs on the astrolabe. Normally the Islamic astrologers would define the "domain" of a sign according to ecliptic longitude, that is, as the part of the celestial sphere between the two semicircular arcs from the two poles of the ecliptic to the endpoints of the sign.

(12-3) In the *Ikhrāj*, Bīrūnī does not discuss this problem.

(12-4) and (12-5): These problems are solved in the *Ikhrāj* (31) and also by al-Šūfī, in the course of Ch. 177-193.²

(13-1)

(13-1-2) On the *Kaharī*'s see: (11-3-5).

(13-1-7) In this section Bīrūnī introduces the so-called "halved [astrolabe]" (*munaṣṣaf*). This seems to be an astrolabe with a standard spider but with plates divided in two halves by the meridian line. The two halves might be for different

¹ al-Šūfī, 1962, Ch. 194-196, pp. 175-177.

² al-Šūfī, 1962, Ch. 177-193, pp. 163-193.

latitudes or projections. An example is a 17th century plate, made in Lahore, which consists of two separate halves for northern and southern projection for the latitude of 42°. ¹ This kind of astrolabe should not be confused with the bipartite (*nişf*) astrolabe (in which the ecliptic degrees or almucantars are engraved for every two degrees (see: 10-1)), ² or with the crescent-shaped astrolabe, whose mater is half the standard one. The halved astrolabe cannot be the same as the mixed astrolabe which is discussed in (13-1-10). As far as we know, the “halved astrolabe” is not mentioned in other works by Bīrūnī, nor by other Islamic astronomers.

(13-1-8) Note that the solution uses the almucantars on the plate of the boat-shaped astrolabe. Thus this plate contains not only the projections of the ecliptic and the fixed stars.

(13-2)

(13-2-1) The arc of revolution in a given time of day was defined as the number of time-degrees of the celestial equator which have risen from sunrise till that time of day. To calculate the arc of revolution one can multiply the number of equal hours by fifteen, or multiply the number of *Kaharīs* (see: 11-3-5) by six, or multiply the number of seasonal hours by the number of degrees of the celestial equator contained in one twelfth of the arc of day. ³

Some astrolabes contained not only hour-lines engraved on the plate, but also seasonal hour-lines engraved on the alidade as well. Sijzī discusses their construction and he mentions Naṣṭūlus as the inventor of these hour-lines on the alidade. ⁴ The construction boils down to the following. Choose the point where the upper sight meets the lower edge of the alidade. Through this point we draw five auxiliary lines on the alidade, making angles 15, 30, 45, 60 and 75 degrees with the upper sight. Let the scale be the upper edge of the alidade. At the five points where the lines meet the scale, we draw small perpendiculars (the “hour lines”). We write the numbers 1 and 11 near the perpendicular through the first point, 2 and 10 near the perpendicular through the second point, and so on. Finally we write the number 6 on the other (lower) sight. See figure 13-1.

¹ Sarma, pp. 543, Astrolabe no. A041.4.

² Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, p. 23.

³ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, p. 205 (Persian), pp. 149 (Arabic - English).

⁴ Sijzī, f. 138b-139a, 150 a.

Now fix the alidade at the noon altitude of the sun and turn the altitude quadrant towards the sun. At noon, the ray of the sun will pass through the two holes of the two sights, and the shadow of the upper sight will cover the lower sight. Noon is the end of the 6th seasonal hour. Before or after noon, the sun is lower; for this case Bīrūnī prescribes the following procedure. Keep the alidade fixed at the noon altitude, but turn the astrolabe such that the plane of the astrolabe passes through the sun. Now the upper sight will throw a triangular shadow on the alidade. Look where the shadow intersect the scale. The intersection determines the seasonal hour; the numbers on the scale indicate the ends of the seasonal hours. The same procedure is found in the *Ikhṛāj* (15).

Bīrūnī explains the construction of the hour lines on the alidade in the *Shadows*¹ and in the *Astrolabe Construction*,² where he adds that it is based on a “faulty” (*fāsid*) principle and that he only mentions the construction because the famous astrolabe makers use it. In his commentary,³ E.S. Kennedy shows that the procedure is correct only when the noon altitude of the sun is at (or near) the zenith, and that it is a disaster in the other cases. For example, if the noon altitude of the sun is 45 degrees, and the procedure is followed, at sunset the shadow of the sight will intersect the scale at the lines for the end of the third and the ninth seasonal hour, although sunrise and sunset are actually at the beginning of the first and the end of the twelfth hour. D.A. King mentions two extant alidades with hour lines from the Islamic tradition and one from the European tradition.⁴ King suggests a different procedure which can be explained as follows. The back of the astrolabe should stay in the meridian plane, also when the sun is not in the meridian; the back should face the East in the morning and the West in the afternoon. Then the sight will throw a shadow in the form of a parallelogram in the morning and the afternoon, and the side of the parallelogram parallel to the hour line shows the result. This procedure is better in the sense that it is correct in or near the beginning of spring and autumn, but it is incorrect in other cases. King’s procedure is contrary to what Bīrūnī says and also contrary to his own quotations from the sources. Figure 13-1 shows the alidade *ADEH* with the sights on *BG* and *CF*. The quarter circle with the radius *FG* and the center at *F* is divided into 6 equal sections by the dotted lines. The intersection points of the dotted lines

¹ Bīrūnī, *Shadows*, p. 188-190 (Arabic), pp. 238-240 (English).

² Bīrūnī, *Istī‘ab*, pp. 114-115.

³ Kennedy, 1973, pp. 149-150.

⁴ King, 2004-5, vol. 2, pp. 253-254; see also Sarma, pp. 1654-1656 (Astrolabe no. B019).

and the edge of the alidade BC indicate the unequal hour-lines from 1 to 5, the same hour-lines also serve the seasonal hours 7 to 11.

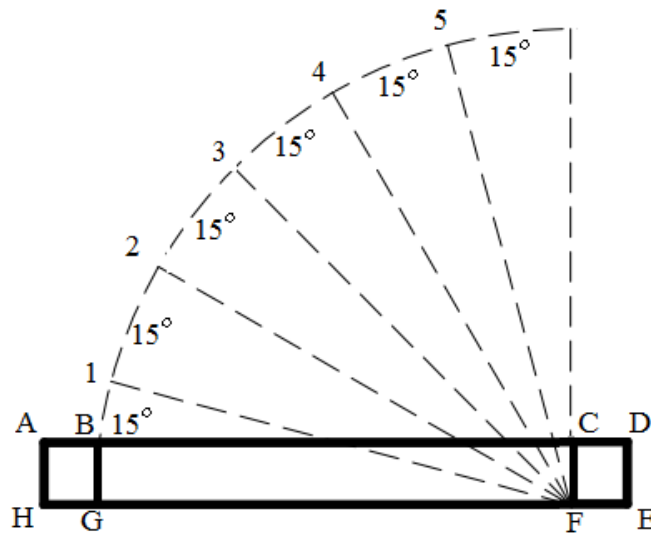


Figure 13-1. Seasonal hour-lines on the alidade

In case the shadow of the edge of the sights does not pass through the intersection of one of the hour-lines with the line through the pole exactly, Bīrūnī uses the same interpolation method as in (10-1, 2) The last sentence of this section shows that Bīrūnī realized the approximate nature of many interpolation operations using seasonal hours.

(13-3)

Bīrūnī explains the construction of these hour lines in *Astrolabe Construction*.¹ The back of the 10th century astrolabe of Khujandī contains a quadrant with these hour lines for latitude 33°. ² This hour line quadrant should not be confused with an approximate hour line quadrant for all latitudes, based on circular arcs. The two types of quadrants are found on the back of the 10th century astrolabe of al-Wāsiṭī, now lost.³

(13-3-3) The interpolation process in this chapter resembles the examples in (10-1, 2).

¹ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, pp. 110-111.

² See for a photo: King, 2004-5, vol. 2, p. 507.

³ See the drawing b in King 2004-5, vol.2, p. 498.

(13-4)

(13-4-1) contains an approximation construction, which boils down to the modern formula $\sin(h) = \sin(H)\sin(15T)$, where H is the noon altitude of the sun, h the altitude of the sun at the actual moment, and T the time in seasonal hours since sunrise or before sunset. This method was well-known in Islamic astronomy.¹ The “scale of 90” is a sinusoidal scale, so the distance of the mark for H on this scale to the center of the astrolabe is $R.\sin(H)$ where R is the radius of the astrolabe. The “sine lines which issues from the observed altitude” is at distance $R.\sin(h)$ from the horizontal line. Then if $15T$ is the angle between the alidade and the horizon, we have $\sin(15T) = \frac{R.\sin(h)}{R.\sin(H)}$.

(13-4-2) This section contains a mathematically exact but unusual procedure, which we have not found in any other astrolabe work, and which is similar to analemma constructions in Islamic astronomy. Bīrūnī first considers the back of the astrolabe as the intersection of the meridian plane with the celestial sphere, and then, when he takes the alidade away and puts it in its second position, he uses the back of the astrolabe as the day circle.

In figure 13-2, φ denotes the latitude of the observer’s locality, δ is the declination of the sun, which we will assume northern in the figure. One observes the altitude h at a moment after noon. One wants to determine the “arc of revolution” (of the universe) after noon, that is time after noon in time-degrees. We will write η for the equation of day, $H = 90 - \varphi + \delta$ for the meridian altitude of the sun, and R for the radius of the astrolabe.

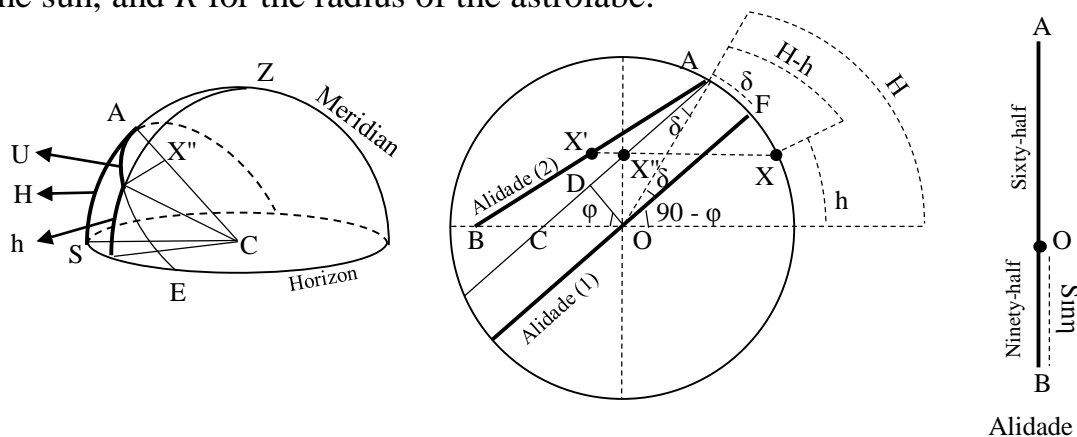


Figure 13-2. The determination of the arc of revolution by means of the lines of sines

¹ King, 2004-5, vol. 2, pp. 119-197.

Our analysis of Bīrūnī’s procedure for the determination of the arc of revolution by means of the lines of sines is as follows. First we explain the construction procedure for the case where the declination is northern.

Figure 13-2, right side, displays the back side of the astrolabe with the horizontal and vertical diameter which intersect in the point O . We assume that the circumference of the upper right quadrant and also the lower left quadrant is provided with a scale in degrees. We first place the alidade in the position OF such that the angle with the horizontal line is equal to the complement $90 - \varphi$ of the local geographical latitude. Then, from the upper end of the alidade (that is point F) and also from the lower end, we count the amount of the solar declination on the rim of the astrolabe, towards the throne of the astrolabe, because the declination is northern (as in figure 13-2). We do the same from the lower end of the alidade, and thus we obtain two points on the circumference of the circle. We take a ruler and place its edge on these two points; then the ruler is parallel to the alidade. The ruler intersects the horizontal line at point C . Now we take the alidade away from the astrolabe. The alidade contains two scales: a linear “sixty-division” on the side of the upper pointer, and a sinusoidal “ninety-division” on the other side, that is a scale which displays numbers x at a distance $R \cdot \sin x$ from the midpoint of the alidade. We place the end of the sixty-division half of the alidade on the degree of the meridian altitude of the sun (H) on the rim, and fix it there (at point A). Then we find the amount of the equation of daylight η on the ninety-half of the alidade starting from the midpoint. We make a mark there, and rotate the pointer of the alidade around point A until the mark is at B on the horizontal line.

Then $AB = R + \text{Sin}\eta$. Find point X on the circular scale at the observed altitude h above the horizontal line. Through X draw a parallel to the horizontal line to meet AB at X' . Finally, determine in the circle an arc U (not shown in the middle figure in fig. 13-2) in such a way that AX' is the versed sine (thus $AX' = R - \text{Cos}(U)$). Then U is the desired arc of revolution before or after noon.

The text does not show why this construction is correct. We can show this in two different ways, by geometry and by formulas. First, by geometry, we consider the right side of figure 13-2 as the meridian plane. Then FO is the intersection with the celestial equator, and AD the intersection with the day circle, that is the path of the sun during the day. Figure 13-2, left side, displays the celestial sphere with the meridian, the horizon, and also the day circle AE which intersects the meridian in AC . In general (for non-zero declination) point C is not

the center. Angle $SCA = 90 - \varphi$ since the day circle is parallel to the celestial equator. The figure also displays the noon altitude H and the altitude at the moment h . The two segments AX'' , $X''C$ in the left and right figure are equal, but we should realize that the day circle in the left figure has radius $\text{Cos}\delta$ and the circle in the right figure has radius R . If we multiply AX'' , $X''C$ in the right figure with a factor $(\frac{1}{\text{Cos}\delta})$ we obtain AX' , $X'B$. In the left figure, AX'' is the versed sine of arc U taken in the day circle.

Thus, in the right figure, AX' is the versed sine of arc equal to U in the circle of the back of the astrolabe.

By computation, using $\sin \eta = \tan \delta \cdot \tan \varphi$, the argument translates in the identity

$$R - \text{Cos}(U) = R^2 \left[\frac{\text{Sin}(H) - \text{Sin}(h)}{\text{Cos}(\varphi)\text{Cos}(\delta)} \right], \text{ which is well known in Islamic astronomy.}^1$$

We use capital letters for the medieval sine and cosine, which are R times the modern equivalents.

Figure 13-3 shows an alidade displaying the seasonal hour-lines on its lower part. The upper part of the alidade includes the sinusoidal ninety-division (right half) and linear sixty division (left half) scales. All scales are in *abjad* numbers.



Figure 13-3. The alidade of an astrolabe made in 496 A.H. (1102-3 A.D.) by Muḥammad ibn Abī al-Qāsim al-Isfahānī al-Salīhānī, described by D.A. King, 2004-5, vol. 2, p. 528-533 and p. 253. This astrolabe is preserved at the Galileo Museum in Florence (inventory number: IMSS, n. 1105) [CCA 122]

(13-5)

This section covers more or less the same ground as (13-1).

(13-5-3) Here Bīrūnī uses exactly the same interpolation as in (10-2-1).

(13-5-6) On the halved astrolabe see: (13-1).

¹ Neugebauer, 1975, vol. 1, p. 36; Bīrūnī explains the analemma in *Astrolabe Construction*, p. 113; the identity is explained in *Shadows*, pp. 146-147, 159-160 (Arabic), pp. 196-198 (English), Kennedy, 1976, pp. 123-124. For some historic background see: Marie-Louise Davidian, pp. 330-335, esp. p. 333.

(13-5-10) The rules for the northern or southern projection of the zodiacal signs in mixed astrolabes have been explained in (12-2-4).

(14-1)

(14-1-1) Bīrūnī starts this section with an interesting natural philosophic (astrological) introduction. As far as we know, he does not give such an explanation in his other works, but he used the term “the transforming [points]” for the solstices in his *Masudic Canon* as well.¹ The intersection points of the ecliptic with the horizon and meridian of a certain locality mark four essential points (called pivots) which served both astronomical and astrological purposes. Starting from the eastern horizon downward, the four intersection points were called (1) the ascendant, (2) “the pillar of the earth”, (3) the descendant, and (4) the midheaven or also “pillar of the sky” respectively. (Figure 14-1).

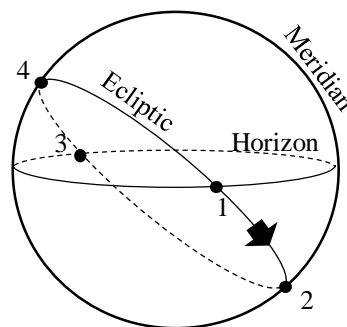


Figure 14-1. Four pivots of the celestial sphere

(14-1-3) For the “halved astrolabe” see: (13-1-7) and the commentary.

(14-1-4) The procedure for the “arc of revolution” (time since sunrise) of the boat-shaped astrolabe is explained in (13-1-8).

(14-1-5) On the crescent-shaped astrolabe, the ecliptic is crescent-shaped with the northern zodiacal signs on the inner concave part and the southern zodiacal signs on the outer convex part. On the plate of this kind of astrolabe, the direction of the horizon and almucantars inside the celestial equator differs from their direction outside it, as we have described in the introduction on the crescent-shaped astrolabe. After placing the ecliptical degree of the sun on the appropriate

¹ Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 3, p. 1355.

almucantar, if the desirable horizon (eastern for the ascendant and western for the descendant) intersects a zodiacal sign of the same type as that of the zodiacal sign of the sun, the situation is as for the standard astrolabe. But if the horizon intersects no zodiacal sign of the same type of the sun, the spider should be rotated 90 degrees (because of the numbering of the rim which is from 0 to 90). Then the ecliptical degree in question would be computed as Bīrūnī describes. As an example for the latter situation, suppose the 24th degree of Leo is put on the eastern horizon. Since Leo is four full signs from the beginning of Aries, the ecliptical degree in question would be the 6th degree of Scorpio (the eighth zodiacal sign from Aries) according to Bīrūnī's procedure.

(14-1-9) The “arc of revolution” cannot be found by means of the plate of horizons itself. The methods of (13-1) cannot be used here because the plate of horizons contains neither almucantars nor hour lines. One can use the alidade or the back of the astrolabe as explained in (13-2), (13-3) and (13-4).

(14-1-10) Bīrūnī's method for the determination of the ascendant on the summit of a mountain is of theoretical interest only. We have not found this method in any other astronomical or astrological work.

(14-2)

(14-2-1) In Islamic astrology, the twelve astrological houses were important for making predictions. They are defined as follows. One first divides the ecliptic into four quadrants as above by the horizon and meridian plane; then each quadrant is divided in turn into three (usually unequal) parts. The first house begins with the ascendent on the eastern horizon, and the houses are numbered in the order of the zodiacal signs: thus the fourth, seventh and tenth house begin at the intersections of the ecliptic with (4) the meridian below the horizon, (7) the western horizon, and (10) the meridian above the horizon. The term “pivot” is also used for these four houses, not only for their beginning points, and the houses were also called *cardines* in European astrology. The term “equalization of the houses” is the literal translation of its Arabic counterpart (*taswīyat al-buyūt*), but really means “computation of the beginning points of the houses”. In his *Introduction to Astrology*, Bīrūnī gives similar explanations of the terms succedent and cadent, which are used for the eight remaining houses.¹ According to the *Introduction to Astrology*, the succedent houses (11, 8, 5, 2), meaning the signs in them, are about to occupy the four cardines by the diurnal movement.

¹ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, p. 206 (Persian), p. 150 (Arabic - English).

Cadent houses (12, 9, 6, 3), meaning the signs in them, have just been in the cardinal positions. Then the “pivots” themselves can also be called upright, succedent and cadent depending of the number of signs between them: if the ascendent is Aries, and the meridian above the horizon is in the tenth sign Capricornus, the pivots are “upright”, if in the ninth sign Sagittarius, “cadent”, and if in the eleventh sign Aquarius, then “succedent”. The rationale of this terminology escapes us.

Several methods for computation of the beginning points (also called cusps) of the houses were discussed in medieval Islamic sources¹ such as Bīrūnī’s *Masudic Canon*.² In this section of the *Taṭrīq* Bīrūnī uses a method for the computation of the houses which is called “the standard method of houses” by E.S. Kennedy and J. D. North.³ This method probably dates back to pre-Islamic times, and was also used in Islamic astrolabe texts before Bīrūnī.⁴ The idea is to consider the semicircles parallel to the equator through the ascendant and the descendant. Trisect the arcs between the ascendant and the meridian (above and below the horizon) and draw great circles through the celestial North Pole and the division points, which intersect the ecliptic in the cusps of the 11th, 12th, 2nd and 3rd houses. The cusps of the 5th, 6th, 8th and 9th houses are found in a similar way or by noting that they are diametrically opposite the cusps of the 11th, 12th, 2nd and 3rd houses.

In (14-2-2) Bīrūnī computes the cusps of the houses by means of the seasonal hour-lines in a general way which can also be applied for mixed astrolabes. In (14-2-3) he gives an equivalent method based on calculation of the equation of daylight. The text is in disorder because the scribe skipped a line, but we have restored the passage for mathematical sense.

In the *Ikhrāj* (16), Bīrūnī first presents the procedure according to the standard method, equivalent to (14-2-3), and then (in 16-5) the procedure using the hour lines, equivalent to (14-2-2). He says that this hour line method is “close to the truth, the difference is not noticeable”. The reason must be that the hour lines on the astrolabe plate are engraved as circular arcs through three points on the equator and the tropics. Thus the engraved lines are not the exact hour curves which are not circular. Bīrūnī also uses the standard method in the *Keys* with a

¹ For a mathematical classification of these methods: Casulleras and Hogendijk, p. 80-87.

² Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 3, pp. 1357-1369.

³ Kennedy, 1998, no. XIX, pp. 538-540; North, 1986, pp. 3-12.

⁴ Muḥammad ibn Mūsā Khwārizmī: Frank, 1922, p. 13; ‘Alī ibn ‘Isā: Schoy and Drecker, p. 247; al-Šūfī, 1962, Ch. 57-58, pp. 42-45.

clear geometrical figure,¹ and in the *Introduction to Astrology*;² in these works he does not comment on the accuracy of the hour-line method.

In the *Masudic Canon* (XI:1) Bīrūnī calls this method the “well-known method”,³ again without remarking that the hour-line determination is only approximate, and he then also discusses another new method which he prefers himself.⁴ In the new method, the cusps are obtained by intersecting the ecliptic by great circles through the North and South points of the horizon which make angles 30 and 60 with the horizon and meridian planes. The new method is also explained in the *Keys*.⁵ In his astrolabe works *Taṭrīq* and *Ikhrāj* he only uses the standard method. The reason may be that he does not believe in astrology anyway, or that his own method requires a difficult trigonometrical computation or a special plate on the astrolabe with projections of the circles which define the houses. Such a plate for the houses is related to the special plate for progressions (16-6) but the two are not the same. In his *Astrolabe Construction* Bīrūnī does not mention a special plate for the houses.

(14-2-5) For the boat-shaped astrolabe, the determination of the eleventh house is missing, probably by scribal error. We have reconstructed this passage in the Arabic text (and in the English translation) in analogy with the computation for the other houses, where the “retained amount” is the same as in (14-2-3).

(14-2-6) On the crescent-shaped astrolabe, if the ascendant is in the northern zodiacal signs, it should be placed on the eastern horizon inside the celestial equator, otherwise the eastern part of the horizon which is outside the celestial equator should be used. Then the spider should be rotated in clockwise order regarding the appropriate horizon.

(15-1)

(15-1-1) According to the available sources, the azimuthal circles on the astrolabe were first used (and perhaps introduced) by Muḥammad ibn Mūsā Khwārizmī (fl. ca. 830 A.D.).⁶ The plates of medieval Islamic standard astrolabes are usually provided with azimuthal circles above the horizon, but sometimes azimuthal

¹ Bīrūnī, *Keys*, pp. 276-279.

² Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, pp. 309-310 (Persian), pp. 205-206 (Arabic - English).

³ Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 3, pp. 1357-1359.

⁴ Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 3, pp. 1359-1369.

⁵ Bīrūnī, *Keys*, pp. 284-291.

⁶ King, 2004-5, vol. 2, p 367; Frank, 1922, pp. 1-32, esp. p. 15.

circles are drawn below the horizon or on both sides.¹ If azimuthal lines are only drawn below the horizon, the almucantars above the horizon can be engraved more accurately and fully.² All azimuthal circles above the horizon pass through the zenith, represented by the number 90 among the almucantars. As Bīrūnī mentions, the engraved azimuthal circle arcs above the horizon end at the circumference of the last almucantar which surrounds the zenith, although the lines themselves of course continue.

(15-1-2) Bīrūnī compares the interlacing curves (including azimuth-lines and almucantars) on the plate of the astrolabe with the ivy plant (the Latin name: *Hedera helix*). He described the characteristics of this plant in his *Book of Pharmacology in Medicine* (*Kitāb al-Ṣaydana fī al-Ṭibb*; hereafter *Pharmacology*).³

(15-1-3) In the *Ikhrāj* (34) Bīrūnī describes three different systems for azimuths. In the first system (*naẓm*) (34-2), as in the *Taṭrīq* and also the *Masudic Canon*, the east and west points have “no azimuth” (i.e., azimuth 0), and the azimuth is counted towards the north and south. In the second system (34-3), the azimuth is reckoned from the south; it is 0 in the south, 90 in the east and west, and 180 in the north. In the third system (34-4), the azimuth is reckoned from the south and north, it is 0 in the south and north, and the maximum values are 90 in the east and west.

(15-1-5) Chapters (15-1) and (15-2) correspond to the *Ikhrāj* (34). In the *Ikhrāj* (34-8) Bīrūnī adds a procedure to find the azimuth of astrolabe stars if the azimuthal lines are only drawn below the horizon. His construction of the point diametrically opposite the astrolabe star is wrong (because he assumes that the declination has the same direction as that of the star itself) and therefore the procedure is erroneous. This may be the reason why the same procedure for astrolabe stars is omitted in the *Taṭrīq*.

(15-2)

Bīrūnī again prescribes an interpolation procedure (see: 10-1), but it seems that the scribe skipped one line in the Arabic text by an oversight. Therefore we have restored the text for mathematical sense.

¹ For some extant examples, see: King, 2004-5, vol. 2, pp. 759, 810, 844.

² For some extant examples: Sarma, pp. 93, 277, 528 (Astrolabes no. A001.3, A014.4, A040.3).

³ Bīrūnī, *Pharmacology*, p. 816, No. 840.

(15-3)

The first part of this section correspond to the *Ikhrāj* (36), which does not contain a solution by the sine quadrant as in (15-3-3).

(15-3-3) The description is incomplete because one should first determine the declination δ , of the degree of the sun as in (5-2-4) using the “declination circle”. See figure 5-2, where $0 < \lambda < 90$ means the ecliptic longitude. The “ninety division half” of the alidade has a sinusoidal scale; thus if we put the pointer on $90 - \varphi$, where φ is the geographical latitude, the intersection of the declination circle with the sinusoidal scale will indicate a number ω such that $\sin \omega = \sin \delta \cdot \cos \varphi$. Then ω is the rising amplitude because of the standard computation methods.¹

(15-4)

(15-4-1) The method suggested by Bīrūnī in this section uses the astrolabe and only one observation of the sun. The usual (“Indian”) method uses two observations, and there are also methods that use three observations,² but in these methods the astrolabe is not used. To put the astrolabe flat on the ground, Bīrūnī first attaches a circular piece of ebony with a small width to the rim of the astrolabe, so that the pole of the astrolabe does not meet the ground. Thus the back of the astrolabe can be horizontally placed on the ground with no inclination. Bīrūnī considered ebony as an appropriate material for this purpose because one can make perfectly flat cross sections.³

(15-4-2) For the determination of the meridian and the east-west line in the first case (with South-eastern or North-western azimuth), the altitude of the sun for the actual moment should be taken. Then the azimuth should be determined by means of the astrolabe, and the alidade should be fixed on the number of the azimuth on the altitude scale. Then the astrolabe should be put in a suitable horizontal position and turned until the ray which passes through the hole in the sight meets the central axis of the alidade, so that it points exactly towards the sun. In this position of the astrolabe, the vertical line on the back is the meridian, and the throne points towards the South or the North. Because the altitude quadrant is on the left side of the back of the astrolabe, the method should be

¹ Neugebauer, 1975, vol.1, pp. 37-39; Bīrūnī, *Keys*, p. 202-203, *Masudic Canon* (IV:12), vol. 1, p. 435.

² Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 1, pp. 445-451; Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, pp. 63-64 (Persian), pp. 49-50 (Arabic-English); Neugebauer, 1975, vol.2, pp. 841-842. In the “Indian method” the meridian length is found as bisector of two shadows of equal length, taken before and after noon. The method is also dealt with in *Ikhrāj* (37).

³ For more information about the characteristics of ebony, see: Bīrūnī, *Pharmacology*, p. 21-23, No. 7.

changed in the second case (South-western or North-eastern azimuth) so that the throne will point to the West or East. Bīrūnī prescribed the same procedure in his *Ikhrāj* (38) where he adds that when putting the astrolabe in the horizontal position, one can already turn the throne approximately in the right direction before actually looking at the image of the hole in the sight. The special case (15-4-3) is not mentioned in the *Ikhrāj*. Al-Ṣūfī also discusses the problem of (15-4-2) in Chapters 157-158.¹

(15-5)

(15-5-1) Because several words at the beginning of this passage are covered by ink in the manuscript, we have conjecturally restored the passage according to the context. In this section Bīrūnī suggests two different methods for setting up a gnomon perpendicular to the plane of the horizon. In the first method, the gnomon is exactly vertical if a reed draws a perfect circle on the ground, centered at the base of the gnomon (Figure 15-1a). In the second method, the apex of the gnomon should point towards a point on a staff from which a plumb line has been suspended (Figure 15-1b).

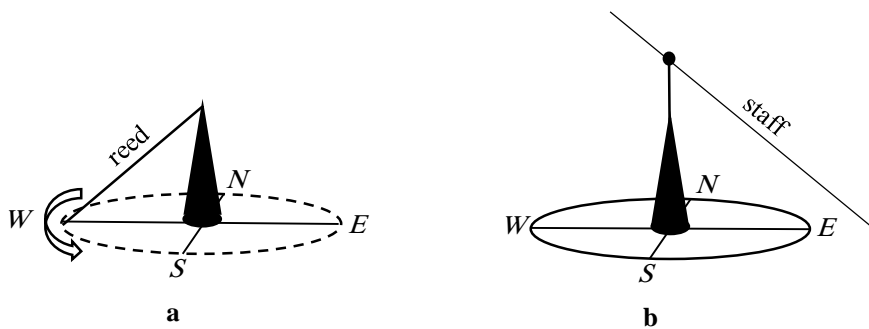


Figure 15-1. Two methods for setting up a vertical gnomon on the ground

(15-5-2) Bīrūnī now determines the ascendant and the arc of revolution (i.e., time of day after sunrise) on the basis of one observation of the azimuth of the sun, without using its altitude above the horizon. As he explains in the *Masudic Canon* (IV:15),² this can be relevant around noon, when the altitude changes very slowly so the determination of the time of day from the solar altitude becomes inaccurate. The problem is mentioned very briefly in the *Ikhrāj* (39), but apparently not at all by al-Ṣūfī.

¹ al-Ṣūfī, 1962, pp. 134-139.

² Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 1, p. 445.

(15-6)

(15-6-1) The determination of longitudes was rather inaccurate in medieval Islamic tradition. Bīrūnī suggests as zero meridian the westernmost part of the inhabited world, namely the modern Canary Islands, and therefore his longitude values were on average about 15° higher than the modern Greenwich longitudes. In his *Coordinates*, Bīrūnī remarks that people from different civilizations make largely arbitrary choices for a zero meridian, and that the Canary Islands for the people of the West and Ujjain¹ for the people of India were two common choices at his time.² But since in this section only the difference between two longitudes is required, the zero meridian is irrelevant.

(15-6-2) The sun passes through the zenith of a locality if the meridian altitude of the sun equals 90°, and in this case, the (northern) declination of the sun must be equal to the geographical latitude of that locality. This happens twice every solar year for localities “with two [types of] shadows” between the equator and the Tropic of Cancer.

Based on Bīrūnī’s values for the latitude of Mecca (21;20°) and the obliquity of the ecliptic that he used (23;35°), we can compute the solar longitude at these two days from the modern formula

$$\sin \delta = \sin \lambda \cdot \sin \varepsilon, \text{ so: } \sin 21;20^\circ = \sin 23;35^\circ \cdot \sin \lambda$$

We find a solution $\lambda = 65;24,22^\circ$. Bīrūnī presents what is obviously a rounded value 65;30°. Thus the first zenith transit occurs in the spring when the sun is in Gemini 5;30° (65;30° = 60° + 5;30°) and the second one in the summer when the sun is in Cancer 24;30° (114;30° = 180 – 65;30°). Bīrūnī uses an Arabic term for the noon-shadow which literary means “a shadow fitting the foot” (*ẓill ṭibāq al-khuff*). According to his *Shadows*, it was invented by some Arab litterateurs in early Islam.³

(15-6-3) The general idea is to use a plate for the locality for which the *qibla* has to be determined, and then to set the astrolabe for the local time at which the sun is at the zenith of Mecca. The time difference corresponds to the longitude difference between the locality and Mecca. Then at the moment when the sun is

¹ Bīrūnī, *Coordinates*, pp. 156-157 (Arabic), 120-121 (English).

² Bīrūnī, *Coordinates*, pp. 204-205 (Arabic), pp. 170 (English).

³ Bīrūnī, *Shadows*, p. 43 (Arabic), p. 16 (English).

at the zenith in Mecca, it will not be at the zenith of the locality, but will indicate the direction of Mecca from the locality along a great circle on earth.

(15-6-4) Bīrūnī mentions the $3;0^\circ$ longitude difference between Mecca and Baghdad in the *Coordinates* as well.¹

(15-6-5) The same method is valid for finding the direction towards other localities between the equator and the Tropic of Cancer. (15-6-6) For localities North of the Tropic of Cancer, the ecliptic can no longer be used. For this case, Bīrūnī shows how the astrolabe can be used for a general coordinate transformation from hour angle and declination (corresponding to the longitude difference with Mecca and the geographical latitude of Mecca) to azimuth and altitude (although he does not mention the altitude). The same method for finding the *qibla* is also explained in the *Ikhrāj* (35) in a much briefer way, only for Mecca and without any numerical values.

(16-1)

In this chapter, the “distance” is not the geometrical (shortest) distance but rather an arc along a circle parallel to the celestial equator, between a star or planet and the meridian plane. It can be expressed in “degrees”, in “equinoctial hours” (each of which is equal to 15°) and in “seasonal hours”; since the seasonal hour is one-sixth of the arc between the horizon and the meridian above the horizon (seasonal hours of day) or below the horizon (seasonal hours of night), the distance in seasonal hours is always a number between 0 and 6. This “distance” is used in the interpolation procedure in the astrological computations of the rays in (16-3) and the progressions in (16-4) and (16-5). The term “indicator” is taken from the theory of astrological progressions. Because these computations are made for sun, moon and the five planets, not for the fixed stars, we have usually translated *kawkab* as planet in this section.

The computation of the distance is also explained in the *Ikhrāj* (43-1, 43-2). As an introduction in the *Ikhrāj* (43-1), Bīrūnī defines the “ascending” and “descending” halves of the celestial sphere, which are the eastern and western halves of the celestial sphere divided by the meridian plane. Due to the apparent rotation of the universe, the stars ascend in the ascending half and descend in the descending half. There he also remarks that if the planet is above the horizon, the “distance” of a planet should be taken from midheaven, that is, towards the

¹ Bīrūnī, *Coordinates*, p. 234 (Arabic), p. 200 (English).

meridian plane above the horizon, and if it is under the horizon, the distance should be taken towards the “pillar of the earth”, that is the meridian plane below the horizon. This is in agreement with Bīrūnī’s prescriptions for the rotation of the spider in this section of the *Taṭrīq*.

Section (16-1) contains an interesting error, which could be due to an oversight by Bīrūnī. He begins by saying “Then put it (that is, the indicator) on the eastern horizon and make a mark on the place of the pointer [on the rim]”. In the *Ikhrāj* (43-2) he says correctly “you put the [ecliptic] degree of the ascendant on the eastern horizon and you make a mark at the position of the pointer on the rim”. In other words, the astrolabe should be set, and the mark on the rim should be made, for the actual position of the indicator which can be anywhere in the sky.

(16-2)

The projection of rays is an astrological idea transmitted from ancient Greek astrology to the Islamic tradition.¹ According to this idea, the sun, the moon and each of the five planets cast seven visual rays to other points of the ecliptic. The positions of these rays are determined by means of a regular hexagon, a square and an equilateral triangle. The visual rays meet points of the ecliptic which are “looked at” (Latin: *adspectus*), and this explains the term “aspect” which modern astrologers use.² Several different procedures were suggested for the determination of these rays in medieval Islamic sources on astrology and astronomy.³ Bīrūnī devoted an extensive chapter in his *Masudic Canon* (XI:4)⁴ and also several brief chapters in the *Ikhrāj* (42, 43, 44) to this subject.

(16-2-1) Bīrūnī begins this section of the *Taṭrīq* with a sarcastic remark at the expense of astrologers, to the effect that they always ignore the ecliptic latitude of the moon and planets.

(16-2-2; 16-2-3) For the computation Bīrūnī uses what one might call the standard doctrine in medieval Islamic astronomy. This doctrine is also explained in *Ikhrāj* (43) as “the method (*madhhab*) of Ptolemy”, and in the *Masudic Canon* (XI:4, Sect. 1) as “the procedure attributed to Ptolemy”. According to this doctrine, the triangle, square and hexagon used for finding the rays are located on

¹ For the ancient Greek doctrine see: Bouché-Leclercq, p. 247-251.

² Casulleras and Hogendijk, p. 40.

³ Casulleras and Hogendijk, pp. 62-79.

⁴ Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 3, pp.1377-1392.

the celestial equator. The idea is as follows. Consider planet P in the ecliptic in its actual position and fix the semicircle through P and through the North point N and South point S of the horizon. Call P' the intersection of the semicircle NPS and the celestial equator. Then rotate the celestial sphere with stars and planets over 60 degrees, in the direction of the apparent rotation of the universe, while keeping the semicircle through N and S fixed. The positions of P and P' will change during the rotation but after the rotation we will find a new point of intersection Q' of the equator and the fixed semicircle through N and S : point Q' is 60 degrees away from P' . Now project Q' back on the ecliptic along the fixed semicircle through N and S . Thus we find the point Q on the ecliptic such that PQ is one of the seven visual rays according to this doctrine. This particular ray is called the left sextile ray: if P is above the horizon, in the meridian plane of the observer, Q is to the left of it. We find the left quartile and trine ray in the same way by rotating the sphere over 90 or 120 degrees in the direction of the apparent motion of the universe, and the right sextile, quartile and trine rays by rotating the sphere in the other direction. Finally, P casts the opposite ray to the diametrically opposite point in the ecliptic.

In Section 2 Bīrūnī deals with the cases where P is on the meridian or the horizon, so the semicircle NPS is drawn on the regular astrolabe plate of almucantars and azimuths.

(16-3)

If the emitting planet P is not at the horizon or meridian, the semicircle NPS is not drawn on the regular astrolabe plate with almucantars and azimuths. Then the standard method uses linear interpolation, as Bīrūnī describes in this section. Bīrūnī describes exactly the same interpolation process in the *Ikhrāj* (43-3) and also in more detail (and without reference to the astrolabe) in his *Masudic Canon* (XI:4).¹ We will illustrate the procedure for the left sextile ray in modern notation. Bīrūnī first computes by the method of 16-2 “the first amount”, that is to say the ecliptic longitude a_1 of the left sextile ray when P is in the meridian plane, and the “second amount”, that is the ecliptic longitude a_2 of the left sextile way when P is in the horizon plane. But in this section 16-3, P is neither in the meridian nor on the horizon, so let “ n ” be the distance between P and the meridian as in 16-1, and “ d ” the day arc of P , if P is above the horizon, or its night arc if P is below

¹ Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 3, pp.1396-1397; see also: Hogendijk, 2015, pp. 284-285, 295-297.

the horizon. We have $0 < n < d$. Then, Bīrūnī finds the “equation” $e = \frac{n}{d} |a_1 - a_2|$ and the ecliptic longitude r of the left sextile ray of P in the following three cases:

$$a_1 > a_2, \text{ then: } r = a_1 - e$$

$$a_1 < a_2, \text{ then: } r = a_1 + e$$

$$a_1 = a_2, \text{ then: } r = a_1$$

Exactly the same doctrine and interpolation procedures were described by al-Ṣūfī.¹ Bīrūnī’s extensive explanations of these astrological procedures in the *Taṭrīq*, the *Ikhrāj* and the *Masudic Canon* indicate the importance of these applications in his time. See (16-6) for a more accurate determination using a special plate, and (16-7) for Bīrūnī’s statement that he does not believe in the underlying doctrine attributed to Ptolemy.

(16-4)

The astrological idea of progressions was also transmitted from Greek to Islamic astrology. According to this idea, the astrologer could predict the time when a specific event (for example, death) would occur in the life of an individual. For this purpose, the astrologer should first select two significant points or celestial bodies at the moment of birth of the individual. In the example of death, one of them was considered the point emitting life-force and the other a destructive point.²

(16-4-1) According to the procedure discussed by Bīrūnī, the indicator (Ar.: *dalīl*) is the life-emitting point, and the promissor (Ar.: *maqṣūd*) is the destructive point, and the positions of both are assumed to be known. We consider the great circle arc through the indicator with endpoints on the North and South points of the horizon. Bīrūnī determines how much time-degrees it takes for the promissor to reach this great circle arc through the indicator, by the daily rotation of the universe. The time is expressed in time-degrees.³ In the astrological interpretation, one degree is considered as the equivalent of one solar year: so if the promissor reaches the great circle arc through the indicator in 57 time-degrees, and the promissor indicates death, the individual will live 57 solar years in principle. The number could be modified by means of other astrological

¹ al-Ṣūfī, 1962, Ch. 154, pp. 127-130.

² Casulleras and Hogendijk, 41-43; for different systems for progression: pp. 43-61.

³ 360° is one complete rotation of the universe, so 1 time degree is almost 4 minutes of time.

considerations. If the indicator is on the horizon, or on the meridian, the procedure is straightforward because the horizon and meridian are drawn on the plate of the astrolabe.

In the *Keys* Bīrūnī discusses his own terminology for progressions in connection with the terminology that was useful in his time in the Islamic astrological literature. Bīrūnī's indicator (*dalīl*) was often called *haylāj* (rendered in medieval Latin as *hyleg*), and his promissor (*musayyar ilayh*) was also called *qāṭi*, the cutting or destructive point. In Bīrūnī's view of *tasyīr* computation, the destructive point moves by the daily rotation of the universe to the position circle through the *hyleg* and the North and South point of the horizon. Nevertheless, he calls the destructive point *al-musayyar ilayh*, the (point) to which the progression is made, or *al-maqṣūd*, the intended point. Perhaps one can explain this terminology, by means of the problem which he solves in 16-5: given a number (n) of solar years, to find the point in the ecliptic that will move to the position circle through the *hyleg* in this amount (n) of time-degrees by the daily rotation of the universe. The celestial bodies, rays, etc. near this point could obviously be used for astrological predictions for the n -th solar year of the life of the individual. For every year one could solve this problem and thus create a succession of points in the ecliptic for successive years, which will gradually progress towards the destructive point.¹

(16-4-2) For the case where the indicator is between the horizon and meridian planes, Bīrūnī prescribes an interpolation procedure similar to the one in (16-3). First he solves the problem for the two cases where the indicator is on the meridian and on the horizon, and thus he finds two solutions in time-degrees. For the interpolation, he then determines the "distance" of the indicator to the meridian plane, as in (16-1) and the day arc or night arc of the indicator, and he then proceeds as in (16-3). Bīrūnī gave almost the same explanations in his *Ikhrāj* (46) in somewhat different terminology (instead of *dalīl* he uses *haylāj* which is a more standard term in Islamic astrology). Bīrūnī also presents the same method with interpolation but without reference to the astrolabe in Sections 1 and 2 of the comprehensive chapter *Masudic Canon* (XI:5) on progressions.² An equivalent

¹ See for these terminological discussions Bīrūnī, *Keys*, pp. 270-277.

² Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 3, pp. 1393-1412. The chapter on the progressions in the *Masudic Canon* has been translated into English by Jan P. Hogendijk. See: Hogendijk, 2015. The same method is also explained without reference to the astrolabe in M. Yano and M. Viladrich, pp. 1-16.

computation and interpolation procedure (without reference to the astrolabe) is already found in Ptolemy's *Tetrabiblos* III:10.¹

(16-5)

(16-5-1) Bīrūnī begins by defining the “year” in general² as the time of the return of the sun to a position in the ecliptic where it was at some special moment in time.

(16-5-2) The two kinds of tropical year used in astrological predictions were “the year of the world” which is defined as the return of the sun to the vernal equinox, and “the year of the births”, which is defined as the return of the sun to the same position in the ecliptic when the birth took place.³

(16-5-3) To compute the ascendant of any “year of the world” (or “year of the births”) from the previous “year of the world” (or “year of the births”), the astrolabe should be set to the ascendent of the previous year, and the spider should be rotated clockwise by the amount of 86;41°. The 86;41° time-degrees were derived from the excess of the tropical year over 365 complete days, and the number corresponds to the length of the tropical year in Bīrūnī's *Masudic Canon*.⁴ The excess corresponds to 5^h46^m44^s (which could be rounded to 5^h47^m, but it is erroneously written 5^h57^m in the Arabic text of the *Taṭrīq*; the error may be due to Bīrūnī).

The underlying idea may be that the ascendant of the year of the world can be found by setting the astrolabe for the ascendant for the previous year and then rotating the spider clockwise over the time interval of one tropical year. This is 366 complete rotations (365 for the solar days plus one extra to account for the complete revolution of the sun in the ecliptic) plus the remainder 86;41°. This involves several approximations. In (16-5-3), Bīrūnī then prescribes to determine the ascendant after a number of years by successive rotations of the spider for each individual year. It is more efficient to compute the total arc of motion instead of rotating the spider for the preceding completed years one by one, and therefore it seems to us that Bīrūnī just wanted to show the usual method of the astrologers in an implicitly sarcastic way.⁵ The same implicit sarcasm can be detected in the

¹ Ptolemaeus, pp. 279-305.

² He gives the same definition for the year in the *Chronology*, p. 9 (Arabic), p. 11 (English).

³ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, p. 207 (Persian), p. 150 (English-Facsimile).

⁴ In the *Masudic Canon* (vol. 2, p. 642), Bīrūnī remarks that the length of the tropical year is 365^d5^h46^m42^s according to his observations.

⁵ As an example of applying this method by astrologers see: Shahmardān Rāzī, p. 144.

Masudic Canon (XI:7),¹ where Bīrūnī presents an absurdly refined discussion of the world years, even involving the motion of the solar apogee.

The *Ikhrāj* also contains a section (29) on the world years (see part 3-2 of the thesis for an English translation). The procedure is the same but instead of 86;41°, Bīrūnī gives three different possibilities for the number of time-degrees to be added: 87 according to the *New Observation*, 89 according to the *Canon*, and 93 according to the *Zījes of the Sindhind*. The number 93 corresponds to a sidereal (not tropical) year and is also found in al-Šūfī, Chapters 65-66,² and also used in Indian astronomy.³ The *New Observation* is probably *al-Zīj al-Mumtaḥan*.⁴ The number 89 corresponds to a tropical year of 365 days 5 hours 56 minutes which is a rounded value of the Ptolemaic tropical year in the *Almagest* (365 days 5 hours 55 min 12 sec). The *Canon* is not the *Masudic Canon* (which has a different value) but a version of the *Handy Tables* of Ptolemy known to Bīrūnī under the authorship of Theon.⁵

(16-5-4) In the rest of this chapter Bīrūnī presents some further discussion of the theory of progression, as indicated by the second part of the chapter title. It is unclear what exactly he means by his “own opinion” as mentioned in the title, for the problem is standard. The idea that every time-degree of the progression corresponds to one solar year is also mentioned in other Islamic astrological sources.⁶

(16-5-5) This section is a preliminary to (16-5-6) and (16-5-7). Bīrūnī divides the solar year into 360 formal “solar days”, and he defines a natural day as the (average?) time interval between two successive sunrises.⁷ To convert a number N of natural days into a number S of solar days Bīrūnī uses the following identity: $S = N \times \frac{19440}{19723}$. Then one year of 360 solar days is equivalent to $N = 360 \times \frac{19723}{19440} = 365 + \frac{13}{54}$ days = 365^d5^h46^m40^s, which is close to the previous value 365^d5^h46^m44^s. This argument agrees with Bīrūnī’s explanations in the *Masudic*

¹ Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 3, pp. 1417-1420.

² al-Šūfī, 1962, pp. 51-53.

³ See Kennedy and Destombes, pp. 7-8.

⁴ See: van Dalen, pp. 15-35.

⁵ See: Bīrūnī, *Transits*, pp. 22: 5, 23: 12 (Arabic), p. 26, 27 (English); and Sezgin, *GAS*, vol. 6, pp. 95-96.

⁶ For example: Qabīšī, p. 128.

⁷ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, p. 233 (Persian), p. 169 (Arabic-English).

*Canon*¹ and the *Introduction to Astrology*² on the subject. In the *Masudic Canon* (XI) Bīrūnī presents a table for converting natural days to solar days.³

(16-5-6; 16-5-7) Here Bīrūnī discusses a problem in progressions which is the converse of the problem in (16-4). In (16-4) one was given (a) the positions of the indicator and (b) the position of the promissor, and one was asked to find (t) the time degrees which the promissor needs to move (by the daily rotation of the universe) towards the semicircle through the indicator and the North and South points of the horizon. In (16-5-6), one is given (a) the position of the indicator and (t) the number of time degrees. Required: (b) the position of the promissor (on the ecliptic) which will move towards the semicircle through the indicator and the North and South point of the horizon in t time-degrees by the daily rotation of the universe. This is useful in astrology to predict events at a given date after the birth of the individual. If the date is a given number of years and (natural) days after the birth of the individual, Bīrūnī first converts the natural days to the “solar days” of (16-5-5) and he then determines the time-degrees (t): one degree for each year plus one minute for each five solar days. In (16-5-6) Bīrūnī solves the problem for the indicator on the horizon or meridian. For other cases, the usual interpolation procedure is prescribed in (16-5-7). The problem in (16-5-6) and (16-5-7) is solved by the same method, without reference to the astrolabe, in the *Masudic Canon* (XI:5, section 4).⁴ The problem is not mentioned in the *Ikhrāj*.

(16-6)

(16-6-1) In his *Astrolabe Construction*, Bīrūnī describes how to construct a “plate of the projection of the rays” (or, as Bīrūnī prefers to say in (16-7), a “plate of the progressions”).⁵ The plate shows the projections of great circle arcs through the North and South points of the horizon which intersect the equator in integer multiples of 1, 2, 3, 5 or 10 degrees from the horizon and meridian. The centers of all these circles or arcs are on the same line parallel to the East-West line, on which the center of the horizon is located as well (Figure 16-1).⁶ (16-6-2) If the planet which emits the rays is on one of these arcs which is engraved on the astrolabe (not only the horizon and the midheaven-line), the projections of rays

¹ Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 1, pp. 76-77.

² Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, p. 233 (Persian), p. 169 (Arabic-English).

³ Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 3, pp. 1401-1408.

⁴ Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 3, pp. 1399-1400.

⁵ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, pp. 79-81.

⁶ For some extant examples of this kind of plate, see: King, 2004-5, vol. 2, p. 508; Sarma, pp. 75, 255, 662. (Astrolabes no. A16, A013.8, A057.5).

can be constructed by simply rotating the spider by 60, 90 and 120 degrees and noting the new intersections of the ecliptic with the same engraved arc.

(16-6-3) In case the planet is not on one of the engraved arcs, Bīrūnī prescribes an interpolation procedure.

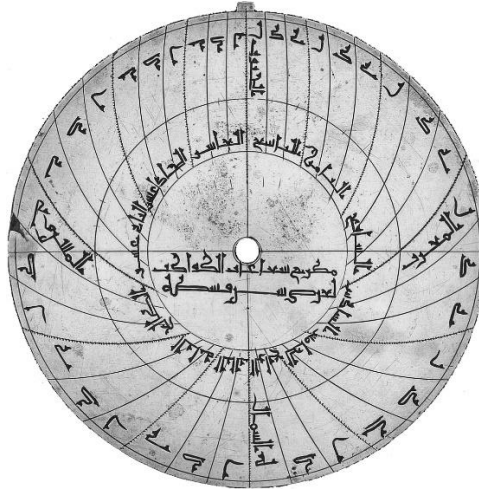


Figure 16-1. The plate for the projection of rays, made in 1081/2 A.D., Zaragoza, by Muḥammad ibn Saʿīd as-Ṣabbān, Oxford astrolabe collection, no. 52473 [CCA 2527]

Figure 16-1 shows the plate for the projection of rays, made in 11th-century Zaragoza. The arcs are only drawn between the tropics of Cancer and Capricorn, and intersect the equator in points whose distances to meridian and horizon are multiples of 10 degrees.

(16-7)

(16-7-1) Bīrūnī begins this section by quoting part of a verse of the *Qurʿān*.¹

(16-7-2) In his *Masudic Canon*, Bīrūnī mentions two different theories about the projections of the rays.² According to the first theory, the projections of the rays should be computed by means of the celestial equator, so they are connected to the apparent daily rotation (first movement) of the universe. This theory underlies the standard procedure in (16-3) and the *Ikhrāj* (42-43), and also a variant construction in the *Ikhrāj* (44), which we have also translated into English (see part 3-2 of the thesis).³ According to the second theory, the distances between the planet and its visual rays should be measured on the ecliptic; this

¹ See: *Qurʿān*, Isrā (17): 84.

² Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 3, p. 1378.

³ As Bīrūnī explained in his *India* (Arabic: p. 528; English: vol. 2, p. 224), in Indian astrology the nature of the aspect of every sign depends upon the nature of the ascendant. This statement implies that Indian astrologers followed the first opinion.

agrees with the aspects of the modern astrologers. In the second theory, the projections of rays have no relationship to the celestial equator and to the daily rotation of the universe. To compute the projections of the rays in the second theory (for planets without latitude), one can just add and subtract the 60, 90 and 120 degrees from the ecliptic longitude of the planet to get the longitudes of the rays; an astrolabe is unnecessary. Bīrūnī states in the *Masudic Canon* that he subscribes to the second theory, and in this section of the *Taṭrīq* we find the same statement. He uses his opinion as an argument to call the special plate “plate of the progressions” instead of “plate of the projection of the rays”. It is perhaps surprising that he presents in (16-2) and (16-3) the standard procedure, although he does not believe in the theory on which this procedure is based. It is likely that astrology did not make much sense to him anyway.

We now return to the *Taṭrīq*. The procedure for the determination of the progressions by means of this special plate is basically the same as above. If the indicator is on one of the engraved arcs, the time-degrees can be determined by simply rotating the spider until the promissor is on the same arc, and by counting the degrees of rotation. Otherwise an interpolation procedure is necessary (Figure 16-1).

(17-1)

Bīrūnī discusses this elementary method in his *Introduction to Astrology*¹ and *Shadows*² as well. The Arabic word “*shakhs*” which he uses for gnomon (as well as some other Muslim astronomers) can also mean “person”.

(17-2)

(17-2-1) Bīrūnī suggests four methods for the determination of the height of an object by means of the astrolabe. The first three methods are equivalent (Figure 17-1). A person wants to determine the unknown height (a) of an object. We call c the distance between the feet of the person and the foot of the object, and α the altitude angle measured by an astrolabe ($\bar{\alpha} = 90 - \alpha$). The height of the astrolabe above the horizon is b . We have $a = b + c \tan \alpha$. Bīrūnī prescribes the following methods. We use the notation *Sin* for the medieval sine ($Sin(x) = R \sin(x)$ with usually $R = 60$).

¹ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, p. 313 (Persian), p. 208 (Arabic - English).

² Bīrūnī, *Shadows*, p. 203 (Arabic), p. 254 (English).

- 1) $\left(b \cdot \frac{\sin \bar{\alpha}}{\sin \alpha} + c\right) \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \bar{\alpha}}\right) = a$
- 2) $\frac{b \cdot c}{b \cdot \frac{\sin \bar{\alpha}}{\sin \alpha}} + b = a$
- 3) $c \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \bar{\alpha}} + b = a$

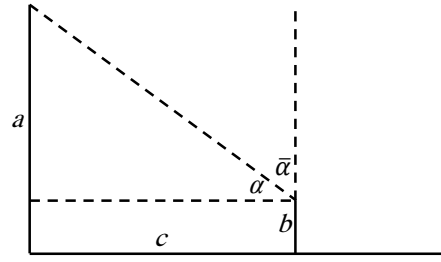


Figure. 17-1

(17-2-2) In the fourth method, he uses a gnomon (*g*) divided into 12 equal parts (Figure 17-2). Using the notation of Figure 17-1, we have:

$$a = b + c \cdot \tan \alpha = \frac{12c}{s} + b$$

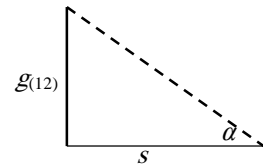


Figure. 17-2

In the *Shadows*, Bīrūnī solves the problem in essentially the same way.¹

(18-1)

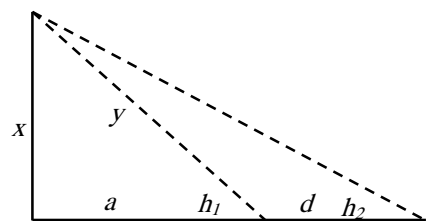
We call *x* the unknown height of the object and we want to determine it from two altitudes $h_1 > h_2$ measured at positions on one straight line with the base of the object. The distance between the two positions is *d*. According to Bīrūnī:

$$x = d \frac{\sin(h_1) \cdot \sin(h_2)}{60 \sin(h_1 - h_2)}$$

where $\sin(h) = 60 \sin(h)$ is the medieval sine. To see that this method is correct, call *a* the distance of the first position to the base and *y* the hypotenuse. (Figure 18-1). Then, by the sine rule in modern notation:

$$\frac{d}{\sin(h_1 - h_2)} = \frac{y}{\sin(h_2)} = \frac{x}{\sin(h_1) \sin(h_2)}$$

Bīrūnī's identity now follows.



Bīrūnī solves essentially the same problem in the *Shadows*.² **Figure 18-1**

¹ Bīrūnī, *Shadows*, pp. 203-205 (Arabic); pp. 254-257 (English).

² Bīrūnī, *Shadows*, pp. 205-208 (Arabic), pp. 257-258 (English); Kennedy, 1976, vol.2, pp. 161-163.

(18-2)

This paragraph seems out of place because the problem concerns gnomons (whose size is not ignored), while the astrolabe is not mentioned at all. Bīrūnī discusses the same problem in his *Shadows* and there he uses a simple solution method, which he took from the *Brahmasphutasiddhanta* of Brahmagupta.¹ The method which he prescribes here is more complicated and different from the method in the *Shadows*. The two gnomons (g) discussed here are supposed to be of the same height, both divided into twelve equal parts. We assume that x is the unknown altitude of the object, g is the length of the gnomons, h_1 and h_2 the two altitudes, and S_1, S_2 the two shadows. Where Bīrūnī uses “distance between the two eyes” it should actually be “distance between the two gnomons” to make mathematical sense. I will analyse the method in a geometrical figure. Let A be the top of the object whose height x we want to determine, B be its foot, and CD, EF the two positions of the gnomon, and let ADG, AFH be straight lines. Then G, H are the two positions of the eyes, $CG = S_1, EH = S_2$ the two shadows, and $CD = EF = g = 12$. We are given the two shadows S_1, S_2 and the distance $d = CE$ between the two gnomons, and we want to determine the height x .

Bīrūnī first computes $GH = CE - CG + EH$; then he multiplies GH by 12 and divides the result by EH , the outcome is called the “shorter column”. After that he computes $12(GE + CG + EH)$ and divides it by EH . The result is called the “longer column”. To see them in the figure, draw perpendiculars GK and CL to meet AH in K and L . Then

$$\frac{GK}{GH} = \frac{EF}{EH}, \text{ so: } GK = \frac{EF \cdot GH}{EH} = 12 \frac{GH}{EH}$$

Thus GK and CL are what Bīrūnī calls the shorter and longer column.

Bīrūnī now computes $GK - DL = GK - (CL - g)$, which he calls the “separated amount”. To compute the altitude of the object, Bīrūnī squares CG and adds the result to 144, then takes the root of this summation and retains it. Then he multiplies this amount by $12GK$ and divides it by the separated amount. He finally divides the result by the retained root.

This procedure is equivalent to the following modern formulas where C_s, C_L and S respectively denote the “shorter column”, the “longer column”, and the “separated amount” (Figure 18-2). We write $CG = 12 \cot h_1$ and $EH = 12 \cot h_2$.

¹ Bīrūnī, *Shadows*, pp. 205-208 (Arabic), pp. 257-262 (English); Kennedy, 1976, vol.2, pp. 159-163.

$$\frac{12[(d-12\text{coth}_1)+12\text{coth}_2]}{12\text{coth}_2} = \frac{d+12(\text{coth}_2-\text{coth}_1)}{\text{coth}_2} = C_s$$

$$\frac{12[(d-12\text{coth}_1)+(12\text{coth}_1+12\text{coth}_2)]}{12\text{coth}_2} = \frac{d+12\text{coth}_2}{\text{coth}_2} = C_L$$

$$C_s - (C_L - 12) = \frac{12(\text{coth}_2 - \text{coth}_1)}{\text{coth}_2} = S$$

$$x = 12\sqrt{(12\text{coth}_1)^2 + 144} \frac{C_s}{S\sqrt{(12\text{coth}_1)^2 + 144}} = 12 + \frac{d}{\text{coth}_2 - \text{coth}_1}$$

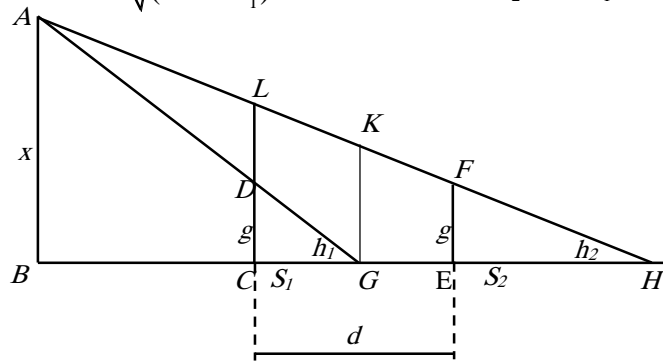


Figure 18-2

The step in which Bīrūnī computes the square root, multiplies by it and then divides by it, is superfluous. The terminology suggests that he copied this method from another (Indian?) source, but not from the *Brahmasphutasiddhanta*, which contains an easy solution. One wonders why he presented this needlessly complicated solution here.

(18-3)

(18-3-1) According to Bīrūnī's procedure the observer should first stand at a certain point C and look through the sights of the alidade towards the top A of the object (AB). Then the lower side of the alidade will indicate the shadow length on the horizontal shadow scale. Then he should move the lower side of the alidade upward or downward by the amount of one unit on the shadow scale, fix the alidade in its new position, and then approach the object or move away from it so that he can see the top of the object (A) through the two holes of the alidade in the new position. The location (D) of the second measurement should be on the straight line with the first point (C) and the foot of the object (B). Then the height $AB = g \cdot CD$ where $g = 6.5, 7, \text{ or } 12$, depending on the units of the gnomon, see:

figure 18-3). The same procedure is found in the *Ikhrāj* (64-1), in Bīrūnī's *Shadows*¹ and in al-Sūfi's treatise on the astrolabe.²

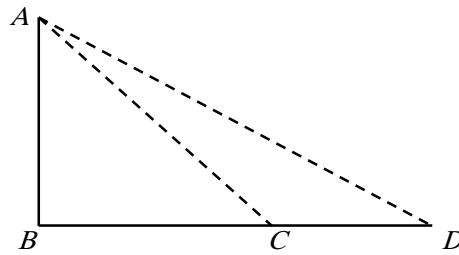


Figure 18-3

(18-3-2) For the case of the “ladder shadow”, essentially the same procedure should be carried out provided that if the edge of the alidade is put on the vertical side of the ladder shadow square, the “reversed shadow” should be converted to the “direct shadow” as explained in (3-3) as well.³

(19)

Problems on the determination of the depth of wells and the distance between two points on the earth were usually solved by several methods in the final parts of treatises on the applications of the astrolabe in Islamic tradition.⁴ Bīrūnī discusses these subjects in his *Introduction to Astrology*⁵ and *Ikhrāj* as well.

(19-1)

In this section he discusses the determination of the depth of two kinds of wells (Figure 19-1a,b). In the first case, the well is cylindrical, and in the second case, the well is the frustrum of a cone, with the top narrower than the bottom. In translating Bīrūnī's explanations on the latter case, we have interpreted the Arabic *istiwā'* as vertical distance through the air. Let AB in figure 19-1 denote the height of the observer, BC the depth of the well, EB the length of the wooden staff (which is equal to the diameter of the well's opening) and α the degree of depression. The “second sine” which is used in the text by Bīrūnī, is equal to the cosine. Bīrūnī's method boils down to $BC = EB \cdot \tan \alpha - AB$ in figure 19-1. In the *Taṭrīq* he does not discuss the case where the bottom of the well is narrower than the top, but all three cases occur in the *Ikhrāj* (68). In *Ikhrāj* (68-1, 68-2) he prescribes

¹ Bīrūnī, *Shadows*, pp. 203-205 (Arabic), pp. 254-257 (English), Kennedy, 1976, vol. 2, p. 160.

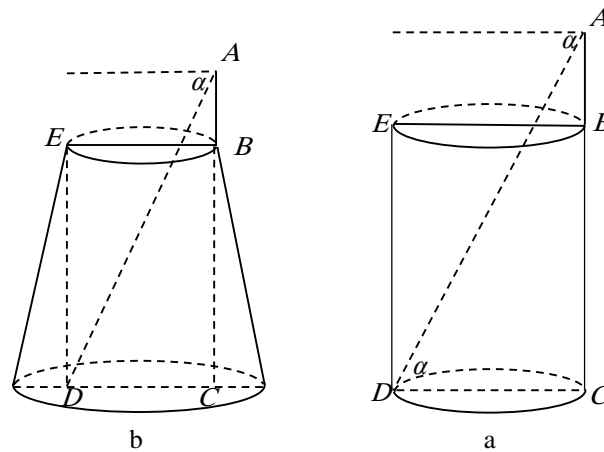
² al-Sūfi, 1962, Ch. 340, p. 277.

³ See also Bīrūnī, *Shadows*, pp. 77-78 (Arabic); pp. 121-122 (English); Kennedy, 1976, vol. 2, pp. 58-59.

⁴ For example: al-Sūfi, 1962, pp. 280-283; Ṭabarī, pp. 166-167.

⁵ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, pp. 311-313 (Persian), pp. 207-208 (Arabic-English).

the same method as in the *Taṭrīq*, and for the case where the bottom of the well is narrower than the top he suggests in 68-3 suspending a plummet from the midpoint of the horizontal wooden staff. Then the procedure is the same as the second case. In the *Introduction to Astrology*, Bīrūnī solves this problem only for cylindrical wells (Figure 19-1a) in a way which is different from what he prescribes here.¹



(19-2) **Figure 19-1**

Bīrūnī discusses three cases for calculating the width of a river.² In the *Ikhrāj* (65) and the *Introduction to Astrology*,³ Bīrūnī treats the first case (19-2-1) but he does not mention the other cases.

(19-2-1) In the first case, Bīrūnī assumes a flat area around the observer. Let AC denote the height of the observer standing at point C at one of the river’s sides, and BC the width of the river. The observer should first move down the alidade (by α degrees of depression) to sight the point B (the “first mark”) on the other side of the river through both holes of the alidade. Then he should fix the alidade, turn around to face a flat area and mark the point which he can see through both holes of the alidade as the “second mark” (point D). Then, $BC = CD$ because of the congruence of the two triangles ABC and ADC .

(19-2-2) In the second case Bīrūnī assumes that the observer is on the side of the river but there is no flat area around him. Now the calculation boils down to $BC = AC \cdot \cot \alpha$ in figure 19-2. The “second sine” is equal to the cosine as in the previous section.

¹ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, pp. 312-313 (Persian), pp. 207-208 (Arabic-English).

² In the translation and commentary, we prefer rivers to valleys because the method is based on the assumption that the river is a body of water which is flat and horizontal.

³ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, pp. 311-312 (Persian), pp. 207 (Arabic-English).

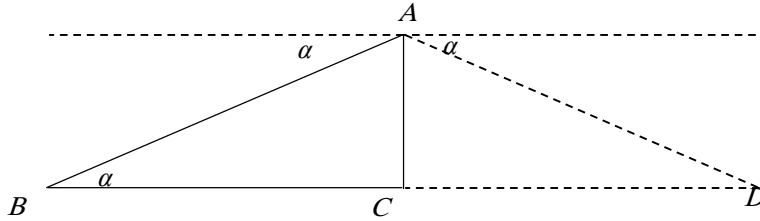
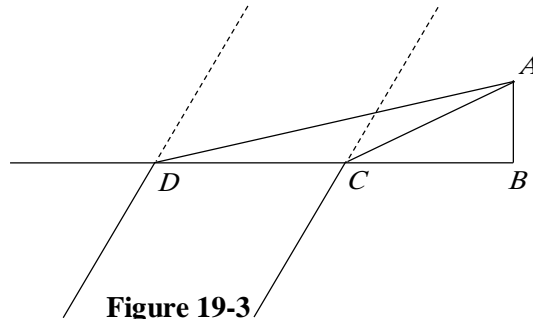


Figure 19-2

(19-2-3) In the third case, the observer is not exactly on the side of the river (Figure 19-3). The first sentence of this part is unclear but according to the context in this case, the width of the river (CD) is determined as the difference between the distances of the two sides of the river (C, D) from the observer (AB).



(19-3)

Figure 19-3

For the determination of the distance between two points B and D by an observer at point A , Bīrūnī discusses two cases. In both cases he first determines angle BAD by the astrolabe, and the distances AB and AD as explained before.

(19-3-1) In the first case where $AB = AD$, we have $BD = \frac{2AD \sin(\frac{BAD}{2})}{R}$ with $R = 60$ (Figure 19-4) and Sin the medieval *sine*.

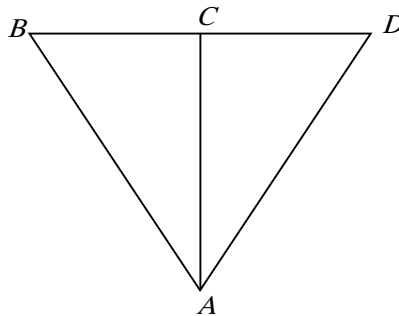


Figure 19-4

(19-3-2) In the second case where AB is shorter than AD , (Figure 19-5), drop a perpendicular BC onto AD . Bīrūnī assumes that C is between A and D which of course does not always have to be the case. Bīrūnī computes the

“perpendicular” $BC = \frac{AB \cdot \sin(\widehat{BAD})}{60}$. He then computes “one of the parts of the base of the triangle” as $AC = \sqrt{60^2 - BC^2}$, which I have emended to $AC = \sqrt{AB^2 - BC^2}$ to make mathematical sense. I consider this Bīrūnī’s mistake, not a scribal error: perhaps he was confused because $AC = \frac{AB \cdot \cos(\widehat{BAD})}{60}$ and $\cos(X) = \sqrt{60^2 - \sin(X)^2}$. Then he subtracts AC from “the larger of the two distances to the endpoints of the line segment” (that is AD) and finally computes the distance in question as $BD = \sqrt{BC^2 + CD^2}$.

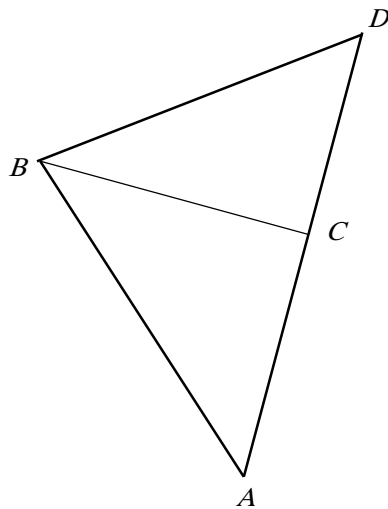


Figure 19-5

In the *Ikhrāj* (66-1, 2) Bīrūnī solves the problem in a different way: in the second case he geometrically constructs a scale model of triangle ABD on the back of the astrolabe with A at the center. He then measures the length of BD with a compass.

(19-4) We have not found this problem in the other works of Bīrūnī, nor anywhere else in the medieval Islamic literature.

(20-1)

(20-1-1) To determine the diameter of the earth, Bīrūnī describes two methods, of which he attributes the first to Sind/Sanad ibn ‘Alī (9th c. A.D.). This method is explained incompletely in the text, most likely because of scribal errors, so we have reconstructed the text to make mathematical sense. Bīrūnī explained the same method correctly in his *Coordinates*,¹ *Masudic Canon*² and *Ikhrāj* (69-

¹ Bīrūnī, *Coordinates*, pp. 218-220 (Arabic), pp. 183-185 (English), Kennedy, 1973, pp. 137-143.

² Bīrūnī, *Masudic Canon*, vol. 2, pp. 528-531.

2).¹ He first measures the height (h) of the mountain on the top of which the observer measures the depression of the sun (α) at sunrise or sunset (Figure 2-1). He computes the radius of the earth as $r = \frac{h \cdot \text{Cos } \alpha}{R - \text{Cos } \alpha}$ with $R = 60$ and Cos the medieval *Cosine*; the versed sine of α is $R - \text{Cos}(\alpha)$. For a translation of the *Ikhrāj* (69-2) see part 3-2 of the thesis. There Bīrūnī mentions that he has no practical experience with the method, and that the method was mentioned by Abū al-‘Abbās al-Nayrīzī² on the authority of an unidentified ancient author Aristolos. This Aristolos said that the highest mountains in the world were $5\frac{1}{2}$ miles where the mile is defined in such a way that the radius of the earth is 3200 miles. Bīrūnī adds that in that case the angle of depression was approximately 3 degrees. The above formula produces the depression $\alpha \approx 3;20^\circ$.

(20-1-2, 20-1-3) The two cited works, [*observing*] *the sunset from the lighthouse of Alexandria* and [*treatise*] *on the determination of the size of the earth by means of the depression of the horizon on summits*, are not extant, but Bīrūnī also mentions their titles in the list of his own works. They are not mentioned in the *Coordinates* so they may have been written at a later date.³

(20-1-4) Bīrūnī’s explanations regarding the “strange land” North-West of Khwārizm and Jurjān may be compared to a report by Ḥamawī (Arab biographer and geographer of Greek origin, 1179-1229 A.D.). According to this report, Bīrūnī had a conversation with an unknown person from “the extreme limits of [the area of] the Turks” who visited the court of Sultan Maḥmūd of Ghazni. The unknown person told Bīrūnī that in the direction of the northern⁴ pole, he saw the sun rotates above the earth, so that there was no night.⁵ This conversation was about the arctic summer, and Bīrūnī’s statement that “the sun left there” may concern the arctic winter. The polar summer and winter are also discussed in the *Coordinates*,⁶ and there Bīrūnī also mentions an abortive attempt to measure the length of one degree on the earth in an area east of the Caspian sea.⁷

(20-1-5) The second method is based on the measurement of the distance which corresponds to one degree of geographical latitude on the earth. The same

¹ In the *India*, pp. 229-230 (Arabic), vol. 1 (English tr.), pp. 274-275 there are also errors, see: *India*, vol. 2 (English commentary), p. 333.

² See: Sezgin, *GAS*, vol. 5, pp. 283-285.

³ Boilot, pp. 234-235, no. 24, 25.

⁴ Ḥamawī, vol. 5, p. 2332: southern!

⁵ Ḥamawī, 1993, vol. 5, p. 2332; See also: Minorsky, p. 235.

⁶ Bīrūnī, *Coordinates*, pp. 145-146 (Arabic), pp. 109-110 (English), Kennedy, 1973, pp. 82.

⁷ Bīrūnī, *Coordinates*, p. 215 (Arabic), p. 180 (English).

method is explained in the *Ikhṛāj* (69-1) and in several other medieval Islamic sources.¹

(20-1-6) Bīrūnī mentions Eratosthenes² (ca. 276 B.C. –195 B.C.) as an example of an “ancient” astronomer who measured the distance between two cities on the same meridian by the second method.³ As Bīrūnī mentions, Galen referred to Eratosthenes for his measurement of the circumference of the earth (252000 stades) in his *Introduction to Logic*.⁴ That Bīrūnī considers Greek astronomers and mathematicians as “ancients” is also shown by his reference in (*Taṭrīq*, 0-0-2) to Abyūn/Ibūn the Patriarch’s book *On the Use of the Planispheric Astrolabe* as the only book by the “ancients” that was available to the Muslims on the use of the astrolabe.

(20-1-7) Bīrūnī’s explanations of the second method for the determination of the size of the earth are consistent with what he wrote in the *Introduction to Astrology* on this subject.⁵ He mentioned the measurement of the distance between Raqqa and Tadmur (Palmyra) in his *Coordinates* as well, but remarked that the two cities are not on the same meridian, and that the report of this measurement was untrustworthy because of corruptions in the manuscripts.⁶ A report by Ibn Yūnus⁷ (d. 1009 A.D.) is also of interest in this connection. According to Ibn Yūnus, two groups of astronomers, one including Sind/Sanad ibn ‘Alī and Khālīd ibn ‘Abd al-Malik,⁸ and the other including ‘Alī ibn ‘Isā⁹ and ‘Alī ibn al-Buḥturī,¹⁰ measured the distance of one degree of latitude in the time of caliph al-Ma‘mūn (786–833 A.D.). Ibn Yūnus mentioned Raqqa (written as *wāma* in the unique manuscript) and Tadmur as the cities between which this measurement was made, but it is not clear from his text whether both groups or only one of them measured the distance between these two cities.¹¹

¹ Nallino, pp. 281-287; see also Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, pp. 160-164 (Persian), pp. 116-120 (English).

² For biographical information on Eratosthenes and his works, see: *DSB*, vol. 4, pp. 388-393.

³ For Eratosthenes’s method for the measurement of the size of the earth: Evans, pp. 63-65.

⁴ Galen, XII:2, p. 43. Galen’s work was translated into Arabic by Ḥubaysh in the 9th c. A.D. (Ibn al-Nadīm, vol. 2, part 1, p. 280).

⁵ Bīrūnī, *Introduction to Astrology*, pp. 160-164 (Persian), pp. 118-119 (Arabic - English).

⁶ Bīrūnī, *Coordinates*, p. 211 (Arabic), p. 177 (English).

⁷ For biographical information on Ibn Yūnus and his works, see: Sezgin, *GAS*, vol. 6, pp. 228-231.

⁸ For biographical information on Khālīd ibn ‘Abd al-Malik, see: Sezgin, *GAS*, vol. 6, p. 139.

⁹ For biographical information on ‘Alī ibn ‘Isā and his works, see: Sezgin, *GAS*, vol. 6, p. 143-145.

¹⁰ Bīrūnī used the appellation “geometrician” (*massāḥ*) for ‘Alī ibn Buḥturī in his *Introduction to Astrology* (p. 161 (Persian), p. 119 (Arabic-English)). No biographical information about him is available.

¹¹ Ibn Yūnus, p. 81.

For the determination of the circumference of the earth, Bīrūnī takes $\pi = \frac{22}{7}$. According to Bīrūnī's explanations, one degree of geographical latitude corresponds to $56\frac{2}{3}$ Arabic miles. Assuming that one Arabic mile is 1973.2 meter,¹ one degree of latitude is approximately equal to 111821 meter, which is a very good result.² Bīrūnī uses *farsakh* as unit for the measurement of distances. Each *farsakh* is three Arabic miles,³ or approximately 5.9196 km.

The information on the value of $56\frac{2}{3}$ differs from the reports in the *Coordinates*.⁴ There Bīrūnī says that Ḥabash found 56 miles and al-Farghānī and others found $56\frac{2}{3}$, but he does not explain the difference and does not give the story that $56\frac{2}{3}$ was found as the average of $56\frac{1}{3}$ and 57.

(20-2)

(20-2-1) In localities on the Arctic Circle (latitude $66;25^\circ$ according to medieval Islamic astronomers), the pole of the ecliptic passes through the zenith once a day. At that time the ecliptic coincides with the local horizon, and the vernal equinox is on the eastern horizon. Thus the astrolabe plate for this latitude can be used to visualize the ecliptical coordinates of astrolabe stars: when the pole of the ecliptic coincides with the zenith, the two coordinate systems (horizon-altitude and ecliptic longitude-latitude) coincide (see: 5-3). The astrolabe should be set in such a way that the “beginning of Aries” is on the left side of the East-West line. According to medieval Islamic astronomy, the precession changed the position of the vernal equinox and the ecliptic longitudes of the fixed stars every year a little bit, but the ecliptic latitudes were unchanged. After a century or so, the difference became noticeable, so the ecliptic longitudes of the stars had to be corrected by adding one degree for every interval of ca. 70 years. The updated star positions could be easily found on the astrolabe plate for latitude $66;25^\circ$, and one could try to bend the corresponding astrolabe pointers of the spider towards the new star positions. Bīrūnī also explains the procedure in the *Astrolabe Construction*.⁵

¹ Nallino, p. 288.

² Mercier, pp. 182-184; for the modern values of the [equatorial] circumference of the earth (40075 km) and its radius (from 6357 to 6378 km), see: Moore, p. 98.

³ For the definition of *farsakh*, various types of cubits and spans, see: Ḥamawī, 1977, vol. 1, p. 36.

⁴ Bīrūnī, *Coordinates*, p. 214 (Arabic), p. 179 (English).

⁵ Bīrūnī, *Astrolabe Construction*, pp. 60-61.

3. Ikhrāj

3-1: Translation of the Titles of All Chapters of the *Ikhrāj*

- 1- The conventions of the astrolabe
- 2- Taking the altitude
- 3- Taking the depression
- 4- The determination of the degree of the sun on the ecliptic
- 5- The determination of the taken (i.e., observed) altitude on the almucantars
- 6- The determination of the ascendant from the altitude
- 7- The determination of the ascendant from the depression
- 8- The determination of the day arc of any [ecliptical] degree and of any star you want
- 9- The determination of the equal (i.e., equinoctial) hours [included] in days and nights
- 10- The determination of parts (i.e., time-degrees) of [seasonal] day and night hours for each [ecliptical] degree, which is [equal to] the [arc of] revolution of the universe in every seasonal hour in that day or night
- 11- The determination of part of the day or night which has elapsed in terms of the equal (i.e., equinoctial) hours
- 12- The determination of the part of the day or night which has passed in terms of seasonal hours
- 13- The conversion of the two types of hours to one another
- 14- The determination of the part of the day which has passed from the day in terms of [one of] the two types of hours [engraved] on the back of the astrolabe
- 15- The determination of the part of the day which has passed in terms of seasonal hour by means of the alidade of the astrolabe
- 16- The equalization (i.e., computation) of the twelve houses
- 17- The determination of the declination of the (i.e., any) [ecliptical] degree of the sun and of the declination of the fixed stars and of their distances from the zenith at their meridian transit
- 18- The determination of the meridian altitude of any star or of any [ecliptical] degree we want

- 19- The determination of the altitude of the sun for the beginning of each hour of the two types [of hours] on every day
- 20- The determination of the latitude of the plate [of the astrolabe]
- 21- The determination of the latitude of the locality
- 22- The determination of the latitude of the locality by means of the permanently visible (i.e., circumpolar) stars
- 23- The determination of the right ascensions of [whole zodiacal] signs and their oblique ascensions and descensions
- 24- The determination of the conversion of the degrees of ascensions to equal (i.e., ecliptical) degrees
- 25- The determination of the [ecliptical] degree of the sun by observation
- 26- The determination of the [ecliptical] degree of the sun from the day arc
- 27- The determination of the ascendant from the hours [of day or night that have passed]
- 28- The determination of the ascendant in the middle of the inhabited [world] (i.e., longitude 90, latitude the same as your latitude) from the ascendant in your locality
- 29- Determination of the transfer of the years of birth and the world-years
- 30- The determination of the [ecliptical] degree of the rising of the star and its setting and of its meridian transit
- 31- The determination whether the rising of any star we want, its setting or its meridian transit happens during daytime or night
- 32- The determination of the latitude of the northern localities in which the pole of the ecliptic rises [and sets], and the localities in which [the pole of the ecliptic] touches the horizon, and [the localities] in which [the pole of the ecliptic] is permanently visible
- 33- The determination of the [geographical] longitudes of localities
- 34- The determination of the azimuth of (i.e., from) the altitude of the sun and the star
- 35- The determination of the azimuth of the qibla or of the azimuth of any locality we want
- 36- The determination of the rising amplitude of any [ecliptical] degree and of any star we want
- 37- The determination of the meridian line
- 38- The determination of the meridian line from the azimuth

- 39- Finding the ascendant from the azimuth
- 40- The determination of the [ecliptical] degrees of the fixed stars and their [ecliptical] latitudes
- 41- The determination of the [distance] between the two stars
- 42- The determination of the projection of rays according to the method attributed to Ptolemy by means of the plate [especially] constructed for this thing
- 43- The determination of the projection of the ray based on this method on the plate of the almucantars, when there is no special plate for the projection of rays on the astrolabe
- 44- Determination of the projection of rays by the corrected method, by means of this [special] plate
- 45- The determination of the progression of the *haylājs* (prorogators) towards the supposed destructive [points] and assumed positions by means of the special plate for the projection of the ray
- 46- The determination of the progression of the *haylājs* (prorogators) by means of the plate of the almucantars when there is no plate for the projection of rays on the astrolabe
- 47- The determination whether the shadow which is used on the scale of the astrolabe is in digits or feet
- 48- The determination of the conversion of the three [types] of the shadows to one another
- 49- The determination of the altitude and shadow from one another
- 50- The determination of the ladder shadow
- 51- The determination of prayer times
- 52- The determination of the beginning of dawn and the end of dusk
- 53- The determination of the direct (i.e., normal) sine
- 54- The determination of the arc of the direct (i.e., the normal) sine
- 55- The determination of the versed sine
- 56- The determination of the arc of the versed sine
- 57- The determination of the direct sine by means of an alidade without sine lines
- 58- The determination of the arc of the direct sine by means of the alidade
- 59- The determination of the versed sine by means of the alidade
- 60- The determination of the arc of the versed sine by means of the alidade

- 61- The determination of the ascendant from the altitude by means of the plate of horizons
- 62- The determination of the height of a minaret or a wall or a mountain or anything else such that the foot of its perpendicular, that is the place where a stone falls, can be reached
- 63- The determination of [the distance] between you and the base of a mountain or a wall or a minaret from the perpendicular (i.e., the height) if it is known, and the foot of the perpendicular cannot be reached
- 64- The determination of the heights of mountains and other [objects] and [of the distances] to the feet of their perpendiculars if neither of them can be measured [separately]
- 65- The determination of the width of rivers if there are no hills between their banks and surfaces, and the determination of [the distance] between you and an object which is placed on the flat surface of the earth, when it (i.e., the object) cannot be reached
- 66- The determination of the [distance] between the two objects in two different directions on the surface [of the earth], [when] the two [objects] cannot be reached
- 67- The determination of [the distance] between two objects of which one is on the surface of the earth and the other is above it
- 68- The determination of the depth of pits and wells
- 69- The determination of the magnitude of the circumference of the earth

3-2: Translation of Selected Chapters of the *Ikhṛāj*

[Also translated into German by Eilhard Wiedemann (see: Wiedemann, 1920, p. 131-132); some other sections in Wiedemann, 1908, pp. 66-69; he also translated (69-1) and section (3) on the depression but we don't need these.]

This is the book on bringing what is in the potentiality of the astrolabe to actuality.

(0-1) The excellent master and teacher Abū al-Rayḥān Muḥammad ibn Aḥmad Bīrūnī said: The astrolabe is the noblest of the instruments which are used in the art of astronomy, and it is characterized among them because it takes little effort to transport and to use it, and we quickly determine [by it] what we want to know about the situation of the sphere of the fixed [stars] - either in one way or in different ways depending on place and time. And [it is also distinguished among the other instruments] by the wonderful knowledge involved in its construction, by which one gets to know the projection of the sphere.

(0-2) Most astronomers have written on the subject, and they have explained how to work with it. But some have failed to describe all that can be done with it, and others have made the description of its procedures too long, by repeating the same things or by mentioning converse procedures even if they are evident [from the procedures themselves]. Or they have added computations which have only little in common with it, and some have confused with the procedures [of the astrolabe] what does not belong to the subject and is far removed from its purpose, for simplification and facilitation.

(0-3) When one lover of science was confronted with this, and found it difficult to correct them [the procedures] and put them in the [right] order, he asked me to collect for him the aims of the astrolabe in one book, so he could dispense with [studying] all that had been done (i.e., written) on this subject in such a way that the purpose is not attained. So I have done this and fulfilled my duty to the contemporary [astronomers], by improving the procedures of the previous [astronomers] and by correcting their knowledge [on the subject] and putting it in the correct order. God is the Provider of all that is good and the Discloser of all that is harmful.

(29) Determination of the transfer of the years of birth and the world-years

Put the degree of the ascendant of birth on the eastern horizon and make a mark on the [position of] the pointer [on the rim]. Then turn the spider in the direct way, for every year: if the principle is by the Zijes of the Sindhind, ninety-three degrees, and by the *Qānūn* eighty-nine degrees, and by the Zijes of the New Observation, eighty-seven degrees, until you do this as many times as the number of complete solar years which preceded that desired transfer. Then look at what corresponds to the eastern horizon: that is the degree of the ascendant of that year. And similarly if the ascendant is some known year of the known (?) world-years: put its degree on the eastern horizon and do as we have said, then you will obtain on the eastern horizon the degree of the ascendant of that desired year.¹

(42) Determination of the projection of rays according to the method attributed to Ptolemy by means of the plate [especially] constructed for this thing

(42-1) Preliminaries for the construction of the projection of rays: It is established that the aspects, that is, the places of the rays, are of four types: the first of them are the sextile, with argument 60 degrees, the second are the quartile, with argument ninety degrees, the third are the trine, with argument 120 degrees, and the fourth is the opposite, with argument 180 degrees. But it is no trouble for us to determine the opposite rays because it is in the degree diametrically opposite to the planet. (42-2) The other three aspects are of two types: those from the degree of the planet towards the direction of the zodiacal signs are called the left rays, and those towards the direction contrary to the signs are called the right rays. (42-3) Since this has been established, and if one needs to determine the projection of the ray of an assumed planet at a known time, then put the spider on the [special] plate for the projection of the rays, put the ascendant on the eastern horizon, and make on the rim on the position of the pointer the “mark of the radix”. Then look at which of the circles engraved on the plate the degree of the planet is located, and mark on it [the circle] on the plate, and call it “the equating circle”, regardless whether it is one of the group [bundle] of circles [engraved] on it or the horizon itself or the meridian. Then count from the mark of the radix on the rim directly (i.e., clockwise) the amount of the sextile, then you end at the point of the sextile, and make a mark on it. Then count from the mark of the radix also the amount of the quartile, then you end at the mark of the quartile, and count from the mark of the radix directly the amount of the trine, then you end at the

¹ Compare *Taṭrīq* (16-5) and commentary.

mark of the trine. Then put the pointer on each of these marks and look where the “equating circle” intersects the ecliptic, that is the place where this left ray falls. If you have obtained the left rays and if you want the right rays, then follow the same procedure and do not change anything, except that you count the amounts of the rays, for you count them reversely (i.e., counter-clockwise), not directly. Then the equating circle will show you the place where the right rays hit the ecliptic, when you have put the pointer at their marks.²

(44) Determination of the projection of rays in the corrected way, by means of this plate

(44-1) Since there is in the procedure attributed to Ptolemy an evident defect, and a deviation from the [correct] place, some modern [astronomers] removed this [defect] from it, to return it to its [correct] place. I have seen a treatise by Muḥammad ibn Yaḥyā al-Ṭabarī on that computation. By this plate [for the projection of rays], the above-mentioned [incorrect] procedure [attributed to Ptolemy] is found in a number of treatises called “on the use of the astrolabe”, the oldest of which is by ‘Alī ibn ‘Isā the astrolabist. God knows best who was the first to correct that procedure [by this plate] and to invent the method for it.

(44-2) If someone wants it, let him put the degree of the ascendant at the eastern horizon on that plate. Then he should look: if the planet is in one of the equinoctial points, I mean the beginning of the signs Aries and Libra, then he should put the side of the edged alidade on the degree of the planet for which the projection of rays is desired, and then count from the location of its pointer on the rim the amounts of the rays, in the direct (i.e., clockwise) direction for the left rays and in the reversed (i.e., counterclockwise) direction for the right rays. Then he should put the pointer of that alidade on the endpoints [on the rim], and then its side crosses the ecliptic at the [points of the] projections of rays.

If the planet is not in these two places, let him put the side of the alidade on the degree and make on the position of the pointer on the rim a mark. Then put the side also on the intersection of orbit of Aries (i.e., the celestial equator) and the equating circle through the planet, and let him put on the position of the pointer of it on the rim a second point, and this [is called] the “radix”. Then he takes one-third of the [distance] between the two points [on the rim], and this [is called] “the equation”.

² Compare *Taṭrīq* (16-6) and commentary.

(44-3) Then if the planet is in the ascending half and in the northern signs, whose orbits are inside the orbit of Aries, or if it is in the descending half and in the southern signs, then let him add the equation to the amounts of the sextile and the trine rays so they become corrected. Then let him count from the radix in the direct (i.e., clockwise) direction each of the corrected amounts, and let him put the pointer of the alidade on the two endpoints, then the side of the alidade cuts the zodiac in the projection of the left ray. For the right [rays], let him subtract the equation from the two amounts and count from the radix both [corrected] amounts in the reverse direction, and let him put the pointer of the alidade on the two endpoints. Then the point of intersection of the side [of the alidade] and the ecliptic is the projection of that right ray.

(44-4) And if it (i.e., the planet) is in the ascending half and also in the southern signs, or in the descending half and in the northern signs, he subtracted the equation from the two amounts of the sextile and the trine rays for the left rays, and he added them for the right rays, and proceeded as before step by step, and thus he obtained the desired result.

For the quartile ray, nothing is added to or subtracted from its amount [90] in all situations and places, but the whole of it is counted from the radix, in the direct or reversed [direction]. And the procedure in this case is according to what was explained in the other cases.³

((69) The determination of the magnitude of the circumference of the earth)

...

(69-2) For the determination of that (i.e., the circumference of the earth) is a method which exists in the imagination and can be proved, but its practical application is difficult by means of the astrolabe, because the instruments are small and the magnitude of the thing which is measured by it is tiny. It is as follows. You climb a mountain which is high above sea or a smooth plane, and you observe the setting of the sun, then you find the depression which we have mentioned. Then you determine the altitude of the mountain, and you multiply that by the direct sine of the complement of the depression which you have found.

³ Here Bīrūnī presents a method for projection of rays which is called “Standard Houses Method” in J. Casulleras and J.P. Hogendijk, pp. 33-102, see especially Chapter 4.7, p. 74. J. Samsó showed that this method was also used in the *Zīj al-Ṣafā’ih* of Abū Ja‘far al-Khāzin (early 10th century), see J. Samsó, pp. 538-612, especially pp. 597-601.

You divide the product by the versed sine of that depression itself. Then you multiply the quotient always by 22 and you divide the product by 7, and the result is the magnitude of the circumference of the earth in the unit of measurement by which you have measured the altitude of the mountain.

But we have no experience with that depression and its magnitude in high places. We were attracted to mention that method what Abū al-‘Abbās al-Nayrīzī reported on the authority of Aristolos that the maximum heights of the mountains are five and a half miles in the unit of measurement by which the radius of the earth is 3200 miles approximately. The computation shows, by the above-mentioned principle that the depression on mountains whose heights are that magnitude is three degrees by approximation. But in such things one takes recourse to the [practical] experience, and one depends on the [practical] testing.⁴

⁴ Compare *Taṭrīq* (20-1-1) to (20-1-3).

4. Bibliography

- W. Ahlwardt, *Verzeichniss der arabischen Handschriften*, Band 5, Berlin 1893=*Die Handschriften Verzeichnisse der königlichen Bibliothek zu Berlin* vol. 17;
- Apollonius: *Apollonius of Perga, Treatise on Conic Sections*, edited in modern notation with introduction including an essay on the earlier history of the subject by T. L. Heath, Cambridge 1896;
- Aristotle:
Meteorology and Physics in: *The Complete Works of Aristotle*, The Revised Oxford Translation, edited by Jonathan Barnes, Princeton 1984;
- al-Battānī: *Zīj*, in: Al-Battānī sive Albatenii, *Opus Astronomicum. Ad fidem codicis escurialensis arabice editum*, vol.3, ed. by Carlo Alfonso Nallino. Milan, 1899-1907;
- J. L. Berggren: “Al-Bīrūnī on Plane Maps of the Sphere”, *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 6, pp. 47-81, Aleppo 1982;
- Beyhaqī: *Tārīkh (History)*, Edited by Ali-Akbar Fayyaz, Ferdowsi University of Mashhad, 2004;
- Bīrūnī, *Chronology*:
Arabic edition in: *Chronologie Orientalischer Völker von Alberuni*, Herausgeben von Dr. C. Eduard Sachau, Leipzig 1878;
English translation: *The Chronology of Ancient Nations*, an English version of the Arabic text of the Athār-ul-Bākiya of Albīrūnī or “Vestiges of the Past”, translated and edited, with notes and index, by Dr. C. Edward Sachau, London 1879;
- Bīrūnī, *Coordinates*:
Arabic edition: *K. Taḥdīd Nahāyāt al-Amākin li-Taṣḥīḥ Masāfāt al-Masākin*, edited by P. Bulgakov and Imam Ibrahim Ahmad, Cairo 1962; reprinted in *Islamic Geography*, vol. 25, Institute for History of Arabic-Islamic Science, Frankfurt am Main 1992
English translation: Jamal Ali, *The Determination of the Coordinates of Positions for the Correction of Distances between Cities*, Beirut 1967; reprinted in *Islamic Geography*, vol. 26, Institute for History of Arabic-Islamic Science, Frankfurt am Main 1992;
- Bīrūnī, *Pearls*:

Arabic edition with English translation in: Ahmad Dallal, “Bīrūnī’s Book of Pearls Concerning the Projection of Spheres”, *Zeitschrift für Geschichte der arabisch-islamischen Wissenschaften*, vol. 4, pp. 81-138, Frankfurt am Main 1987-88;

- Bīrūnī, *Ghurra*:

Arabic edition with English translation by M. F. Quraishi, Lahore 1978;

- Bīrūnī , *India*:

Arabic edition: Al-Biruni, Abu Rayhan Muhammad B. Ahmad, d. 440 A.H./1048 A.D., *Kitāb fī Tahqīq-ī-Mā li’l-Hind or Al-Bīrūnī’s India, An account of the Religion, Philosophy, Literature, Geography, Chronology, Astronomy, Customs, Laws and Astrology of India, about 1030 A.D.*, Revised by the Bureau from the oldest extant Ms. In the Bibliotheque Nationale, Paris, [Schefer 6080], Under the auspices of the Ministry of Education, Government of India, Published by The Dāiratu’l-Ma‘ārifī’l-Osmania (Osmania Oriental Publications Bureau), Osmania University Hyderabad 1958;

English translation and Commentary: *Alberuni’s India, An account of the Religion, Philosophy, Literature, Geography, Chronology, Astronomy, Customs, Laws and Astrology of India, about A.D. 1030*, An English edition, with notes and indexes by Dr. Edward C. Sachau, London 1888, two vols;

- Bīrūnī, *Astrolabe Construction*:

Manuscript: Majlis Library, Tehran, MS 1926;

Arabic edition: *Istī‘āb al-Wujūh al-Mumkina fī Ṣan‘at al-Uṣṭurlāb*, edited by Muhammad Akbar Jawadi Husayni, Mashhad 2001;

- Bīrūnī, *Keys*:

Arabic edition and French translation in: *Kitāb Maqālīd ‘Ilm al-Hay’a, La Trigonométrie sphérique chez les Arabes de l’Est à la fin du X^e siècle*, Édition et Traduction par Marie-Thérèse Debarnot, Damas 1985;

- Bīrūnī, *Masudic Canon*:

Al-Qānūnu’l-Mas‘ūdī (Canon Masudicus), Osmania Oriental Publication Bureau, Hyderabad 1373-1375 A.H./1954-1956 A.D., 3 vols;

- Bīrūnī, *Mineralogy*:

Arabic edition: *Kitāb al-Jamāhir fī Ma‘rifat al-Jawāhir*, Osmania Oriental Publication Bureau, Hyderabad 1355 A. H./1936 A.D.;

- Bīrūnī, *Pharmacology*:

- Arabic edition in: *Kitab al-Saydana fi'l-Tibb*, Edited by Abbas Zaryab, Iran University Press, Tehran 2001;
- Bīrūnī, *Shadows*:

Arabic edition: *Rasā'il al-Bīrūnī*, containing four tracks, Osmania Oriental Publications Bureau, Hyderabad 1367 A.H./ 1948 A.D.;

English translation and Commentary: E.S. Kennedy, *The Exhaustive Treatise on Shadows by Abu al-Rayḥān Muḥammad b. Aḥmad al-Bīrūnī*, Institute for the History of Arabic Science, University of Aleppo, Aleppo 1976, 2 vols;
 - Bīrūnī, *Introduction to Astrology*:

Arabic text with English Translation: Facsimile edition of the Arabic manuscript London, British Library Or. 8349 in: R. Ramsay Wright, *The Book of Instruction in the Elements of the Art of Astrology by al-Biruni*, London 1934, reprinted Islamic Mathematics and Astronomy, vol. 29, Frankfurt am Main 1998;

Persian version: Edited by Jalal al-Din Homa'i, Tehran 1362 A.H. solar;
 - Bīrūnī, *Transits*:

Arabic text in: *Rasā'il al-Bīrūnī*, containing four tracks, Osmania Oriental Publications Bureau, Hyderabad 1367 A.H./ 1948 A.D.;

English translation and commentary in: *Al-Bīrūnī on Transits, A Study of an Arabic Treatise Entitled تمهيد المستقر لتحقيق معنى الممر* by *Abū al-Rayḥān Muḥammad ibn Aḥmad Bīrūnī (d. 1048)*, Translated by Mohammad Saffouri & Adnan Ifram with a commentary by E. S. Kennedy, Beirut 1959;
 - D. J. Boilot: L'oeuvre d'al-Beruni, Essai bibliographique. *Mélanges de l'Institut Dominicain d'Études Orientales du Caire*, vol. 2, pp. 161-256, 1955; reprinted in Islamic Mathematics and Astronomy, vol.36, Edited by Fuat Sezgin, Frankfurt am Main 1998;
 - A. Bouché-Leclercq, *L'Astrologie Grecque*, Paris 1899;
 - S. Brentjes: *Teaching and Learning the Sciences in Islamicate Societies*, Turnhout 2018;
 - Būzjānī: *Almagest*, Edited by Ali Moussa, Beirut 2010;
 - J. Casulleras and J. P. Hogendijk: "Progressions, Rays and Houses in Medieval Islamic Astrology: A Mathematical Classification", *Suhayl: International Journal for the History of the Exact and Natural Sciences in Islamic Civilization*, vol. 11, pp. 33-102, Barcelona 2012;
 - E. Calvo, "La lámina universal der 'Ali b. Jalaf (s. XI) en la versión alfonsi y su evolucion en instrumentos posteriores", pp. 221-231 in: *Ochava Espera y Astrofisica*, Barcelona 1990;

- CCA = Gibbs, S. L., Henderson, J.A., De Solla Price, D.J, *A Computerized Checklist of Astrolabes*, New Haven, Yale University 1973;
- F. Charette: *Mathematical Instrumentation in Fourteenth-Century Egypt and Syria: The Illustrated Treatise of Najm Al-Dīn Al-Miṣrī*, Brill: Leiden, Boston 2003;
- M. –L. Davidian, “Al-Bīrūnī on the Time of Day from Shadow Lengths”, *Journal of the American Oriental Society*, vol.80, pp. 330-335, 1960;
- M. De Slane: *Catalogue des Manuscrits Arabes*, Paris 1883-1895;
- D. J. De Solla Price: “Contra-Copernicus: A Critical Re-estimation of the Mathematical Planetary Theory of Ptolemy, Copernicus and Kepler”, pp. 197-218 in: M. Clagett (ed.), *Critical Problems in the History of Science*, Madison 1969;
- F. Debeauvais and P. –A. Befort: *Cueillir les Étoiles, Autour des Astrolabes de Strasbourg*, Strasbourg 2002;
- M. Derayati, *Fehrestvārey-e Dastneveshtehāy-e Iran (DENA) (The Catalogue of the Manuscripts of Iran)*, Tehran 1389 A.H. solar;
- M. Derayati: *Fehrestgān-e Noskhehā-ye Khaṭṭī-ye Iran (FANKHA) (The Catalogue of the Manuscripts of Iran)*, Tehran 1394 A.H. solar;
- R. d’Hollander: *L’astrolabe: Histoire, théorie et pratique*, Paris 1999;
- *DSB: Dictionary of Scientific Biography*, Editor in chief: Charles Coulston Gillispie, New York 1970-1980, 16 vols.;
- *EP²: The Encyclopaedia of Islam*, second edition, Brill, Leiden 1979, 13 vols.;
- Euclid: “The Optics of Euclid”, Translated by Harry Edwin Burton, *Journal of the Optical Society of America*, vol. 35, no. 5, Washington D.C. May 1945;
- J. Evans: *The History and Practice of Ancient Astronomy*, New York-Oxford 1998;
- Farghānī: *Kitāb al-Kāmil* in: *Al-Farghānī on the Astrolabe*, Arabic text edited with translation and commentary by Richard Lorch, Franz Steiner Verlag, Stuttgart 2005;
- J. Frank, 1920: “Zur Geschichte des Astrolabs”, Habilitationsschrift (Auszug), Erlangen 1920; reprinted in *Islamic Astronomy and Mathematics*, vol. 35, edited by Fuat Sezgin, Frankfurt am Main 1998;
- J. Frank, 1922: “Die Verwendung des Astrolabes nach al-Chwarizmi”, *Abhandlungen zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Medizin*, vol. 3, 1922, pp. 1-32; reprinted in: *Islamic Mathematics and Astronomy*, vol. 4, edited by Fuat Sezgin, Frankfurt am Main 1990-91;

- J. Garel-Grislin: *Les Manuscrits Arabes et Persans du Cardinal Mazarin Conservés à la Bibliothèque Nationale de France*, University of Lyon, 2013;
- G. Vajda: *Notices des Manuscrits Arabe 2400 à 2759*, Bibliothèque Nationale de France, Paris, Gallica MS. Arabe 7299-3;
- Galen: *Galen's Institutio Logica*, English translation, introduction and commentary by John Spangler Kieffer, Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland 1964;
- H. R. Giahī Yazdī: “Ibn Yūnus’ Report on Early Islamic Observations for Determining the Rate of Precession of Equinoxes”, *Suhayl: International Journal for the History of the Exact and Natural Sciences in Islamic Civilization*, vol. 15, pp. 101-112, Barcelona 2016-17;
- R. C. Gupta: “Āryabhata” in: *Encyclopaedia of the History of Science, Technology and Medicine in Non-Western Cultures*, Editor: Helaine Selin, pp. 244-245, Berlin 2008;
- Ḥabash al-Ḥāsib: *Kitāb ‘Amal al-Uṣṭurlāb al-Mubattakh Mimmā Waḍa‘a-hū Abū Ja‘far Aḥmad ibn ‘Abdallāh (Book of the Construction of the Melon-Shaped Astrolabe, as set down by Abū Ja‘far Aḥmad ibn ‘Abdallāh)*, in: *The Melon-Shaped Astrolabe in Arabic Astronomy*, Texts edited with translation and commentary by E. S. Kennedy, P. Kunitzsch and R. P. Lorch, Franz Steiner Verlag Stuttgart 1999;
- Ḥamawī: *Mu‘jam al-Uḍabā’ Irshād al-Arīb ilā Ma‘rifat al-Adīb (Literary Encyclopedia, Expert Guide to Literature)*, Edited by Ihsan Abbas, Beirut 1993;
- W. Hartner: “The Principle and Use of the Astrolabe”, pp. 288-311 in: W. Hartner, *Oriens-Occidens*, Hildesheim 1968;
- D. Hill: “Al-Bīrūnī’s Mechanical Calendar”, *Annals of Science*, vol. 42, pp. 139-163, 1985;
- W. Hinz, *Measures and Weights in the Islamic World*, translated by Ismail Marcinkowski, Kuala Lumpur 2003;
- J.P. Hogendijk, 2002, “Two Editions of Ibn al-Haytham’s Completion of the Conics”, *Historia Mathematica*, vol. 29, pp. 247-265, 2002;
- J.P. Hogendijk, 2015: “Al-Bīrūnī on the Computation of Primary Progression (Tasyīr)”, pp. 279-307; in: *From Māshā’allāh to Kepler. Theory and Practice in Medieval and Renaissance Astrology*, Edited by Charles Burnett and Dorian Gieseler Greenbaum, Sophia Centre Press, Bristol 2015,
- Ibn al-Nadīm: *The Fihrist of al-Nadīm (al-Nadīm’s Catalogue)*, A critical edition by Ayman Fu’ād Sayyid, Al-Furqan Islamic Heritage Foundation, London 2009;
- Ibn Qudāma: *al-Mughnī (The Enricher)*, edited by Abdullah ibn Abd al-Muhsin al-Turki and Abd al-Fattah Muhammad al-Haluw, Riyadh 1417 A.H./1997 A.D.;

- Ibn Yūnus: *al-Zīj al-Kabīr*, Leiden MS Or- 143;
- Ibrāhīm ibn Sinān: “*Fī al-Uṣṭurlāb*” (*On the Astrolabe*) in: *The Works of Ibrahim ibn Sinan with Two more Tracts* (no. 7), Edited by A. S. Saidan, Kuwait 1983;
- E. S. Kennedy, 1973: *A Commentary upon Bīrūnī’s Kitāb Taḥdīd al-Amākin*, an 11th Century Treatise on Mathematical Geography, American University of Beirut, 1973;
- E. S. Kennedy, 1976: *The Exhaustive Treatise on Shadows by Abu al-Rayḥān Muḥammad b. Aḥmad al-Bīrūnī*, Translation and Commentary by Edward S. Kennedy, Institute for the History of Arabic Science, University of Aleppo, Aleppo 1976, 2 vols;
- E. S. Kennedy, 1996: “The Astrological Houses as Defined by Medieval Islamic Astronomers”, pp. 535-478; in: J. Casulleras, J. Samsó, ed., *From Baghdad to Barcelona*, Barcelona 1996;
- E. S. Kennedy and M. Destombes: “Introduction to Kitāb al-‘Amal bi’l-Aṣṭurlāb, English introduction to the Arabic text of al-Ṣūfī’s astrolabe treatise, Hyderabad 1966; reprinted in: E.S. Kennedy, colleagues and former students, *Studies in the Islamic Exact Sciences*, edited, pp. 405-447, Beirut 1983;
- E. S. Kennedy, P. Kunitzsch, R. P. Lorch: *The Melon-Shaped Astrolabe in Arabic Astronomy*, Texts edited with translation and commentary by E. S. Kennedy, P. Kunitzsch and R. P. Lorch, Franz Steiner Verlag Stuttgart 1999;
- D. A. King, 1981: “On the Origin of the Astrolabe According to the Medieval Islamic Sources”, *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 5, no. 1, 2, pp.43-83, Institute for the History of Arabic Science, Aleppo 1981;
- D. A. King, 1986: *A Survey of the Scientific Manuscripts in the Egyptian National Library*, published for the American Research Center in Egypt (Catalogs, vol. 5) by Eisenbrauns, Winona Lake, Indiana 1986;
- D. A. King, 2004-5: *In Synchrony with the Heavens, Studies in Astronomical Timekeeping and Instrumentation in Medieval Islamic Civilization*, Brill, Leiden-Boston 2004-5: two volumes;
- D. A. King, 2008: “An Instrument of Mass Calculation Made by Naṣṭūlus in Baghdad ca. 900”, *Suḥayl: International Journal for the History of the Exact and Natural Sciences in Islamic Civilization*, vol. 8, Barcelona 2008;
- P. Kunitzsch, *Arabische Sternnamen in Europa*, Wiesbaden 1959;
- P. Kunitzsch and R. P. Lorch: *Maslama’s Notes on Ptolemy’s Planispherium and Related Texts*, München 1994;
- Kūshyār ibn Labbān, 1948: *Fī al-Ab‘ād wa al-Ajrām (On Sizes and Distances)*, in: *al-Rasā‘il al-Mutaḥarrriqa fī al-Hay‘a li al-Mutaqaddimīn wa Mu‘āṣirī al-Bīrūnī*,

containing eleven important treatises on astronomy and other subjects contributed by famous predecessors and contemporaries of al-Bīrūnī (9th, 10th, 11th A.D.), no. 11, Hyderabad 1948;

- Kūshyār ibn Labbān, 2014: *Kitāb al-Uṣṭurlāb (Book on the Astrolabe)* in: *Risālah-yi Uṣṭurlāb-i Kūshyār Gīlānī*; Old Persian Translation (edited by Mohammad Bagheri), Arabic text (edited by Taro Mimura), Japanese translation by Taro Mimura, Persian introduction by Mohammad Bagheri, Tehran 2014;
- R. P. Lorch, 1987: “Al-Ṣāghānī’s Treatise on Projecting the Sphere”, *From deferent to Equant, A Volume of Studies in the History of Science in the ancient and Medieval Near East in Honor of E. S. Kennedy*, pp. 237-252, New York 1987;
- R. P. Lorch, 2000: “Some Early Applications of the Sine Quadrant”, *Suḥayl: International Journal for the History of the Exact and Natural Sciences in Islamic Civilization*, vol. 1, Barcelona 2000;
- R. Mercier: “Geodesy”, in: *The History of Cartography*, vol. 2, Book 1, Chapter 8, pp. 175-188, The University of Chicago press, 1992;
- H. Michel: *Traité de l’Astrolabe*, Paris 1947;
- V. Minorsky: “On Some of Bīrūnī’s Informants”, pp. 233-236; in: *Al-Bīrūnī Commemoration Volume*, A.H. 362 – A.H. 1362, Calcutta 1951;
- P. Moore: *The Data Book of Astronomy*, Institute of physics publishing, Bristol and Philadelphia 2000;
- J. E. Morrison: *The Astrolabe*, Rehoboth Beach, DE, USA 2006;
- C. A. Nallino: *‘Ilm al-Falak, Ta’rīkhuhu ‘inda al-‘Arab fī al-Qurūn al-Wuṣṭā*, Beirut 1993;
- O. Neugebauer, 1949: “The Early History of the Astrolabe”, *Studies in Ancient Astronomy IX, Isis*, vol. 40, no. 3, pp. 240-256, The University of Chicago, 1949;
- O. Neugebauer, 1969: *The Exact Sciences in Antiquity*, New York 1969;
- O. Neugebauer, 1975: *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1975;
- P.V. Neugebauer, *Stern tafeln von 4000 vor Chr. bis zur Gegenwart nebst Hilfsmitteln zur Berechnung von Sternpositionen*, Leipzig 1912;
- J. North, 1974: “The Astrolabe”, *Scientific American*, vol. 230, no. 1, pp. 96-107, USA 1974;
- J. North, 1986: *Horoscopes and History*, London 1986;
- Nuwayrī: *Nihāyat al-Arab fī Funūn al-Adab (The Ultimate Ambition in the Arts of Erudition)*, edited by Mufid Qamiha, Beirut 2004;
- O. Pedersen: *A Survey of the Almagest*, Odense 1974;

- A. Mellot: *Catalogus Codicum Manuscriptorum Bibliothecæ Regiæ, Tomus Primus*, Paris 1739;
- E. Penchèvre: *La Nihāya al-ṣūl fī taṣḥīḥ al-’uṣūl d’Ibn al-Šāṭir*, Édition, traduction et commentaire of the Nihāyat al-Ṣul published on [arxiv.org](https://arxiv.org/abs/1709.04965v1), arXiv:1709.04965v1 2017;
- S. Pines: “La théorie de la rotation de la Terre à l'époque d'al-Bīrūnī”, *Journal Asiatique*, vol. 244, pp. 301-330, 1956;
- K. Plofker, *Mathematics in India*, Princeton, 2008;
- Ptolemaeus: *Tetrabiblos*, Ed. and Trans. F. E Robbins, Cambridge-London 1980;
- R. Puig: *Ibn al-Naqqāsh al-Zarqalluh, Al-Shakkāzīyya*, ed. and tr. Roser Puig, Barcelona 1986;
- Qabīṣī: *Al-Qabīṣī (Alcabitius) The Introduction to Astrology, Editions of the Arabic and Latin texts and an English translation*, Charles Burnet, Keiji Yamamoto, Michio Yano, The Warburg Institute, London 2004;
- Qalqashandī: *Ṣubḥ al-A’shā fī Ṣinā’at al-Inshā (Dawn of the Night-Blind in Composition’s Work)*, Cairo 1383 A.H./1963 A.D.;
- Qiftī: Ibn al-Qiftī’s *Ta’rīkh al-Ḥukamā’ (History of Learned Men)*, auf Grund der Vorarbeiten Aug. Müller’s, herausgegeben von Prof. Dr. Julius Lippert, Leipzig 1908;
- R. Rashed, 2006: *Les Mathématiques infinitesimales du IXe au XIe siècle*, vol. 5, Al-Furqan, Islamic Heritage Foundation, London 2006;
- R. Rashed, 2009: *Apollonius de Perge, Coniques*. Texte grec et arabe établi, traduit et commenté. Ed. by Rashed, Roshdi, Walter de Gruyter, Berlin-New York 2009;
- H. Roemer: “Research on al-Bīrūnī in Germany”, pp. 95-102 in P.J. Chelkowski (ed.), *The Scholar and the Saint: Studies in Commemoration of Abu’l-Rayhan al-Biruni and Jalal al-Din al-Rumi*, New York 1975;
- B. A. Rosenfeld & E. Ihsanoğlu: *Mathematicians, Astronomers, and Other Scholars of Islamic Civilization and Their Works (7th-19th c.)*, Istanbul, Research Centre for Islamic History, Art and Culture (IRCICA) 2003;
- E. Sachau: *Chronologie orientalischer Voelker von Alberuni*, Leipzig 1878;
- Ṣāghhānī: *Kayfiya Taṣṭīḥ al-Kura (Properties of the Projection of a Sphere on to a Plane)*, in: *al-Rasā’il al-Mutafarriqa fī al-Hay’a* (no. 7), Osmania Oriental Publications Bureau, Hyderabad-Deccan 1948;
- Ṣā’id: *Al-Ta’rīf bi Ṭabaqāt al-Umam (Exposition of the Generations of Nations)*, Edited by Louis Cheikho, Beirut 1912;

- J. Samsó: “«Al-Bīrūnī» in al-Andalus”, pp. 583-612 in: J. Casulleras, J. Samsó, ed., *From Baghdad to Barcelona*, Barcelona 1996; reprinted in: Samsó, *Astronomy and Astrology in al-Andalus and the Maghrib*, Ashgate-Variorum, 6, Aldershot 2007;
- S. R. Sarma: *A Descriptive Catalogue of Indian Astronomical Instruments*, Dusseldorf 2019, available at www.srsarma.in
- G. Sarton, *Introduction to the History of Science*, Vol. 1 From Homer to Omar Khayyam, Baltimore 1927;
- P.G. Schmidl: “Dusk and Dawn in Medieval Islam: on the Importance of Twilight Phenomena with Some Examples of Their Representations in Texts and on Instruments”, *The Inspiration of Astronomical Phenomena: Proceedings of the fourth conference on the Inspiration of Astronomical Phenomena*, Magdalen College, Oxford, England, 3-9 August 2003, special issue of *Culture and Cosmos*, Vol. 8, no. 1 and 2, 2004, pp. 393-412;
- C. Schoy and Drecker: “‘Alī ibn ‘Isā, Das Astrolab und sein Gebrauch”, *Isis*, vol. 9, 1927;
- L. –A. Sedillot: *Memoire sur les instruments astronomiques des Arabes*, Paris 1841, reprint ed. F. Sezgin, Frankfurt 1989
- F. Sezgin, *GAS: Geschichte des arabischen Schrifttums*
GAS, vol. 5: Band V: Mathematik bis ca. 430 Hijra. Leiden 1974;
GAS, vol. 6: Band VI: Astronomie bis ca. 430 Hijra. Leiden 1978;
- Shahmardān Rāzī: *Rawḍat al-Munajjimīn (Garden of Astrologers)*, Miras-e Maktoob and Majlis Library, Tehran, 1382 A.H. solar;
- Shīrāzī: *Ikhtiyārāt Muzaḥḥarī (Selections by Muzaḥḥar al-Dīn)*, National Library of Iran (*Ketābkhāne-ye Mellī-e Iran*), Tehran, MS no. 11954;
- N. Sidoli and J. L. Berggren: “The Arabic version of Ptolemy’s Planisphere or Flattening the Surface of the Sphere: Text, Translation, Commentary”, *SCIAMVS*, vol. 8, pp. 37-139, Tokyo 2007;
- Sijzī: *Kitāb fī ‘Amal al-Uṣṭurlāb (Book on the Use of the Astrolabe)*, Ahmad III Library, Topkapı, Istanbul, MS no. 3342;
- W. M. Smart: *Textbook on Spherical Astronomy*, revised by R. M. Green, Cambridge 1986 (reprinted edition);
- J. Steele, *A Brief Introduction to Astronomy in the Middle East*, London 2008;
- al-Šūfī, 1954: Abu’l-Ḥusayn ‘Abdu’r-Raḥmān Aṣ-Šūfī, d. 376 A.H./986 A.D. *Suwaru’l-Kawākib or (Uranometry)* (Description of the 48 constellations) Arabic Text with the ‘Urjūza of Ibnuṣ-Šūfī, Edited from the oldest MSS. And based on the Ulugh Beg Royal Codex, (Bibliothèque Nationale, Paris, Arabe 5036) with

Introduction, plates, diagrams, etc. Published by the Dāiratu'l-Ma'ārifi'l-Osmania (Osmania Oriental Publications Bureau), Hyderabad-Deccan 1373 A.H./1954 A.D.;

- al-Şūfī, 1962: *Kitāb al 'Amal bil Asturlāb* by Abdur Rahman b.Umar As-Sufi [d. 376A.H./986 A.D.], Edited from the unique MS. [No. 2493] of Bibliotheque Nationale, Paris, Under the Dr. M. 'Abdul Mu'id Khān, director, Dai'ratu Ma'arifil-Osmania, Printed Under the auspices of the Ministry of Scientific Research and Cultural Affairs, Government of India, first edition published by the Dāiratu'l-Ma'ārifi'l-Osmania (Osmania Oriental Publications Bureau), Osmania University Hyderabad 1381 A.H./1962 A.D.;
- al-Şūfī, 1986: *Kitābān fī l-'amal bi-l- Asturlāb (Two books on the Use of the Astrolabe)*, Facsimile edition, ed. F. Sezgin. Frankfurt, Institute for the History of Arabic-Islamic Science, 1986. Facsimile series no. C. 23.
- Ṭabarī: *Shish Faṣl (Six Chapters)*, Edited by Muhammad-Amin Riyahi, Tehran 1992;
- G. J. Toomer, 1965: “Notes on Bīrūnī on Transits”, *Orientalia*, vol. 34, pp. 45-72, Roma 1965;
- G. J. Toomer, 1998: *Ptolemy's Almagest*, Translated and annotated by G. J. Toomer, Princeton 1998;
- Ṭūsī: *Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī's Memoir on Astronomy (al-Tadhkira fī 'ilm al-hay'a)*, Volume I: Introduction, Edition, and Translation by F. J. Ragep, Springer, New York 1993;
- Ulugh Beg: *Zīj*, in: *Prolégomènes des tables astronomiques d'Oloug-Beg*, introduction et commentaire, L. P. E. A. Sédillot, Paris 1853;
- G. van Brummelen: *The Mathematics of the Heavens and the Earth, The Early History of Trigonometry*, Princeton and Oxford 2009;
- B. van Dalen: “A Second Manuscript of the *Mumtaḥan Zīj*”, *Suhayl: International Journal for the History of the Exact and Natural Sciences in Islamic Civilization*, vol. 4, pp. 9-44, Barcelona 2004;
- F. Vafea, 2006: *The Treatise of al-Şūfī on the Astrolabe*, unpublished PhD Thesis of Flora Vafea, Supervisor: Dr. Régis Morelon, Paris 2006;
- F. Vafea, 2017: “Al-Bīrūnī: The Plate of the Eclipses”, *Suhayl: International Journal for the History of the Exact and Natural Sciences in Islamic Civilization*, vol. 15, pp. 297-354, Barcelona 2017;
- E. Wiedemann, 1908: “Bestimmungen des Erdumfanges von al-Beruni”, *Archiv für die Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik*, vol. 1, Leipzig, 1908, pp. 66-69, reprinted in *Islamic Mathematics and Astronomy*, vol. 34;

- E. Wiedemann, 1913: “Ein Instrument, das die Bewegung von Sonne und Mond darstellt, nach al Biruni”, *Der Islam*, vol. 4, pp. 5-13, Strassburg 1913; reprinted in *Islamic Mathematics and Astronomy*, vol. 34, edited by Fuat Sezgin, Frankfurt am Main 1998;
- E. Wiedemann, 1920: “Einleitungen zu arabischen astronomischen Werken”, *Das Weltall*, vol. 20, Berlin-Treptow, 1920, pp. 131-132, reprinted in *Islamic Mathematics and Astronomy*, vol. 34, ed. F. Sezgin, Frankfurt 1998;
- E. Wiedemann and J. Frank: “Allgemeine Betrachtungen von al Biruni in einem Werk über die Astrolabien, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften LXI”, *Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Sozietät in Erlangen* 52-53, pp. 97-121, Erlangen 1920-21;
- M. Yano and M. Viladrich, “Tasyir Computation in Kūshyār ibn Labbān”, *Historia Scientiarum*, vol. 41, pp. 1-16, Tokyo 1991;
- Ya‘qūbī: *Ta’rīkh al-Ya‘qūbī (al-Ya‘qūbī’s History)*, Edited by ‘Abd al-Amīr Mahanna, Beirut 2010.

Samenvatting in het Nederlands

Abū Rayḥān Muḥammad ibn Aḥmad al-Bīrūnī werd in 973 A.D. geboren in een buitenwijk van de stad Kāth, nu Khiva in het huidige Uzbekistan. Hij was één van de beste wiskundigen en astronomen van de islamitische traditie, en bovendien geïnteresseerd in de Arabische taal en literatuur alsmede de geschiedenis van verschillende culturen. Al-Bīrūnī bracht het eerste deel van zijn leven door in zijn geboorteland Khwārizm, het geïrrigeerde gebied ten zuiden van het Aralmeer, en later ook aan de hoven van diverse vorsten in het noorden van Iran. In 1017 A.D. werd hij door Sultan Maḥmūd van Ghazni gedwongen meegenomen naar Afghanistan, waar hij de rest van zijn leven heeft gewerkt. Vanuit Ghazni heeft hij diverse reizen naar India gemaakt. Al-Bīrūnī is in de moderne tijd vooral bekend geworden door zijn standaardwerk over *Chronologie* en zijn beschrijving van de wetenschap, cultuur en religie van India.

Al-Bīrūnī heeft ongeveer 120 werken van wisselende lengte geschreven over een breed scala van onderwerpen, de meeste over exacte wetenschappen. Zoals alle geleerden uit zijn tijd schreef hij voornamelijk in het Arabisch, hoewel zijn moedertaal een Indo-Europese taal was die verwant was aan het Perzisch. Het lezen van de werken van Al-Bīrūnī kan een uitdaging zijn omdat hij vaak een veel rijker en ingewikkelder Arabisch hanteerde dan de meeste andere wiskundigen en astronomen uit de islamitische traditie. Van zijn ca. 120 werken zijn er 26 bewaard gebleven in middeleeuwse Arabische handschriften. 24 van deze 26 werken zijn door moderne onderzoekers gepubliceerd en/of vertaald. Deze dissertatie heeft als doel de resterende twee werken te publiceren. De werken zijn allebei handleidingen voor het gebruik van het astrolabium.

Het astrolabium is een draagbaar instrument met een diameter van ca. 15-25 centimeter dat meestal van brons gemaakt is. In zijn eenvoudigste vorm bestaat het uit vier metalen delen: spin, plaat, as en alidade. De spin is een opengewerkt rond stuk metaal met daarop een kaart van de hemel met de dierenriem en heldere sterren. De plaat is een schijf waarop de horizon is gegraveerd met het oosten, noorden en westen, en verder het zenit (het punt recht boven je hoofd) en een netwerk van cirkels rond en door het zenit om hoogten boven de horizon en richtingen aan te geven. De spin kan over de plaat draaien om een as die de noordpool aan de hemel weergeeft. Hiermee kunnen allerlei verschijnselen aan de hemel, zoals het opgaan en ondergaan van de zon en sterren, worden nagebootst. De hoek waarover

de spin draait kan in een tijdsinterval worden omgezet, omdat een volledige draaiing overeenkomt met 24 uur. Op de achterkant van het astrolabium bevindt zich de alidade, wat een lineaal met twee loodrechte vizieren is. Door de alidade om dezelfde as te draaien kan de hoogte van de zon of ster boven de horizon worden gemeten. Het astrolabium kan ook worden gebruikt om onder andere de (lokale zonne)tijd te meten en de richting van het noorden te bepalen. Astrolabia werden in de middeleeuwen veel gebruikt door astronomen, maar ze hadden ook een grote artistieke waarde en werden daardoor ook verzamelobjecten voor vorsten en rijke mensen.

De twee ongepubliceerde werken van Al-Bīrūnī zijn de volgende.

Het *Boek om datgene wat in de potentie van het astrolabium ligt in de actualiteit te brengen* (Arabisch: Kitāb Ikhrādzj Mā fī Quwwat al-Uṣṭurlāb ilā al-Fi‘l) is een gebruiksaanwijzing voor het standaardastrolabium in 69 hoofdstukjes. Het is vermoedelijk een vroeg werk van al-Bīrūnī, waarschijnlijk voor 1017 A.D. geschreven toen hij nog in zijn geboorteland of in Noord-Iran verbleef. Er zijn ca. 13 middeleeuws Arabische handschriften van het werk bewaard gebleven, waarvan ik er 10 heb kunnen bestuderen. De handschriften zijn niet door al-Bīrūnī zelf geschreven maar pas eeuwen later, door schrijvers die het onderwerp niet goed begrepen. Door vergelijking van de 10 handschriften bleek dat twee handschriften (in Berlijn en in Diyarbakır, Turkije) de minste schrijffouten bevatten. Deze twee heb ik gebruikt om de Arabische tekst van al-Bīrūnī te reconstrueren. Deze dissertatie bevat de gereconstrueerde Arabische tekst, en de Engelse vertalingen van de titels van de 69 hoofdstukjes en van enkele hoofdstukjes. Omdat het boek een standaardgebruiksaanwijzing is van het astrolabium, heb ik niet alle hoofdstukjes vertaald.

In de *Verhandeling over het openen van de weg tot het gebruiken van de verschillende typen van astrolabia* (Arabisch: Maqāla fī al-Taṭrīq bi-Isti‘māl Funūn al-Uṣṭurlābāt) legt al-Bīrūnī niet alleen het gebruik van het standaardastrolabium uit, maar ook van diverse varianten van het astrolabium die in de islamitische traditie waren ontwikkeld. Het werk is taalkundig en ook wat betreft de inhoud van een veel hoger niveau dan het *Boek om datgene wat in de potentie van het astrolabium ligt in de actualiteit te brengen*. Het probleem met deze *Verhandeling* is dat deze maar in één slecht leesbaar Arabisch handschrift bewaard is, en vermoedelijk in de 16e eeuw is geschreven door iemand die niets van het onderwerp begreep. In het handschrift zijn 10 plekken opengelaten waar in het origineel figuren stonden. In deze dissertatie heb ik de Arabische tekst van de *Verhandeling over het openen van de weg*

tot het gebruiken van de verschillende typen van astrolabia gereconstrueerd, en de hele tekst in het Engels vertaald en van commentaar voorzien. In het commentaar heb ik geprobeerd onbegrijpelijke gedeelten van de tekst uit te leggen met moderne wiskundige notatie.

De dissertatie begint met een inleiding over Oud-Griekse en middeleeuwse islamitische sterrenkunde en over het standaardastrolabium en de varianten daarvan. Ook worden de inhoud en historische context van de beide werken en het auteurschap van al-Bīrūnī besproken.

A Word of Thanks

I would like to express my sincere gratitude to my promotor Prof. Dr. Jan P. Hogendijk for suggesting the subject of this thesis and also for his patience and encouragement. Sharing his immense knowledge, he helped me in using German and French sources and in improving the English of the thesis. I would not have been able to finish this project without his scientific and spiritual support.

I am grateful to Dr. Flora Vafea for providing me with a scan of the manuscript Fonds Arabe no. 2498, preserved in the National Library of France (Bibliothèque nationale de France) in Paris, before it became available online. I also wish to thank Mr. Hüseyin Şen who provided me with a scan of the manuscript I1 Halk Kütüphanesi, no. A 2213, preserved in Diyarbakir, Turkey, which was essential for preparing the critical edition of the *Ikhrāj*.

My sincere thanks goes to Mr. Wilfred de Graaf (Utrecht University) for drawing the very difficult astrolabe diagrams which are used in the text, and also for his useful comments. I am grateful to Dr. Mohammad-Reza Najj (Encyclopaedia Islamica Foundation, Tehran) who supported me with his expert knowledge of Arabic language. I am also grateful to Mr. Hassan Taromi (Scientific Vice Director of the Encycloaedia Islamica Foundation, Tehran) and to Dr. Hamid-Reza Giahi Yazdi (Head of the History of Science Dept. of the Encyclopaedia Islamica Foundation, Tehran) for their full and friendly cooperation. In addition, I would like to expand my gratitude to Dr. Viktor Blåsjö (Utrecht University), Dr. Mohammad Bagheri (Tehran) and Dr. Fabian Ziltener (Utrecht University) for their valuable comments. I thank Dr. Silke Ackermann (Oxford History of Science Museum) for permission to publish the photograph of the astrolabe no. 50853 on the cover of the dissertation.

I am deeply grateful to the anonymous donor who has financially supported my four stays in the Netherlands through the Utrecht University Fund. This support has been essential for my PhD project. I also thank the staff of the Department of Mathematics of the University of Utrecht for their help in organizing my stays in the Netherlands.

Finally I must express my profound gratitude to my parents and to my brothers for supporting me spiritually in the process of writing this thesis.

Curriculum Vitae

Pouyan Rezvani was born in Arak, Iran, on June 27, 1986. He received his BSc degree in Physics from Arak University in 2009, and his MA degree in the History of Astronomy in Islamic Civilization from the Institute for the History of Science, Tehran University, Iran, in 2011. In 2013 he joined the Department of the History of Science at the Encyclopaedia Islamica Foundation in Tehran as an academic member. He started his PhD project at Utrecht University in 2015 under the supervision of Prof. Dr. Jan P. Hogendijk. He also received a three-month fellowship in the project “PAL” (Ptolemaeus Arabus et Latinus) hosted by the Bayerische Akademie der Wissenschaften, in Munich, Germany, to transcribe part of a ninth-century Arabic version of Ptolemy’s *Almagest*. His current research interests include the history of astronomy and astronomical instruments and editing the relevant Arabic and Persian sources. He is currently working as a post-doctoral researcher at the Ptolemaeus Arabus et Latinus project in Munich.

حصل الفراغ من الرُّبْع عصر الثلاثاء من أيام شهر ذي القعدة لسنة ٧٢٦ هجرية بالحضرة المقدسة الشريفة العلوية الغروية، على مشرفها صاحب الآيات الباهرة والأنوار الزاهرة صلوات متتالية وتحيات غير متناهية. العبد المذنب الجاني، الحسين المرتضى الحسيني السمباني، بَلَّغَهُ اللهُ غَايَةَ الأَمَانِي من اشتغال ذهنه على المعقولات الأولى والثواني. قوِيلَ.

بعد^١ أن تكون^٢ على خط نصف النهار لا غيره^٣ وامسح^٤ ما تسيره بالأذرع حتى تقطع^٥ قدر عشرين فرسخاً أو أكثر. ثم اعرف^٦ عرض الموضع الذي انتهيت إليه أيضاً وألق^٧ منه عرض الموضع الأول واقسم عليه ما بين الموضعين من الفراسخ، فما خرج فاضربه في ثلاثمائة^٨ وستين فما اجتمع فهو ما يحيط به^٩ الأرض من الفراسخ. (٢-٦٩) وفي معرفة ذلك طريق قائم في الوهم صحيح^{١٠} بالبرهان، والوصول إلى عمله صعب |ب ٤٣ ظ| بالأسطرلاب^{١١} لصغر الآلات^{١٢} وقلة مقدار الشيء الذي^{١٣} يُبنى عليه فيه وهو أن تصعد^{١٤} جبلاً مشرفاً على بحر أو برية ملساء وترصد غروب الشمس فتجد فيه ما ذكرناه من الانحطاط^{١٥} كي تعرف مقدار عمود ذلك الجبل وتضربه في الجيب المستوي لتمام الانحطاط الموجود وتقسم^{١٦} المجتمع على الجيب المعكوس^{١٧} لذلك الانحطاط نفسه. ثم تضرب ما خرج من القسمة في اثنين وعشرين أبدأ وتقسم المجتمع^{١٨} على سبعة^{١٩} فيخرج مقدار إحاطة الأرض بالمقدار الذي به^{٢٠} قدرت عمود الجبل ولم يقع لنا بهذا الانحطاط وكهنته في المواقع^{٢١} العالية تجربة^{٢٢}. (٣-٦٩) وجزأنا على ذكر هذا الطريق ما حكاه أبو العباس النيريزي عن أرسطولس أن أطول^{٢٣} أعمدة الجبال خمسة أميال ونصف بالمقدار الذي به نصف قطر الأرض ثلاثة آلاف^{٢٤} ومائتاً ميل بالتقريب. فإن الحساب يقتضي هذه القضية المتقدمة^{٢٥} أن يوجد^{٢٦} الانحطاط في الجبل الذي عموده هذا القدر ثلث درجات بالتقريب وإلى التجربة يُلتجأ^{٢٧} في مثل هذه الأشياء وعلى الامتحان يُعَوَّل^{٢٨}. وباللّه التوفيق^{٢٩} وما التوفيق إلا من عند الله العزيز الحكيم.

١٦ تقسم: (ب) يقسم
 ١٧ المعكوس: (ب) المنكوس
 ١٨ تقسم المجتمع: (ب) يقسم المبلغ
 ١٩ سبعة: (ب) سعة
 ٢٠ (ده-ص) به
 ٢١ المواقع: (ب) المواضع
 ٢٢ تجربة: (ب) تحرية
 ٢٣ أطول: (ب) أطوال
 ٢٤ آلاف: (ب) الف
 ٢٥ يقتضي هذه القضية المتقدمة: (ب) يقضى لهذه المقدمة
 ٢٦ يوجد: (ب) مرجد
 ٢٧ يلتجأ: (ب) يلتجى
 ٢٨ يعول: (ب) فيها يعول
 ٢٩ (ب) - وباللّه التوفيق

١ بعد: (ب) وبعد
 ٢ تكون: (ب) يكون
 ٣ غيره: (د) غير
 ٤ وامسح: (ب) فامسح
 ٥ تقطع: (ب) يقطع
 ٦ اعرف: (ب) اعرض
 ٧ وألق: (ب) فألق
 ٨ ثلاثمائة: (ب) ثلاثة مائة
 ٩ (ده-ص) به
 ١٠ (ده-ص) في الوهم صحيح
 ١١ (ب) - بالأسطرلاب
 ١٢ الآلات: (ب) الآلاب
 ١٣ (د) ص الذي
 ١٤ تصعد: (ب) يصعد
 ١٥ كي: (ب) ثم

للمسامنة، فاستخرج بُعد ما بين الشيء الأسفل وبين^١ أصل عمود^٢ |ب ٤٢ ظ| الشيء^٣ الأعلى واضربه في مثله واضرب العمود في مثله واجمعها وخذ جذر المبلغ، فما كان فهو بُعد ما بينهما على ممر السهم في الهواء.

(٤٨) معرفة قعر الآبار والركايا: (١-٤٨) أما إذا كان حفر البئر أسطوانياً، أعني سعة أعلاها^٤ مثل سعة أسفلها، فضع على رأسها خشبة كالقطر لتدويره، ثم قم على شفير البئر عند أحد طرفي الخشبة وعلق الأسطرلاب وأدر العضادة حتى ترى بثقبها قعر البئر^٥ المقابل لك وعلم على الموضع الذي يمر عليه بصرك من الخشبة^٦. ثم اضرب مقدار قامتك في مقدار الخشبة المعترضة واقسم المبلغ على مقدار ما بين طرف الخشبة التي تليك^٧ إلى العلامة التي علمت عليها، فما خرج فانقص منه مقدار قامتك وما بقي فهو مقدار عمق البئر^٨. (٢-٤٨) وإذا كان الحفر مخروطياً، فأما إن يكون أعلاها أوسع من أسفلها أو أضيق، فإن كان أعلاها أضيق فينبغي لك^٩ أن تأخذ^{١٠} شيئاً صقيلاً ظاهراً لحس^{١١} العين وترسله من عند طرف الخشبة الأبعد من مقامك إرسالاً، يمر به إلى عمقها بطبعه وارجحانه إلى المركز. ثم تقوم عند الطرف الآخر وتدير العضادة حتى ترى بثقبها^{١٢} معاً ذلك |ب ٤٣ و| الشيء المرسل الواقع في العمق وتعلم على ممر البصر من الخشبة وتعمل العمل الأول. (٣-٤٨) وإذا كان الحفر مخروطياً، وكان أعلاه أوسع من أسفلها، فليكن إرسالك لذلك الشيء من عند نصف الخشبة، ثم اعمل سائر الأعمال على حسب^{١٣} ما تقدم حذو القذة بالقذة.

(٤٩) معرفة مقدار استدارة الأرض: (١-٤٩) اختر موضعاً ما في البراري السهلة والقيعان المستوية واعرف عرضه بما تقدم، ثم استخرج خط نصف النهار ويسر على استقامته وعلى استقبال كوكب الجدي وانصب في طريقك علامات وامتحنها حتى تكون^{١٤} على خط مستقيم بأن تنظر^{١٥} من كل علامة إلى ثالثها فتكون^{١٦} الثانية سائرة إياها عنك

١ (د) - وبين
٢ عمود: (ب) عموده
٣ الشيء: (د) والشيء
٤ أعلاها: (ب) أعلاها
٥ (ب) + البئر
٦ (د) - المقابل لك وعلم على الموضع الذي يمر عليه بصرك من الخشبة
٧ التي تليك: (ب) الذي يليك
٨ البئر: (ب) البئر
٩ (د) - لك
١٠ تأخذ: (ب) يأخذ
١١ لحس: (ب) لحسن
١٢ بثقبها: (د، ب) بثقبها
١٣ (د) - حسب
١٤ تكون: (ب) يكون
١٥ تنظر: (ب) ينظر
١٦ فتكون: (ب) فيكون

(٢) وإن اختلفت بعداهما عنك فضع النصف المجيب من العضادة على الخط الأفقي واقلب الأسطرلاب وأدره حتى ترى^١ به أيسر الشبيئين كما فعلت أولاً. ثم أدر النصف المجيب من العضادة على أجزاء الارتفاع حتى ترى أيمن الشبيئين^٢ بكلتي الثقبين وإذا^٣ رأيته فاترك العضادة على وضعها وعلم على موقع^٤ مرجحها. ثم اضرب أقل بعدهما في الجيب كله واقسم المبلغ على أعظم بعدهما، فما خرج فعد مثله^٥ من المري في نصف العضادة المجيب وعلم على المنتهى، فإن كان أيمن الشبيئين أقل بعداً من أيسرها فخط خطأ مستقيماً من المنتهى^٦ إلى نقطة المشرق. ثم افرج البركار بمقداره^٧ وضع إحدى رجليه على المركز والرجل الأخرى أين يبلغ^٨ من النصف المجيب، فاضربه في أعظم البعدين واقسم^٩ المجتمع على الجيب كله،^{١٠} فما خرج فهو بعد ما بين ذينك الشبيئين وإن كان أيسرها^{١١} أقل بعداً من أيمنها فأدر العضادة حتى تضع^{١٢} مرجحها على نقطة المشرق وعلم على موقع منتهى العدد في العضادة |ب ٤٢| و |من الخط الأفقي. ثم صل بين هذه العلامة والعلامة التي كنت علمتها على موقع مرجحها من أجزاء الارتفاع بخط مستقيم |د ٤٢| و |وافرج البركار بمقداره واعمل ما أرشدناك إليه^{١٣} أولاً، فيخرج بعد ما بين ذينك^{١٤} الشبيئين.

(٦٧) معرفة ما بين شبيئين أحدهما على بسيط الأرض والآخر يرتفع^{١٥} عنه: (١-٦٧) أما إذا كان الشيء المرتفع

مسامتماً للذي على بسيط العرض، وعلامة ذلك أن يمكنك إدراكهما على حرف الأسطرلاب دفعة واحدة إذا مَرَّ بصرك في سطح الأسطرلاب وهو معلق مخلى، فحينئذ فاستخرج بُعد ما بينك وبين أسفلهما^{١٦} كما تقدم في معرفة عروض الأودية^{١٧} واحفظه واحتسب بأعلاهما^{١٨} رأس جبل واستخرج ما بينك وبين أصل عموده فإن كان مساوياً للمحفوظ، فاستخرج عموده فما كان فهو ما بينهما، وإن اختلفا فاضرب فضل ما بينهما في مثله واضرب العمود في مثله واجمعها وخذ جذرها، فما كان فهو ما بينهما. (٢-٦٧) وإن لم يكن الشيء الأعلى منها مسامتماً للأسفل، وعلامته أن لا يوجد فيه الشريطة المذكورة

- | | |
|--|----------------------------|
| ١ ترى: (ب) يرى | ٩ واقسم: (ب) فاقسم |
| ٢ (به-ص) كما فعلت أولاً. ثم أدر النصف المجيب من العضادة على أجزاء الارتفاع حتى ترى من الشبيئين | ١٠ كله: (ب) كل |
| ٣ وإذا: (ب) فإذا | ١١ أيسرها: (ب) السرهما |
| ٤ موقع: (د) موضع | ١٢ تضع: (ب) يضع |
| ٥ مثله: (ب) مثل | ١٣ (به-ص) ما أخبرتكم إليه |
| ٦ (ب) — فإن كان أيمن الشبيئين أقل بعداً من أيسرها فخط خطأ مستقيماً من المنتهى | ١٤ ذينك: (ب) ذلك؛ (ب) ذينك |
| ٧ بمقداره: (د) بمقدار | ١٥ يرتفع: (ب) مرتفع |
| ٨ يبلغ: (ب) بلغ | ١٦ أسفلهما: (د) أسفلها |
| | ١٧ الأودية: (د) الأودية |
| | ١٨ بأعلاهما: (ب) بأعلامي |

الأول إن كان الظل أصابع أو في عدد أقدامه إن كان الظل^١ أقداماً، فما اجتمع فهو ما بين الموضع الأول وأصل عموده. (٦٤-٣) فإن أردت أن تعلم^٢ ما بينك وبين رأس ذلك الشيء على ممر السهم إليه في الهواء، فاضرب عموده في مثله واضرب ما بينك وبين أصله في مثله واجمعها وخذ جذر الجملة فما كان فهو المطلوب.

(٦٥) معرفة عروض^٣ الأودية التي لا يمكن أن يمدّ بين شفاها وسطوحها^٤ جبال ومعرفة ما بينك وبين شيء موضوع على بسيط أرض مستو^٥ إذا لم يمكن^٦ الوصول إليه: إذا أردت ذلك فقم في موضع أرفع من بسيط الأرض وعلق **اب ٤١** | الأسطرلاب مخلى وحرك العضادة حتى ترى شفير الوادي الآخر أو الشيء الموضوع على الأرض بالثقتين معاً أو بالأنبوبة. ثم اترك العضادة على وضعها المنحط من الخط الأفقي واستدر على نفسك حتى تواجه أرضاً مستوية وانظر بثقتي العضادة أو الأنبوبة،^٧ فما وقع عليه بصرك من بسيط الأرض فعلم عليه. ثم امسح ما بينك وبينه فما وجدت فهو مساوٍ لما بين شفير الوادي الآخر وبينك أو بينك وبين^٨ ذلك الشيء الموضوع الذي طلبت معرفة ما بينك وبينه.

(٦٦) معرفة ما بين شيئين على بسيط متباينين ممتنع الوصول إليهما: (٦٦-١) احتسب أنّ ما بينك وبين كل واحد من الشيئين^٩ أرض مجهولة أو واد واستخرج بُعد ما بينك وبين كل واحد منها واحفظه على حدة فإن يساوي^{١٠} البعدان فضع^{١١} مري العضادة على الخط الأفقي واقلب^{١٢} الأسطرلاب على وجهه وضعه على الأرض المستوية^{١٣} مستوياً موازياً للأفق وأدره بالكلية حتى تستقبل نقطة المشرق أيسر الشيئين وتراه^{١٤} بثقتي العضادة أو الأنبوبة وهي موضوعة على الخط الأفقي. ثم اترك الأسطرلاب على وضعه وأدر العضادة^{١٥} حتى ترى بثقتها أيمن الشيئين، **اب ٤١ ظ** | فما تحرك المري في أجزاء الارتفاع فنصفه وخذ جيبه المستوي واضعف ذلك الجيب واضربه في أحد بعدي الشيئين عنك واقسم المبلغ على الجيب كله فما خرج فهو بُعد^{١٦} ما بينهما بالمقدار الذي عرفت به بعد ما بينك وبين كل واحد منهما. (٦٦-٦٦)

١ (ب) - الظل
٢ (د) - أن تعلم
٣ عروض: (ب) العروض
٤ شفاها وسطوحها: (ب) شفايرها وشطوطها
٥ مستو: (ب) مستوية
٦ يمكن: (ب) يمكنك
٧ الأنبوبة: (ب) الأنبوية
٨ بين شفير الوادي الآخر وبينك أو بينك وبين: (ب) بينك وبين شفير الوادي الآخر و
٩ الشيئين: (ب) الشين
١٠ يساوي: (ب) تساوا
١١ فضع: (د) فتضع
١٢ اقلب: (د) اثبت
١٣ (ب) - المستوية
١٤ تراه: (د) ترى
١٥ (ب) أو الأنبوية وهي موضوعة على الخط الأفقي. ثم اترك
الأسطرلاب على وضعه وأدر العضادة
١٦ (دهص) بعد

على خط مستقيم؛ فإن كانت العلامة أقرب إليه منك فزد ما مسحت على العمود وإن كان أبعد^١ منك فانقص^٢ ما مسحت من العمود وما حصل فهو المطلوب. (٢-٦٣) وإن لم يمكن كون ارتفاع الشمس فيه إلى خمسة وأربعين جزءاً فعلم على موقع ظل رأس العمود أعني عمود ذلك الشيء من الأرض أي وقت كان والارتفاع على أي قدر كان فامسح^٣ ما بينك وبين العلامة وانصب في ذلك الوقت بعينه شخصاً مقسوماً بمقادير متساوية |ب ٤٠| واعرف ظله على سطح الأفق فما كان فاضربه في العمود المعلوم واقسم^٤ المجتمع على مقدار^٥ الشخص فما خرج فهو ظل العمود بالأقدار التي هو بها مقدر. فإن كنت أقرب إليه من رأس الظل فانقص من ظل العمود |د ٤١ ظ| ما مسحت وإن كان رأس الظل أقرب إليه فزده عليه، فما حصل فهو ما بينك وبين أصل عموده. (٣-٦٣) وإن اتفقت السماء متغيمية أو أردته والشمس غائبة، فالتصق بالأرض ما أمكنك ثم قس ارتفاع رأس ذلك الشيء واضرب عموده في جيب باقي ارتفاعه من تسعين واقسم المجتمع على جيب ارتفاعه، فما خرج فهو ما بينك وبين أصل عموده.

(٦٤) معرفة كل واحد من أعمدة الجبال وغيرها ومساقط أحجار رؤوسها من غير أن^٦ يمكن الوصول إلى مساحة

أحدها: (١-٦٤)^٧ |ب ٤٠ ظ| التصق بالأرض ما أمكنك في موضع معلوم من أرض مستوية الوجه وقس ارتفاع رأس ذلك الشيء ثم انظر إلى مربي العضادة الأسفل على كم وقع من أجزاء الظل وأدره^٨ حتى يزداد ذلك الظل إصبغاً واحداً إن كان أصابع أو قدماً واحداً^٩ إن كان أقداماً. ثم ابعده عن موضعك على خط مستقيم مسامت العمود^{١١} إلى أن تبلغ موضعاً إذا التصقت فيه بالأرض أمكن |ب ٤٠ ظ| النظر إلى رأسه بثبتي العضادة وهي على هذا الوضع، فإذا بلغته فامسح ما بينه وبين الموضع الأول فاحفظه^{١٢}. فإن أردت أن تعلم عمود ذلك الشيء فاضرب المحفوظ في اثني عشر إن كنت حرّكت العضادة إصبغاً واضربه^{١٣} في ستة ونصف إن حرّكتها قدماً، فما اجتمع فهو مقدار العمود بالقدر الذي به مسحت ما بين الموضعين. (٢-٦٤) وإن أردت ما بينك وبين^{١٤} أصل عموده فاضرب المحفوظ في عدد أصابع ظل الارتفاع الذي قستته في الموضع

^١ (د) شطب الكاتب كلمة «منه»؛ (ب) + منه.

^٢ انقص: (ب) انقص

^٣ فامسح: (ب) وامسح

^٤ واقسم: (ب) فاقسم

^٥ (ب) كنب الكاتب «المقدار» وشطب «ال».

^٦ (ده-ص) أن

^٧ أحدها: (ب) أحدها

^٨ وأدره: (ب) فأدره

^٩ (د) — واحداً

^{١٠} (به-ص) أصابع أو قدماً واحداً إن كان

^{١١} العمود: (ب) للعمود

^{١٢} فاحفظه: (ب) واحفظه

^{١٣} واضربه: (د) واضرب

^{١٤} بينك وبين: (ب) شكو من

(٦٢) معرفة طول عمود منارة أو جدار أو جبل أو غير ذلك إذا أمكن الوصول إلى أصل عموده أعني مسقط حجر

رأسه: (١-٦٢) إذا أردت ذلك فارصد ارتفاع الشمس حتى يصير خمسة وأربعين جزءاً، فإذا صار كذلك، فامسح ما بين طرف ظله وأصل عموده، فما كان فهو مساحة طول عموده. (٢-٦٢) فإن لم تكن^١ الشمس بحيث يبلغ ارتفاعها^٢ في ذلك اليوم هذا المقدار واستعجلت |ب ٣٩| ومعرفة، فانصب شخصاً مقسوماً بأجزاء متساوية معلومة نسبة مستوية واعرف ظله، ثم امسح من لدن طرف ظل الشيء المطلوب معرفته إلى أصل عموده، فما كان فاضربه في عدد^٣ أقسام^٤ الشخص المنصوب واقسم المبلغ على ظل الشخص، فما خرج فهو طول عمود ذلك الشيء بالأجزاء التي مسحت بها ظله. (٦٢-٣) فإن أردت معرفة ذلك مع غيبة الشمس بغيوم أو غير ذلك، فضع مري العضادة على خمسة وأربعين جزءاً ثم تقدم وتأخر وأنت تنظر من ثقبتي العضادة أو الأنبوبة الملتصقة بها لذلك^٥ حتى ترى رأس ذلك الشيء من غير أن تحرك العضادة عن وضعها على خمسة وأربعين. فإذا بلغت موضعاً يمكن ذلك فيه^٦ فامسح من قدمك إلى أصل عموده^٧ وزد على المبلغ مقدار قامتك، فيجتمع طول عمود الشخص. (٤-٦٢) فإن كان الموضع بحيث لا يمكن فيه من التقدم^٨ والتأخر مقدار ما يحتاج إليه، فالتصق بأصل^٩ ذلك الموضع ما أمكن وخذ ارتفاع رأس ذلك الشيء. ثم امسح ما بينك وبين أصل عمود ذلك الشيء واضربه في جيب ارتفاعه واقسم المبلغ على جيب باقي ارتفاعه من تسعين،^{١٠} فما خرج فهو طول عموده^{١١} بالمقدار الذي مسحت به ما بينك وبين مسقط حجره.

(٦٣) معرفة ما بينك وبين أصل عمود جبل أو جدار^{١٢} أو منارة من قبل عمود إذا كان معلوماً ولم يتوصل إلى

أصل عموده: (١-٦٣) أرصد ارتفاع الشمس حتى يصير خمسة وأربعين جزءاً، إن أمكن في ذلك اليوم، وعلم على موقع^{١٣} ظل رأس ذلك الشيء من الأرض فإن وافقت العلامة مقامك، فإن ما بينك وبين مسقط حجر العمود هو مثل العمود سواء، وإن تقدم^{١٤} مقامك أو تأخر، فامسح ما بينك وبين العلامة بعد أن يكون رأس^{١٥} الظل وموضعك وأصل العمود

^١ تكن: (ب) يكن

^٢ ارتفاعها: (ب) ارتفاعه

^٣ (ب) شطب الكاتب كلمة «أشخاص».

^٤ (به-ص) أقسام

^٥ (د) - الملتصقة بها لذلك

^٦ (ده-ص) فيه

^٧ عموده: (د) عمود

^٨ التقدم: (ب) تقدم

^٩ فالتصق بأصل: (ب) فالتصق بأرض

^{١٠} (ب) كنب الكاتب الرأس وشطب «ال».

^{١١} (ب) كنب الكاتب الرأس وشطب «ال».

^{١٢} (ب) كنب الكاتب الرأس وشطب «ال».

(٦٠) معرفة قوس الجيب المعكوس بالعضادة: (١-٦٠) إذا كان الجيب المعكوس^١ أقل من الجيب كله فاطبق

النصف^٢ الجيب على^٣ خط الانتصاب وعدّ فيه من لدن المري مثل ذلك الجيب و^٤علم على موقع المنتهى من الخط ثم أدر العضادة حتى ينطبق النصف المقوس على العلامة، فما كان بين ما وافقه^٥ من أجزائه [ب ٣٨] وبين المري فهو قوس ذلك الجيب المعكوس. (٢-٦٠) وإن كان أكثر من الجيب كله فآلق منه الجيب كله فما^٦ بقي فهو جيب مستو فخذ قوسه وزدها على تسعين جزءاً^٧، فتجتمع^٨ قوس ذلك الجيب المعكوس.

(٦١) معرفة الطالع من الارتفاع بالصفحة الأفقية: خذ الارتفاع أي وقت شدت واجعله جيئاً مستوياً واستخرج

ارتفاع نصف نهار يومك بأن تحصل ميل درجة الشمس من الميل المخطوط في هذه الصفحة، فتزيده على عرض بلدك إن كان جنوبياً وتنقصه^٩ منه إن كان شمالياً، ثم تسقط الحاصل من تسعين، فيبقى ارتفاع نصف النهار. وإن كان الميل شمالياً وكان أكثر من عرض البلد فآلق منه عرض البلد ثم أسقط ما بقي من تسعين فيبقى ارتفاع نصف النهار^{١٠} من جهة الشمال ثم خذ جيب ارتفاع نصف^{١١} النهار مستوياً واستخرج نصف قوس نهار يومك بأن تضع درجة الشمس على الأفق الموافق عرضه لعرض بلدك وتعلم على موقع^{١٢} المري من الحجرة. ثم تدير العنكبوت مستوياً حتى يوافي نظير درجة الشمس ذلك الأفق بعينه، فما تحرك المري فخذ نصفه فيكون نصف قوس النهار [ب ٣٨ ظ] فاستخرج جيئه معكوساً واضربه في جيب ارتفاع الوقت واقسم المبلغ على جيب ارتفاع نصف النهار فما خرج فآلقه من جيب نصف^{١٣} قوس النهار المعكوس وما بقي فهو جيب^{١٤} معكوس فخذ قوسه وآلقها من نصف قوس النهار إن كان الارتفاع الذي أخذته شرقياً وزدها عليه إن كان هذا^{١٥} الارتفاع غربياً، فما حصل فهو الدائر من الفلك منذ طلوع الشمس إلى وقت قياس الارتفاع. ثم ضع درجة الشمس على ذلك الأفق الموافق عدده لعرض بلدك وتعلم على موقع المري. ثم أدر العنكبوت مستوياً حتى يزول المري بقدر الدائر من الفلك. ثم انظر ما وافى ذلك الأفق من منطقة البروج فهو الطالع بدرجته.

^١ كتب الكاتب عبارة «إذا كان الجيب المعكوس» من جديد وشطبها.
^٢ النصف: (ب) بالنصف
^٣ (ب) - على
^٤ (ب) شطب الكاتب: «على على».
^٥ وافقه: (ب) بوافقه
^٦ فما: (ب) وما
^٧ جزءاً (ب) خبراً
^٨ فتجتمع: (ب) فيجتمع
^٩ تنقصه: (ب) بنقصه
^{١٠} (ده-ص) منه عرض البلد ثم اسقط ما بقي من تسعين فيبقى ارتفاع نصف النهار
^{١١} (ب) - نصف
^{١٢} (د) - موقع
^{١٣} (ده-ص) نصف
^{١٤} (ب) شطب الكاتب: «ارتفاع الوقت واقسم المبلغ على جميع».
^{١٥} هنا: (ب) هذه

فأطبق بالمنتهى |ب ٣٧| الخط الأفقي واذهب مع الخط الخارج منه فحيث بلغ بك^١ من أجزاء الارتفاع فمنه إلى أولها هو قوس ذلك الجيب المعكوس. وإن كان ذلك الجيب المعكوس أكثر من الجيب كله فأسقط منه الجيب كله،^٢ فما^٣ بقي فهو جيب مستو؛ فخذ قوسه وزد عليها تسعين درجة أبداً^٤ فتجتمع^٥ قوس ذلك الجيب المعكوس.

(٥٧) معرفة الجيب المستوي من العضادة دون خطوط الجيوب: إذا كان نصف العضادة مجيباً ونصفه مقوساً وأردت أن تأخذ^٦ بها جيب قوس مفروضة فطابق بالنصف^٧ المقوس خط الانتصاب وعدّ من المركز مثل تلك القوس المفروضة وعلم على المري أعني على موقع المنتهى من الخط. ثم أدر النصف المجيب وطابق به خط الانتصاب فما وافق العلامة من أجزاء^٨ الجيب فهو الجيب المستوي لتلك القوس.

(٥٨) معرفة قوس الجيب المستوي بالعضادة: إذا كان معك جيب مستو وأردت معرفة قوس ذلك الجيب^٩ بالعضادة، فطابق^{١٠} بالنصف المجيب خط الانتصاب ثم عدّ مثل ذلك الجيب من عند المركز وعلم على موقع المنتهى من الخط. ثم أدر العضادة حتى يطابق النصف المقوس |ب ٣٧ ظ| خط الانتصاب فما وافق العلامة من الأجزاء فهو^{١١} قوس ذلك الجيب المستوي.

(٥٩) معرفة الجيب المعكوس بالعضادة: (١-٥٩) إذا كانت القوس أقل من تسعين جزءاً وأردت جيبها المعكوس فأسقط تلك القوس من تسعين، فما^{١٢} بقي فعده مثله^{١٣} عند المركز في النصف المقوس بعد أن يطابق به خط الانتصاب. ثم علم على موضع^{١٤} المنتهى من الخط علامة وأدر العضادة حتى يطابق بالنصف المجيب عليه فما كان من أجزائه بين العلامة ومرمها فهو الجيب المعكوس لتلك القوس. (٢-٥٩) فإن^{١٥} كانت القوس أكثر من تسعين جزءاً فأسقط منها تسعين جزءاً^{١٦} وخذ لما بقي الجيب المستوي فزده على الجيب كله فما اجتمع فهو |د ٤١| الجيب المعكوس لتلك القوس المفروضة.

^٩ قوس ذلك الجيب: (ب) قوسه

^{١٠} فطابق: (ب) فيطابق

^{١١} فهو: (ب) فهي

^{١٢} فما: (ب) وما

^{١٣} مثله: (ب) مثل

^{١٤} موضع: (ب) موقع

^{١٥} فإن: (ب) وإن

^{١٦} (ب) - جزءاً

^١ بلغ بك: (د) بلغت

^٢ (ب) كتب الكاتب عبارة «فاسط منه الجيب كله» من جديد وشطبها.

^٣ فما: (ب) وما

^٤ (د) - أبداً

^٥ (ب) فيجتمع

^٦ تأخذ: (ب) يأخذ

^٧ بالنصف: (ب) بالنفي

^٨ أجزاء: (ب) أجز

(٥٤) معرفة قوس الجيب المستوي: (١-٥٤) إذا كان معك جيب مستو معلوم وأردت أن تعلم قوسه فعّد مثله

في نصف العضادة المحيّب وعلم على المنتهى فإن كانت خطوط الجيوب موازية للخط الأفقي فضع العلامة على خط الانتصاب الأعلى وامتد مع الخط الذي يوافق العلامة إلى آخر أجزاء^١ الارتفاع فما بين ذلك^٢ الجزء الذي يبلغ إليه من أجزاء الارتفاع وبين أولها فهو قوس ذلك الجيب المستوي. (٢-٥٤) وإن كانت خطوط الجيوب موازية لخط الانتصاب فضع^٣ العلامة على الخط الأفقي وامتد مع الخط الذي يوافق من خطوط الجيوب فما بلغت إليه من أجزاء^٤ الارتفاع فعد منه إلى آخر الأجزاء حتى ينتهي إلى طرف خط الانتصاب فما كان فهو قوس ذلك الجيب المستوي.

(٥٥) معرفة الجيب المعكوس: (١-٥٥) إذا كان معك^٥ قوس أقل من تسعين وأردت أن تأخذ جيبها المعكوس

فإن كانت خطوط الجيوب موازية لخط الانتصاب فعّد من أول أجزاء الارتفاع مثل تلك القوس المفروضة وانظر إلى الخط الذي يخرج منها أين يقاطع^٦ |ب ٣٦ ظ| الخط الأفقي فعلم عليه وطابق به النصف المحيّب من العضادة فما كان من طرف العضادة إلى العلامة فهو الجيب المعكوس لتلك القوس. (٢-٥٥) وإن كانت خطوط الجيوب موازية للخط^٧ الأفقي فعّد من طرف^٨ خط الانتصاب راجعاً في أجزاء الارتفاع مثل تلك القوس المفروضة وانظر إلى الخط الخارج من منتهاه أين يقاطع خط الانتصاب، فعلم عليه وطابق به النصف المحيّب من العضادة فما كان من طرف العضادة إلى العلامة فهو الجيب المعكوس لتلك القوس. وإن كانت القوس^٩ أكثر من تسعين فخذ جيب ما زاد على تسعين^{١٠} مستوياً وزده على الجيب كله فما اجتمع فهو الجيب المعكوس لتلك القوس.

(٥٦) معرفة قوس الجيب المعكوس: (١-٥٦) إذا كان الجيب المعكوس أقل من الجيب كله، أعني أجزاء نصف

العضادة المحيّب، وكانت خطوط الجيوب موازية للخط الأفقي فعّد مثل ذلك الجيب المعكوس من عند مري النصف المحيّب وعلم على المنتهى واطبق به خط الانتصاب واذهب مع الخط الخارج منه فحيث بلغ بك^{١١} من أجزاء الارتفاع فعّد مثله إلى آخر الأجزاء، فما كان فهو قوس ذلك الجيب المعكوس. (٢-٥٦) وإن كانت خطوط الجيوب موازية لخط الانتصاب

^٧ للخط: (ب) الخط

^٨ طرف: (ب) ظرف

^٩ (ده-ص) وإن كانت القوس

^{١٠} (ب) شطب الكاتب: «مازاد»

^{١١} (ب) - بك

^١ آخر أجزاء: (ب) لدن أجز

^٢ (ده-ص) ذلك

^٣ فضع: (ب) وضع

^٤ أجزاء: (ب) أجز

^٥ (د) + جيب

^٦ يقاطع: (د) يقاطع

المطلوب في العمل الأول. ومتى وضعت درجة الشمس على قوس^١ أتمها شئت فوجدت مري الكوكب^٢ على الأفق الشرقي فاعلم أن ذلك الكوكب طالع في ذلك الوقت أو على الأفق^٣ الغربي فهو غارب.

(٥٣) معرفة الجيب المستوي: (١-٥٣) خطوط الجيوب^٤ على ظهر الأسطرلاب إما أن تكون^٥ موازية لخط الانتصاب أو موازية^٦ للخط الأفقي أو مخطوطة معاً ولا بدّ حينئذ **ب ٣٥ ظ** من أن تكون^٧ العضادة محرفة وأحد نصفها مقسوم بأجزاء متساوية إما ستين وإما مائة وعشرين^٨ وإما مائة **د ٤٠ ظ** وخمسين. وذلك اصطلاح واستحسان لا ضرورة وأكثر ما يستعمل من هذه الأعداد هو الستون ويسمى هذا النصف المجيب وأما نصفها الآخر فنقسم بتسعين جزءاً غير^٩ متساوية ويسمى النصف المقوس. (٢-٥٣) فإن كانت خطوط الجيوب هو الموازية للخط الأفقي أو نوعهما مخطوطين معاً وأردت أن تعلم جيب قوس ما مفروضة فعّد من أول أجزاء الارتفاع مثل عدد تلك القوس فحيث بلغت فانظر الخط الذي يخرج منه موازياً^{١٠} للخط الأفقي على أي موضع يقاطع^{١١} خط الانتصاب، فعلم عليه وأدر النصف المجيب من العضادة حتى يطابق خط الانتصاب الأعلى ثم انظر ما وافق تلك العلامة من أجزاء العضادة فهو الجيب المطلوب. (٣-٥٣) وإن كانت خطوط الجيوب موازية لخط الانتصاب فأسقط القوس التي تريد^{١٢} معرفة^{١٣} جيبها من تسعين وما بقي فعّد مثله من أول^{١٤} أجزاء الارتفاع فحيث ما بلغت فانظر إلى الخط الممتد منه أين يقاطع^{١٥} الخط الأفقي فعلم عليه واطبق به النصف المجيب من العضادة **ب ٣٦ و** فما وافقها من أجزاءه فهو الجيب^{١٦} المستوي المطلوب لتلك القوس المفروضة.

^١ (ب) - كل واحد منها وعلم على المري ثم ضعها على الأفق وانظر كم تحرك المري فهو المطلوب في العمل الأول. ومتى وضعت درجة الشمس على قوس

^٢ الكوكب: (ب) كوكب

^٣ الأفق: (ب) الأفقي

^٤ الجيوب: (د) الجيب

^٥ تكون: (ب) يكون

^٦ (د) - لخط الإنتصاب أو موازية

^٧ تكون: (ب) يكون

^٨ عشرين: (ب) عشرة

^٩ (ب) - غير

^{١٠} (ده-ص) موازياً

^{١١} يقاطع: (ب) تقاطع

^{١٢} تريد: (ب) يريد

^{١٣} معرفة: (ب) معرفته

^{١٤} أول: (ب) أولاً

^{١٥} يقاطع: (ب) تقاطع

^{١٦} (د) شطب الكاتب: «من أجزاءه فهو الجيب».

الشمس في ذلك اليوم مع خط تلك الصلوة إلى أسفل في العصر أو إلى ١ أعلى في الظهر، فإنه لم يكن بعد وإن كان ٢ في كليهما إلى فوق، فقد جاوز وقت تلك الصلوة. (٣-٥١) فإن لم تكن ٣ خطوط الصلوات ٤ مخطوطة لا على وجه الأسطرلاب ولا على ظهره وكان الظل المستوي مثبتاً فيه فضع مري العضاءة على ارتفاع نصف نهار يومك وانظر مريها الآخر على كم وقع من أجزاء الظل، فذلك هو ظل نصف النهار. (٤-٥١) وإن أردت ارتفاع الشمس وقت العصر على مذهب الشافعي، فرد على ظل نصف النهار مثل أقسام ظل المقياس وضع مري العضاءة على منتهاها ثم انظر إلى مريها الآخر على كم وقع من أجزاء الارتفاع، فما كان فهو الارتفاع لوقت العصر على مذهبه ٥ ويسمى أول وقت العصر. (٥-٥١) وإن أردته ٦ على مذهب أبي حنيفة فرد على ظل ٧ نصف النهار ضعف أقسام المقياس وضع مري العضاءة على منتهاها ثم انظر إلى مريها الآخر على كم وقع من أجزاء الارتفاع، فذلك هو ارتفاع الشمس وقت العصر على مذهبه ٨ |ب ٣٥| ويسمى آخر وقت العصر. وأما وقت صلوة الظهر: فمتى زالت الشمس ٩ عن فلك نصف النهار أدنى زوال وذلك حين يأخذ ارتفاعها ١٠ في النقصان.

(٥٢) معرفة طلوع الفجر ومغيب الشفق: (١-٥٢) أما لمعرفة طلوع الفجر فضع درجة الشمس على أفق المشرق

وعلم على المري ثم أدر العنكبوت معكوساً حتى يرتفع نظير درجة الشمس عن أفق المغرب سبعة عشر جزءاً وزعم بعض أصحاب التجارب أنه يجب أن يرتفع ثمانية عشر جزءاً، ثم انظر إلى المري كم زال، فلكل خمسة عشر جزءاً ساعة مستوية وذلك ما بين إسفار الفجر وطلوع الشمس. (٢-٥٢) وأما معرفة ١١ مغيب الشفق: فاعمل بنظير درجة الشمس ما عملته بدرجتها في طلوع الفجر فيخرج لك ما بين غروب الشمس ومغيب الشفق. (٣-٥٢) وإن كان قوساهما مخطوطتين ١٢ في الصفيحة فضع درجة الشمس على قوس كل واحد منها وعلم على المري ثم ضعها على الأفق وانظر كم تحرك المري فهو

٧ (د) ↑ ص، ب-ص) ظل

٨ مذهبه: (ب) مذهب أبي حنيفة

٩ (د) - الشمس

١٠ (د) - ارتفاعها

١١ معرفة: (ب) لمعرفة

١٢ مخطوطتين: (ب) مخطوطتين

١ (د) - إلى

٢ كان: (ب) جاوزه

٣ تكن: (ب) يكن

٤ الصلوات: (د) الساعات

٥ مذهبه: (ب) مذهب الشافعي

٦ أردته: (ب) أردت

(٥٠) معرفة ظل السلم: (١-٥٠) هذا الظل لا يكون إلا في أسطرلاب محرفة العضادة، فإذا أردت أن تعرف^١

الظل المستوي لأي ارتفاع شئت، فضع مري العضادة على ذلك الارتفاع ثم انظر إلى حرف العضادة، فإن وقع من مربع الظل على الضلع الموازي للخط الأفقي فما قطع منه من لدن خط الانتصاب الأسفل فهو مقدار الظل، وإن لم يقع عليه بل وقع على الضلع الموازي لخط الانتصاب فخذ ما قطع منه من عند الخط الأفقي واقسم عليه أبداً مضروب المقياس في مثله فيخرج الظل المستوي المطلوب. (٢-٥٠) وإذا أردت ذلك الظل معكوساً وإن شئت فأسقط الارتفاع من تسعين واستخرج الظل المستوي لما يبقى فيكون معكوساً لذلك الارتفاع. وإن شئت فضع مري العضادة على مثل الارتفاع المفروض وانظر |ب ٣٤| إلى حرفها فإن وقع على الضلع^٢ الموازي لخط الانتصاب فما قطع منه من لدن الخط الأفقي فهو الظل المعكوس، وإن وقع على الضلع^٣ الموازي للخط الأفقي فاقسم على ما بين حرف العضادة وخط الانتصاب مضروب المقياس في مثله، فما خرج فهو الظل المعكوس لذلك الارتفاع المفروض.^٤

(٥١) معرفة أوقات الصلوة:^٥ أما معرفة أوقات الصلوة^٦ النهارية فعلى وجهين إما على وجه الأسطرلاب وإما على

ظْهره. (١-٥١) فأما معرفتها^٧ على وجهه فإن كان خطوطها في الصفيحة مخطوطة^٨ فضع درجة الشمس على كل واحد منها إن كانت مخطوطة فوق الأرض أو نظير درجتها^٩ إن كانت مخطوطة تحته وانظر حينئذ إلى درجة الشمس على أية مقنطرة هي فارتفاعها^{١٠} هو الارتفاع لوقت^{١١} تلك الصلوة في ذلك اليوم. (٢-٥١) وأما على ظهر الأسطرلاب فانظر تقاطع خط تلك الصلوة^{١٢} مع مدار درجة الشمس في ذلك اليوم وضع حرف العضادة على ذلك التقاطع ثم انظر على كم وقع مري العضادة من أجزاء الارتفاع، فذلك هو ارتفاع الشمس لوقت تلك الصلوة. وإن أردت أن تعرف^{١٣} هل حان وقت الصلوة أم لا، فخذ الارتفاع في |ب ٣٤| الوقت الذي تريد ثم انظر إلى حرف العضادة فإن كان قاصراً عن تقاطع مدار درجة

^١ تعرف: (ب) تعرف

^٢ الضلع: (ب) الضلع

^٣ الضلع: (ب) الضلع

^٤ (د) - معرفة ظل السلم ... لذلك الارتفاع المفروض

^٥ الصلوة: (ب) الصلوات

^٦ الصلوة: (ب) الصلوات

^٧ (د) - معرفتها

^٨ (ب) + حسيا

^٩ درجتها: (ب) درجة الشمس حسيتها

^{١٠} فارتفاعها: (ب) وارتفاعها

^{١١} لوقت: (ب) وقت

^{١٢} (به-ص) في ذلك اليوم. وأما على ظهر الأسطرلاب فانظر تقاطع

خط تلك الصلوات

^{١٣} (د) - أن تعرف؛ تعرف: (ب) يعرف

الارتفاع وتنظر^١ إلى المري الآخر إن^٢ وقع على اثني عشر جزءاً فالظل أصابع، وإن وقع على ستة ونصف فهو أقدام، وإن وقع على ستين **ب ٣٣** و^٣ جزءاً فهو أجزاء. وإن كان مبدأ الظل من عند طرف خط الانتصاب الأسفل فهو مستوي وإن كان من نقطة المغرب من الخط الأفقي فهو معكوس.

(٤٨) معرفة تحويل الأطلال الثلاثة بعضها إلى بعض: (١-٤٨) أما الأصابع فإنها إذا ضربت في ثلاثة عشر وقسم

المجتمع على أربعة وعشرين تحولت أقداماً وإذا ضربت في ستين وقسم المبلغ على اثني عشر تحولت أجزاء. وأما الأقدام فإنها إذا ضربت في أربعة وعشرين وقسم ما اجتمع على ثلاثة عشر، تحولت أصابع وإذا ضربت في مائة وعشرين وقسم ما بلغ على ثلاثة عشر تحولت^٤ أجزاء. وأما الأجزاء^٥ فإنها إذا ضربت في ثلاثة عشر وقسمت على مائة وعشرين تحولت أقداماً، وإذا ضربت في اثني عشر وقسمت على ستين تحولت أصابع. (٢-٤٨) ومتى ما كان عندنا ظل مستوي وأردنا أن نحوله معكوساً فإننا نضرب مقياسه في مثله ونقسم المجتمع على ذلك الظل المستوي^٦ فيخرج الظل المعكوس. وكذلك إذا كان مَعْنَا ظل^٧ معكوساً^٨ فقسمناه عليه مضروب مقياسه في مثله خرج الظل المستوي لذلك الارتفاع بعينه.

(٤٩) معرفة الارتفاع والظل بعضها من بعض: (١-٤٩) إذا كان لك^٩ ارتفاع معلوم وأردت أن تعرف كم ظله،

فضع مري العضادة على مثل ذلك الارتفاع المعلوم، ثم انظر إلى مرتبها الآخر على كم وقع من أقسام الظل، فما كان فهو^{١٠} قدر ظل الشخص حتى يكون ارتفاع **ب ٣٣** ظل الشمس مثل ذلك الارتفاع. (٢-٤٩) وإن كان الظل معلوماً وأردت أن تعرف ارتفاعه فضع مري العضادة من أقسام الظل على مثل ما عندك ثم انظر إلى مرتبها الآخر على كم وقع من أجزاء^{١١} الارتفاع، فما كان فهو ارتفاع الشمس حين يكون الظل بذلك المقدار.^{١٢}

^٧ (ب) - معنا ظل؛ (د-ص) ظل

^٨ معكوس: (ب) معكوساً

^٩ (د-ص) لك

^{١٠} (د-ص) فهو

^{١١} أجزاء: (ب) اخبر

^{١٢} (ده) يرجع إلى الوجه

^١ تنظر: (ب) ينظر

^٢ إن: (ب) فإن

^٣ وإن: (ب) فإن

^٤ (به-ص) أصابع وإذا ضربت في مائة وعشرين وقسم ما بلغ على ثلاثة عشر تحولت

^٥ الأجزاء: (ب) الأجزاء

^٦ (ب) - وأردنا أن نحوله معكوساً فإننا نضرب مقياسه في مثله ونقسم المجتمع على ذلك الظل المستوي

أردت معرفته من الطالع و^١القواطع وغيرها. فإن كان في الأسترلاب صفيحة آفاقية، فضع درجة الطالع على أفق عرض بلدك وانظر ما وافى خط المشرق، أعني خط الاستواء، من منطقة البروج وعلم عليه فإنه الطالع الأوسط. ثم أدر العنكبوت وضع الطالع الأوسط على كل واحد من تربيعة الصفيحة بخط الاستواء وخط نصف النهار وجرّبه^٢ حتى توافق^٣ درجة^٤ الهيلاج أفق من الآفاق التي تنشأ^٥ من ذلك التربيعة وذلك إذا كان الهيلاج فوق الأرض^٦. وأما^٧ إذا كان تحتها فجرّب ما ذكرناه حتى يوافق نظير درجة الهيلاج أفق من تلك الآفاق، فحينئذ آثم ذلك الأفق مقام الدائرة المعدلة واعمل بها ما تقدم في التسيير بصفيحة مطرح الشعاع.

(٤٧) معرفة الظل المعمول على حرف الأسترلاب أصابع هو أم أقدام: (١-٤٧) إن^١ أظلال الأشخاص

والمقاييس^٩ تقدر بالمقادير التي قسمت عليها المقاييس والأشخاص وليست تلك القسمة |ب ٣٢ ظ| بأمر ضروري بل اصطلاحي والقاسم لها بالاختيار إلا أن العادة جرت بين القاسمين^{١٠} أن يسموا تلك المقادير أصابع متى قسموا الشخص باثني عشر قسماً متساوية. والأصل فيه أن الإنسان متى ما أمر بنصب عود وتقدير ظله فإن المأمور يأخذ على الأغلب عوداً مقداره شبر والشبر يكون اثنا^{١١} عشر إصباعاً فلذلك سميت القسمة الاثنا^{١٢} عشرية أصابع. ومتى قسموا^{١٣} الشخص بستة ونصف سمّوها أقداماً وذلك مستعار من قامة الإنسان، فإنها تكون^{١٤} ستة أقدام ونصف. ومتى قسموا الشخص بستين قسماً متساوية سمّوها أجزاء. (٢-٤٧) والأصابع والأقدام تكون^{١٥} مبتدئة من طرف^{١٦} خط الانتصاب الأسفل وأجزاء الظل تبتدي من نقطة المغرب |د ٤٠ و| من عند الخط الأفقي وكل ظل ابتداء من هذه النقطة فإنه يسمى معكوساً. (٣-٤٧) فيجب عليك لتمييز^{١٧} الأجناس^{١٨} الثلاثة أن تضع^{١٩} مري العضادة على خمسة وأربعين جزءاً^{٢٠} من أجزاء

- | | |
|--|-------------------------|
| ١ (ب) - الطالع و | ١١ اثنا: (ب) اثني |
| ٢ وجرّبه: (ب) وجرّبه | ١٢ الأثنا: (ب) الأثني |
| ٣ توافق: (ب) يوافق | ١٣ قسموا: (ب) قسم |
| ٤ (د) شطب الكاتب كلمة «درجة» وكتبها من جديد. | ١٤ تكون: (ب) يكون |
| ٥ تنشأ: (ب) تنشو | ١٥ تكون: (ب) يكون |
| ٦ (دهص) فوق الأرض | ١٦ طرف: (ب) ظرف |
| ٧ وأما: (ب) فأما | ١٧ لتمييز: (ب) لتمييز |
| ٨ إن: (د) إد | ١٨ الأجناس: (ب) الاحساس |
| ٩ الأشخاص والمقاييس: (د) أشخاص المقاييس | ١٩ تضع: (ب) يضع |
| ١٠ القاسمين: (د) القاسمين | ٢٠ (د) - جزءاً |

(٢٥) معرفة تسيير الهيلاجات إلى القواطع والمواضع المفروضة بالصفحة^١ المخصوصة لمطرح الشعاع: ركب^٢

العنكبوت على صفحة مطرح الشعاع وضع جزء الطالع على أفق المشرق منها^٣ وعلم على موقع المري من الحجرة وعلى الدائرة المعدلة وهي التي تتفق^٤ وقوع الهيلاج عليها من دوائر هذه الصفحة. ثم أدر العنكبوت مستويًا حتى تضع الدرجة التي تريد أن تسيّر الهيلاج إليها أو رأس الكوكب القاطع على الدائرة المعدلة وانظر كم تحرك المري عن علامته، فهو درج التسيير التي تجعل^٥ لكل واحدة^٦ منها في صناعة الأحكام سنة.

(٢٦) معرفة تسيير الهيلاجات بصفحة المقنطرات إذا لم تكن^٧ في الأسطرلاب صفحة مطرح الشعاع: (٢٦)-

(١) ضع^٨ درجة الطالع على أفق^٩ |ب ٣١ ظ| المشرق واستخرج بعد الهيلاج عن خط وسط السماء إن كان فوق الأرض^٩ أو عن خط وتد الأرض إن كان تحتها^{١٠} كما مرّ ذلك في عمل مطرح الشعاع واحفظ ذلك. ثم ضع درجة الهيلاج على خط وسط السماء وعلم على المري وأدر العنكبوت مستويًا حتى تضع رأس الكوكب القاطع أو الدرجة التي تريد أن تسيّر الهيلاج إليها على خط وسط السماء وسمّ مقدار ما تحرك المري أولاً. ثم ضع الهيلاج على أفق المشرق وإن كان حين وضع الطالع عليه في النصف الصاعد أو على أفق المغرب إن كان حينئذ في النصف الهابط وعلم على المري. ثم أدر العنكبوت مستويًا حتى تضع^{١١} رأس الكوكب أو الدرجة المسيّر إليها على ما وضعت عليه الهيلاج من أحد^{١٢} أفقي المشرق أو المغرب فما تحرك المري فسّمه^{١٣} ثانيًا. وخذ الفضل بين الأول والثاني فاضربه في بعد الهيلاج واقسم المبلغ على نصف قوس نهاره إن كان وقت وضع الطالع على أفق المشرق فوق^{١٤} الأرض أو على نصف قوس ليله إن كان وقت وضع الطالع^{١٥} تحته، فما خرج فهو التعديل. (٢-٢٦) فإن كان الأول أنقص^{١٦} من الثاني فزد |ب ٣٢ و| التعديل على الأول وإن كان الأول أزيد من^{١٧} الثاني فانقص التعديل من الأول، فما حصل بعد الزيادة أو النقصان فهو درج التسيير التي إلى بلوغ الهيلاج إلى ما

^{١٠} تحتها: (ب) تحته

^{١١} تضع: (ب) يضع

^{١٢} (ب) شطب الكاتب حرف «ا» بعد كلمة «أحد».

^{١٣} فسّمه: (ب) قسمة

^{١٤} (دهص) فوق

^{١٥} وقت وضع الطالع: (ب) حينئذ

^{١٦} أنقص: (ب) انقص

^{١٧} من: (ب) على

^١ بالصفحة: (ب) لصفحة

^٢ ركب: (د) دلّ

^٣ منها: (ب) فيها

^٤ يتفق: (ب) يتفق

^٥ يجعل: (ب) يجعل

^٦ واحدة: (ب) واحد

^٧ تكن: (ب) يكن

^٨ ضع: (ب) صنع

^٩ الأرض: (ب) الأفق

أرادَه مرِيد فليضع درجة الطالع على أفق المشرق في هذه الصفيحة^١ ولينظر، فإن كان الكوكب في إحدي تقطبي الاعتدالين، أعني أول برج^٢ الحمل والميزان، فليضع حرف العضاة المحرفة على درجة الكوكب الذي يراد مطرح شعاعه. ثم يعدّ من موقع مرهما من الحجرة حصص المناظر مستوية للشعاعات اليسرى و [ب ٣٠ ظ] معكوسة لليمنى. وليضع مري هذه العضاة على نهاياتها، فبمتر^٣ حرفها من منطقة البروج على مطرح شعاعته وإن لم يكن الكوكب في هذين الموضعين، فليضع حرف العضاة على درجته وليعلم على موضع^٤ مرهما من الحجرة علامة. ثم يضع حرفها أيضاً على تقاطع مدار الحمل والدائرة المعدلة أعني المارة بدرجة الكوكب [د ٣٩ ظ] وليعلم على موقع مرهما من الحجرة علامة ثانية وهي الأصل ثم يأخذ ثلث ما بين العلامتين وهو التعديل. (٣-٤٤) فإن كان الكوكب في النصف الصاعد وفي البروج الشمالية التي مداراتها داخل مدار الحمل أو كان في النصف الهابط وفي البروج الجنوبية فليزد التعديل على كل واحدة من حصتي التسديس والتثليث حتى تصيرا معدلتين،^٥ ثم ليعد من الأصل مستويًا بمقدار كل واحدة^٦ من الحصتين المعدلتين^٧ وليضع مري العضاة على منتهى كل منها، فما قطع حرفها من نطاق البروج فهو مطرح ذلك الشعاع الأيسر. فأما الأيمن فليقتص له التعديل من هاتين الحصتين وليعد من الأصل كل واحدة منها^٨ معكوساً وليضع مري العضاة على منتهى كل واحدة منها، فما قطع حرفها من منطقة البروج فهو مطرح ذلك الشعاع الأيمن. (٤-٤٤) وإن كان في النصف^٩ [ب ٣١ و] الصاعد كذلك وفي البروج الجنوبية أو كان في النصف^{١٠} الهابط وفي البروج الشمالية نقص التعديل من حصتي التسديس والتثليث^{١١} للشعاعات اليسرى وزاده عليها لليمنى، وعمل ما تقدم حذو القُدّة بالقُدّة فيحصل له^{١٢} المطلوب منها. وأما التربيع فلا يزداد على حصته شيء ولا ينقص منها في جميع الأحوال^{١٣} والأوضاع، لكنها تعدّ كميتها^{١٤} من الأصل مستوية^{١٥} ومعكوسة ويعمل باقي العمل فيها على ما تقدم في غيرها.

^٩ (د) شطب الكاتب: «الصاعد كذلك في البروج الجنوبية وإن كان في النصف»

^{١٠} (د) — الصاعد كذلك وفي البروج الجنوبية أو كان في النصف

^{١١} (ب) — والتثليث

^{١٢} (د) — له

^{١٣} الأحوال: (ب) الأحوال

^{١٤} كميتها: (ب) كميتها

^{١٥} مستوية: (ب) سوية

^١ (ب) شطب الكاتب كلمة «الصفيحة» وكتبها من جديد.

^٢ برج: (ب) برج

^٣ فبمتر: (ب) فمتر

^٤ موضع: (ب) موقع

^٥ تصيرا معدلتين: (ب) يصيرا معدلين

^٦ واحدة: (ب) واحد

^٧ (ده-ص) ثم ليعد من الأصل مستويًا بمقدار كل واحدة من الحصتين المعدلتين

^٨ منها: (د) منها

على خط وسط السماء واحتسب به دائرة معدلة في^١ صحيفة مطرح الشعاع واستخرج بها شعاعات الكوكب كما قدمنا وسمها الشعاعات الأولى. ثم انظر فإن كان الكوكب **ب ٢٩ ظ** في النصف الصاعد، فضع درجته على أفق المشرق وإن كان في النصف الهابط فضعها على أفق المغرب. واحتسب الذي وضعت الدرجة عليه دائرة^٢ معدلة^٣ واستخرج بها شعاعات^٤ الكوكب وسمها الشعاعات الثانية. (٤-٤٣) وخذ الفضل بين كل شعاع من الأولى وبين نظيره في جهته من الثواني واضربه في بعد الكوكب واقسم المجتمع على نصف قوس نهار درجته إن كان الكوكب^٥ فوق الأرض أو على نصف قوس ليل درجته إن كان تحت الأرض فما خرج فهو التعديل، فاحفظه. ثم انظر إلى ذلك الشعاع الأول كيف موقع الشعاع الثاني منه، فإن كان إلى توالي البروج فزد هذا التعديل على الشعاع الأول وإن كان موقع الشعاع الثاني إلى خلاف توالي البروج،^٦ فانقص هذا التعديل من الشعاع الأول فما حصل بعد الزيادة والنقصان فهو مطرح شعاع ذلك الكوكب في ذلك المنظر^٧ من تلك الجهة. (٥-٤٣) وإن اتفق الشعاع الأول مع نظيره الثاني في درجة واحدة فهي موقع ذلك الشعاع بعينه. وإن اتفق الكوكب على خط وسط السماء أو وتد الأرض واستخرجت **ب ٣٠ و** الشعاعات الأولى بها فهي شعاعات الكوكب المطلوبة نفسها ولا يحتاج حينئذ إلى استخراج الشعاعات الثواني ولا إلى ما تقدم من الأعمال المذكورة وإن اتفق على أفق المشرق أو المغرب فالشعاعات^٨ الثانية هي شعاعته لا يحتاج له إلى الأولى.

(٤٤) معرفة مطرح^٩ الشعاع على الطريق المصحح بهذه الصحيفة: (١-٤٤) لما وقع في العمل المنسوب إلى

بطلميوس اختلال ظاهر وزوال عن الموضوع تجرد لإزالة^{١٠} ذلك عنه وإعادته إلى موضعه^{١١} بعض المحدثين وقد رأيت لمحمد^{١٢} بن يحيى الطبري مقالة في ذلك الحساب،^{١٣} فأما بهذه الصحيفة فقد وجد العمل المذكور بها في عدة المقالات مقولة في العمل بالأسطرلاب أقدمها لعلي بن عيسى الأسطرلابي والله أعلم بالسابق إلى تصحيح هذا العمل وابتداع طريقه. (٢-٤٤) فإن

^١ معدلة في: (د) معدل النهار من
^٢ (د) شطب الكاتب كلمة «دائرة» وحزرها من جديد.
^٣ معدلة: (د) معدل النهار
^٤ (ده-ص) كما
^٥ شعاعات: (ب) شفاعات
^٦ (د) — الكوكب
^٧ (ب) شطب الكاتب: «فزد هذا التعديل»
^٨ المنظر: (د) النظر
^٩ فالشعاعات: (ب) فالشفاعات
^{١٠} (ده-ص) مطرح
^{١١} لإزالة: (ب) الإزالة
^{١٢} موضعه: (د) موضوعه
^{١٣} لمحمد: (ب) لمجد
^{١٤} الحساب: (ب) بالحساب

الشعاع لكوكب^١ مفروض في وقت معلوم فركب العنكبوت على صفيحة مطرح الشعاع وضع جزء الطالع على أفق المشرق فيها^٢ وعلم على موقع المري من الحجرة علامة الأصل. ثم انظر إلى درجة الكوكب على أية دائرة وقعت من الدوائر المخطوطة في الصفيحة وعلم عليها في الصفيحة وسمها الدائرة المعدلة سواء كانت من جملة الدوائر أو كانت الأفق نفسه أو خط نصف النهار. ثم عد من علامة الأصل في الحجرة مستويًا حصة التسديس فينتهي^٣ إلى علامة التسديس وعلم عليها وعد من علامة الأصل^٤ أيضاً مستويًا حصة التريبع فينتهي^٦ إلى علامة التريبع وعد من علامة الأصل مستويًا حصة التثليث فينتهي^٧ إلى علامة التثليث. ثم ضع المري على كل واحدة^٨ من تلك العلامات وانظر ما وافى الدائرة المعدلة فذلك هو موقع ذلك الشعاع الأيسر من^٩ فلك |ب ٢٩| والبروج. (٤-٤٢) فإذا حصلت لك الشعاعات اليسرى وأردت اليمنى فاعمل هذا العمل بعينه ولا تغتبر شيئاً سوى عد^{١٠} حصص المناظر من علامة الأصل. فإتاك تعدّها منها معكوسة لا مستوية، فتركب الدائرة المعدلة مواقع الشعاعات اليمنى عند^{١١} وضعك المري على علاماتها.

(٤٣) معرفة مطرح الشعاع على هذا المذهب في صفيحة^{١٢} المنقنطرات إذا لم يكن في الأسطرلاب صفيحة معمولة

لمطرح الشعاع:^{١٣} (١-٤٣) المقدمة لذلك أن يسمى^{١٤} نصف الفلك الذي من وسط السماء إلى الطالع إلى الرابع^{١٥} صاعداً والذي من الرابع إلى السابع إلى^{١٦} العاشر هابطاً وأن تحصل بعد الكواكب إذا كان فوق الأرض من خط وسط السماء وإذا كان تحتها من خط وتد الأرض. (٢-٤٣) ومعرفة ذلك أن تضع درجة الطالع على الأفق الشرقي^{١٧} وتعلم^{١٨} على موقع المري من الحجرة. ثم تدير العنكبوت مستويًا أو معكوساً حتى تضع درجة الكوكب على خط وسط السماء إن كان فوق الأرض أو على خط وتد الأرض إن كان تحت الأرض فما تحرك المري عن العلامة فهو بُعد الكوكب. (٣-٤٣) ثم ضع درجة الكوكب

^١ الشعاع لكوكب: (ب) شعاع كوكب

^٢ فيها: (ب) فيه

^٣ فينتهي: (ب) فينتهي

^٤ (ب) شطب الكاتب: «في الصفيحة»

^٥ (ب) شطب الكاتب: «في الحجرة مستويًا حصة التسديس فينتهي إلى علامة التسديس وعلم عليها وعد من علامة الأصل

^٦ فينتهي: (ب) فينتهي

^٧ فينتهي: (ب) فينتهي

^٨ واحدة: (د) واحد

^٩ من: (ب) في

^{١٠} (د) — عد

^{١١} عند: (د) عنك

^{١٢} صفحة: (ب) صفيحة

^{١٣} (به) صفيحة معمولة لمطرح الشعاع

^{١٤} يسمى: (ب) تسمى

^{١٥} (دهص) إلى الرابع

^{١٦} (دهص) السابع إلى

^{١٧} الشرقي: (د) المشرقي

^{١٨} تعلم: (ب) يعلم

الجنوبي،^١ وإن كان خارجاً فإنه إلى الجنوب في الشمالي وإلى الشمال في الجنوبي.^٢ وانظر إلى الدائرة السميتية التي تمر على مريه إلى أية درجة تبلغ من درجات البروج في المنطقة، فتلك هي درجة ذلك الكوكب.

(٤١) معرفة بعد ما بين الكوكبين:^٣ إذا أردت ذلك فقابل ربع الارتفاع ما بين الكوكبين وانظر على |ب ٢٨ و|

سطح ظهر الأسطرلاب حتى يمر بصرك في استقامة سطحه وتدرج كلا الكوكبين على حرفه وشده على ذلك الوضع^٤ لئلا يتحرك ولا يزول. ثم أدر العضاة حتى ترى بثبوتها أحد^٥ الكوكبين وعلم على موضع^٦ مري العضاة ثم أدرها أيضاً حتى ترى بها الكوكب الآخر وعلم على موضع مري العضاة^٧ أيضاً. ثم انظر ما بين العلامتين، فهو ما بين الكوكبين من الأجزاء، واجتهد في وضع الأسطرلاب ونصبه أن يقع هذا البعد في ربع الارتفاع ليقف من أقسامه على مقدار البعد. وإن عسى وقع بعضه على^٨ موضع غير مقسوم، فخذ ذلك المقدار بالبركار^٩ وضع رجليه على محيط ربع الارتفاع حتى يتضح لك مقداره منه.

(٤٢) معرفة مطرح الشعاع على المذهب المنسوب |د ٣٩ و| إلى بطليموس بالصفحة المعمولة لهذا الشأن:^{١٠}

(١-٤٢) المقدمات العامة لعمل مطرح الشعاع هي أن يتقرر أن المناظر أعني مواقع الشعاع أربعة ضروب أولها التسديس وحصته ستون جزءاً والثاني التريب وحصته تسعون جزءاً والثالث التثليث^{١١} وحصته مائة وعشرون جزءاً والرابع المقابلة^{١٢} وحصتها مائة وثمانون جزءاً غير أن المقابلة^{١٣} لا يشتغل باستخراجها فإنها تبدأ تقع^{١٤} في نظير درجة الكوكب. (٢-٤٢) ثم ما سواها من المناظر الثلاثة يتنوع نوعين فالواقعة من عند درجة الكوكب^{١٥} |ب ٢٨ ظ| على توالي البروج تسمى الشعاعات اليسرى والواقعة على عكس نضد البروج^{١٦} تسمى^{١٧} الشعاعات اليمنى. (٣-٤٢) فإذا تقرر هذا واحتجت إلى عمل مطرح

^٩ بالبركار: (ب) بالبركار

^{١٠} (ب) - الشأن؛ (به) البيان

^{١١} التثليث: (ب) التليث

^{١٢} (ب) + مما

^{١٣} (ب) - وحصتها مائة وثمانون جزءاً غير أن المقابلة؛ (به-ص) غير أن المقابلة

^{١٤} (ده-ص) تقع؛ أبداً تقع: (ب) تقع أبداً

^{١٥} (ب) شطب الكاتب: «ثم ما سواها من المناظر الثلاثة تتنوع نوعين فالواقعة من عدد درجة الكوكب»

^{١٦} (ب) - تسمى الشعاعات اليسرى والواقعة على عكس نضد البروج

^{١٧} تسمى: (ب) يسمى

^١ فإلى الشمال في الشمالي وإلى الجنوب في الجنوبي: (د) فإلى الشمالي في الشمالي وإلى الجنوبي في الجنوبي؛ (ب) فإلى الشمال في الشمالي وإلى الجنوب في الجنوب

^٢ الجنوب في الشمالي وإلى الشمال في الجنوبي: (د) الجنوبي في الشمالي وإلى الشمالي في الجنوبي؛ (ب) الجنوب في الشمال والشمال في الجنوب

^٣ الكوكبين: (ب) كوكبين

^٤ الوضع: (د) الموضع

^٥ أحد: (ب) إحدي

^٦ موضع: (ب) موقع

^٧ (به-ص) ثم أدرها أيضاً حتى ترى بها الكوكب الآخر وعلم على موقع مري العضاة

^٨ بعضه على: (ب) أوبعضه في

وإن كان في الربع الغربي الشمالي فاجعل الكرسي إلى جهة الشمال. ثم ضعه مقلوباً على وجه الأرض وضعاً مستويلاً لا يميل إلى جهة دون أخرى. ثم أدره على ذلك الوضع حتى يقع ظل الهدفة على العضادة^١ ويستغرق عرضه عرضها ويقع شعاع الثقبه على الخط الذي على نصف العضادة بالاستطالة. وإذا وقع كذلك فقد طابق خط الانتصاب في الأسطرلاب خط نصف النهار، فتخرجه في الأرض على استقامته في جهته وإن كان السم^٢ في الربع الشرقي الشمالي^٣ أو الربع الغربي الجنوبي، فضع مري العضادة من أجزاء الارتفاع على مثل تمام بعد السم^٢ واجعل الكرسي إلى المغرب واعمل ما^٤ تقدم ذكره. فإذا أظلت الهدفة العضادة، فاعلم أن الخط الأفقي في الأسطرلاب قد^٥ طابق خط نصف النهار في الأرض فتخرجه^٦ على استقامته.

(٣٩) معرفة استخراج الطالع من قبل السم^٢: إذا^٧ حصل لك سم^٢ الشمس أو الكوكب في الدائرة الهندية أو

غيرها فاعرف دائرة [ب ٢٧ ظ] ذلك السم^٢ في الأسطرلاب المسمت وضع درجة الشمس أو رأس^٨ الكوكب عليها، ثم انظر إلى الأفق الشرقي^٩ ما وافاه فهو الطالع بأجزائه.

(٤٠) معرفة درجات الكواكب الثابتة وعروضها: أما درجات الكواكب الثابتة^{١٠} عن فلك البروج وعروضها عنه^{١١}

فليس إلى معرفتها سبيل إلا بصفيحة قد عملت للعرض المساوي لتام الميل الأعظم. وخط^{١٢} فيها المقنطرات التي^{١٣} فوق الأرض^{١٤} والتي تحتها^{١٥} واستخرجت فيها دوائر السموت إلى المحيط من غير أن يقطع لدي^{١٥} الأفق. فإن كان في الأسطرلاب صفيحة على هذه الهيئة فركب العنكبوت عليها وضع المري على خط وسط السماء. ثم انظر إلى رأس الكوكب على كم وقع من المقنطرات، فذلك مقدار عرضه إن كان داخل منطقة البروج فالى الشمال في الشمالي وإلى الجنوب في

^٩ الشرقي: (ب) المشرق

^{١٠} الثابتة: (ب) الثانية

^{١١} (د) — وعروضها عنه

^{١٢} التي: (ب) إلى

^{١٣} الأرض: (ب) الأفق

^{١٤} تحتها: (ب) تحته

^{١٥} يقطع لدي: (ب) ينقطع لد

^١ (ده-ص) على العضادة

^٢ السم^٢: (د) الشمس

^٣ الشمالي: (ب) لشمالي

^٤ ما: (ب) بما

^٥ قد: (ب) قلى

^٦ فتخرجه: (ب) فتخرجه

^٧ (ب) شطب الكاتب حرف «ا» وكتبه من جديد.

^٨ (ده-ص) رأس

كان فعلى مثله انحراف القبلة أو سمت ذلك البلد عن مشرق الاعتدال |د ٣٨ ظ| أو مغربه في بلدك. وقد تقدم تمييز جهات السمات، فاعتبره.

(٣٦) معرفة سعة مشرق أية درجة وأتى كوكب شتئا: ضع الدرجة أو مري الكوكب على أفق المشرق فانظر^١ ما

بين موقعه منه إلى نقطة تقاطع الأفق ومدار الحمل كم قسماً^٢ هو من الأقسام التي تقسمه^٣ بها دوائر السموت، فما كان فهو سعة المشرق^٤ المطلوب إن كان فوق خط الاستواء فإلى الجنوب وإن كان تحته فإلى الشمال.

(٣٧) معرفة خط نصف النهار: سَوِّ موضِعاً بغاية ما أمكنك من التدقيق في تسويته حتى لو صببت الماء عليه

فاض^٥ من جميع جوانبه بالسواء أو وقف متحيراً في مكانه. ثم انصب عليه عموداً من أي جوهر كان بعد أن يكون مستوياً مدور الرأس أو حادة وخذ الارتفاع في أي وقت شئت على أن يكون قبل نصف النهار واحفظه واعلم^٦ في ذلك الوقت على رأس الظل أعني^٧ ظل العمود الواقع على الأرض. ثم ارصد الشمس بعد نصف النهار إلى أن يعود ارتفاعها إلى^٨ القدر الأول المحفوظ وتعلم^٩ على رأس ظل^{١٠} العمود أيضاً. ثم صل بين العلامتين بخط مستقيم ونصفه. ثم أخرج من نقطة النصف إلى أصل العمود^{١١} خطاً مستقيماً إلى الناحيتين جميعاً، فذلك خط نصف النهار.

(٣٨) معرفة خط نصف النهار من السمات: إذا أردت ذلك فخذ ارتفاع الشمس في أي وقت شئت وضع درجة

الشمس على مثله في المقنطرات وفي جهته كما تعمل^{١٢} لاستخراج الطالع واستخرج^{١٣} بعد سمت الشمس لذلك الارتفاع عن مطلع الاعتدال أو مغربه. ثم أقلب الأسطرلاب وضع مري العضاءة من أجزاء^{١٤} الارتفاع على مثل |ب ٢٧ و| ما وجدت من بعد السمات فإن كان السمات^{١٥} في الربع الشرقي الجنوبي فاجعل الكرسي إلى جهة الجنوب بالتقريب والحدس،

^١ تعلم: (ب) يعلم

^{١١} ظل: (د) كل

^{١٢} (ب) — أيضاً. ثم صل بين العلامتين بخط مستقيم ونصفه. ثم أخرج من نقطة النصف إلى أصل العمود

^{١٣} تعمل: (ب) يعمل

^{١٤} استخراج: (د) استخراج

^{١٥} أجزاء: (ب) أجزاء

^{١٦} السمات: (د) الشمس

^١ فانظر: (ب) وانظر

^٢ قسماً: (ب) قسم

^٣ تقسمه: (د) تقسم

^٤ (دهـص) المشرق

^٥ سو: (ب) ستو

^٦ صببت الماء عليه فاض: (ب) صببت عليه ماء

^٧ اعلم: (ب) علم

^٨ (ب) — الظل أعني

^٩ ارتفاعها إلى: (ب) ارتفاعه على

حينئذ الاعتبار المذكور وإن كان خطوط السموت مخطوطة تحت الأفق فأما في الشمس فاعكس الصفات في العمل وهو أن تنظر^١ إلى نظير^٢ درجة الشمس دون درجتها واعرف^٣ عدد الدائرة المارة عليها واستخرج سمتها فإن خرج لك من مطلع الاعتدال فهو من^٤ مغربه وإن خرج من مغربه فهو من مطلعته وإن كان في الشمال، فهو في الجنوب وإن كان في الجنوب فهو في الشمال. (٨-٣٤) وأما في الكواكب: فإذا وضعت مري^٥ الكوكب على مثل ارتفاعه فعلم على المري ثم ضع درجة مريه على خط وسط السماء فما زال المري فهو |ب ٢٥ ظ| بُعد الكوكب عن خط وسط السماء ثم احفظه^٦. ثم ضع مريه على خط وتد الأرض وعلم على المري، فإن كان ارتفاع الكوكب وقت القياس شرقياً، فأدر العنكبوت معكوساً وإن كان غربياً فأدره مستويّاً حتى يزول المري عن العلامة بمقدار بعده المحفوظ عن وسط^٧ السماء. ثم تنظر^٨ حينئذ إلى الدائرة المارة على مريه وعددها وتعكس^٩ صفاتها كما ذكرنا في الشمس أعني إن^{١٠} خرج السميت من مغرب الاعتدال فهو من مطلعته أو من مطلعته فهو من مغربه، أو خرج إلى الشمال فهو في^{١١} الجنوب أو إلى الجنوب فهو في^{١٢} الشمال.

(٣٥) معرفة سمت القبلة أو سمت أي بلد شئنا: ^{١٣} زد عرض مكة أو ^{١٤} أي بلد شئت على المقتطرة التي توافق

مدار الحمل في خط وسط السماء في صفيحة بلدك وحصل المقتطرة التي تنتهي إليها وأدر العنكبوت يمينا ويسرة وأقر منطقة البروج على خط وسط السماء، فما وافق تلك المقتطرة على خط وسط السماء |ب ٢٦ و| من درج البروج فعلم عليها وعلم على موقع المري وهي موضوعة على خط وسط السماء. ثم خذ فضل ما بين طول بلدك وطول البلد المطلوب سمته بأن تنقص الأقل من الأكثر منها، وإن^{١٥} كان طول بلدك أكثر من طول ذلك البلد^{١٦} فأدر العنكبوت مستويّاً حتى يزول المري بمقدار فضل ما بين الطولين؛ وإن كان طوله أكثر من طول بلدك فأدره معكوساً حتى يزول المري بمقدار فضل ما بين الطولين. ثم انظر إلى الدرجة التي كنت عملت عليها على أي خط وقع من خطوط السميت واعرف عدد سمته، فما

^٩ تعكس: (ب) بعكس	^١ تنظر: (ب) ينظر
^{١٠} إن: (ب) عن	^٢ (ده-خ) نظير
^{١١} في: (ب) إلى	^٣ اعرف: (ب) تعرف
^{١٢} في: (ب) إلى	^٤ من: (ب) في
^{١٣} شئنا: (ب) شئناه	^٥ مري: (ب) المري
^{١٤} أو: (ب) و	^٦ ثم احفظه: (ب) فاحفظه
^{١٥} فإن: (ب) وإن	^٧ وسط: (ب) وتد
^{١٦} بلدك أكثر من طول ذلك البلد: (ب) ذلك البلد اقل من طول بلدك	^٨ تنظر: (ب) ينظر

تقاطع الأفق معه حرفا ص ص^١ ولنسم ذلك النظم الأول. (٣-٣٤) وإما أن تبتدي^٢ من طرف خط نصف النهار الجنوبي وتنتهي^٣ عند طرفه الشمالي وعلامة ذلك أن تجتمع^٤ عند تقاطع الأفق مع خط وتد الأرض حرفا قف قف ولنسم هذا النظم الثاني. (٤-٣٤) وإما أن تكون تبتدي^٥ من كل واحد من طرفي خط نصف النهار وتنتهي^٦ عند مطلع الاعتدال ومغربه وعلامة ذلك أن تجتمع^٧ عند تقاطع الأفق مع مدار الحمل حرفا ص ص ولنسم ذلك النظم الثالث. (٥-٣٤) فإذا أردت أن تعرف سمت ارتفاع الشمس أو كوكب وخطوط السموت^٨ مخطوطة فوق **اب ٢٤ ظ** الأفق فضع درجة الشمس أو مري الكوكب على مثل الارتفاع الموجود وفي جهته ثم انظر الخط السمتي المار على درجة الشمس أو رأس الكوكب المحدد كم عدده. فإن كان من النظم الأول فإن ذلك^٩ العدد هو بُعد سمته من مطلع الاعتدال إن كان الارتفاع شرقياً أو عن مغربه إن كان غربياً. وتنظر^{١٠} إلى ملتقى تلك الدائرة مع الأفق فإن كان فوق خط الاستواء فهو في الجنوب وإن كان تحت خط الاستواء فهو في الشمال. وإن كان ذلك العدد من النظم^{١١} الثاني فإن سمته هو الفضل بين ذلك^{١٢} العدد وبين تسعين جزءاً فأسقط الأقل من الأكثر، فما^{١٣} بقي فهو المطلوب؛ وإن كان من النظم الثالث فأسقط العدد من تسعين فما^{١٤} بقي فهو سمت المطلوب. (٦-٣٤) وإن^{١٥} لم تمرّ على درجة الشمس أو رأس الكوكب دائرة من تلك الدوائر بل وقع بين خطين، فعلم على المري علامة وهي المطلقة. ثم ضع درجة الشمس أو رأس الكوكب على الخط^{١٦} الأقل **او ٢٥** عدداً وعلم على المري علامة وهي الأولى. ثم ضعها على الخط^{١٧} الأكثر عدداً وعلم على المري علامة وهي الثانية. ثم اضرب ما بين العلامة الأولى والمطلقة في أصل قسمة خطوط^{١٨} السموت واقسم المبلغ على فضل ما بين العلامة الأولى والثانية وزد ما خرج لك على عدد الخط الأول^{١٩} فما بلغ فهو عدد الخط المار بدرجة الشمس أو مري الكوكب. (٧-٣٤) فاعتبر به

١ (ب) + أيضاً	١١ (ده-ص) النظم
٢ تبتدي: (ب) يبتدي	١٢ بين ذلك: (ب) ذلك بين
٣ تنتهي: (ب) يتهي	١٣ فما: (ب) وما
٤ تجتمع: (ب) يجتمع	١٤ فما: (ب) وما
٥ تكون تبتدي: (ب) يبتدي	١٥ وإن: (ب) فإن
٦ تنتهي: (ب) انتهى	١٦ الخط: (ب) خط
٧ تجتمع: (ب) يجتمع	١٧ الخط: (ب) خط
٨ السموت: (ب) السموات	١٨ (ده-ص) خطوط
٩ فإن ذلك: (ب) فذلك	١٩ أول: (ب) الأقل عدداً
١٠ تنظر: (ب) ينظر	

انجلاء^١ الظلام وإما تمام انجلائه عنه يرصده هو في بلده وترصده أنت في بلدك حتى تقفا^٢ معاً على ارتفاع كوكب واحد معلوم لوقت واحد.^٣ ثم ضع رأس ذلك الكوكب في صحيفة عرض بلدك على مثل الارتفاع الذي وجدته له وفي جهته وعلم على المري. ثم أدر العنكبوت مستوياً أو معكوساً فأهما^٤ بلغ إلى خط وسط السماء أسرع، فضع رأسه عليه وانظر كم زال المري فهو المحفوظ الأول في جهة الارتفاع. ثم اعمد إلى الارتفاع الذي وجدته صاحبك في بلده فضع رأس ذلك الكوكب عليه وفي جهته وفي صحيفة عرض بلد صاحبك واعمل به ما عملت أولاً، فيخرج لك المحفوظ الثاني في جهة الارتفاع أيضاً. (٢-٣٣) ثم انظر^٥ فإن كان المحفوظان معاً شرقيين والأول أقل فزد فضل ما بينهما على [ب ٢٣ ظ] طول ذلك البلد المعلوم^٦ وإن كان الأول أكثر، فانقص فضل ما بينهما منه فيحصل لك طول بلدك من المغرب؛ وإن كانا غربيين معاً والأول أقل فانقص^٧ فضل ما بينهما من طول ذلك البلد وإن كان الأول أكثر فزد فضل ما بينهما عليه، فيحصل طول بلدك من المغرب. فإن^٨ كان المحفوظ الأول شرقياً والثاني غربياً فانقص مجموعهما من طول ذلك البلد؛ وإن كان^٩ [د ٣٨ و] الأول غربياً والثاني شرقياً فزد مجموعهما عليه فيحصل طول بلدك من جهة^{١٠} المغرب.

(٣٤) معرفة سمت ارتفاع الشمس والكوكب: (١-٣٤) متى توهمت دائرة عظيمة خارجة عن سمت رأسك مازة

على جرم الشمس أو الكوكب قائمة على الأفق على^{١١} زوايا متساوية، فإن ما بين موقعها من الأفق إلى مطلع الاعتدال أو مغربه أهما كان أقرب إليه يسمى سمت ذلك الكوكب في^{١٢} ذلك الارتفاع. [ب ٢٤ و] (٢-٣٤) وهذه الدوائر في الأسطرلاب إما أن تكون^{١٣} فوق الأفق وإما أن تكون^{١٤} تحته وأعدادها إما أن تكون^{١٥} مبتدئة من مطلع الاعتدال ومغربه وعلامة ذلك أن تجتمع^{١٦} على خط وسط السماء عند مدار الجدي حرفاً ص ص وتجتمع^{١٧} أيضاً على خط وتد الأرض عند

^٩ (ده-ص) كان
^{١٠} (د) - جهة
^{١١} (د) ↑ (ص) على
^{١٢} في: (د) من
^{١٣} تكون: (ب) يكون
^{١٤} تكون: (ب) يكون
^{١٥} تكون: (ب) يكون
^{١٦} تجتمع: (ب) يجتمع
^{١٧} تجتمع: (ب) يجتمع

^١ انجلاء: (ب) انجلاء
^٢ تقفا: (ب) يقفا
^٣ (د) - لوقت واحد
^٤ فأهما: (ب) فأهما
^٥ (ب) - ثم انظر
^٦ (د) - المعلوم
^٧ فانقص فضل ما بينهما منه فيحصل لك طول بلدك من المغرب وإن كانا غربيين معاً والأول أقل فانقص: (ب) فزد
^٨ فإن: (ب) وإن

حتى تضع درجة الشمس إن كان ذلك نهاراً أو نظيرها إن كان ليلاً على أفق المشرق فما تحرك المري فلكل خمسة عشر جزءاً ساعة. وذلك هو الماضي من الليل أو النهار إلى وقت توسط السماء.

(٣٢) معرفة عروض البلاد الشمالية التي يطلع فيها قطب فلك البروج والبلاد التي يماس فيها الأفق والتي تصير

فيها أبدي الظهور: (١-٣٢) كل بلد عرضه أقل من الميل الأعظم وهو كج له فإن قطبي فلك البروج يطلعان فيه ويغربان، وكل بلد يساوي عرضه الميل الأعظم، فإنهما^١ يماسان^٢ أفقه في دورانهما. وكل بلد يزيد^٣ عرضه عليه، فالقطب الشمالي فيه أبدي الظهور والجنوبي أبدي الخفاء. |ب ٢٢ ظ| والموضع الذي عرضه مثل تمام الميل الأعظم إلى ص^٤ وهو باقية إذا أسقط من ص^٥ أعني سو كه فالقطب الشمالي فيه يسامت الرؤوس والجنوبي يسامت الأرجل. (٢-٣٢) ومعرفة^٦ ذلك بالأسطرلاب أن تنظر إلى المقتطرة التي توافق^٧ مدار الجدي على خط وسط السماء. فإن كان عدد ارتفاعها أكثر من مـب ن فإن قطبي فلك البروج يطلعان ويغربان في تلك الصفيحة^٨ وإن كان عدد^٩ ارتفاعها^{١٠} مـب ن^{١١} سواء، فإنهما يماسان^{١٢} أفقها في دورانهما، وإن كان أقل فإن الشمالي منها أبدي الظهور فيها وإن كان مكان تلك المقتطرة أفق تلك الصفيحة فإن الشمالي منها^{١٣} يسامت فيها^{١٤} الرؤوس.

(٣٣) معرفة أطوال البلدان: ١٥ (١-٣٣) وإن أحتجت إلى معرفة طول بلدك أعني بعده من أقصى العمران في^{١٦}

ناحية المغرب فليس يمكنك ذلك^{١٧} إلا بعد أن يتواطي^{١٨} أحد سكان البلاد المعلومة الطول^{١٩} على رصد^{٢٠} وقت واحد |ب ٢٣ و| بعينه من أوقات كسوف قمرى بعينه إما بدو ظهور الظلام في جرمه وإما استغراق الكسوف إياه وإما ابتداء

- | | |
|---|--------------------------------|
| ١ (د) - فإنها | ١١ مـب ن: (ب) مت ن |
| ٢ يماسان: (ب) تماسان | ١٢ يماسان: (ب) تماسان |
| ٣ يزيد: (ب) يزداد | ١٣ (ب) - منها |
| ٤ (ب) - إلى ص | ١٤ (د) فيها |
| ٥ ص: (ب) تسعين | ١٥ أطوال البلدان: (ب) طول بلدك |
| ٦ معرفة: (ب) معرفته | ١٦ في: (ب) من |
| ٧ توافق: (ب) يوافق | ١٧ (ب) - ذلك |
| ٨ قطبي فلك البروج يطلعان ويغربان في تلك الصفيحة: (د) الشمالي منها أبدي الخفا فيها | ١٨ يتواطي: (د) تواطي |
| ٩ (ده-ص) عدد | ١٩ (ده-ص) طول |
| ١٠ (ب) - عدد ارتفاعها | ٢٠ على رصد: (ب) يرصد |

في هذا النصف. فأما في النصف الآخر، أعني ما بين أول الجدي^١ إلى أول السرطان، فإنّ ممزات الشمالية العروض تتقدم على^٢ درجاتها والجنوبية العروض تتأخر^٣ عن درجاتها فاعلم ذلك.

(٣١) معرفة طلوع أي كوكب شئنا وغروبه وتوسطه السماء بالنهار يكون أم بالليل: (١-٣١) ضع رأس ذلك

الكوكب المحدد على أفق المشرق ثم انظر إلى درجة الشمس فإن وقعت فوق الأفق^٤ فإن طلوعه بالنهار |ب ٢١ ظ| وإن وقعت تحته، فإن طلوعه بالليل. فإن أردت أن تعرف ذلك في توسطه السماء فضعه على خط وسط السماء وفي غروبه ضع على أفق المغرب واعتبر الاعتبار المذكور حتى يبين لك المطلوب. وإن اتفقت^٥ درجة الشمس معه فيما تضعه عليه فإنّ المطلوب من طلوعه أو غروبه أو توسطه السماء وغير ذلك^٦ يكون مع حدوث مثل ذلك للشمس. (٢-٣١) فإن أردت أن تعلم متى يكون طلوعه فضعه رأسه المحدد على أفق المشرق وعلم على موضع^٧ المري علامة^٨. ثم أدر العنكبوت معكوساً^٩ حتى توافي^{١٠} درجة الشمس^{١١} أفق المشرق^{١٢} إن كان طلوعه ليلاً، أو نظير درجة الشمس إن كان طلوعه نهاراً، فما تحرك المري عن موضعه فلكل خمسة عشر جزءاً ساعة وذلك هو الماضي من الليل أو من النهار^{١٣} إلى طلوع ذلك الكوكب. (٣-٣١) وإن أردت معرفة^{١٤} ذلك في غروبه فضعه رأسه المحدد^{١٥} على أفق المغرب وعلم على المري ثم أدر العنكبوت معكوساً حتى توافي^{١٦} درجة الشمس أفق |ب ٢٢ و| المغرب إن كان غروبه ليلاً^{١٧} ونظير درجاتها إن كان غروبه نهاراً، فما تحرك المري فلكل خمسة عشر جزءاً ساعة وذلك هو الماضي من الليل أو النهار إلى وقت غروبه. (٤-٣١) وإن أردت معرفة ذلك في توسطه^{١٨} السماء فضعه رأسه^{١٩} المحدد^{٢٠} على خط وسط السماء وعلم على المري. ثم أدر العنكبوت معكوساً

^{١١} توافي: (ب) تضع

^{١٢} (ب) + على

^{١٣} (د) + و

^{١٤} (د) شطب الكاتب حرف «و»

^{١٥} (د) - معرفة

^{١٦} المحدد: (ب) المحدد

^{١٧} توافي: (ب) يوافي

^{١٨} و: (ب) أو

^{١٩} توسطه: (ب) توسط

^{٢٠} رأسه: (د) رأس

^{٢١} المحدد: (ب) المحدد

^١ (ب) - وتتقدم إذا كانت جنوبية العرض في هذا النصف. فأما في النصف الآخر، أعني ما بين أول الجدي

^٢ تتقدم على: (ب) يتقدم

^٣ تتأخر: (ب) فتأخر

^٤ الأفق: (ب) الأرض

^٥ فإن: (ب) وإن

^٦ اتفقت: (د) اتفق؛ (ب) ابقت

^٧ (د) - من طلوعه أو غروبه أو توسطه السماء وغير ذلك

^٨ (ب) - موضع

^٩ (د) - علامة

^{١٠} معكوساً: (ب) مستويّاً؛ (به) معكوساً

تلك السنة. وكذلك^١ إن كان طالع سنة ما^٢ معلومة من سني العالم المعلوم^٣ فضع جزئه على أفق المشرق واعمل به ما قلناه^٤ فيخرج لك على أفق المشرق جزء طالع تلك السنة المطلوبة.^٥

(٣٠) معرفة^٦ درجة طلوع الكوكب وغروبه وتوسطه السماء:^٧ (١-٣٠) إن الكواكب ذوات العرض^٨ عن فلك

البروج لا تمر^٩ على أفق^{١٠} المشرق والمغرب و^{١١} وسط السماء مع درجاتها المنسوبة إليها بل مع درجات آخر. فإن أردت معرفة درجة طلوع كوكب مفروض، فضع مريه المحدد على أفق المشرق وانظر ما وافق أفق المشرق من درجات منطقة^{١٢} البروج فتلك الدرجة هي التي تطلع معه. ومن شأن الكواكب التي عروضها شمالية^{١٣} أن تطلع قبل درجاتها والتي عروضها جنوبية^{١٤} أن تطلع بعد درجاتها. [ب ٢١ و] (٢-٣٠) وإن أردت درجة غروبه^{١٥} فضع مريه^{١٦} على أفق المغرب وانظر ما وافق أفق المغرب من درجات البروج، فذلك^{١٧} درجة غروبه. وخاصة الكواكب الشمالية العروض أن تغرب^{١٨} بعد درجاتها^{١٩} والجنوبية بعكس ذلك. (٣-٣٠) وإن أردت درجة ممزه بوسط السماء^{٢٠} فضع مريه^{٢١} على خط وسط السماء وانظر ما وافق الخط^{٢٢} من درج البروج فهو درجة ممز ذلك الكوكب ودرج ممرات [د ٣٧ ظ] الكواكب الشمالية العروض تتأخر عن درجاتها^{٢٣} في فلك البروج إذا كانت فيما بين أول السرطان إلى^{٢٤} أول الجدي وتتقدم إذا كانت جنوبية العرض

١ (ب) + وكذلك	١٣ شمالية: (ب) في جهة الشمال عن فلك البروج
٢ (د) - ما	١٤ جنوبية: (ب) في الجنوب
٣ المعلوم: (د) معلوماً	١٥ غروبه: (ب) غروبه
٤ قلناه: (ب) تقدم	١٦ مريه: (ب) رأسه المحدد
٥ (د) - المطلوبة	١٧ فذلك: (ب) فتلك
٦ (ب) + معرفة	١٨ تغرب: (ب) بعرب
٧ (به) السماء	١٩ درجاتها: (د) درجاتها
٨ (ب) العروض	٢٠ بوسط السماء: (ب) وهي التي يتوسط السماء معه
٩ تمر: (ب) يمر	٢١ مريه: (ب) طرفه المحدد
١٠ (ب) - أفق	٢٢ الخط: (ب) خط وسط السماء
١١ (ب) - و	٢٣ درجاتها: (د) درجاتها
١٢ منطقة: (ب) المنطقة	٢٤ إلى: (ب) و

منتهى العدد وانظر إلى أفق المشرق ما وافاه فهو^١ برج الطالع بدرجاته. (٢٧-٢) وإن شئت فاعمد^٢ إلى خطوط الساعات المستوية إن كان ما عندك مستوية، أو المعوجة إن كان ما عندك معوجة؛ وعدّ من أفق المغرب مثل الذي عندك منها وعلم على المنتهى، فإن كانت تلك الساعات نهارية فضع نظير درجة الشمس على المنتهى، وإن كانت ليلية فضع عليه درجاتها ثم انظر إلى أفق المشرق ما وافاه، فهو الطالع بأجزائه. وإن كانت الساعات مأخوذة من لدن طلوع كوكب أو غروبه، فلا شك أنها تكون^٥ مستوية، فضع حينئذ رأسه المحدد على أفق المشرق إن كانت مأخوذة من طلوعه أو على أفق المغرب إن كانت مأخوذة |ب ٢٠ و| من غروبه^٦ وعلم على المري ثم أدر العنكبوت مستويًا حتى يزول المري لكل ساعة خمسة عشر جزءًا ثم انظر إلى أفق المشرق، فيكون الطالع ما وافاه من البروج وأجزائها.

(٢٨) معرفة الطالع في وسط المعمورة من قبل الطالع في بلدك: ضع درجة الطالع على أفق المشرق وعلم على المري

ثم خذ فضل ما بين تسعين جزءًا وطول بلدك الموضوع له في جداول الزيجات، فإن كان الفضل للتسعين فأدر العنكبوت مستويًا حتى يزول المري عن موضعه بمقدار ذلك^٧ الفضل، وإن كان الفضل لطول بلدك فأدره معكوسًا حتى يزول عن موضعه بقدر الفضل، ثم انظر إلى خط المشرق، أعني خط الاستواء من قبل المشرق، فما وافقه من فلك البروج فهو الطالع بالقبّة.

(٢٩) معرفة تحويل سني المواليد وسني^٨ العالم: ضع جزء طالع المولد على أفق المشرق وعلم على المري ثم أدر

العنكبوت مستويًا لكل سنة إن كان الأصل معمولًا بزيجات السند هند والفرس ثلاثة وتسعين جزءًا وإن كان بالقانون فتسعة |ب ٢٠ ظ| وثمانين^٩ جزءًا وإن كان بزيجات الرصد المحدث فسبعة^{١٠} وثمانين جزءًا حتى تفعل ذلك مرّات بعدد السنين الشمسية التامة التي تقدمت قبل التحويل المطلوب، ثم انظر إلى أفق المشرق ما وافقه فذلك جزء طالع تحويل

^٦ غروبه: (ب) غرب
^٧ (د) - ذلك
^٨ وسني: (ب) أو
^٩ ثمانين: (ب) ثمانون
^{١٠} فسبعة: (ب) وسبعة

^١ فهو: (ب) فذلك
^٢ فاعمد: (ب) فاعمل
^٣ إن: (ب) وإن
^٤ وإن: (ب) فإن
^٥ (د) - تكون: (ب) يكون

(٢٥) معرفة درجة الشمس بالرصد: أُرصد غاية ارتفاع^١ الشمس في نصف نهار يومك^٢ ثم اطلب على خط وسط السماء مقنطرة توافق^٣ ذلك الارتفاع الموجود^٤ وعلم عليها. ثم أدر الربع من منطقة البروج^٥ |ب ١٩| والذي أنت في فصله من منطقة البروج^٦ إن كان ربيعاً فمن أول الحمل إلى أول السرطان وإن كان^٧ صيفاً فمن أول السرطان إلى أول الميزان وإن كان^٨ خريفاً فمن أول الميزان إلى أول الجدي وإن كان^٩ شتاءً فمن أول الجدي إلى أول الحمل، فما وافق تلك العلامة من درج البروج في ذلك الربع فهو^{١٠} درجة الشمس.

(٢٦) معرفة^{١١} درجة الشمس من قبل قوس النهار:^{١٢} إذا كان قوس النهار معلوماً فعدّ مثل نصفه في الحجره من عند العلاقة وهو خط وسط السماء إلى جهة المشرق أو المغرب وعلم على المنتهى علامة. ثم ركب العضادة إن كانت محرّفة^{١٣} على وجه الأسطرلاب وضع مرسمها على العلامة وإن لم تكن محرّفة فضع مسطرة على مركز الأسطرلاب وتلك العلامة، فإنه سواء. و^{١٤} علم على الموضع^{١٥} الذي يقطع به^{١٦} حرف المسطرة أو العضادة الأفق وأقر عليه^{١٧} الربع الذي أنت في فصله، فأية درجة وافقت تلك العلامة فهي التي فيها الشمس.

(٢٧) معرفة الطالع من قبل الساعات: (٢٧-١) إذا عرفت ما مضى من ساعات النهار أو الليل^{١٨} فإن كانت نهارية فضع درجة الشمس على الأفق وإن كانت^{١٩} ليلية فضع عليه نظيرها |ب ١٩ ظ| وعلم على المري. ثم أدر العنكبوت مستويّاً إن كانت الساعات مستوية فلكل^{٢٠} ساعة خمسة عشر جزءاً ولكسورها ما تخصها^{٢١} منها وإن كانت معوجة نهارية فلكل ساعة مقدار أجزاء ساعات نهار درجة الشمس أو ليلية فمقدار^{٢٢} أجزاء ساعات ليل درجتها. ثم ضع المري على

١ (دهـص) ارتفاع	١٣ محرّفة: (ب) يحرفه
٢ نهار يومك: (د) النهار	١٤ و: (ب) ثم
٣ توافق: (ب) يوافق	١٥ الموضع: (ب) المواضع
٤ (د) — الموجود	١٦ به: (ب) بها
٥ (د) — من منطقة البروج	١٧ عليه: (ب) عليها
٦ (د) شطب الكاتب كلمة «البروج» وكتبها من جديد	١٨ إذا عرفت ما مضى من ساعات النهار أو الليل: (ب) إذا حصل لك العلم بالماضي من النهار والليل من الساعات وأردت أن يعلم الطالع
٧ وأن كان: (ب) أو	١٩ كانت: (ب) كان
٨ وإن كان: (ب) أو	٢٠ فلكل: (د) لكل
٩ وإن كان: (ب) أو	٢١ تخصها: (ب) تخصي
١٠ فهو: (ب) فهي	٢٢ فمقدار: (د) ومقدار
١١ (ب) + معرفة	
١٢ (ب) + إذا كان معلوماً	

(٢٣) معرفة مطالع البروج في الفلك المستقيم ومغالها ومغالها في سائر البلاد: ١ (٢٣-١) إذا أردت ذلك فضع

أول البرج الذي تريد^٢ معرفة مطالعه في الفلك المستقيم على خط وسط السماء أو أي خط شدت من الخطوط المستقيمة بعد أن يكون مازاً على مركز الأسطرلاب وعلم على موقع المري علامة. ثم أدر العنكبوت مستويًا حتى تضع آخر ذلك البرج على ذلك الخط بعينه. فما تحرك المري عن موضعه فهو مطالع ذلك البرج في الفلك المستقيم. ومغالها فيه مساوية له. (٢٣-٢) فإن أردت مطالعه في بلد ما، فاعمل به في الأفق الشرقي من الصفيحة المعمولة لعرض ذلك البلد ما عملت به أولاً في خط وسط السماء، لمعرفة^٣ مطالعه في الفلك المستقيم، فما تحرك المري فهو مطالعه في ذلك البلد. وإن أردت مغالها فيه فاعمل به هذا العمل بعينه في الأفق الغربي. وكذلك إن أردت مطالع عدة أبراج أو مطالع درجة^٤ مفروضة من برج مفروض.

(٢٤) معرفة تحويل درج المطالع إلى درج السواء: والمطالع إذا فرضت فإنها |ب ١٨ ظ| تفرض عند إحدي

نقطتي الانقلابين أو إحدي نقطتي الاعتدالين أو من^٥ عند أول برج مفروض غيرها. فإذا فرضت وأردت أن تعرف ما تصيها من درج السواء، فضع أول الحمل أو الميزان أو أي برج فرضت تلك المطالع من أوله. ولنسم^٦ ذلك الحد الأول إن كانت في الفلك المستقيم، فعلى خط وسط السماء أو إحدي الخطوط المستقيمة المازة على المركز؛ وإن كانت في بلد معلوم فعلى الأفق الشرقي في الصفيحة الموافقة^٧ عرضها لعرضه وإن كانت مغارب فيه^٨ |د ٣٧ و| فعلى الأفق الغربي في تلك الصفيحة. وعلم على المري ثم أدر العنكبوت مستويًا حتى يزول المري بقدر^٩ المطالع المفروضة لك^{١٠}. ثم انظر إلى الخط الذي وضعت عليه الحد^{١١} الأول، ما وافاه من درج البروج فما بين الحد^{١٢} الأول وبينه^{١٣} من الدرج في منطقة البروج هو ما يصيب تلك المطالع من درج السواء. وأما المغارب في الفلك المستقيم فإنها مساوية للمطالع فيه.

^٨ (د) - فيه

^٩ بقدر: (د) مقدار

^{١٠} (د) - لك

^{١١} الحد: (ب) الحد

^{١٢} الحد: (ب) حد

^{١٣} بينه: (ب) بينها

^١ (به) في سائر البلاد

^٢ تريد: (ب) يريد

^٣ (د) لمعرفة: (ده-خ) ولمعرفة

^٤ مطالع درجة: (ب) مطالعه درج

^٥ (ب) - من

^٦ ولنسم: (ب) وليس

^٧ الموافقة: (ب) الموافقة

(٢٠) **معرفة عرض الصفيحة:** إذا أردت أن تعرف عرض الصفيحة فانظر ارتفاع المنقطة التي توافق^١ مدار الحمل على خط وسط السماء فأسقطه من تسعين وما بقي فهو عرض الموضع الذي تصلح^٢ له تلك الصفيحة. وكذلك إن أمكنك تعرف^٣ المنقطة التي تجور على مركزها حصل لك المطلوب لأن ارتفاعها يكون موافقاً لعرض الصفيحة.

(٢١) **معرفة عرض البلد:** (١-٢١) إذا أردت أن تعرف عرض بلدك فارصد ارتفاع الشمس حتى يبلغ^٤ غايته

يزيد بعد ذلك بل يقف أو يكاد يأخذ في النقصان. فإذا عرفته فانظر فإن كانت الشمس في أول أحد برجي الحمل |ب| ١٧ **ظ** والميزان فأسقط ذلك الارتفاع^٥ من تسعين وما يبقى فهو عرض بلدك. (٢-٢١) وإن كانت الشمس في غير هذين الموضعين، فاستخرج ميل درجتها فاعرف^٦ أجنوبي^٦ هو أم شمالي، فإن كان شمالياً وارتفاع نصف النهار من جهة الشمال^٧ فاجمعها وألق المبلغ من مائة وثمانين. (٣-٢١) وإن كان ارتفاع نصف النهار من جهة^٨ الجنوب وكان الميل شمالياً فانقصه من ارتفاع نصف النهار الذي وجدته بالرصد^٩ وإن كان جنوبياً فزده عليه. فما حصل فانقصه^{١١} من تسعين وما بقي فهو عرض ذلك البلد. وكذلك إن عملت بكونك معلوم الميل فعلى هذا المثال.

(٢٢) **معرفة عرض البلد بالكواكب الأبدية الظهور:** إن بعض الكواكب القريبة من القطب تدور حوله في الأقاليم

الشمالية دوراناً ظاهراً بالكلية لا تغيب^{١٢} ولا تطلع^{١٣} وتسمى^{١٤} الأبدية^{١٥} الظهور وذلك كالفرقدين وبنات نعش وأمثالها. فإذا أردت أن تعرف عرض بلدك بأحدها فارصده حتى يبلغ غاية ارتفاعه بحيث لا يزداد بل يكاد يأخذ في النقصان واحفظ ذلك الارتفاع. ثم ارصده أيضاً في تناقص ارتفاعه حتى يبلغ غاية انحطاطه. وتأخذ بعد ذلك في الارتفاع ثم اجمع غاية ارتفاعه المحفوظ إلى غاية انحطاطه |ب| ١٨ **و** وخذ نصف المجتمع فما كان فهو عرض بلدك. وإن شئت فزد نصف فضل ما بين غاية ارتفاعه وغاية انحطاطه على غاية الانحطاط فتجتمع عرض بلدك.

^٩ (ب) - نصف
^{١٠} بالرصد: (ب) وبالرصد
^{١١} فانقصه: (ب) فانقصه
^{١٢} تغيب: (ب) يغيب
^{١٣} تطلع: (ب) يطلع
^{١٤} تسمى: (ب) يسمى
^{١٥} (د) الأبدية؛ (ده-خ) الأبدية

^١ توافق: (ب) يوافق
^٢ تصلح: (ب) يصلح
^٣ (ده-خ، ب) ارتفاع
^٤ يبلغ: (ب) تبلغ
^٥ الارتفاع: (ب) ارتفاع
^٦ فاعرف أجنوبي: (ب) واعرّف جنوبي
^٧ الشمال: (ب) الشمالي
^٨ (ده-ص) جهة

المقنطرة فيبقى ارتفاع^١ نصف نهاره من جهة الجنوب وإن كان شالياً فزده على ارتفاع تلك المقنطرة فإن كان المبلغ أقل من تسعين، فهو ارتفاع نصف نهاره من جهة الجنوب وإن كان أكثر من تسعين فانقص المبلغ من مائة وثمانين وما^٢ بقي |د ٣٦ ظ| فهو ارتفاع نصف نهاره من جهة الشمال. (٣-١٨) وإن كان الكوكب أبدي الظهور وأردت غاية انحطاطه وأقل |ب ١٦ ظ| ارتفاعه فضع مرية على خط وتد الأرض فالتى توافقه من المقنطرات هو^٣ أقل ارتفاعه. وأيضاً فانقص تمام ميله من عرض بلدك فيؤديك إلى المطلوب الأول.

(١٩) معرفة ارتفاع الشمس لأوائل كل واحد من نوعي الساعات كل يوم: (١-١٩) إذا أردت ذلك فضع نظير

درجة الشمس على أفق المغرب وعلم على موقع المري من الحجرة. فأما الساعات المستوية: فأدر العنكبوت مستوياً حتى يزول المري عن العلامة خمسة عشر جزءاً ثم انظر إلى درجة الشمس أية مقنطرة وافت، فما كانت فهو ارتفاع الساعة الأولى. ثم أدره أيضاً خمسة عشر جزءاً وانظر إلى درجة الشمس ما وافت من المقنطرات،^٤ فذلك هو ارتفاع الساعة الثانية. وعلى هذا فاعمل لسائرهما إلى تمام نصف النهار. فأما ما بعده فالارتفاع^٥ لساعة تبقى من النهار مثل الارتفاع لساعة^٦ تمضي منه وكذلك لساعتين وثلاث وأكثر. وإن كانت خطوط الساعات المستوية معمولة في الصفيحة، فضع نظير درجة الشمس على خط أول كل ساعة منها وتأمل ارتفاع درجة الشمس عند كل^٧ وضع، فتهجم على المطلوبك. (٢-١٩) وأما الساعات^٨ المعوجة: فاعمل |ب ١٧ و| على هذا المثال بعينه ولكن ليكن إدارتك للمري مستوياً بدل خمسة عشر جزءاً بمقدار أجزاء ساعات نهار^٩ نظير درجة الشمس إن أردته بمثل العمل الأول.^{١٠} وأما^{١١} بمثل العمل الأخير فضع نظير درجة الشمس على خط أول^{١٢} كل ساعة من الساعات المعوجة إن كانت تحت الأفق وإن كانت مخطوطة فوقه فدرجة الشمس نفسها. ثم انظر إليها أية مقنطرة وافت، فذلك هو ارتفاع تلك الساعة. وبهذا ينتفع في عمل الرخامات وسائر الآلات.

^٧ كل: (ب) وكل

^٨ الساعات: (ب) للساعة

^٩ (د) - نهار

^{١٠} (ده-خ) فإن أردته مثل العمل الثاني

^{١١} وأما: (ب) فأما

^{١٢} أول: (ب) الأول

^١ (ب) - تلك المقنطرة فيبقى ارتفاع

^٢ (د) وما؛ (ده-خ) فما

^٣ (د) هو؛ (ده-خ) هي

^٤ المقنطرات: (ب) المقنطرة

^٥ فالارتفاع: (ب) والارتفاع

^٦ (ده-ص) لساعة

(١٧) معرفة ميل درجة الشمس وميل الكواكب الثابتة وأبعادها عن سمت الرأس عند توسطها السماء: ١ (١٧)-

(١) ضع تلك الدرجة أو مري ذلك الكوكب الثابت على خط وسط السماء فإن كان |ب ١٥ ظ| موقعه منه داخل مدار الحمل فميله شمالي وإن كان خارجاً^٣ فهو جنوبي وذلك في الأسطرلاب الشمالي، فأما الجنوبي فبعكس ذلك. فإن أردت أن تعرف مقدار ذلك الميل فخذ فضل ما بين المنقطة التي وافقت موقعه من خط وسط السماء وبين المنقطة التي ماسّت مدار الحمل على خط وسط السماء فهو ميل تلك الدرجة أو الكوكب. (١٧-٢) فإن أردت معرفة جهته عن سمت الرأس فضعه على خط وسط السماء فإن وقع بين نقطة ص وبين القطب، والأسطرلاب الشمالي^٤ فهو عن سمت الرأس شمالي وإن كان بين نقطة ص وبين المحيط^٥ فهو جنوبي فأما^٦ في الأسطرلاب الجنوبي فالأمر بعكس ذلك. وإن أردت أن تعرف مقدار البعد بينه وبين سمت الرأس عند توسط السماء فانظر كم ارتفاع المنقطة التي توافقه فأسقطه من تسعين وما بقي فهو المطلوب. فإن كان الكوكب من الأبدية الظهور التي تدور^٩ ظاهرة حول القطب أبداً وأردت بعده عن سمت الرأس عند غاية انحطاطه وأقل ارتفاعاته فضع مريه على خط وتد |ب ١٦ وا| الأرض ثم انظر ما وافقه من المنقطرات فأسقط ارتفاعها من تسعين فيحصل المطلوب.

(١٨) معرفة ارتفاع نصف نهار أي كوكب وأية درجة أردنا: (١٨-١) إذا أردت ذلك تضع تلك الدرجة أو مري

ذلك الكوكب على خط وسط السماء، فما وافقه من المنقطرات فهو مقدار ارتفاعه في خط نصف النهار، إن كان بين نقطة ص وبين المحيط في الأسطرلاب الشمالي فهو من الجنوب وإن كان بين نقطة ص وبين القطب فهو من الشمال^{١١} وإن كان الأسطرلاب جنوبياً فبعكس ذلك. (١٨-٢) وإن أردت أن تعرف ذلك من جهة أخرى فاعرف ارتفاع المنقطة التي توافق مدار الحمل على خط وسط السماء واستخرج ميل تلك الدرجة أو الكوكب فإن كان جنوبياً فانقصه من ارتفاع تلك

١ (به) الرأس عند توسطها السماء

٢ وإن: (ب) فإن

٣ خارجاً: (ب) خارجة

٤ الشمالي: (د) شمالي

٥ المحيط: (ده-خ) الحجر

٦ فأما: (ب) وأما

٧ وإن: (ب) فإن

٨ فإن: (ب) وإن

٩ تدور: (ب) يدور

١٠ (د) إن؛ (ده-خ) فإن

١١ (د) المحيط في الأسطرلاب الشمالي فهو من الجنوب وإن كان بين

نقطة ص وبين القطب فهو من الشمال؛ (ده-خ) القطب فهو في الشمال

وإن كان بين نقطة ص وبين الحجر فهو في الجنوب

جزءاً فما وافى خط وسط السماء فهو البيت^١ السادس بأجزائه. ثم أدره بمقدار ضعف^٢ أجزاء ساعات نهار درجة الطالع فما وافى خط وسط السماء فهو البيت^٣ الخامس بأجزائه. (١٦-٤) فإذا حصلت لديك^٤ هذه البيوت الستة فإنّ درجة السابع هي نظير درجة الطالع والبيت الرابع نظير وسط السماء والبيت الثالث نظير البيت التاسع والبيت الثاني نظير البيت الثامن والبيت الثاني عشر نظير البيت السادس والبيت الحادي عشر نظير البيت الخامس.^٥ (١٦-٥) وإن أردت ذلك على وجه آخر قريب من الحقيقة غير محسوس ما بينها فضع درجة الطالع على أفق المشرق فيكون ما وافى خط وسط السماء هو برج وسط السماء^٦ |ب ١٥| وأجزائه ثم حرك^٧ العنكبوت معكوساً حتى تحطّ درجة الطالع ساعتين معوجتين فتقع على أول الساعة الحادية عشرة،^٨ ثم انظر إلى خط وسط السماء ما وافاه^٩ فهو البيت التاسع بأجزائه. ثم أدره أيضاً معكوساً حتى تحطها^{١٠} ساعتين أيضاً وتقع^{١١} على أول الساعة التاسعة فما^{١٢} وافاه^{١٣} حينئذ خط وسط السماء هو^{١٤} البيت الثامن بأجزائه. ثم ضع درجة الغارب أعني نظير^{١٥} درجة الطالع على أفق المغرب وأدر العنكبوت مستويّاً حتى تحط درجة الغارب ساعتين^{١٦} وتقع^{١٧} على أول الساعة^{١٨} الثالثة فما وافى خط وسط السماء حينئذ فهو البيت الحادي عشر بأجزائه. ثم أدره مستويّاً أيضاً حتى تحط^{١٩} درجة الغارب ساعتين^{٢٠} آخرتين وتقع على أول الساعة الخامسة فما وافى خط وسط السماء حينئذ فهو البيت الثاني عشر بأجزائه والبيوت الآخر مقابلة لهذه التي صارت معلومة كما قدّمناه.^{٢١}

١ (به-ص) البيت الثامن بأجزائه. ثم أدره ستين جزءاً فما وافى خط وسط السماء فهو
٢ ضعف: (ب) الضعف
٣ (ب) - البيت
٤ (د) لديك؛ (ده-خ) لك
٥ (د) والبيت الرابع نظير وسط السماء والبيت الثالث نظير البيت التاسع والبيت الثاني نظير البيت الثامن والبيت الثاني عشر نظير البيت السادس والبيت الحادي عشر نظير البيت الخامس؛ (ب) والرابع نظير وسط السماء والثالث نظير التاسع والثاني نظير الثامن والثاني عشر نظير السادس والحادي عشر نظير الخامس.
٦ (ب) جدول يحتوي على أسماء النجوم، لا يرتبط بالنص
٧ (د) حرك؛ (ده-خ، ب) أدر
٨ عشرة: (ب) عشر
٩ (د) وافاه: (ب) وافى
١٠ تحطها: (ده-خ) تحط؛ (ب) بخطها
١١ وتقع: (د) - تقع؛ (ب) ويقع
١٢ (ده-خ) فما وافى خط وسط السماء
١٣ وافاه: (ب) وافى
١٤ (د) هو؛ (د) - هو؛ (د) - هو؛ (ب) فهو
١٥ نظير: (ب) نظيرة
١٦ ساعتين: (ب) الساعتين
١٧ تقع: (ب) يقع
١٨ الساعة: (ب) ساعة
١٩ تحط: (ب) بخط
٢٠ ساعتين: (ب) الساعتين
٢١ قدمناه: (د) قدمنا

المشترك بينه وبين شعاع الشمس فتلك هي الساعة^١ التي أنت فيها إن كان قبل نصف النهار |ب ١٣ و| فأما إن كان بعده فهي مأخوذة من أجزاء النهار فأسقطها^٢ من جملة النهار حتى يبقى لك الماضي من أوله^٣.

(١٦) معرفة تسوية البيوت الاثني عشر: (١-١٦) إذا أردت ذلك فضع جزء الطالع على أفق المشرق وانظر ما وافى خط وسط السماء من البروج فهو برج وسط السماء فإن كان هو عاشر برج الطالع فإن الأوتاد تسمى حينئذ قائمة وإن كان^٤ تاسع أو حادي عشر فإنها تسمى مائلة أو زائلة^٥. وعدّ من أول ذلك البرج إلى الموضع^٦ الذي وافى^٧ خط وسط السماء فما كان فهو درجاته. (٢-١٦) فإن كان وافى خط وسط السماء أحد خطوط قسمة الأجزاء في منطقة البروج فذلك^٨ وآلا بل^٩ وقع بين خطين فعلم على موقع^{١٠} المري علامة وسمها مطلقة. ثم أدر العنكبوت معكوساً حتى تضع الخط الأول على خط وسط السماء وعلم على موضع^{١١} المري العلامة الأولى وأدره أيضاً مستويّاً حتى تضع^{١٢} الخط الآخر الذي يتلو^{١٣} الأول على خط وسط السماء وعلم على موضع^{١٤} المري العلامة الثانية. ثم اضرب فضل ما بين الأولى والمطلقة في أصل قسمة الأسطرلاب^{١٥} واقسم المبلغ على فضل ما بين الأولى والثانية فما خرج فزده على الخط الأول فتجتمع^{١٦} |ب ١٣ ظ| أجزاء وسط السماء وكذلك تعدّل^{١٧} أجزاء جميع ما وافى خط وسط السماء. (٣-١٦) فإن أردت أن تعرف^{١٨} سائر البيوت فاستخرج أجزاء ساعات نهار درجة الطالع وأجزاء ساعات ليلها. ثم ضع درجة الطالع على أفق المشرق وعلم على المري علامة^{١٩}. ثم أدره^{٢٠} معكوساً بقدر ضعف أجزاء ساعات ليل درجة الطالع فما وافى خط وسط السماء فهو البيت التاسع بأجزائه. ثم أدر المري أيضاً معكوساً بمثل المقدار الأول فما وافى خط وسط السماء فهو البيت الثامن بأجزائه. ثم أدره ستين

^{١١} (ب) - موضع

^{١٢} تضع: (ب) يضع

^{١٣} يتلو: (ب) يتلوا

^{١٤} (ب) - موضع

^{١٥} (د) الأسطرلاب؛ (ده-خ؛ ب) المنطقة

^{١٦} فتجتمع: (ب) فيجتمع

^{١٧} تعدّل: (ب) فعدل

^{١٨} (د) - أن تعرف

^{١٩} (د) - علامة

^{٢٠} (د) أدره؛ (ده-خ؛ ب) حرّكه

^١ الساعة: (ب) الساعات

^٢ (د) فاسقطها؛ (ده-خ) فاسقطها

^٣ (د) أوله؛ (ده-خ) أول النهار

^٤ (به-ص) هو عاشر برج الطالع فإن الأوتاد تسمى ح قائمة فإن كان

^٥ تاسع أو حادي عشر فإنها تسمى مائلة أو زائلة: (ب) تاسعة فيسمى زائلة أو حادي عشرة فإنها تسمى مائلة

^٦ الموضع: (ب) موضع

^٧ وافى: (ب) وافق

^٨ فذلك: (ب) فذلك

^٩ وآلا بل: (ده-خ) وإن

^{١٠} (ب) - موقع

فاعمل فيها ما تقدم حتى ستيين لك الكسور التي معها إن كانت. (١٣-٣) وإن كانت الساعات ليلية^١ فاعمل بدرجة الشمس نفسها^٢ ما عملت بنظيرها في النهارية.

(١٤) معرفة ما مضى من النهار من نوعي الساعات على ظهر الأسطرلاب: (١٤-١) خطوط الساعات على

ظهر الأسطرلاب تكون^٣ منحنية وهي إما للمستوية وإما للمعوجة. وعلامة ما للمعوجة^٤ منها أنها تكون^٥ ست قطع بين الخطوط بالقرب^٦ من مركز الأسطرلاب وبالبعد^٧ منه وعلامة المستوية أن يختلف عدد القطع |ب ١٢ ظ| والخطوط فتكون القرب من المركز أكثر منها عند المحيط أو أقل وتكون^٨ المدارات في كليهما مخطوطة لدرجات الفلك. (١٤-٢) فإذا أردت أن تعرف بها ما مضى من النهار من ساعة فخذ ارتفاع الشمس أي وقت شئت ثم انظر إلى موضع تقاطع حرف العزادة مع مدار الدرجة |د ٣٦ و| التي فيها الشمس في أية ساعة هو وكم بعد^٩ من الخط الأفقي فما كان فهو الماضي من أول النهار إن كان الارتفاع شرقياً أو^{١٠} الباقي إلى^{١١} آخر النهار^{١٢} إن كان غربياً.

(١٥) معرفة ما مضى من النهار من ساعة معوجة بعزادة الأسطرلاب: ١٣ إذا كانت الساعات المعوجة معمولة

على العزادة فإنها أعني العزادة تنقسم^{١٤} بها بأقسام مختلفة تتضايق^{١٥} في الأوائل وتتسع^{١٦} في الأواخر. فإذا أردت معرفة الساعات بها فضع مري العزادة من النصف الذي فيه مبدأ الساعات على ارتفاع نصف النهار ليومك^{١٧} ثم قابل بالربع الذي فيه أجزاء الارتفاع عين الشمس كما تعمل عند قياس الارتفاع وانظر ظل الهدفة العليا^{١٨} على أية ساعة تمر^{١٩} الفصل

١ (ب) - فاعمل فيها ما تقدم حتى ستيين لك الكسور التي معها إن كانت. وإن كانت الساعات ليلية
٢ (ب) - نفسها
٣ تكون: (ب) يكون
٤ (ب) - علامة ما للمعوجة
٥ تكون: (ب) يكون
٦ بالقرب: (ده-خ) بالبعد
٧ بالبعد: (ده-خ) بالقرب
٨ تكون: (ب) يكون
٩ (ب) - بعد
١٠ (د) أو: (ده-خ) و
١١ (د) إلى: (ده-خ) من
١٢ (د) - النهار
١٣ (ده-خ) معرفة الساعات من عزادة الأسطرلاب
١٤ تنقسم: (ب) بنقسم
١٥ تتضايق: (ب) يتضايق
١٦ تتسع: (ب) يتسع
١٧ النهار ليومك: (ب) نهار يومك
١٨ العليا: (ب) لعليا
١٩ (د) + بين

نهاراً. فإن وقع على خط من خطوط الساعات فما قبله منها هو ما مضى من جملتها وإن وقع فيما بين الخطين^١ فإن الماضي من الساعات المعوجة هي التي قبل الخط إلى المغرب وكسر من الأخرى. [ب ١١ ظ] واستخراج الكسر أن تعلم على موقع المري عند كون الطالع على أفق المشرق علامة وتسميها مطلقة^٢ ثم تدير العنكبوت معكوساً حتى تضع^٣ نظير درجة الشمس على أول الساعة التي كان وقع داخلها وعلّم على المري علامة وهي الأولى. ثم أدر العنكبوت مستويّاً حتى تضع^٤ النظير على أول الساعة التي تتلوه وعلّم على موقع المري علامة وهي الثانية. ثم انسب ما بين العلامة الأولى والمطلقة إلى ما بين الأولى والثانية وهي أجزاء تلك الساعة المعوجة. (١٢-٣) وإن أردت أن تجعلها دقائق لتكون^٥ النسبة إلى ستين فاضرب ما بين الأولى والمطلقة في ستين واقسم المبلغ على ما بين الأولى والثانية فتخرج^٦ دقائق الساعة المنكسرة وإن كان ليلاً فستقع^٧ درجة الشمس تحت الأفق^٨ عند وضع الطالع على أفق المشرق فاعمل بدرجة الشمس نفسها ما عملت أولاً بنظيرها فيخرج لك ما مضى من الليل من ساعة معوجة. (١٢-٤) وإن كانت الساعات المعوجة معمولة فوق الأفق فاعمل بدرجة الشمس ما أمر بك أن تعمله^٩ بنظيرها وبنظيرها ما أمر بك بما^{١٠} نفسها وباقي العمل^{١١} على [ب ١٢ و] حالة لا يتغير شيئاً.

(١٣) معرفة تحويل نوعي الساعات بعضها إلى بعض: ١٢ (١-١٣) إذا كانت عندك ساعات معوجة نهارية وأردت

أن تعلم كم تكون مستوية فضع نظير درجة الشمس على مثل ما معك من المعوجة وعلّم على المري ثم أدر العنكبوت معكوساً حتى تضع نظير درجة الشمس على أفق المغرب فما تحرك المري فكل خمسة عشرة درجة منه ساعة مستوية وكل درجة أربع دقائق من ساعة. (١٣-٢) وإذا كانت مستوية نهارية وأردت أن تعلم كم هي معوجة فضع نظير درجة الشمس على أفق المغرب وعلّم على المري علامة ثم أدر العنكبوت مستويّاً حتى يزول المري عن موضعه لكل ساعة خمسة عشرة درجة ولكسورها ما تحصه^{١٣} منها. ١٤ فإذا فعلت ذلك وقع نظير درجة الشمس على ما مضى من النهار من ساعة معوجة

١ الخطين: (ب) خطين	٨ (د) (↑) رض
٢ مطلقة: (ده-خ) المطلقة	٩ عمله: (ب) عمله
٣ تضع: (د) تقع	١٠ بما: (ده-خ) بدرجتها
٤ تضع: (د) تقع	١١ (د) + العمل
٥ لتكون: (ب) ليكون	١٢ بعضها إلى بعض: (ده-خ) أحدهما إلى الآخر
٦ فتخرج: (ب) فيخرج	١٣ تحصه: (ب) يحصه
٧ فستقع: (ب) فستقع	١٤ بما: (ده-خ) فيها

خطوطها وعلم على موقع المري ثم أدر العنكبوت كيف شئت مستويًا أو معكوساً حتى تضعه على الخط الذي يتلوه من خطوط الساعات من أي جهتيه كان فما تحرك المري فهو أجزاء ساعات نهار تلك الدرجة. (١٠-٢) وأما أجزاء ساعات^١ ليها، فاقسم معرفتها قوس ليها على اثني عشر أو زد سدس تعديل نهار^٢ نظيرها على خمسة عشر إن كانت جنوبية الميل وانقصه منها^٣ إن كانت شمالية الميل أو انقص أجزاء ساعات نهار الدرجة من ثلثين أبداً. أو ضع^٤ الدرجة نفسها على أي خط شئت من خطوط الساعات إن كانت مخطوطة^٥ تحت الأفق أو نظيرها إن كانت مخطوطة فوقه وعلم على المري علامة ثم أدر العنكبوت^٦ مستويًا أو معكوساً حتى تضعه^٧ على أول خط من خطوط الساعات يتلوه من إحدي جهتيه فما تحرك المري أو ما حصل من الأوجه التي تقدمت فهو أجزاء ساعات ليل تلك الدرجة. (١٠-٣) وإن أردت ذلك لكوكب ثابت فأعمل بمريه ما عملت بالدرجة فيخرج لك المطلوب فيه.

(١١) معرفة ما مضى من النهار أو الليل من ساعة مستوية: إذا حصل لك الطالع على أفق المشرق فعلم على موقع |ب ١١| و |المري علامة فإن كانت درجة الشمس فوق الأرض أعني^٨ فوق الأفق فأدر^٩ العنكبوت معكوساً حتى تضعه على أفق المشرق فما تحرك المري فهو الدائر من الفلك من لدن طلوع الشمس إلى وقت ذلك الطالع في ذلك اليوم، فخذ لكل خمس عشرة^{١٠} درجة منها ساعة ولكل جزء أربع دقائق. وإن كانت درجة الشمس تحت الأفق فأدر العنكبوت معكوساً حتى تضع نظير درجة الشمس على أفق المشرق فما تحرك المري فهو الدائر من الفلك من وقت غروب الشمس إلى ذلك الوقت ولكل خمس عشرة^{١١} درجة منه ساعة ولكل درجة أربع دقائق.

(١٢) معرفة ما مضى من النهار أو^{١٢} الليل من ساعة معوجة: (١٢-١) إذا حصل لك الدائر من الفلك فاقسمه على أجزاء ساعات نهار درجة الشمس إن كان نهاراً أو على أجزاء ساعات ليها^{١٣} إن كان ليلاً فيخرج لك ما مضى من الساعات المعوجة. (١٢-٢) وإن شئت فضع الطالع على أفق المشرق فسيقع نظير درجة الشمس تحت الأرض إن كان

^٨ (ب) - فوق الأرض أعني
^٩ فأدر: (ب) وأدر
^{١٠} خمس عشرة: (ب) خمسة عشر
^{١١} عشرة: (ب) عشر
^{١٢} أو: (ب) و
^{١٣} ليها: (ده-خ) الليل

^١ ساعات: (ب) الساعات
^٢ نهار: (ده-خ) نهارها
^٣ منها: (د) منه
^٤ ضع: (د) وضع
^٥ مخطوطة: (ب) مخطوط
^٦ (ده-خ) كيف شئت
^٧ تضعه: (ب) تطبقه

المستوية في الصفيحة مخطوطة فضع نظير درجة الشمس على أفق المشرق وانظر فإن كان عند^١ وضعه عليه على خط من خطوط الساعات فما قبل ذلك الخط هو ساعات ذلك النهار صحاحاً، وإن لم يكن على خط منها^٢ فعلم على المري ثم أدر العنكبوت معكوساً حتى تضع هذا النظير على أول خط من خطوط الساعات تلقاه في الدوران وعلم على المري ثم انظر كم قبله من الساعات فهي الصبح لذلك^٣ اليوم وما بين العلامتين هو الكسور^٤ التي تتبعها^٥ لكل جزء أربع دقائق. (٩-٦) فإن أردت ساعات الليل فاقسم قوس ليها على خمسة عشر فتخرج^٦ ساعات |ب ١٠| و |الليل. أو انقص^٧ ساعات النهار من أربعة^٨ وعشرين ساعة فتبقى ساعات الليل. أو استخرج تعديل ليل الدرجة أعني تعديل نهار نظيرها وخذ من ضعفه لكل خمس عشرة درجة ساعة تامة ولكل درجة أربع دقائق من ساعة، فإن كانت شمالية الميل فانقص^٩ ذلك من اثني عشرة ساعة وإن كانت جنوبية الميل فزده^{١٠} عليها، فتحصل^{١١} لك قوس ليها. وإن كانت الساعات المستوية مخطوطة^{١٢} في الأسطرلاب فاعمل بدرجة الشمس ما عملت في ساعات النهار بنظيرها^{١٣} فتخرج^{١٤} لك ساعات الليل. (٩-٧) وإن أردت ذلك لكوكب من الثوابت فاعمل بمريه ما عملت بالدرجة حتى يحصل لك المطلوب^{١٥}.

(١٠) معرفة أجزاء ساعات نهار كل درجة وليها وهي ما تدور من الفلك في كل ساعة معوجة في ذلك اليوم أو

الليلة: (١٠-١) فإذا^{١٦} أردت |د ٣٥ ظ| أن تعرف أجزاء ساعات نهار أية درجة شئت فاقسم قوس نهار تلك الدرجة^{١٧} على اثني عشر فما خرج فهو أجزاء ساعات نهارها. وإن شئت فخذ سدس تعديل نهارها فزده على خمسة عشر إن كانت الدرجة شمالية الميل أو^{١٨} انقصه^{١٩} منها إن كانت جنوبية الميل فتحصل أجزاء ساعات نهارها أو ضع نظيرها إن كانت الساعات |و ١٠ ظ| مخطوطة تحت الأفق^{٢٠} أو درجتها نفسها إن كانت مخطوطة فوق الأفق^{٢١} على أي خط شئت من

^{١٢} مخطوطة: (ب) مخطوط

^{١٣} (د) - بنظيرها

^{١٤} فتخرج: (ب) فيخرج

^{١٥} المطلوب: (ب) لمطلوب

^{١٦} فإذا: (ب) وإذا

^{١٧} تلك الدرجة: (ب) ها

^{١٨} أو: (ب) و

^{١٩} أنقصه: (د) أنقص

^{٢٠} (د) ↑ رض

^{٢١} (د) ↑ رض

^١ (ده-ص) عند

^٢ (ب) - على خط منها

^٣ لذلك: (ب) ذلك

^٤ الكسور: (ب) المكسور

^٥ تتبعها: (ب) تلبغها

^٦ فتخرج: (ب) فيخرج

^٧ أنقص: (ب) فانقص

^٨ أربعة: (د) أربع

^٩ فانقص: (ب) فانقص

^{١٠} فزده: (د) فزد

^{١١} فتحصل: (ب) فيحصل

مائة وثمانين لقوس النهار فانقص هذا الضعف منها وإن أوجبت نقصانه فزده عليها فما حصل فهو قوس الليل. (٨-٥) وفي معرفة ذلك للكواكب تفعل بمرحها ما فعلت بالدرجة^١ فيخرج لك المطلوب فيها.

(٩) معرفة الساعات المستوية في الأيام والليالي: (٩-١) الساعات | ب ٩ | و| على ضربين مستوية وتسمى^٢

معتدلة ومعوجة وتسمى^٣ زمانية. فالمستوية هي التي تختلف^٤ أعدادها في أيام السنة ولياليها ولا تختلف^٥ مقاديرها. مثال ذلك أن يكون النهار الشتوي عشر ساعات والصيفي أربع عشرة^٦ ساعة والربيعي والخريفي اثنتي عشرة ساعة. فالأعداد مختلفة ولكن المكيال الذي يكيل^٧ كل واحدة^٨ منها واحد. (٩-٢) والمعوجة هي التي لا تختلف أعدادها في جميع أيام السنة ولياليها بل تختلف^٩ مقاديرها وهو أن يكون النهار أبدأً اثنتي عشرة ساعة لكن الساعة^{١٠} الصيفية أطول قدرًا من الساعة^{١١} الشتوية. وقد علم أن الفلك يدور دورة واحدة في اليوم بليلته^{١٢} وذلك أربع وعشرون ساعة. فحصة الساعة الواحدة خمسة عشر جزءًا من ثلاثمائة وستين جزءًا وذلك للمستوية. ^{١٣} فأما المعوجة فإن حصتها تقل وتكثر^{١٤} وتسمى أزمان الساعات وأجزاؤها. فاعلم ذلك فيما بعد. (٩-٣) فإذا أردت أن تعرف ساعات نهار أية درجة شئت فخذ من قوس نهارها لكل خمس^{١٥} عشرة درجة^{١٦} ساعة مستوية وما بقي فأجزاء من خمسة عشر من ساعة مستوية | ب ٩ ظ | وذلك ساعات ذلك النهار. فإن ضربت هذه الأجزاء في أربع دقائق صارت دقائق ساعة مستوية. (٩-٤) وأيضاً فاستخرج تعديل نهار الدرجة واضعفه وخذ لكل خمس عشرة درجة ساعة ولما بقي لكل جزء أربع دقائق. فما اجتمع فانظر فإن كانت الدرجة شالية الميل أعني إن كان مدارها داخل مدار الحمل فزد ذلك على اثنتي عشرة^{١٧} ساعة وإن كانت جنوبية الميل أعني^{١٨} إن كان مدارها خارج مدار الحمل فانقص ذلك من اثنتي عشرة ساعة فتحصل^{١٩} لك ساعات النهار المستوية. (٩-٥) وإن كانت الساعات

^{١١} الساعة: (ب) الساعات

^{١٢} بليلته: (د) والليله

^{١٣} (ب) شطب الكاتب كلمة «فإن»

^{١٤} تقل وتكثر: (ب) يقل ويكثر

^{١٥} خمس: (ب) خمسة

^{١٦} (د) — درجة

^{١٧} عشرة: (ب) عشر

^{١٨} أعني: (د) يعني

^{١٩} فتحصل: (ب) فيحصل

^١ بالدرجة: (ب) الدرجة

^٢ تسمى: (ب) يسمى

^٣ تسمى: (ب) يسمى

^٤ تختلف: (ب) يختلف

^٥ تختلف: (ب) يختلف

^٦ أربع عشرة: (د) أربع عشر

^٧ يكيل: (ب) تكيل

^٨ واحدة: (ب) واحد

^٩ تختلف: (ب) يختلف

^{١٠} الساعة: (ب) الساعات

بين العلامة الأولى والمطلقة في أصل قسمة منطقة البروج واقسم^١ المجتمع على فضل ما بين العلامة الأولى والثانية فما خرج من القسمة^٢ فزده على عدد الخط الأول^٣ من المنطقة^٤ فتجتمع^٥ لك درجة^٦ الطالع.

(٧) معرفة الطالع من قبل الانحطاط: (١-٧) أما هذا الانحطاط المذكور^٧ فهو شيء في الوهم واجب الوجود في

قياسات الأشخاص السفلية ويمكن الوجود في الأجرام العلوية إمكاناً بعيداً لصغر قدر الأرض وجبالها^٨ عند الفلك^٩ وصغر آلات القياس. (٢-٧) وإن لم يكن منه بد فلن يحتاج إليه إلا في الشمس. فإن وجدت لها هذا الانحطاط وأردت استخراج الطالع به فإن كان شرقياً فاحتسب به ارتفاعاً من جهة المغرب وإن كان غربياً فاحتسب به ارتفاعاً من جهة المشرق. ثم ضع نظير درجة الشمس على أمتها كان وانظر إلى أفق المشرق ما وافاه فهو الطالع بأجزائه.

(٨) معرفة قوس نهار أية درجة وأي كوكب^{١٠} شئت: (١-٨) ضع أية درجة شئت على أفق المشرق وعلم على

موقع المري. ثم أدر العنكبوت مستويماً حتى تضع تلك الدرجة على أفق المغرب، فما **ب ٨ ظ** تحرك المري فهو قوس نهار تلك الدرجة. (٢-٨) وإن شئت فضع الدرجة على خط المشرق أولاً وعلم على موقع المري ثم ضعها على أفق المشرق ثانياً، فما تحرك المري فهو تعديل النهار. (٣-٨) فإن كنت أدت العنكبوت للوضعين مستويماً فانقص ضعف تعديل^{١١} النهار من مائة وثمانين درجة وإن كنت^{١٢} أدرت معكوساً فزد ضعف تعديل النهار على مائة وثمانين فيكون الحاصل هو قوس النهار. (٤-٨) وأما قوس الليل فإنك إذا أسقطت قوس النهار من ثلاثمائة وستين بقي قوس ليل تلك الدرجة. وإن شئت^{١٣} وضعت الدرجة على أفق المغرب وعلمت على المري علامة^{١٤} ثم أدت العنكبوت مستويماً حتى تضعها على أفق المشرق مما تحرك المري فهو قوس الليل؛ أو استخراج تعديل النهار للدرجة^{١٥} كما وصفنا، فإن أوجبت الشريطة زيادة ضعفه على

^٩ (ب) + وصغر قدر الجبال عندها

^{١٠} (ب) - واي كوكب

^{١١} تعديل: (ب) التعديل

^{١٢} (ب) - كنت

^{١٣} (ده- ص) شئت

^{١٤} (د) - علامة

^{١٥} النهار للدرجة: (ب) نهار الدرجة

^١ اقسام: (ب) تقسم

^٢ (د) - من القسمة

^٣ الأول: (ب) لأول

^٤ من المنطقة: (ب) في منطقة البروج

^٥ فتجتمع: (ب) فيجتمع

^٦ درجة: (ب) درج

^٧ المذكور: (ب) المذكور

^٨ (ب) - وجبالها

وهي الأقرب إلى الأفق وعلم على موضع^١ المري من الحجره علامه ثم حرك العنكبوت حتى تضع درجة الشمس على المنظره الأخرى وعلم على موقع المري من الحجره^٢ علامه ثانية. ثم اضرب فضل ما بين المنظره الأولى والارتفاع المطلوب المفروض في الفضل بين العلامتين واقسمه على أصل قسمة الأسطرلاب، فما خرج فهو التعديل. ثم عدّ من عند العلامة الأولى في الحجره إلى جهة العلامة [ب ٧ ظ] الثانية مقدار التعديل فحيث انتهيت^٣ فضع المري عليه فتكون^٤ درجة الشمس قد وافقت موضع المنظره المطلوبه الموافقة للارتفاع. (٥-٣) وكذلك إن كان^٥ الارتفاع لكوكب ثابت عملت^٦ برأسه المحدد مثل ما عملته بدرجه الشمس فيحصل لك الارتفاع المطلوب.

(٦) معرفة استخراج الطالع من قبل الارتفاع: (٦-١) متى ما حصلت لك المنظره الموافقة لمثل الارتفاع الموجود

من جهة^٧ المشرق إن كان شرقياً أو من جهة المغرب إن كان غربياً، فضع عليها درجة الشمس إن كان الارتفاع لها أو مري الكوكب المحدد^٩ إن كان الارتفاع له ثم انظر ما وافق أفق المشرق من البروج فهو البرج^{١٠} الطالع [د ٣٥ و] وعدّ من أوله^{١١} إلى موضع تقاطع الأفق معه، فما كان فهو أجزاء الطالع التي طلعت من ذلك البرج. فإن^{١٢} وافق الأفق خطأ من الخطوط التي عليها قسمت البروج فذلك الخط هو جزء الطالع، (٦-٢) وإن لم يوافق الأفق خطأ بل وقع بين خطين، فعلم^{١٣} على موقع المري من الحجره علامه وسمها^{١٤} المطلقة. ثم ضع^{١٥} الخط الأول على الأفق وعلم^{١٦} على موقع^{١٧} المري علامه وهي الأولى. [ب ٨ و] ثم ضع الخط^{١٨} الثاني على الأفق أيضاً وعلم^{١٩} على موقع المري علامه وهي الثانية. ثم اضرب^{٢٠} فضل ما

^١ ضع: (د) (خ) (ق)
^٢ (ده-ص) من الحجره: (به-ص) ثم حول العنكبوت حتى تضع درجة الشمس على المنظره الأخرى وعلم على موقع المري من الحجره علامه
^٣ انتهيت: (ب) انتهت
^٤ فتكون: (ب) فيكون
^٥ (ب) + ذلك
^٦ عملت: (ب) عمل
^٧ (ب) شطب الكاتب كلمه «من»
^٨ كان: (ب) كا
^٩ (ب) شطب الكاتب كلمه «إن»
^{١٠} البرج: (ب) البروج
^{١١} (د) شطب الكاتب: «من أوله»
^{١٢} (ب) + كان
^{١٣} فعلم: (ب) فيجب عليك أن تعلم
^{١٤} سمها: (ب) يسميها
^{١٥} ضع: (ب) يضع
^{١٦} علم: (ب) تعلم
^{١٧} موقع: (ب) موضع
^{١٨} ثم ضع الخط: (به-ص) ونضع الخط
^{١٩} علم: (ب) نعلم
^{٢٠} اضرب: (ب) تضرب

(٢) معرفة درجة الشمس في منطقة البروج: (١-٤) تنظر إلى موضع الشمس للوقت الذي تريد من التقويم

وتحصله ثم تجيء إلى البرج الذي هي فيه وتعدّ من أوله حتى تنتهي إلى الدرجة التي فيها الشمس. فإن وافقها^١ خط من الخطوط التي بها قسمت^٢ المنطقة^٣ في الأسطرلاب فعلم عليه. (٢-٤) وإن وقعت بين خطين منها فضع الخط الأول أعني الأقرب إلى أول ذلك البرج^٤ على خط وسط السماء وعلم على موقع المري من الحجرة علامة وهي الأولى^٥ وأدر العنكبوت مستويًا حتى تضع الخط^٦ الأخير من الخطين، أعني الأبعد من أول ذلك البرج على خط وسط السماء، وعلم على موقع^٧ المري علامة أيضاً وهي الثانية. ثم اعرف بُعد درجة الشمس عن الخط الأول في منطقة^٨ البروج واضربه في الفضل بين العلامتين اللتين في الحجرة واقسم المبلغ على أصل قسمة الأسطرلاب إن كان نصفاً فعلى اثنين وإن كان ثلثاً فعلى ثلاثة وإن كان سدساً فعلى ستة فما خرج فهو التعديل. ثم ضع المري على العلامة الأولى وأدر العنكبوت مستويًا حتى يزول بقدر التعديل فما وافى خط وسط [ب ٧ و] السماء من المنطقة^٩ فهو درجة الشمس فعلم عليها في المنطقة^{١٠} وإذا علمت^{١١} درجة الشمس فإن نظيرها هو بمثل^{١٢} عددها في البرج^{١٣} السابع من برجمها. (٣-٤) وإن شئت فضع درجة الشمس على خط وسط السماء وانظر ماذا وافى خط وتد الأرض من منطقة البروج، فذلك هو نظير درجة الشمس.

(٥) معرفة الارتفاع المأخوذ في المقنطرات: (١-٥) إذا كان لك ارتفاع مفروض للشمس وأردت وجوده في

المقنطرات فإن كان شرقياً فاطلبه في النصف الذي من خط وسط السماء إلى المشرق وإن كان غربياً فاطلبه في النصف الذي من خط وسط السماء إلى المغرب وهو أن تنظر^{١٥} إلى^{١٦} مقنطرة عددها موافق لعدد^{١٧} الارتفاع المفروض، فإن وجدت^{١٨}ها فهو مطلوبك، (٢-٥) وإن لم تجدها فسيقع بين مقنطرتين فضع حينئذ درجة الشمس على المقنطرة الأولى منها^{١٨}

١ وافقها: (ب) وافقها	١٠ المنطقة: (ب) المنقطعة
٢ (د) ↑ (خ) قسمته	١١ (د) ↑ (خ) عرفت
٣ المنطقة: (ب) المنقطعة	١٢ بمثل: (ب) المثل
٤ (دهـص) أعني الأقرب إلى أول ذلك البرج	١٣ البرج: (د) البروج
٥ الأولى: (ب) الأولى	١٤ (به) معرفة الارتفاع المأخوذ في المقنطرات
٦ (ب) - الخط	١٥ تنظر: (ب) ينظر
٧ موقع: (د) موضع	١٦ (ب) - إلى
٨ منطقة: (ب) منقطعة	١٧ لعدد: (ب) بعدد
٩ المنطقة: (ب) المنقطعة	١٨ (د) - منها

انظر^١ إلى ما وقع المري |د ٣٤ ظ| من أجزاء الارتفاع فهو ارتفاع^٢ ذلك الكوكب وقت ذلك القياس. (٢-٣) وإذا صعب عليك عمل ما ذكرته فالحيلة في تسهيله أن |ب ٦ و| تأخذ أنبوبة نافذة مستقيمة التجويف إما من قصب وإما من جسم آخر وتشدّها على العضادة مستوية موازية^٥ لحرفها ثم تعمل ما ذكرنا^٦ حتى ترى الكوكب بالأنبوبة ثم تنظر حينئذ إلى مري العضادة ما قطع. وكذلك إذا أردت أن تأخذ ارتفاع رأس جبل أو منارة أو حائط أو غير ذلك أو مما على وجه الأرض وغيره^٧ مما تريد أن تراه بتقبي الهدفتين.^٨

(٣) أخذ الانحطاط: إذا كنت في جبل شاهق شاهق وخاصة إذا اتفق له إشراف على بحر^٩ أو على أرض سهلة مستوية فإنك في وقت الطلوع والغروب والقرب من هذين^{١٠} الوقتين إذا أخذت الارتفاع على ما ذكرنا يقع^{١١} مري العضادة تحت نقطة المشرق فلا يكون له ارتفاع. حينئذ تحتاج أن^{١٢} تأخذ الانحطاط بدل الارتفاع.^{١٣} وهو أن تعلق^{١٤} الأسطرلاب بيسارك مخلى^{١٥} وتحاذي بنظير ربع الارتفاع جرم ما تريد أن تقيس بانحطاطه^{١٦} وتعمل حسب ما ذكرنا حتى ينفذ شعاع الشمس في ثقبتيه معاً أو ترى الكوكب أو غيره منها جميعاً أو بالأنبوبة. فإذا فعلت ذلك نظرت حينئذ^{١٧} إلى مري العضادة^{١٨} ما قطع^{١٩} من أجزاء الارتفاع فذلك هو مقدار الانحطاط. وكذلك تعمل بكل شيء يكون على بسيط الأرض وأنت |ب ٦ ظ| على قلة الجبل أو موضع عال أو في قعر بئر وأنت على بسيط الأرض.

^١ انظر: (ب، د) تنظر؛ (ده-خ) أنظر
^٢ وقع: (ب، د) قطع؛ (ده-خ) وقع
^٣ فهو ارتفاع: (به-ص) هو ارتفاع
^٤ (ب) - ها
^٥ موازية: (ب) متوازية
^٦ (د) ↑ (خ) به
^٧ (د) - وغيره
^٨ الهدفتين: (ب) العضادة
^٩ (د) شطب الكاتب: «أو على بحر»
^{١٠} هذين: (ب) هدفتين
^{١١} (د) ↑ (خ) وقع
^{١٢} أن: (ب) إلى
^{١٣} أن تأخذ الإنحطاط بدل الإرتفاع: (ده-خ) إلى أخذ الإنحطاط دون الإرتفاع
^{١٤} تعلق: (ب) تتعلق
^{١٥} مخلى: (ب) مخلا
^{١٦} (د) ↑ (خ) انحطاطه
^{١٧} (ب) - حينئذ
^{١٨} (ب) + حينئذ
^{١٩} قطع: (ب) وقع

هي دوائر تخرج من نقطة سمت الرأس وتنتهي^١ إلى الأفق من فوقه فتنقطع^٢ لديه^٣ وهي ثلاثمائة وستون قوساً ولكنها لا يخط بالجملة للعدة المذكورة بل يخط أسداساً أو^٤ أعشاراً على حسب قسمة المقنطرات وإذا^٥ كانت على قسمة أخرى جاز وربما يخط تحت الأفق منقطعة عند الانتهاء إليه لئلا^٦ يشتبك^٧ بالمقنطرات. (١-٢٣) و صفيحة مطرح الشعاع هي صفيحة على حدة فيها خط وسط السماء ووتد الأرض والأفق ودوائر أخرى^٨ مخرجها^٩ كلها من نقطة تقاطع الأفق مع خط وتد الأرض في الشمالي وخط وسط السماء في الجنوبي. (١-٢٤) والصفيحة الآفاقية هي التي عمل على كل تقاطع مدار^{١٠} الحمل مع **اب ٥ ظ** خط الاستواء وخط وسط السماء وخط وتد الأرض منها^{١١} عدة آفاق مكتوب عند^{١٢} كل واحد منها مقدار العرض الذي عمل له ذلك الأفق. (١-٢٥) فهذا ما على الأسطرلاب^{١٣} ثم ننظم^{١٤} العزادة والأم^{١٥} والصفائح في قطب ونضبطة^{١٦} بالفرس فيتم تركيب الأسطرلاب.

(٢) أخذ الارتفاع: (١-٢) إذا أردت أن تقيس ارتفاع الشمس فخذ الأسطرلاب بيمينك وحاذاً بأجزاء الارتفاع عين الشمس مرسلأً من غير أن يمنعه عن الانسدال مانع ثم حرّك العزادة إلى فوق أو تحت وأدراها حتى يظل إحدي الهدفتين الأخرى ويقع شعاع الثقبه العليا على^{١٧} الثقبه السفلي. فإذا اتفق ذلك فانظر إلى مري العزادة على كم وقع من أجزاء الارتفاع معدودة من نقطة المشرق فما كان فهو ارتفاع الشمس في ذلك الوقت. (٢-٢) وأما ارتفاع الكواكب التي^{١٨} لا تظهر^{١٩} للهدفة في شعاعاتها أطلال للأخرى^{٢٠} فخذ له الأسطرلاب كما ذكرنا وعلقه بعروته محلى في تعلقه وانظر بإحدي عينيك بعد تغميض الأخرى^{٢١} إلى الكوكب وحرّك العزادة على نحو ما ذكرنا حتى ترى الكوكب بثقبتي الهدفتين معاً. ثم

١١ (ب) + و	١ تنتهي: (ب) ينتهي
١٣ (ب) - فهذا ما على الأسطرلاب	٢ فتنقطع: (ب) فينقطع
١٤ ننظم: (ده-خ) ننظم	٣ (ب) - لديه
١٥ الأم: (ب) اللام	٤ أو: (ب) و
١٦ نضبطة: (د) نضبطة؛ (ب) بضطه	٥ إذا: (ده-خ) إن
١٧ (به، ص) الثقبه العليا على	٦ لئلا: (ب) لئلاً
١٨ التي: (د) الذي	٧ يشتبك: (ده-خ) يشتبك
١٩ يظهر: (ب) يظهر	٨ أخرى: (د) اخر
٢٠ للأخرى: (ده-خ) على الأخرى	٩ مخرجها: (ب) يخرجها
٢١ الأخرى: (د) اخرى	١٠ المدار: (ب) المدار
	١١ (ب) - منها

فوقه^١ إلى العروة يسمّى فوق الأرض وما تحته إلى خلاف جهتها^٢ يسمّى تحت الأرض. ونصفه الذي من خط وسط السماء أو وتد الأرض إلى المشرق يسمّى أفق المشرق والنصف الآخر يسمّى أفق المغرب. (١-١٨) والمقنطرات هي الدوائر التي فوق الأفق إلى جهة العروة بعضها تامة وبعضها غير تامة وهي تتباعد^٣ في مواضع وتتقارب^٤ في مواضع وتكون تسعين دائرة إلا أنّ الأسطرلاب لصغره^٥ لا يحتمل استيفاء جميعها ولأجل ذلك يخطّ فيه^٦ ما يسعه فإن استوفاهما كلها يسمّى تاماً وإن تفاعلت باثنين اثنين يسمّى نصفاً أو بثلاثة ثلاثة يسمّى ثلاثاً أو^٧ بخمسة خمسة^٨ يسمّى خمساً أو^٩ بستة ستة^{١٠} يسمّى سدساً أو^{١١} بعشرة عشرة^{١٢} يسمّى عشراً وكيف ما وقعت قسمة المقنطرات كانت قسمة درج البروج في المنطقة على مثله. وسمت الرأس هي النقطة التي في داخل المقنطرات مكتوب عليها حرف ص. (١-١٩) وخطوط الساعات هي القسي الصغار^{١٣} المخطوطة تحت الأفق بين مدار الجدي ومدار السرطان وربّما يحتاج إلى أن يعمل فوق الأفق فيخاف اشتباهها بالمقنطرات لئلا^{١٤} تخط خطوطاً بل ينقط عليها بنقط^{١٥} متوالية لتتميّز من المقنطرات. (١-٢٠) وقوسا طلوع الفجر ومغيب الشفق^{١٦} إِب ٥ و| هما قوسان تحت الأفق^{١٧} إحداهما من جهة المشرق والأخرى من جهة المغرب وبين^{١٨} خطوط الساعات مكتوب^{١٩} على المشرقية منها طلوع الفجر وعلى المغربية غروب الشفق وربما لم يخطأ بل ينقط عليها لئلا^{٢٠} يختلطاً بخطوط الساعات. (١-٢١) وخطا وقت العصر هما خطان تحت الأفق^{٢١} من جهة المشرق مكتوب عليها أول^{٢٢} العصر وآخر^{٢٣} العصر وربما عُجلاً فوق الأفق من جهة المغرب على المقنطرات وتتميّزان منها كما يكتب عليها. (١-٢٢) وخطوط^{٢٤} السموت

١ فوقه: (ب) فوق	١٣ (به-ص) الصغار
٢ جهتها: (د) (خ) جهته	١٤ لئلا: (د) فلا; (ب) ليلا
٣ تتباعد: (ب) يتباعد	١٥ بنقط: (د) (خ) نقط
٤ تتقارب: (ب) يتقارب	١٦ الشفق: (د) الشمس
٥ (ب) - لصغره	١٧ الأفق: (ب) الأرض
٦ (ب) + منها	١٨ (ب) - و
٧ أو: (ب) و	١٩ مكتوب: (د) مكتوبة
٨ (ب) - خمسة	٢٠ لئلا: (ب) كيلا
٩ أو: (ب) و	٢١ الأفق: (د) الأرض; (د) (خ) الأفق
١٠ (ب) - ستة	٢٢ (ب) + وقت
١١ أو: (ب)	٢٣ (ب) + وقت
١٢ (ب) - عشرة	٢٤ (ب) - و

زائد في السمك شبه الوتد يسمى المحرك وبه يُحَرَّك. وللعنكبوت حركتان مختلفتان إلى جهتين مختلفتين. فلما واجهت وجه الأسطرلاب والعروة إلى فوق ثم أدت العنكبوت من الشمال إلى العروة ثم^٢ إلى اليمين فتلك هي الحركة المستوية. وإن^٣ أدته من اليمين إلى العروة إلى الشمال فتلك هي الحركة المعكوسة. (١-١٤) ثم الصفائح وهي الأطباق المستوية السطوح النامة^٤ المنصدة^٥ بعضها فوق بعض تحت العنكبوت. والتي ركب^٦ الحجر عليها وكأها قاعدة الأسطرلاب تسمى الأم. وعلى كل صفيحة خرق صغير يدخل فيه شيء ناتيء^٧ من الحجر يسمى المسك وهو الذي يضبطها على وضع^٨ |ب ٤| واحد^٩ لثلاث^{١٠}. يتغير^{١١} بالإدارة. (١-١٥) وعلى كل واحدة منها خطان متقاطعان على المركز على زوايا قائمة أحدهما مطابق لخط الانتصاب. ويسمى نصفه الأعلى الذي من المركز إلى العروة خط وسط السماء وخط نصف النهار ونصفه^{١٢} الأسفل |د ٣٤ و، ١| خط وتد الأرض وخط نصف الليل. وأما الخط الآخر فمطابق^{١٣} للخط الأفقي فيسمى^{١٤} بالجملة خط الاستواء. وبالتفصيل نصفه الذي^{١٥} من المركز إلى جهة الشمال خط المشرق والنصف الذي^{١٦} من المركز إلى جهة اليمين خط المغرب. (١-١٦) ومدار كل برج هو الدائرة التي إذا^{١٧} أدت العنكبوت لزم رأس ذلك البرج أعني أوله تلك الدائرة. وأكثر ما يستعمل منها هو مدار السرطان ومدار الحمل والميزان ومدار الجدي. والأقرب^{١٨} إلى المركز يكون مدار السرطان في الشمالي والجدي في الجنوبي والأبعد منه أعني الذي^{١٩} على حرف الصفيحة يكون^{٢٠} مدار الجدي في الشمالي والسرطان في الجنوبي وأما المتوسط بينهما فهو مدار الحمل والميزان في كليهما. (١-١٧) والأفق هو قوس تمرّ بنقطتي تقاطع خط المشرق والمغرب مع مدار الحمل وإلى جهة العروة يكون تعبيره^{٢١} في الشمالي وتحديه |ب ٤ ظ| في الجنوبي. وما

^١ فلما: (ده-نخ، ب) فإذا

^٢ (ب) - ثم

^٣ إن: (ب) إذا

^٤ (ده-ص) المستوية السطوح النامة

^٥ المنصدة: (ب) المنصودة

^٦ ركب: (ب) تركبت

^٧ ناتيء: (ب) نات

^٨ وضع: (ب) نظم

^٩ واحد: (ب) واحداً

^{١٠} لثلاث: (ب) لثلاثاً

^{١١} يتغير: (ب) بتغير

^{١٢} نصفه: (ب) نصف

^{١٣} وأما الخط الآخر فمطابق: (ده-نخ) وأما الآخر المطابق

^{١٤} فيسمى: (ب) ويسمى

^{١٥} الذي: (ب) الذين

^{١٦} الذي: (ب) الذين

^{١٧} إذا: (ب) إذ

^{١٨} والأقرب: (ب) فالأقرب

^{١٩} الذي: (ب) الذين

^{٢٠} يكون: (ب) تكون

^{٢١} تعبيره: (ب) تقعره

يكون أحد نصفي حرف^١ العضاءة مقسوماً بستين قسماً أو مائة وخمسين قسماً متساوية مكتوبة أعدادها من عند المركز ونصف حرفها الآخر منقسماً بتسعين جزءاً غير متساوية مكتوبة أعدادها أيضاً من لدن المركز. (٨-١) وخطوط الصلوات^٢ هي ثلاثة خطوط منحنية في الربع المقابل لربع الارتفاع معترضة **ب ٣** و^٣ على دوائر متوازية^٣ هي مدارات درج البروج والأقرب منها إلى نصف خط الانتصاب الأسفل هو خط صلوة^٤ الظهر والذي^٥ يتلوه هو لأول وقت العصر ثم الثالث لآخر وقت العصر. (٩-١) وخطوط الساعات هي خطوط منحنية إما في ربع الارتفاع وإما في مقابله مقاطعة للمدارات. وخطوط ساعات^٦ العضاءة هي خطوط مستقيمة معترضة على ظهر^٨ العضاءة بين الهدفتين نقسمها بأقسام^٩ مختلفة مكتوب بينها من واحد إلى ستة فهذا ما على ظهر الأسطرلاب فنقله^{١٠} لوجهه^{١١} (١٠-١) ونقول إنّ الحجره هي الطوق المحيط بأطراف وجهه الحائز^{١٢} لجميع^{١٣} ما فيه وهي مقسومة بثلاثمائة وستين جزءاً مكتوبة أعداد خمساتها بحروف الجمل مبتدئة من عند العروة إلى ما يلي اليمين إذا استقبلت بوجهك وجه الكرسي والعروة^{١٤} إلى فوق. (١١-١) والعنكبوت هي الصفيحة المخرقة المستعالية على وجهه ويسمى أيضاً الشبكة. ونطاق البروج ومنطقتها هي الدائرة التامة التي^{١٥} بين خروق العنكبوت المكتوب عليها أسامي البروج والبروج الشمالية هي التي^{١٦} من أول الحمل إلى أول الميزان. والجنوبية منها التي من أول الميزان إلى أول الحمل. فأما الشمالية **ب ٣ ظ** فإنها في الأسطرلاب الشمالي تتضابق^{١٧} وفي الجنوبي تتسع^{١٨} والجنوبية تتسع^{١٩} في الشمالي وتتضابق^{٢٠} في الجنوبي. (١٢-١) ومريات الكواكب الثابتة هي الرؤوس المحددة لكل قطع مكتوب عليها اسم واحد منها والمرى بالإطلاق من غير إضافة إلى شيء هو طرف محدد ناتئ^{٢١} من أول برج الجدي في الأسطرلاب الشمالي ومن أول^{٢٢} السرطان في الجنوبي يماس الحجره عند دوران العنكبوت. (١٣-١) ويكون على موضع من العنكبوت شيء

^{١٢} الحائز: (د) الجائز
^{١٣} لجميع: (ب) بجميع
^{١٤} وجه الكرسي والعروة: (ب) وجهها والكرسي
^{١٥} (ب) + من
^{١٦} (ب) - التي
^{١٧} تتضابق: (ب) يتضابق
^{١٨} تتسع: (ب) يتسع
^{١٩} تتسع: (ب) يتسع
^{٢٠} تتضابق: (ب) يتضابق
^{٢١} ناتئ: (ب) نات
^{٢٢} (ب) - ومن أول: (ده-ص) ومن أول

^١ حرف: (ب) طرف
^٢ الصلوات: (ب) الصلوة
^٣ متوازية: (ب) متوازية
^٤ صلوة: (ب) صلاه
^٥ الذي: (ب) الذين
^٦ (ب) - و
^٧ ساعات: (ب) ساعة
^٨ (ب) - ظهر
^٩ (د ↑ ص) بأقسام
^{١٠} فنقله: (ده-خ) ثم نقله؛ (ب) فنقله
^{١١} لوجهه: (ب) بوجهه

آلة مركبة من عدة أعضاء وقد خصّ المنجمون كل واحد منها باسم على حدة. فمن الواجب علينا إذن أن نفتح القول بذكرها مفصلة لتكون^١ وقت الإشارة إليها معلومة محصلة. (٢-١) فنقول إنّ المستعمل من الأسطرلاب نوعان أحدهما يسمى شمالياً والآخر جنوبياً وكلاهما آلة مستديرة^٢ يبتأ^٣ من موضع واحد من استدراتها تتوء يسمى كرسياً. والكرسي مثقوب بثقبته في وسطه^٤ لتعلق^٥ بها من عروة وحلقة^٦ وعلاقة. ولهذه الآلة ظهر ووجه. (٣-١) وظهرها هو الذي تدور عليه قطعة شبيهة^٧ بمسطرة تسمى^٨ العضادة. وطرفاها محددان شبه الشطية يسمى كل واحد منها مري العضادة. والقرب^٩ من كل واحد من طرفيها^{١٠} لبنة معترضة الانتصاب عليها تسميان هدفتي^{١١} العضادة وعلى أوسطها ثقتان تسميان ثقتي^{١٢} الشعاع و^{١٣} العضادة تكون^{١٤} إما تامة وإما محرّفة وهي المنصّفة بالطول. (٤-١) وأجزاء الارتفاع هي ما على الربع الذي يأخذ من عند^{١٥} وسط الكرسي ذات اليسار إذا قابلته بوجهك والعروة إلى فوق وهي تسعون قسماً مكتوباً |ب ٢ ظ| خسائتها فوقها بالجمال مبتدئة من أسفل إلى عند الكرسي وتنتهي^{١٦} أعدادها عنده. (٥-١) وخط الانتصاب هو المستقيم المار على مركز الأسطرلاب المقاطع لكرسيه^{١٧} بنصفين ولنسم نصفه الذي من المركز إلى العروة الأعلى والآخر الأسفل. والخط الأفقي هو المار على مركز الأسطرلاب المقاطع لخط الانتصاب على زوايا قائمة. ونقطة المشرق هي التي منها مبدأ أجزاء الارتفاع. (٦-١) وأجزاء الظل هي الخطوط التي على محيط الربع المقابل للربع الذي فيه أجزاء الارتفاع.^{١٨} وظل السلم هو مربع قائم الزوايا متساوي الأضلاع^{١٩} مخطوط داخل الربع الذي يقابل ربع الارتفاع وإحدى^{٢٠} زواياه يماس منتصف^{٢١} الربع ولا يكون إلا في أسطرلاب محرّف العضادة. (٧-١) وخطوط الجيوب هي الخطوط المستقيمة الممتدة من كل جزء من أجزاء الارتفاع إما بموازاة خط الانتصاب وإما بموازاة الخط الأفقي وإما بكليهما ولا يكون إلا في الأسطرلاب الذي عضادته محرّفة وحينئذ

١ لتكون: (ب) ليكون	١٢ ثقتي: (ب) بثقتنا
٢ (د) — آلة مستديرة	١٣ (دهـص) الشعاع و
٣ يبتأ: (ب) يبتو	١٤ تكون: (ب) يكون
٤ وسطه: (ب) وسطها	١٥ (ده، ص) عند
٥ لتعلق: (دهـخ) ليتعلق	١٦ تنتهي: (ب) ينتهي
٦ (د↑ص) وحلقة؛ ب — وحلقة	١٧ لكرسيه: (ب) لعروته و
٧ شبيهة: (ب) شبيهة	١٨ (ب) — وأجزاء الظل ... أجزاء الارتفاع
٨ تسمى: (ب) ويسمى	١٩ الأضلاع: (ب) الاضطلاع
٩ بالقرب: (ب) بالقرب	٢٠ وإحدى: (ب) واحد
١٠ طرفيها: (ب) طرفيها	٢١ منتصف: (د) منتصف: (دهـخ) منتصف
١١ هدفتي: (ب) هدفنا	

رب ارحم بفضلك^١

(٠) هذا كتاب في إخراج ما في قوة الأسطرلاب إلى الفعل^٢

(١-٠) قال الشيخ الأستاذ الفاضل^٣ أبو الريحان محمد بن أحمد البيروني: الأسطرلاب أشرف الآلات المستعملة في صناعة النجوم ومخصوص من بينها بخفة^٤ المؤونة في النقل والاستعمال مع سرعة الإيقاف على المطلوب من أحوال الفلك الثابتة على وجه واحد والمتغيرة باختلاف^٥ الأمكنة والأزمنة^٦ مع ما في عمله من العلوم^٧ العجيبة التي بها يتوصل إلى تسطيح الكرة. (٢-٠) وقد أكثر المنجمون في بابه وأبانوا عن العمل به فمن مقصر^٨ في إيراد جميع ما يمكن استخراج به^٩ ومن مطول لصفة^{١٠} أعماله إما بتكرير ذكرها وإعادة الظاهر من عكوسها^{١١} وإما بإضافة أعمال حسابية طويلة إليها^{١٢} من غير أن يشاركه إلا في طرف يسير منها ومن مخلط بأعماله ما ليس منها واقع لذلك بالبعد من قصده فيها للتقريب^{١٣} والتسهيل. (٣-٠) ولما وقف بعض محبّي^{١٤} العلم على ذلك وأشكل^{١٥} عليه تهذيبها وترتيبها سألتني أن أجمع له أغراض الأسطرلاب في جزء يغنيه عن جميع ما عمل في هذا الباب^{١٦} ولم يقصد فيه^{١٧} قصد الصواب ففعلت ذلك قضاء للواجب على المحدثين من إصلاح أعمال الأوائل وتهذيب علومهم وترتيبها^{١٨} والله الموفق لجميع الخير والكاشف لكلّ ضير.

(١) مواضع الأسطرلاب: ١٩ | ب ٢ و | (١-١) ومن البيّن أنّ لكلّ علم مقدمات ولكلّ عمل آلات ولأصحابها

فيما بينهم عبارات ومواضع و^{٢٠} قد تعارفوها باصطلاح عليها وهي عند غيرهم مجهولة قبل التوقيف^{٢١}. كذلك الأسطرلاب

١ (ب) - رب ارحم بفضلك
٢ (ب) - هذا كتاب في إخراج ما في قوة الأسطرلاب إلى الفعل
٣ (د) - الشيخ الأستاذ الفاضل
٤ بخفة: (ب) لحنة
٥ باختلاف: (ب) اختلاف
٦ الأمكنة والأزمنة: (د) الأزمنة والأمكنة
٧ العلوم: (ب) المعاني
٨ مقصر: (ده-خ) مقصر
٩ (د) - به
١٠ لصفة: (د) بصفة
١١ عكوسها: (ده-خ) علومها
١٢ إليها: (ب، د) إليه
١٣ للتقريب: (د) لليقين؛ (ده-خ) للتقريب
١٤ محبّي: (ب) محي
١٥ وأشكل: (ب) أو أشكل
١٦ الباب: (ب) لباب
١٧ فيه: (د) فيه؛ (د) - خ به
١٨ ترتيبها: (د) ترتيبها؛ (ده-خ) ترتيبها
١٩ (ب) - مواضع الأسطرلاب
٢٠ (ب) - و
٢١ التوقيف: (ب) التوقف

5-3: Arabic Edition of the *Ikhrāj* Based on the Diyarbakir and the Berlin Manuscripts

I have used the following abbreviations and symbols in my edited Arabic text and apparatus of the *Ikhrāj*:

- د: Diyarbakir manuscript.
- ب: Berlin manuscript.
- ٥ (for *hāmish* [margin]) indicates a marginal note.
- به indicates a marginal note in the Berlin MS.
- ده indicates a marginal note in the Diyarbakir MS.
- شطب الكاتب indicates text that was crossed out by the scribe.
- Vertical arrows in footnotes indicate that the given word is written above or below the word in the text. Two arrows indicate placement *exactly* above or below the word in the text, one arrow placement just before or after it.
- + indicates superfluous words in the manuscripts.
- I have added folio numbers between vertical lines | |.
- و (for *wajh*) indicates the front side of the folio (*recto*).
- ظ (for *zahr*) indicates the back side of the folio (*verso*).
- I have reconstructed some passages for mathematical sense, and added words and passages that were omitted by scribal error. Such reconstructed words and passages appear in angular brackets < >.

For easy reference, I have divided the text into sections numbered (53-1), (53-2) etc. These numbers appear in parentheses in the Arabic edition.

(٢-٦٩) وفي معرفة ذلك طريق قائم في الوهم صحيح^١ بالبرهان، والوصول إلى عمله^٢ صعب بالأسطرلاب^٣ لصغر الآلات^٤ وقلة مقدار الشيء الذي^٥ يُبنى عليه فيه وهو أن تصعد^٦ جبلاً مشرفاً على بحر أو برية ملساء وترصد غروب الشمس فتجد فيه ما ذكرناه من الانحطاط كي^٧ تعرف مقدار عمود ذلك الجبل وتضربه في الجيب المستوي لتام الانحطاط الموجود وتنقسم^٨ المجتمع على الجيب المعكوس^٩ لذلك الانحطاط نفسه^{١٠}. ثم تضرب ما خرج من القسمة في اثنين وعشرين أبداً وتنقسم المجتمع^{١١} على سبعة^{١٢} فيخرج مقدار إحاطة الأرض بالمقدار الذي به^{١٣} قدّرت عمود الجبل ولم^{١٤} يقع لنا بهذا الانحطاط وكميته في المواقع^{١٥} العالية تجربة^{١٦}. (٣-٦٩) وجرّأنا على ذكر هذا الطريق ما حكاه أبوالعباس النيريزي عن أرسطولس أن أطول^{١٧} أعمدة الجبال خمسة أميال^{١٨} ونصف بالمقدار الذي به نصف قطر الأرض ثلاثة آلاف^{١٩} ومائتا ميل بالتقريب. فإنّ الحساب يقتضي بهذه القضية المتقدمة^{٢٠} أن يوجد^{٢١} الانحطاط في الجبل الذي عموده هذا القدر ثلث درجات بالتقريب وإلى التجربة يُلتجأ^{٢٢} في مثل هذه الأشياء وعلى الامتحان يُعَوَّل^{٢٣}.

- | | |
|--|--|
| ١ (ده، ص) في الوهم صحيح | ١٣ (ده، ص) به |
| ٢ عمله: (ى) عمل | ١٤ لم: (ك) كم |
| ٣ (ب، ك) — بالأسطرلاب | ١٥ المواقع: (ب، ي) المواضع |
| ٤ الآلات: (ب) الآلاب | ١٦ تجربة: (ب) تحرية |
| ٥ (د، أ، ص) الذي | ١٧ أطول: (ب، ك، ي) أطوال |
| ٦ تصعد: (ب، ي) يصعد | ١٨ أميال: (ك) أمثال |
| ٧ كي: (ب، ك، ي) ثم | ١٩ آلاف: (ب) الف |
| ٨ تقسم: (ب، ي) يقسم | ٢٠ يقتضي محذو القضية المتقدمة: (ب، ك، ي) يقضى لهذه المقدمة |
| ٩ المعكوس: (ب) المنكوس | ٢١ يوجد: (ب) مرجد؛ (ك) يؤخذ |
| ١٠ نفسه: (ك) بعينه | ٢٢ يلتجأ: (ب، ي) يلتجى؛ (ك) ينتهي |
| ١١ تقسم المجتمع: (ب، ي) يقسم المبلغ: المجتمع: (ك) المبلغ | ٢٣ يعول: (ب) فيها بعول |
| ١٢ سبعة: (ب، ي) سعة | |

فيمر^١ حرفها من^٢ منطقة البروج على مطارح شعاعاته وإن لم يكن الكوكب في هذين الموضعين، فليضع حرف العضادة على درجته وليعلم على موضع^٣ مريها من الحجر علامة. ثم يضع حرفها أيضاً على تقاطع مدار الحمل والدائرة المعدلة أعني المارة بدرجة الكوكب وليعلم على موقع مريها من الحجر علامة ثانية وهي الأصل ثم يأخذ ثلث ما بين العلامتين وهو التعديل. (٣-٤٤) فإن كان الكوكب في النصف الصاعد وفي البروج الشمالية التي مداراتها داخل مدار الحمل أو كان في النصف الهابط وفي البروج الجنوبية فليزد التعديل على كل واحدة من حصتي التسديس والتثليث حتى تصيرا معدلتين،^٤ ثم ليعد من الأصل مستوياً بمقدار كل واحدة^٥ من الحصتين المعدلتين^٦ وليضع مري العضادة على منتهى كل^٧ منها، فما قطع حرفها من نطاق البروج فهو مطرح ذلك الشعاع الأيسر. فأما الأيمن فليتنقص له التعديل من هاتين^٨ الحصتين وليعد من الأصل كل واحدة منها^٩ معكوساً وليضع مري العضادة على منتهى كل واحدة منها، فما قطع حرفها من منطقة البروج فهو مطرح ذلك الشعاع الأيمن. (٤-٤٤) وإن كان في النصف^{١٠} الصاعد كذلك وفي البروج الجنوبية أو كان في النصف^{١١} الهابط وفي البروج الشمالية نقص التعديل من حصتي التسديس والتثليث^{١٢} للشعاعات اليسرى وزاده عليها لليمنى، وعمل ما تقدم حذو القذة بالقذة فيحصل له^{١٣} المطلوب منها. وأما التربع فلا يزداد على حصته شيء ولا ينقص منها في جميع الأحوال^{١٤} والأوضاع، لكنها تعد كميته^{١٥} من الأصل مستوية^{١٦} ومعكوسة ويعمل باقي العمل فيها على ما تقدم في غيرها.

١ فيمر: (ب) فر؛ (ك) ميمز
٢ من: (ك) على
٣ موضع: (ب، ك، ي) موقع
٤ تصيرا معدلتين: (ب، ي) بصيرا معدلتين
٥ واحدة: (ب، ي) واحد
٦ (ده، ص) ثم ليعد من الأصل مستوياً بمقدار كل واحدة من الحصتين المعدلتين
٧ (ك) + واحد
٨ من هاتين: (ي) منها بين
٩ منها: (د) منها
١٠ (د) شطب الكاتب: «الصاعد كذلك فيالبروج الجنوبية وإن كان في النصف»
١١ (د) - الصاعد كذلك وفي البرج الجنوبية أو كان في النصف
١٢ (ب، ي) - والتثليث
١٣ (د) - له
١٤ الأحوال: (ب) لأحوال
١٥ كميته: (ب، ك) كميته
١٦ مستوية: (ب) سوية

التسديس وعلم عليها^١ وعد من علامة الأصل^٢ أيضاً مستويًا حصة التربع فينتهي^٣ إلى علامة التربع وعد من علامة الأصل^٤ مستويًا حصة^٥ التثليث فينتهي^٦ إلى علامة التثليث. ثم ضع المري على كل واحدة^٧ من تلك^٨ العلامات وانظر ما وافى الدائرة المعدلة فذلك هو^٩ موقع ذلك^{١٠} الشعاع الأيسر من^{١١} فلك البروج. (٤٢-٤) فإذا حصلت لك الشعاعات اليسرى وأردت اليمنى فاعمل هذا^{١٢} العمل بعينه ولا تغير^{١٣} شيئاً سوى عد^{١٤} حصص المناظر من علامة الأصل. فإتاك تعدّها منها^{١٥} معكوسة^{١٦} لا مستوية،^{١٧} فترك الدائرة المعدلة مواقع الشعاعات اليمنى عند^{١٨} وضعك^{١٩} المري على علاماتها.

(٤٤) معرفة مطرح^{٢٠} الشعاع على الطريق المصحح بهذه الصفيحة: (٤٤-١) لما وقع في العمل المنسوب إلى بطليموس اختلال ظاهر وزوال عن الموضوع^{٢١} تجرد لإزالة^{٢٢} ذلك عنه وإعادته إلى موضعه^{٢٣} بعض المحدثين وقد رأيت لمحمد^{٢٤} بن يحيى الطبري مقالة في ذلك الحساب،^{٢٥} فأما هذه الصفيحة فقد وجد العمل المذكور بها في عدة المقالات مقولة^{٢٦} في العمل بالأسطرلاب أقدمها لعلي بن عيسى الأسطرلابي والله أعلم بالسابق إلى تصحيح هذا العمل وابتداع طريقه. (٤٤-٢) فإن أراد مريد فليضع درجة الطالع على أفق المشرق في هذه الصفيحة^{٢٧} ولينظر، فإن كان الكوكب في إحدي تقطبي الاعتدالين، أعني أول^{٢٨} برج^{٢٩} الحمل والميزان، فليضع حرف العزادة المحرفة على درجة الكوكب الذي يراد مطرح شعاعه. ثم يعد من موقع مريها من الحجرة حصص المناظر مستوية للشعاعات اليسرى ومعكوسة لليمنى. وليضع مري هذه العزادة على نهاياتها،

- ١ (ب) شطب الكاتب: «في الصفيحة»
٢ (ب) شطب الكاتب: «في الحجرة مستويًا حصة التسديس فينتهي إلى علامة التسديس وعلم عليها وعد من علامة الأصل»
٣ فينتهي: (ب) فينتهي
٤ (آ، ت) + أيضاً
٥ (ك، ق) - التربع فينتهي ... حصة
٦ فينتهي: (ب) فينتهي
٧ واحدة: (د، ك) واحد
٨ تلك: (آ، ز، ق، ت) هذه
٩ (ز، ق، ت) - هو
١٠ (ق) - ذلك
١١ من: (ب، ي) في
١٢ هنا: (ت) هذه
١٣ تغير: (ك) تتغير؛ (ت، ي) يغير؛ (آ، ز، م، ق، ت) + منه
١٤ (د) - عد
- ١٥ (آ، ز، م، ق، ت) - فأتاك تعدّها منها
١٦ معكوسة: (ز، ت) معكوساً
١٧ مستوية: (ز، ت) مستويًا
١٨ عند: (د) عنك؛ (ق) - عند
١٩ وضعك: (ق) بوضعك
٢٠ (ده، ص) مطرح
٢١ موضع: (ي) موضوع
٢٢ لإزالة: (ب، ي) الإزالة
٢٣ موضعه: (د) موضعه
٢٤ لمحمد: (ب) لمجد
٢٥ الحساب: (ب) بالحساب
٢٦ مقولة: (ك) منقولة
٢٧ (ب) شطب الكاتب كلمة «الصفيحة» وكتبها من جديد
٢٨ (ك) - أول
٢٩ برجي: (ب، ي) برج

(٤٢) معرفة مطرح الشعاع على المذهب المنسوب إلى بطليموس بالصفحة المعمولة^١ لهذا^٢ الشأن: ^٣(٤٢-١) المقدمات

العامّة لعمل مطرح الشعاع هي أن يتقرر أن^٤ المناظر أعني مواقع^٥ الشعاع^٦ أربعة ضروب^٧ أولها التسديس وحصته ستون جزءاً والثاني التربع وحصته تسعون جزءاً والثالث التثليث^٨ وحصته مائة وعشرون جزءاً والرابع المقابلة^٩ وحصتها مائة وثمانون جزءاً^{١٠} غير أن^{١١} المقابلة^{١٢} لا يشتغل باستخراجها فإنها أبداً تقع^{١٣} في نظير درجة الكوكب. (٤٢-٢) ثم ما سواها من المناظر^{١٤} الثلاثة يتنوع نوعين فالواقعة من عند درجة الكوكب^{١٥} على توالي البروج تسمى الشعاعات اليسرى والواقعة على^{١٦} عكس نضد البروج^{١٧} تسمى^{١٨} الشعاعات اليمنى. (٤٢-٣) فإذا^{١٩} تقرر هذا واحتجت إلى عمل مطرح الشعاع لكوكب^{٢٠} مفروض في وقت معلوم فركب العنكبوت على صفيحة مطرح الشعاع وضع^{٢١} جزء الطالع على أفق المشرق^{٢٢} فيها^{٢٣} وعلم على موقع^{٢٤} المري من الحجرة علامة الأصل. ثم انظر إلى درجة الكوكب على أية^{٢٥} دائرة وقعت من الدوائر المخطوطة في الصفيحة وعلم عليها في الصفيحة وسمها الدائرة المعدلة سواء كانت من جملة^{٢٦} الدوائر أو^{٢٧} كانت^{٢٨} الأفق نفسه^{٢٩} أو خط نصف النهار. ثم عدّ من علامة الأصل في الحجرة^{٣٠} مستويًا^{٣١} حصة التسديس فينتهي^{٣٢} إلى علامة

^{١٦} (ب) — تسمى الشعاعات اليسرى والواقعة على عكس نضد البروج

^{١٧} تسمى: (ب، م) يسمى

^{١٨} فإذا: (م، ق) وإذا

^{١٩} الشعاع لكوكب: (آ، ب، ي، ك، م، ق، ت) شعاع كوكب؛ لكوكب (ز) الكوكب

^{٢٠} وضع: (ق) فضع

^{٢١} (ق) — مشرق

^{٢٢} فيها: (آ، ب، ز، ي، ك، م، ق، ت) فيه

^{٢٣} موقع: (ز) موضع

^{٢٤} أية: (آ، م، ت) أي

^{٢٥} جملة: (آ، ز، م، ت) جملة

^{٢٦} أو: (ق) إذا؛ (ك) و

^{٢٧} كان: (ك) كانت

^{٢٨} نفسه: (ك) فيه، (ز) نفسها

^{٢٩} في الحجرة: (ك) أيضاً

^{٣٠} مستويًا: (آ، م) مستوية

^{٣١} فينتهي: (ب) فينتهي

^١ المعمولة: (ز) المعمول

^٢ لهذا: (ز) لها

^٣ (ب) — الشأن: (به، ي) البيان

^٤ أن يتقرر أن: (ق) من مفردات

^٥ مواقع: (ق) موقع

^٦ (ق) + وهي

^٧ (ق) — ضروب

^٨ التثليث: (ب) التثليث

^٩ (ب) + مما

^{١٠} (ز، ك، م، ي، ق، ت) — وحصتها مائة وثمانون جزءاً

^{١١} (آ، ب) — وحصتها مائة وثمانون جزءاً غير أن المقابلة؛ (به-ص) غير

أن المقابلة: (ز، ي، م، ت) + مما

^{١٢} (ده-ص) تقع؛ أبداً تقع: (آ، ب، ز، ي، ك، م، ق، ت) تقع أبداً

^{١٣} المناظر: (ز) المناظره

^{١٤} (ب) شطب الكاتب: «ثم ما سواها من المناظر الثلاثة تنوع نوعين

فالواقعة من عدد درجة الكوكب»

^{١٥} على: (ي، ك، ق، ت) إلى

ولمّا وقف بعض محيي^١ العلم على ذلك وأشكل^٢ عليه تهذيبها وترتيبها سألني أن أجمع له أغراض الأسطرلاب في جزءه يغنيه عن جميع ما عمل في هذا الباب^٣ ولم يقصد فيه^٤ قصد الصواب. ففعلت ذلك قضاء^٥ للواجب على المحدثين^٦ من إصلاح أعمال الأوائل وتهذيب علومهم وترتيبها^٧ والله الموفق لجميع الخير^٨ والكاشف لكلّ ضمير^٩.

(٢٩) معرفة^{١٠} تحويل^{١١} سني المواليد^{١٢} وسني^{١٣} العالم: ضع جزء طالع^{١٤} المولد^{١٥} على أفق المشرق وعلم على المري أدر العنكبوت مستويّاً لكل سنة إن كان^{١٦} الأصل معمولاً بزيجات السند هند^{١٧} والفرس ثلاثة وتسعين جزءاً وإن كان بالقانون فتسعة^{١٨} وثمانين^{١٩} جزءاً وإن كان بزيجات الرصد المحدث فسبعة^{٢٠} وثمانين جزءاً حتى^{٢١} تفعل ذلك مرّات بعدد^{٢٢} السنين الشمسية التامة التي تقدمت قبل التحويل المطلوب، ثم انظر^{٢٣} إلى أفق المشرق ما وافقه فذلك جزء طالع تحويل تلك^{٢٤} السنة^{٢٥}. وكذلك^{٢٦} إن كان طالع سنة ما^{٢٧} معلومة من سني العالم المعلوم^{٢٨} فضع جزئه على أفق المشرق واعمل به ما قلناه^{٢٩} فيخرج لك على^{٣٠} أفق المشرق جزء^{٣١} طالع تلك السنة المطلوبة^{٣٢}.

- | | |
|---|---|
| ١ محيي: (ب) محي؛ (آ)، (م) + هذا | ١٧ هند: (آ)، (ل، ق) والهند |
| ٢ وأشكل: (ب، ل) أو أشكل؛ (آ) - وأشكل؛ (ز، ق، ت) فأشكل | ١٨ فتسعة: (آ، ز، ل، ق، ت) فثمانية |
| ٣ الباب: (ب) لباب | ١٩ ثمانين: (ب، ي) ثمانون |
| ٤ فيه: (د) فيه؛ (د) - (خ) به | ٢٠ فسبعة: (ب) وسبعة |
| ٥ قضاء: (م) قضائه | ٢١ حتى: (ت) بمعنى |
| ٦ المحدثين: (ق) الحديثين | ٢٢ بعدد: (ز) بعد |
| ٧ ترتيبها: (د) ترتيبها؛ (ده، نخ) ترتيبها | ٢٣ (ز) - أنظر |
| ٨ (آ، ز، م، ت) + وهو المعين | ٢٤ (ق) - تلك |
| ٩ (آ، ز، م، ت) - والكاشف لكل ضمير؛ ضمير: (ل) ضمير | ٢٥ (ق) + للمولود |
| ١٠ (آ، ق) + مطالع | ٢٦ (ب) + وكذلك |
| ١١ (ك) - تحويل | ٢٧ (د) - ما |
| ١٢ المواليد: (آ) مواليد | ٢٨ المعلوم: (آ، د، ي، ك، ل، ق، ت) معلوماً |
| ١٣ وسني: (ب، ز، ي، ك، ل، ق، ت) أو؛ (آ) - وسني | ٢٩ قلناه: (آ، ب، ز، ي، ك، ل، ق، ت) تقدم |
| ١٤ طالع: (آ) الطالع | ٣٠ (ز) - على |
| ١٥ المولد: (ك، ل، ق) المولد؛ (ي) المولودا | ٣١ (آ، ز، ل، ت) - جزء |
| ١٦ (آ، ل) - كان | ٣٢ (د) - المطلوبة |

بسم الله الرحمن الرحيم^١

رب ارحم بفضلك^٢

(٠) هذا كتاب في إخراج ما في قوة الأسطرلاب إلى الفعل^٣

قال الشيخ الأستاذ الفاضل^٤ أبو الريحان محمد بن أحمد البيروني: ° الأسطرلاب أشرف الآلات المستعملة في صناعة النجوم ومخصوص من بينها بخفة^٦ المؤونة^٧ في النقل^٨ والاستعمال مع سرعة الإيقاف^٩ على المطلوب من أحوال الفلك الثابتة على وجه واحد والمتغيرة باختلاف^{١٠} الأمكنة والأزمنة^{١١} مع ما في عمله من العلوم^{١٢} العجيبة التي سما يتوصل^{١٣} إلى تسطيح الكرة. وقد أكثر^{١٤} المنجمون في بابه وأبانوا عن العمل به فمن^{١٥} مقصر^{١٦} في إيراد جميع ما يمكن استخراج به^{١٧} ومن مطول لصفة^{١٨} أعماله إما بتكثير ذكرها وإعادة^{١٩} الظاهر من عكوسها^{٢٠} وإما بإضافة أعمال حسابية طويلة إليها^{٢١} من غير أن يشاركه^{٢٢} إلا في طرف يسير منها^{٢٣} ومن مخلط بأعماله ما ليس منها واقع لذلك بالبعد من قصده فيها للتقريب^{٢٤} والتسهيل.

-
- ١ (ت): هو الله تعالى، كتاب في علم الأسطرلاب تصنيف الأستاذ الكامل أبي ريحان البيروني ره، بسم الله الرحمن الرحيم
- ٢ (آ، ب، ز، ي، ل، م، ق) — رب ارحم بفضلك؛ (ت): حسبي الله ونعم الوكيل وعليه توكلت وآليه أتئب.
- ٣ (آ، ب، ز، ي، ل، م، ق، ت) — هذا كتاب في إخراج ما في قوة الأسطرلاب إلى الفعل؛ (ق): رياضة الفكر والعقل في استخراج ما في قوة الأسطرلاب إلى الفعل لأبي ريحان محمد بن أحمد البيروني
- ٤ (آ، د، ز، م، ق، ت) — الشيخ الأستاذ الفاضل
- ٥ (آ، ز، م، ق، ت) — أبو الريحان محمد بن أحمد البيروني
- ٦ بخفة: (ب، ي، ل) لحفة، (ت) تحفة
- ٧ المؤونة: (ت) الموتة
- ٨ النقل: (ت) التغل
- ٩ الإيقاف: (آ، ز، م، ق، ت) الإيقان، (ق) الإيقان
- ١٠ باختلاف: (ب، ل) اختلاف
- ١١ الأمكنة والأزمنة: (د) الأزمنة والأمكنة
- ١٢ العلوم: (ب، ي، ل) المعاني
- ١٣ سما يتوصل: (آ، م) يتوصل سما
- ١٤ أكثر: (ل) أكر
- ١٥ فمن: (آ، م) فكم من
- ١٦ مقصر: (ده-خ) مقصر
- ١٧ (آ، د، ز، م، ق، ت) — به
- ١٨ لصفة: (د) بصفة
- ١٩ إعادة: (آ) عادة
- ٢٠ عكوسها: (ده، خ) علوها
- ٢١ إليها: (ب، د، ي، ق) إليه
- ٢٢ أن يشاركه: (ز) مشاركة
- ٢٣ (ز، م، ت) — منها
- ٢٤ للتقريب: (د) لليقين؛ (ده، خ) للتقريب

5-2: Arabic Edition of Selected Chapters of the *Ikhrāj*, Based on All Manuscripts

Abbreviations:

1. ٦ : Mashhad, Astan-e Qods (Holy Shrine) Library, no. 5594;
2. ب : Berlin, National Library, no. 5794;
3. د : Diyarbakir, Il Halk Kütüphanesi, no. A 2213;
4. ز : Tehran, Tehran University, Central Library, no. 1971/2;
5. ی : Yazd, Waziri Library, no. 3753/8;
6. ك : Cairo, Dar al-Kutub, no. Falak 3774/2;
7. ل : Tehran, Milli (National) Library, no. 21273.
8. م : Tehran, Majlis (Congress) Library, no. 1516/1;
9. ق : Cairo, Dar al-Kutub, no. Falak 262;
10. ت : Tehran, Tehran University, Faculty of Theology, no. 51/1.

I have used the following abbreviations and symbols in my edited Arabic text and apparatus of the *Ikhrāj*:

- د: Diyarbakir manuscript.
- ب: Berlin manuscript.
- ٥ (for *hāmish* [margin]) indicates a marginal note.
- به indicates a marginal note in the Berlin MS.
- ده indicates a marginal note in the Diyarbakir MS.
- شطب الكاتب indicates text that was crossed out by the scribe.
- Vertical arrows in footnotes indicate that the given word is written above or below the word in the text. Two arrows indicate placement *exactly* above or below the word in the text, one arrow placement just before or after it.
- + indicates superfluous words in the manuscripts.
- I have added folio numbers between vertical lines | |.
- و (for *wajh*) indicates the front side of the folio (*recto*).
- ظ (for *zahr*) indicates the back side of the folio (*verso*).
- I have reconstructed some passages for mathematical sense, and added words and passages that were omitted by scribal error. Such reconstructed words and passages appear in angular brackets < >.

For easy reference, I have divided the text into sections numbered (53-1), (53-2) etc. These numbers appear in parentheses in the Arabic edition.

وأجزائها، وإذا ضربت هذه الأبعاد فيما حصل لك في نصف قطر الأرض من الأميال أو غيرها، تحولت تلك الأبعاد إلى المقدار الذي مَسَحَتْ به.

(٢-٢٠) الفصل الثاني: في تصحيح مواضع الكواكب في أسطرلاب عتيق

(١-٢-٢٠) إذا أتى للأسطرلاب زمان مديد، تغيرت فيه مريات الكواكب بانتقالها عن تلك المواضع في تلك المدة، وأدى العمل بها إلى خطأ فيما بطلت منها، فقوم مواضع الكواكب الثابتة في الطول لوقتك، فإن عروضها لا تتغير عن مقاديرها، فضع^١ أول الحمل على <جانب الأيسر من> خط المشرق والمغرب في الصفيحة المعمولة لعرض ستة وستين جزءاً وخمس وعشرين دقيقة مخطوطة فيها دوائر مقنطرات الارتفاع والانحطاط معاً، وما وقع من دوائر السموت^٢ في الصفيحة بأسرها حتى قطعت نوعي المقنطرات كليهما.

وفيها فضلة كبيرة^٣ خارج مدار^٤ الجدي وستنطبق المنطقة عند ذلك على أفقها. فانظر درجة الكوكب التي صححتها^٥ وعلم عليها في المنطقة وتأمل دائرة السموت المارة عليه وعدّ عليها من المقنطرات مثل عرضه إن كان في الشمال فإلى داخل المنطقة، وإن لا، كان العرض في الجنوب فإلى خارجها، فحيث بلغت في إحدى الجهتين، فهو موضع ذلك الكوكب المقوم. <فعلم علامة عليه> وامسك رأس الحمل على أفق المشرق وخطه واطرق مريه في العنكبوت وعوجه إلى تلك العلامة حتى يوافقها وقد صحّ لوقتك. وكذلك فاعمل بمريات سائر الكواكب حتى تصح رؤوس مرياتها بإذن الله وعونه.

(٢-٢-٢٠) والأعلاق العلمية تخالف الستة الدنياوية بازديادها على البدل وتناقص تلك، ولكنها بذل إذا لم تحصل بالاجتهاد أو وقعت إلى غير الأكفاء والأنداد. فواجب على العاقل^٦ والمصلح أن لا يثناه^٧ ذلك عن النشر في البشر ما أمكن. فإن هذا العيب والفساد لم يأت من الفاعل وإنما أتى من القابل المنفعل لتجافيه وتأنيه وكل إناء يترشح^٨ بما فيه. أثابنا الله لحسن النية وختم أمرنا على ما يزيل الخوف والحزن عند إتيان اليقين، أنه رؤوف^٩ رحيم. تم.

^١ يترشح: رشح
^٩ رؤوف: رؤف

^٥ صححتها: صحتها

^٦ + العاقل

^٧ يثناه: يمهناه

^٤ مدار: كتب الكاتب

«مداري» ثم شطب حرف

«ي».

^١ فضع: وضع

^٢ السموت: السموات

^٣ كبيرة: كثيرة

وعجزت عنها أيامئذ لتضايق الحال فتجرعت الغصص وفرغت الشمس. ثم لم يتمكن منه عند اتساع الجاه ووفور المال. (٢٠-١-٥) ولو كنت تمكنت منه لوضعت^١ هناك موضعاً كالمركز المستقر الذي إليه المرجع وقست ارتفاع الشمس به نصف النهار أو ارتفاع كوكب من الثوابت بعينه كذلك، ثم سرت منه على خط نصف النهار نحو الشمال على استقبال القطب. أما بالليلي، فأبعاد النيران ساترة^٢ بعضها بعضاً بك الاتحاد في المري، فمن خاصية الشيء المستقيم أن يستر طرفاه وسطه ولا يدرك بهذا الوضع إلا أحد طرفيه، وأما بالنهار فالأدخنة المتوالية المتحدة أيضاً. ونصبت الأعلام على المسلك للاهتداء بها عند المنصرف وقطعت ما لا يقصر | ٦١ | عن عشرين فرسخاً فما فوقها، وقست ارتفاع الشمس نصف النهار عند المنتهى واستثنيت الميل الشمالي من الارتفاع وزدت الجنوبي عليه ثم انصرفت على الأعلام ماسحاً المسافة في الورد والصدر، وضربت هذه المسافة بين المبدأ والمنتهى في ثلثمائة وستين وقسمته على فضل ما بين الارتفاعين فيها، فكان يخرج دور الأرض بمقدار تلك المسافة على الطريق المستقيم الذي لا ينهج بحقيقته غير الدوائر العظمى. (٢٠-١-٦) وبهذا المنهج عمل القدماء فبعض اعتبر فيه مسافة ما بين الرقة وتدمر لأنهما على خط واحد من خطوط أنصاف النهار وبعض اعتبر فيه ما بين الإسكندرية وأسوان على ما حكى جالينوس عن اراطستانس لأن هذين البلدين كذلك.

(٢٠-١-٧) ثم حدّد المأمون اعتباره على يد خالد المروروذي^٣ وعلي بن عيسى الحراني وجماعة من أمثالها وذلك في بركة سنجار من أرض الموصل فقصد طائفة منهم نحو قطب الشمال وأخرى قطب الجنوب وعند اجتماعهم في المنصرف قابل الفريقان ما حصل لكل واحد منها من حصة الجزء الواحد من ثلثمائة وستين جزءاً لدور الأرض من الأميال التي هي أثلاث الفرسخ.

فما اختلفنا إلا بقدر ثلثي الميل^٥، فإن أحدهما وجدها ستة وخمسين ميلاً وثلث ميل والآخر سبعة وخمسين ميلاً. فجمعوهما وأخذوا النصف للاحتياط وجعلوا حصة الجزء الواحد ستة وخمسين ميلاً وثلثي ميل. (٢٠-١-٨) وإذا ضربته في ثلثمائة وستين، اجتمع عشرون ألفاً وأربع مائة ميل وذلك دور^٦ الأرض، فإن ضربته في سبعة وقسمت المبلغ على أربعة وأربعين، خرج نصف قطر الأرض الذي بين وسط العالم وبين ظهر الأرض. وإذا ضربت ضعفه في دورها الخارج لك اجتمع مساحة سطحها البسيط، بر أو بحر أو عامر. وينصف | ٦١ ظ | قطر الأرض، على أنه واحد، مُسِحتْ أبعاد الكواكب

^٥ الميل: الجبل

^٣ المروروذي: المروذي

^١ لوضعت: لوضت

^٦ دور: وتر

^٤ عند: عن

^٢ ساترة: الساترة

الباب العشرون

(٢٠-١) الفصل الأول: في معرفة قطر الأرض ودورها

(٢٠-١-١) إذا وَقَّ الله تعالى ويسر^١ العسير، فقدرت بجبل تبليغ من سموقه أن تستبين في دورية للشمس وقت طلوعها أو غروبها انخطاط عن الأفق وتما ذلك بإشرافه على قاع صفصف بّري غير ذي عوج ولا أمت. (٢٠-١-٢) وذلك أحب إلي من إشرافه على البحر كما ثبت ذلك في مقالة عملتها في غروب الشمس عن منارة الإسكندرية. ثم <إن> كان طلوعها أو غروبها على سمت ذلك القاع أو البحر، فرصدت انخطاطها وقت حصول مركزها على الأفق حتى حصلت؛ وإن لم يكن أحدهما على ذلك السمت، فنظرت بين ثقبتي الهدفتين إلى منقطع السماء عند الأرض في ذلك السمت حتى حصلت انخطاط ملتقاهما وأخذت جيبه <المعكوس وحفظته> وهو الأول وجيب ما ينقص الانخطاط من تسعين وهو الثاني، ثم استخرجت سمك عمود ذلك الجبل بما شئت من فرائخ أو أميال أو أنواع^٢ | ٦٠ ظ | أذرع أو أشبار بعد أن تكون^٣ معلومة بالتحصيل الدقيق وضربت هذا العمود^٤ في الموضع الآخر وقسمت المجتمع على ما حفظته، فيخرج ما بين مركز الأرض إلى محيطها بالمقدار الذي مسحت به عمود الجبل.

(٢٠-١-٣) فإن ضربته في أربعة وأربعين وقسمت المبلغ على سبعة، خرج دور الأرض الذي ينصف سطحها المحيط بها. وهذا مأخذ الطريق الذي حكاه سند بن علي عن المأمون في هذا الباب واقتفيناها في قيعان أرض الهند كما أبنت عن ذلك في كتاب عملته في معرفة^٥ قدر الأرض بانخطاط الأفق المرئي^٦ في الذري عن الأفق المدرك في السفوح.

(٢٠-١-٤) وفي غرب خوارزم وجرجان وشاهلها قيعة تمتد مسيرة أشهر لا تكاد تستقر عليها حوزة مدوّخة ولا يتفاضل الاندفاع فيها في الجهات إلا أنها في أرض الغربية التي لا يؤمن منهم فيها على الروح إلا بصحبة^٧ من تقاومهم. وقد ساعدتها في حدائتي ولم يساعد^٨ ذوو القدر على معاووني بمعاون في العمل وحماة عن البوائق وإزاحة العلة عن المعتدي به في المهابة.

^٧ بصحبة: بصحة
^٨ يساعد: نساعد

^٥ في معرفة: فمعرفة
^٦ المرئي: المري

^٣ تكون: بكون
^٤ + في الموضوع

^١ يسر: يسير
^٢ + او

البعد الكائن على سمت الطول واستخرج به ما بين موقفك ومن كل واحد من طرفي هذا البعد ولا بد من أن يستويا أو يختلفا.

(٢-٣-١٩) فإن استويا، أخذت جيب نصف المحفوظ وضربته في أحدهما خرج لك من البعدين المتساويين وقسمت ما اجتمع على ستين واضعفت ما يخرج، فتكون مسافة ذلك البعد بالمقدار الذي عرفت به البعد الذي من موقفك إلى طرف هذا البعد.

(٣-٣-١٩) وإن اختلفا، أخذت جيب المحفوظ وضربته في أقصر بعدي الطرفين وقسمت المبلغ على ستين، فيخرج العمود وتضربه في مثله وتنقص ما اجتمع من ثلاثة آلاف^١ وستائة وتأخذ جذر الباقي، فيكون أحد قسمي القاعدة والقه من أطول بعدي الطرفين، ثم اضرب كل واحد مما بقي والعمود في مثله واجمع المبلغين وخذ جذر الجملة فيكون قدر البعد المطلوب.

(٢-١٩) الفصل الرابع: في تعريف نهر أمقبلون هم إليك أم مدبرون | ٦٠ |^٢ عنك ومتيامنون هم أم متياسرون

(١-٤-١٩) هذا المعنى يحوج إلى إشراف عليهم وإلى إهمال بين القياس، وإذا أردته فاعرف بما تقدم ما بين موقفك وبينهم ثم أمهلهم قليلاً وأعد العمل الأول^٣ فإن تقاصر ما كان بينك وبينهم من المسافة، فهم مقبلون نحوك، وإن تطاول فهم مدبرون عنك متباعدون. وأما التيامن والتياسر، فضع مري العضادة على أول أجزاء الارتفاع ثم ضع الأسطرلاب مقلوباً وأدره حتى ترى^٤ النفر أو إحدى حاشيتي جباعتهم بالثقبين معاً من غير أن تحرك العضادة وأمهلهم ساعة، ثم أعد الاعتبار فإن لم يزل المري عن موضعه واقفون مكائهم أو نازلون. وإن زال عن أول الأجزاء إليها فهم متيامنون وإلى الربع الذي تحتها فهم متياسرون.

^٤ ترى: بري

^٣ الأول: الاولي

^٢ + ام مدبرون

^١ آلاف: الف

العرض بين الشاطئين أقصر بينهما في المنظر والحدس، ثم خذ الأسطرلاب بيمينك وانظر من ثقبتي الهدفتين حتى ترى^١ العلامة في الضقة الأخرى المقابلة وأقر العضاة على وضعها واستدر على نفسك في موقفك إلى أن تواجه مستواء من الأرض وانظر إلى الهدفتين حتى ترى من نفسها من الأرض ما تعلم عليه واذرع ما بين قدمك وبين العلامة التي أدركتها على الأرض، فيكون عرض الوادي أو المستنقع أو مسافة لا تتمكن من ذرعها. (٢-٢-١٩) فإن لم يكن حولك مستواء تستقبله، فخذ جيب ما ارتفع المري في أجزاء^٢ الارتفاع وذلك هو انحطاط وجيبه هو الجيب الأول وجيب ما نقص هذا الانحطاط من تسعين هو الثاني؛ ثم اضرب الجيب الثاني في مقدار القامة بين العين والقدم بالأصابع أو الأشبار أو ما أريد واقسم المبلغ على الجيب الأول فيخرج عرض الوادي بمقدار أقسام القامة.

(٣-٢-١٩) فإن كان الموقف متنخباً على الشرط الأقرب إليك فاعمل بعلامة الشرط الأبعد ما تقدم حتى تعرف بعدها عنك، ثم اقم علامة الشرط الأقرب مقام علامة الشرط الأبعد حتى تعلم مثل ذلك فيها والى أقل بعد العلامتين عنك من أكثرهما، فيبقى عرض الوادي.

(٤-٢-١٩) فإن لم يكن طول القامة في ذلك حتى سستين منه الانحطاط، أحوج إلى إعلاء الموقف عن الأرض حتى تشرف منه على الوادي ويزداد الانحطاط الموجود للعلامات، فإذا اعتليت^٣ فاعمل ما تقدم بعينه سوى أن تقيم ما بين العينين هناك والأرض مقام القامة، فأنها ههنا | ٥٩ ظ | مجموع القامة إلى عمود الموضع الذي فيه الموقف من سطح دار أو رأس منارة أو هضبة أو ما شاكلها.

(٣-١٩) الفصل الثالث: في معرفة بعد معترض على سمت الطول الآخذ عنه يميناً أو شمالاً أو إليها معاً

(١-٣-١٩) طريقه أن تضع^٤ الأسطرلاب مقلوباً ووجهه نحو وجه الأرض المستوي أو السطح المستوي وتضع^٥ مري العضاة على أول أجزاء الارتفاع وقد قابلت بربعها ذلك البعد وتدير^٦ الأسطرلاب من غير أن تحرك^٧ العضاة عن أول الأجزاء حتى ترى^٨ بثقبتي الهدفتين أحد طرفي ذلك البعد وبيمينك الأسطرلاب على وضعه وتدير العضاة حتى ترى^٩ بالثقبتين الطرف الآخر من ذلك البعد وتحفظ ما بلغه المري من أجزاء الارتفاع؛ ثم عد إلى العمل الذي تقدم في معرفة

^٧ تحرك: يحرك

^٨ ترى: يري

^٩ ترى: يري

^٤ تضع: يضع

^٥ تضع: يصع

^٦ تدير: تقدير

^١ ترى: يري

^٢ أجزاء: آخر

^٣ اعتليت: اعسلت

الباب التاسع عشر

(١-١٩) الفصل الأول: في معرفة الأبعاد المنقعة في الأرض

(١-١-١٩) إذا أردت أن تعرف عمق بئر، ترى قرارها وما فيه من الماء فاقسم | ٥٨ ظ | استدارة شفيرها بنصفين ومدين المنتصفين إما دقيقة مستوية وإما ترا ممدوداً <أو> متوتراً وأقم على طرف، خشبة^١ مستقيمة بمقدار القصبه التي عرضها على فمها، واقسمها بما شئت من الأعداد وقم عندها والأسطرلاب عند طرفها الأعلى وانظر بفرد عين من ثقبتي الهدفتين حتى ترى^٢ حاشية الماء في القرار على مسامنة طرف المعترض على البئر واعرف كم انحطت العضادة عن خط^٣ الأفق وخذ جيب هذا الانحطاط وهو الجيب الأول، وجيب ما ينقص الانحطاط من تسعين هو الثاني؛ واضرب الأول في قطر فم البئر الذي نصبت الخشبة المقسومة بمقداره واقسم ما اجتمع على الثاني، فما خرج فانقص منه ما بين عينك والأرض من أجزاء الخشبة، فيبقى عمق البئر بتلك الأجزاء. وإذا عرفت ما في الذرع منها، قسمتها على أجزاء الذراع فيتحول العمق منها إلى الأذرع. هذا إذا كان البئر مستوي القعر.^٤

(٢-١-١٩) ثم إن كان خابوطياً متسع الأسفل، فضع مصباحاً في شيء مقعر ككفة الميزان أو الأجافية بحيث يمنع جافها عن وقوع ضوء على الماء لئلا يريك السراج فيه سراجاً آخر فيشتبه الأمر عليك فيها، ثم دله من عند الطرف^٥ المعترض على البئر إلى أن يبلغ الماء ويستقر عليه بخدامك وأنت قائم عند الطرف الآخر وانظر من ثقبتي الهدفتين كالعادة إلى أن ترى المصباح منها^٦ معاً^٧ واعرف الانحطاط واستعمل^٨ فيه ما تقدم فيؤديك^٩ إلى مقدار عمق البئر باستواء.

(٢-١٩) الفصل الثاني: في معرفة بعد <على> وجه الأرض في سمت الطول الذي تسلكه إن توجهت إلى الأمام

(١-٢-١٩) هذا البعد إذا قلّ قدرأً وقرب الناظر، أمكن أن يغني فيه ارتفاع عين القائم على الأرض من وجهها إحاطة^{١٠} خطي البصر من عند طرفيه بزاوية محسوسة القدر وبه تعلم عروض الأودية | ٥٩ و | والأراضي المحدودة الطرفين بعلامتين. وفي عروض الأودية،^{١١} فاجتهد إذا قمت على الشاطيء، إن تكون العلامة التي تضعها^{١٢} على الشاطيء الآخر، أن يكون

^{١٠} إحاطة: الاحاطه

^{١١} الأودية: الادوية

^{١٢} تضعها: بضعها

^٧ معاً: صعا

^٨ + ما

^٩ فيؤديك: فيودك بك

^٤ القعر: العقر

^٥ الطرف: طرف

^٦ منها: ممها

^١ خشبة: خشبته

^٢ ترى: يري

^٣ خط: الخط

الأقصر واقسم ما بلغ على^١ المعزول وماخرج فاضربه في اثني عشر واقسم ما اجتمع على الجذر الذي أخذت، فيخرج طول الشخص في السمك.

(١٨-٣) الفصل الثالث: في معرفة سمك شخص لا يوصل إلى أصله بالظل في الأسطرلاب

(١٨-٣-١) خذ ارتفاع رأس | ٥٨ | والشخص في موقف معلوم وانظر أين يقع مري العضادة الأسفل من أجزاء الظل، فرد عليه إصبعاً وضع المري على المنتهى وتباعد عن الشخص، أو فانقص إصبعاً وضع المري على الثاني واقرب من الشخص، ثم اطلب في هذا التقدم أو التأخر موضعاً في الاستقامة بين الموقف^٢ وأصل الشخص ترى فيه رأسه من الثقبين معاً من غير أن تزيل العضادة عن وضعها وهو الموقف الثاني، فاذرع ما بين الموقفين واضربه في اثني عشر فيجتمع سمكه. فإن كان الظل أقداماً، فزد على الأقدام الذي وقع عليها مري العضادة أو انقص قدماً^٣ واحداً واضرب ما بين الموقفين في سبعة إن كانت الأقدام صحاحاً وفي ستة ونصف إن كانت منكسرة بدل ما ضربت أولاً في اثني عشر، فيجتمع سمك الشخص.

(١٨-٣-٢) فإن كان الظل ظل السلم والأصابع في الموقف الأول لا تفضل على أحد عشر إصبعاً أو الأقدام الصحاح فيه على ستة والمنكسرة على خمسة ونصف، فالعمل كما تقدم؛ وإن فضلت على تلك المقادير، انقل حرف العضادة بزيادة الواحد في الموقف الثاني إلى الضلع المنتصب، فاقسم مائة وأربعة وأربعين على مجموع الظل والإصبع فيخرج عدد المنتصب، فضع الحرف عليه وتنتج (?) الموقف الثاني. وإن كان مري العضادة الأعلى في الموقف الأول على خمسة وأربعين جزءاً، فاقسم^٤ المائة والأربعة والأربعين على ثلاثة عشر، وإن كان في الموقف الأول على المنتصب فلا محالة أنه يكون عليه أيضاً في الموقف الثاني، فانقص مما في الأول إصبعاً فيبقى عدد الموقف الثاني فتنتج حينئذ واعمل ما تقدم وقس عليه سائر أقسامه.

^٤ فاقسم: ماقتصر

^٣ قدماً: قديماً

^٢ + بين الموقف

^١ + ما بلغ على

فيكون السمك. وإن شئت، فاضرب ما بين القدم^١ والأصل في الجيب الأول واقسم ما اجتمع على الجيب الثاني وزد القامة على ما خرج، فيكون سمك الشخص.

(١٧-٢-٢) وإن شئت، فانصب على الأرض مقياساً واعرف ظله بأقسام المقياس واضرب ما بين القدم^٢ والأصل في اثني عشر واقسم ما بلغ على الظل الذي وجدت، وزد القامة على ما خرج، فيجتمع السمك.

الباب الثامن عشر

(١-١٨) الفصل الأول: في معرفة سمك شخص لا يوصل إلى أصله بارتفاعين لرأسه

(١-١-١٨) خذ ارتفاع^٣ رأس الشخص في موضعين، تصل الخط الواصل منها إلى أصله واستخرج جيب كل واحد من الارتفاعين وجيب الفضل بين الارتفاعين، واذرع ما بين الموقعين الذين فيها أخذت |٥٧ ظ| الارتفاعين واضربه في جيب أقل الارتفاعين واقسم ما اجتمع على جيب الفضل ما بين الارتفاعين وما خرج فاضربه في جيب أكثر الارتفاعين واقسم المبلغ على ستين، فيخرج طول الشخص بالمقدار الذي به زرعت ما بين الموقعين.

(٢-١٨) الفصل الثاني: في معرفة سمك شخص لا يوصل إلى أصله، بمقياسين

(١-٢-١٨) أنصب مقياسين متباعدين بحيث يختلف فيئها من الشمس لو كانت على رأس الشخص ظلها في وقت واحد في موضع مستو^٤ بحيث يكون مغزاهما وأصل الشخص على استقامة. واطلب لكل واحد من المقياسين موقعاً على وجه الأرض إذا وضعت عينك عليه رأيت رأس المقياس والشخص معاً، فيكون ما بين موضع العين وبين أصل المقياس ظله؛^٥ واعرف ما بين موضعي العين في الموقعين والبق منه أصغر الظلين واحفظ ما يبقى، ثم زده على أعظم الظلين واضرب الجملة في اثني عشر واقسم ما اجتمع على أعظم الظلين، فيخرج العمود الأقصر. ثم زد ما حفظت على مجموع الظلين واضرب الجملة في اثني عشر واقسم المبلغ على أعظم الظلين، فيخرج العمود الأطول، فانقص منه اثني عشر والبق ما بقي من العمود الأقصر فيبقى المعزول. ثم اضرب أصغر الظلين في مثله وزد عليه مائة وأربعة وأربعين وخذ^٦ جذر الجملة واضربه في العمود

^٥ ظله: طلبه

^٦ + و

^٣ + الشمس

^٤ مستو: مستوي

^١ القدم: القوم

^٢ القدم: القوم

الباب السابع <عشر>

(١-١٧) الفصل الأول: في معرفة سمك شخص يوصل إلى أصله بالمثلث القائم الزاوية المتساوي الساقين

(١-١-١٧) إذا أردت سمك جبل أملس الوجه ينزل الحجر المرسل من أعلاه لا يبعد مسقطه عن أسفله ولا يضاذه في العين،^١ أو أردت سمك منارة أو هرم أو إحدى المسالّ المتشابهة^٢ التي بأرض مصر أو ساقه أو علّه، فارصد الشمس حتى تبلغ في ارتفاعها خمسة وأربعين جزءاً^٣ ثم اذرع من طرف ظل رأس^٤ ذلك الشخص إلى أصله فما كان، فهو مساو لمسافة علوه.

(٢-١-١٧) فإن عاق عن هذا العمل عائق من قيام الشخص على وضع لا يوصل إلى طرف ظله ساعتئذ فتمسح من عنده، أو قصور غاية ارتفاع الشمس يومئذ عن مساواه عن الدور، أو إن زاد عليه في ذلك اليوم كان في وقت الإرادة^٥ شرقياً زائداً عليه أو غربياً ناقصاً عنه أو أينما من الساء فلم يشرق الشمس، فضع مري العضاذة على خمسة^٥ وأربعين جزءاً من أجزاء الارتفاع وأقرها على ذلك^٦ الوضع ولا تغيرها، ثم تقدم وتأخر إلى |٥٧| و^٧ أن تجد موقعها ترى فيه رأس الشخص من ثقبتي العضاذة وهي على حالها وسر^٨ من عند قدمك إلى أصله و^٩ اذرع وزد عليه ذرع قامتك من العين إلى الأرض، فما اجتمع فهو سمك ذلك الشخص.

(٢-١٧) الفصل الثاني: في معرفة سمك ما يوصل إلى أصله بالمثلث القائم الزاوية المختلف الساقين

(١-٢-١٧) فإن لم يسمح المكان بوجوه توافق^{١٠} كالموصوف، فقس ارتفاع رأس الشخص وخذ جيبه وهو الأول، وجيب الفضل بين هذا الارتفاع وبين التسعين وهو الثاني، واضرب ذرع قامتك في الجيب الثاني واقسم المبلغ على الأول واحفظ ما خرج، ثم زده على ما بين قدمك وبين أصله واضرب الجملة في الجيب الأول واقسم ما بلغ على الثاني، فيخرج السمك المطلوب. وإن شئت، فاضرب ذرع قامتك فيما بين القدم والأصل، واقسم المبلغ على ما حفظت وزد قامتك على ما خرج،

^{١٠} توافق: توافق

^٨ سر: كتب الكاتب كلمة

^٥ خمسة: خمس

«شير» ثم شطب حرف

^٦ شطب الكاتب «المري».

«ى».

^٧ إلى

^٩ و: أو

^١ العين: الفين

^٢ المشابهة: المتشابهة

^٣ رأس: الراس

^٤ الإرادة: الادارة

الأخرى منها وهي الدرجة الثانية، فاضرب ما بين هاتين الدرجتين في البقية المحفوظة واقسم ما اجتمع على الفضل المحفوظ، فيخرج التعديل. فإن كانت الدائرتان في الربع الشرقي فوق الأرض أو الربع الغربي تحتها، فزد التعديل على الدرجة الأولى وإن كانت الدائرتان في الربع الشرقي تحت الأرض أو الربع الغربي فوقها، فانقص التعديل من الدرجة الأولى، فما حصلت عليه الأولى بعد الزيادة أو النقصان، فهو موقع ذلك الشعاع الذي لتلك العلامة.

(٧-١٦) الفصل السابع: ٢ في تسيير الأدلاء هذه الصفحة

(١٦-٧-١) «كل يعمل على شاكلته»^٣ ويرجع عند التحقيق إلى اعتقاده، (١٦-٧-٢) ولذلك أرى تسمية هذه الصفحة بصفحة التسيير أحقّ منها بمطرح الشعاع، لاعتقادي^٤ في الأشعة أنّ مطارحها غير متصلة بمطالع البروج ومغارها ولا متغيرة بإدارة الفلك إياها. (١٦-٧-٣) ومتى أردت التسيير فيها بالتحقيق، فضع درجة الطالع على أفق المشرق واعرف الدائرة التي تقع^٥ عليها درجة الدليل وعلم عليها وعلى موقع المري، ثم أدر العنكبوت مستويّاً حتى توافي^٦ درجة^٧ المقصود أو مري^٨ المقصود من الكوكب تلك الدائرة المعلّمة، فما تحرك المري عن موقعه فهو أزمان التسيير. فإن لم تقع^٩ درجة الدليل على دائرة وإنما وقعت بين دائرتين، فاستخرج البقية والفضل المحفوظين والعلامات من مواقع |٥٦ ظ| المري في الحجرة. ثم أدر العنكبوت مستويّاً حتى تبلغ درجة^{١٠} المقصود أو مري^{١١} المقصود أولى الدائرتين، فما زال المري عن العلامة الوسطى، فهو أزمان التسيير غير المعدلة؛ واضرب^{١٢} ما تحرك المري بتحريك المسير إليه فيما بين الدائرتين^{١٣} في البقية المحفوظة واقسم على الفضل المحفوظ، فيخرج التعديل. فإن كانت الدائرتان^{١٤} في الربع الشرقي النهاري أو الربع المقابل له، فانقص التعديل من أزمان التسيير غير المعدلة، وإن كانت في الربعين الباقيين، فزد التعديل عليها، فتحصل^{١٥} أزمان^{١٦} التسيير المطلوبة المعدلة.^{١٧}

^{١٥} فتحصل: فيحصل

^{١٦} أزمان: الزمان

^{١٧} المعدلة: معدلة

^{١٠} درجة: الدرجة

^{١١} مري: المري

^{١٢} اضرب: اضر

^{١٣} الدائرتين: الدائرتين

^{١٤} الدائرتان: الدائرتان

^٥ تقع: يقع

^٦ توافي: يوافي

^٧ درجة: الدرجة

^٨ مري: المري

^٩ تقع: يقع

^١ لتلك: لتلك

^٢ السابع: الرابع

^٣ القرآن، الإسراء (١٧):

٨٤

^٤ لاعتقادي: لاعتقادي

نقصانه | ٥٥ ظ | منه ما قد تكررت شريطته، فيحصل مبلغ التسيير للدليل. وإن يساوي^١ المقداران، فبلغ تسييره هو الموضع الذي توافقا فيه.

(١٦-٦) الفصل السادس: في مطرح الشعاع بالصفحة الملقبة به

(١٦-٦-١) هذه صفحة قد خط فيها خط وسط السماء ووتد الأرض وخط المشرق والمغرب يقاطعه مدار الحمل على نقطتي^٢ تقاطعها^٣ وقد أدير على تقاطع الأفق مع خط وسط السماء دائرة صغيرة كتب فيها العرض الذي عملت له، وسائر دوائرها مجتمعة على مركز هذه الدائرة لكنها يقطع دونه عند محيطها كما يقطع دوائر السموت^٤ عند محيط الدائرة التي في

ضمنها ص.

(١٦-٦-٢) فإذا أردت العمل بهذه الصفحة، فضع درجة الطالع على أفق المشرق، وهو الأيسر إذ ليس فيها شيء مكتوب عنده يميزه، ثم انظر إلى درجة الكوكب على أية^٥ دائرة وقعت من دوائرها، فعلم عليها وعلم أيضاً على موقع المري علامة الأصل وعد من هذه العلامة يمناً ويسرة حصص^٦ المناظر الستة أعني الستين يمناً للتسديس الأيسر ويسار للتسديس^٧ الأيمن والتسعين^٨ للتربيعين والمائة والعشرين للتثلاثين، وعلم على نهاياتها. وضع المري على كل علامة منها، فتوافي تلك الدائرة المعلّمة موضع شعاع الكوكب الذي له تلك العلامة في أيمن وأيسر.

(١٦-٦-٣) فإن لم تتفق درجة الكوكب على دائرة في الصفحة ووقعت فيما بين دائرتين منها، فسمّ التي نحو وسط السماء أو وتد الأرض أولى والأخرى ثانية^٩. فإن شعاعات الكواكب وافقة أيضاً بينهما، فعلم^{١٠} على المري علامة وسطى وحرك^{١١} العنكبوت حتى تصير^{١٢} درجة الكوكب | ٥٦ و |^{١٣} على أولى الدائرتين >وعلم على المري علامة أولى فحرك العنكبوت حتى تصير درجة الكوكب على الدائرة الثانية < وعلم على المري علامة ثانية وحصل ما بين العلامة الأولى وبين الوسطى وهو البقية المحفوظة^{١٤} وما بين الأولى والثانية وهو الفضل المحفوظ. ثم إذا وضعت المري على علامة شعاع معلوم للكوكب، وقع ذلك الشعاع بين تينك^{١٥} الدائرتين، فانظر إلى <ما> وافي أولها من المنطقة فهي الدرجة الأولى وإلى ما وافي

^{١٢} تصير: يصير
^{١٣} + الكوكب
^{١٤} المحفوظ: المحفوظ
^{١٥} تينك: بنيك

^٨ + والتسعين
^٩ ثانية: ما بينه
^{١٠} فعلم: وعلم
^{١١} حرك: حركه

^٤ السموت: السموات
^٥ أية: ابت
^٦ حصص: حصص
^٧ للتسديس: التسديس

^١ يساوي: تساوي
^٢ نقطتي: نقطتي
^٣ + قد أدير على تقاطع
تقاطعها

المحسوبة إلى الأيام الشمسية المحسوبة أن تضرب^١ في تسعة عشر ألفاً وأربعمائة وأربعين وتقسّم^٢ المبلغ على تسعة عشر ألفاً وسبع مائة وثلاثة وعشرين فيخرج ما يخص الطلوعية من الشمسية. وفي عكسه تضرب^٣ الأيام الشمسية فيما قسم عليه أولاً ويقسم ما بلغ على ما ضرب فيه هناك، فيتحول إلى^٤ الطلوعية^٥.

(١٦-٥-٦) فإذا أعطيت تاريخاً كان محسوباً لا محالة بالأيام الطلوعية وإذا طلب منك المواضع التي بلغت التسييرات يومئذ،^٧ لم يخل^٨ من أن يكون لمبدأ سنة التحويل أو لوقت بعده في ضمن المنكسرة وما بين مبدئها وذلك الوقت معلوم بالطلوعية، فحولها إلى الشمسية. فإن كان الدليل المسير^٩ في أصل المولد في [٥٥] و^{١٠} درجة العاشر، فضعه على خط وسط السماء أو كان في درجة الرابع، فضعه على خط وتد الأرض وعد^{١١} من عند موضع^{١٢} المري مثل عدد السنين التامة المقدمة لسنة التحويل وكسر إن كان معها بالأيام الشمسية، فحول إلى حصتها من الأزمان نحو اليمين وأزل المري إلى المنتهى وانظر ما وافى الخط الذي وضعت الدليل عليه من المنطقة فهو الموضع الذي بلغه تسيير الدليل وقتئذ.

(١٦-٥-٧) وإن كان في أصل المولد في درجة الطالع، فضعه على أفق المشرق أو كان في درجة الغارب، فضعه على أفق المغرب وعد من عند المري نحو اليمين ما عدت من تلك السنين والكسر، وانقل المري إلى المبلغ وانظر ما وافى الأفق الذي وضعت عليه الدليل من المنطقة، فهو الموضع الذي انتهى إليه تسيير الدليل. وإن لم يكن الدليل في الأصل على إحدى درجات الأوتاد، فضعه على خط وسط السماء وأدر العنكبوت مستويّاً حتى يزول المري عن مكانه بعدد سني التحويل التامة وكسر إن تلاها وانظر ما وافى خط وسط السماء من المنطقة، فهو المقدار الأول. ثم ضع الدليل على أفق المشرق إن كان في الأصل في النصف الصاعد، أو على أفق المغرب إن كان في النصف الهابط، وأزل المري عن موقعه بمثل عدد تلك السنين وكسر معها، فما وافى الأفق الذي وضعت الدليل عليه من المنطقة فهو المقدار الثاني. واضرب فضل ما بين هذين المقدارين في بُعد الدليل في الأصل عن أول العاشر أو أول الرابع، واقسم المبلغ على نصف قوس نهاره إن كان فوق الأفق أو على نصف قوس ليله إن كان تحت الأفق، فيخرج التعديل. وامثل في زيادته على المقدار الأول أو

^{١٠} + في
^{١١} عد: عند
^{١٢} موضع: الموضع

^٧ يومئذ: لومئذ
^٨ يخل: يخلو
^٩ المسير: المسيرة

^٤ — إلى
^٥ الطلوعية: طلوعية
^٦ تاريخاً: تاري

^١ تضرب: يضرب
^٢ تقسم: يقسم
^٣ تضرب: يضرب

ضع الدليل على أفق المشرق إن كان في النصف الصاعد وعلى أفق المغرب إن كان في النصف الهابط، وعلم على موقع المري علامة وأدر العنكبوت مستويًا حتى توافي^١ درجة المقصود أو مرية ذلك الأفق بدل الدليل، فما زال المري عن العلامة فهو المقدار الثاني. واضرب فضل ما بين المقدارين في بعد الدليل عن العاشر واقسم المبلغ على نصف قوس نهاره فيخرج التعديل إن كان الدليل فوق الأفق، فإن كان تحته، فاضرب الفضل في بعد الدليل عن الرابع واقسم المبلغ على نصف قوس ليله، فيخرج التعديل. ثم انظر، فإن كان المقدار الأول أقل من الثاني، فرد التعديل على الأول، وإن كان الأول أكثر من الثاني، فانقص التعديل من الأول؛ وما يبقى بعد الزيادة أو النقصان فهو أزمان التسيير.

(١٦-٥) الفصل الخامس: في تحاويل السنين ومبلغ التسييرات عندنا^٢

(١٦-٥-١) الشمس إذا عادت إلى موضع كانت فيه في وقت مفروض لمبدأ من مبادي أكون العالم، سميت مدة تلك العودة سنة موصوفة بها. (١٦-٥-٢) وأكثر ما تستعمل في سنة العالم ومباديها من حلول الشمس أول برج الحمل وفي سني المواليد ومباديها من الموضع الذي كانت اتفقت فيه وقت الولادة. (١٦-٥-٣) والطريق اللائق بالأسطرلاب في معرفة وقت التحويل لسنة مفروضة أن تنقص من سنتها واحد، فيبقى ما تمّ قبلها من السنين. وكأنها للمثال الخامسة والعشرون، **٥٤ ظ** وهي المنكسرة التي يراد وقت التحويل،^٣ والتامة قبلها أربع وعشرون، وضع درجة الطالع للسنة الأولى على أفق المشرق وعلم على موقع المري من الحجرة علامة. وهذا المبدأ في تحاويل سني العالم إما سنة مفروضة معلومة التاريخ قد عرف الطالع لوقت الاعتدال الربيعي فيها؛ وفي المواليد إما سنة كذلك وإما مبدأ الولادة. ثم خذ في إدارة العنكبوت مستويًا حتى يزول المري لكل سنة تامة بعد ذلك المبدأ ستة^٤ وثمانين جزءاً واحدى وأربعين دقيقة وذلك خمس ساعات وسبع وخمسون^٥ دقيقة بالتقريب إلى أن تفتى^٦ تلك السنون. ثم تنظر^٧ إلى أفق المشرق ما وافاه من منطقة البروج، فهو برج طالع التحويل ودرجته. (١٦-٥-٤) ومن رسوم أصحاب النجوم أن يقيموا بإزاء كل زمان من أزمان التسيير سنة من السنين الشمسية ولاخفاء بأن حصة الشهر الشمسي،^٨ أعني نصف سدس السنة الشمسية، تكون^٩ من الأزمان خمس دقائق وحصة اليوم الشمسي منها عشر ثوان. (١٦-٥-٥) وإنّ التقريب في تحاويل الأيام الطلوعية

^٧ تنظر: ينظر
^٨ الشمسي: الشمس
^٩ تكون: يكون

^٤ ستة: ست
^٥ صح: أربعون
^٦ تفتى: يفتى

^١ توافي: يوافي
^٢ عندنا: عندها
^٣ التحويل: تحول

الثلاثين ثلثين أخرى وعلم على نهاياتها وضع المري على كل واحدة منها وانظر كل مرة إلى ما وافق | ٥٣ ط | الأفق الذي وضعت عليه درجة الكوكب من المنطقة، فهو المقدار الثاني لكل شعاع منها.

(١٦-٣-٤) وإذا فرغت من تحصيل المقدارين^١ لكل واحد من أشعة الكواكب السبعة^٢ عمدت إلى مقداري كل شعاع في جانب واحد وكأنه للمثال التسديس الأيسر، فإن يساوي فيه المقداران فأحدهما مطرح هذا التسديس من فلك البروج، وإن اختلفا أخذت فضل ما بينهما وعرفت لمن^٣ هو ضربته في البعد عن العاشر وقسمت المبلغ على نصف قوس نهاره فيخرج التعديل هذا إن كان فوق الأفق؛ وإن كان^٤ تحته ضربت الفضل في البعد عن الرابع وقسمت المجتمع على نصف قوس ليله فيخرج التعديل. فإن كان الفضل للمقدار الأول يكون عن الثاني إلى توالي البروج، فانقص التعديل من المقدار الأول وإن كان الفضل عليه يكون عن الثاني إلى خلاف التوالي، فزد التعديل عليه، وما حصل بعد الزيادة أو النقصان فهو موضع ذلك التسديس الذي مثلنا^٥ به.

(١٦-٣-٥) وعلى مثله فاعمل في سائر الأشعة أيمنها وأيسرها حتى يضح لك جميعها والمقابلة في مقابلة الكوكب.

(١٦-٤) الفصل الرابع: في تسيير الأدلاء إلى المواضع المفروضة

(١٦-٤-١) الدليل إما أن يكون في درجة أحدي الأوتاد أو بينهما، والمسير إليه إما^٦ جرم كوكب وإما شعاعه وإما موضع مخصوص بحال دون غير؛ وكلها في درجات من المنطقة معلومة أو على مريات في الأسطرلاب مثبتة أو بالكواغد كما قدمنا ملحقة. فلنسم المسير إليه درجة المقصود. وأما إذا كان الدليل في نفس درجة وتد، فضعه على أفقه أو خطه وعلم على موقع المري علامة وأدر العنكبوت مستويًا حتى توافي درجة المقصود ذلك الأفق أو الخط الذي كنت^٧ وضعت | ٥٤ | عليه الدليل، فما تحرك المري من عند العلامة فهو أزمان التسيير.

(١٦-٤-٢) وأما إذا كان الدليل فيما بين وتدين، فضعه على خط وسط السماء وعلم على موقع المري وأدر العنكبوت مستويًا حتى توافي^٨ درجة المقصود أو مريه خط وسط السماء، فما زال المري من العلامة فهو المقدار الأول، ثم

^٦ إما: ما

^٧ كنت: كتب

^٨ توافي: يوافي

^٣ لمن: لمز

^٤ كان: كانت

^٥ مثلنا: مثلنا

^١ المقدارين: المقدارين

^٢ الكواكب السبعة: الكوكب

الستنه

(١٦-٢-٣) ثم ضع المري على كل واحد من علامات الأشعة وانظر عند كل واحدة منها إلى ما وافى أفق المشرق من منطقة البروج، فيكون مطرح ذلك الشعاع. وإن اتفق أن يكون الكوكب في درجة الغارب، فزد على كل واحد من تلك الشعاعات^١ التي خرجت لك وهو في درجة الطالع ستة بروج، فيصير له وهو في درجة الغارب. وإن كان في درجة وسط السماء، فضع المري على تلك العلامات ولا تطالع ما وافى أفق المشرق ولكن انظر إلى خط وسط السماء ما وافاه، فهو مطرح ذلك الشعاع. وإن كان في درجة وتد الأرض، فزد على كل واحد من الشعاعات التي خرجت له وهو على خط وسط السماء ستة بروج، فيصير له وهو درجة وتد الأرض.

(١٦-٣) الفصل الثالث: في مطرح شعاع الكواكب^٢ إذا كان فيما بين الأوتاد

(١٦-٣-١) استخراج بُعد الكوكب عن خط وسط السماء ونصف قوس نهاره [٥٣] وإذا كان فوق الأفق، وبعده عن خط وتد الأرض ونصف قوس ليله إذا كان تحت الأفق، واستخرج لكل واحد من شعاعته المقدار الأول والثاني. (١٦-٣-٢) أما أولها، فضع له درجة الكوكب على خط وسط السماء وعلم على موقع المري علامة، هي الأصل الأول، وعدّ منه <نحو> اليسار ستين جزءاً^٣ وضع المري على المنتهى، وهو علامة التسديس، وما وافى خط وسط السماء من المنطقة فهو المقدار الأول للتسديس الأيمن؛ ثم عدّ من عند علامة التسديس أيضاً ثلاثين جزءاً^٤ نحو اليسار وضع المري على المبلغ، وهو علامة التربع، وانظر ما وافى خط وسط السماء من المنطقة فهو المقدار الأول للتربع الأيمن؛ وعدّ من علامته أيضاً نحو اليسار ثلاثين جزءاً^٥ أخرى وضع المري على المنتهى، فيوافي خط وسط السماء من المنطقة المقدار الأول للتثليث الأيمن. وكذلك فاستخرج المقدار الأول لكل واحد من الشعاعات اليسرى بأن يعود إلى الأصل الأول ويُعدّ من عنده نحو اليمين مثل الأعداد التي كنت عدتها نحو اليسار وتمثل في العمل مثل ما تقدم حتى يحصل المقدار الأول لكل واحد من هذه الشعاعات أيضاً.

(١٦-٣-٣) وأما المقدار الثاني لها، فإن كان الكوكب في النصف الصاعد، فضع درجته على أفق المشرق، وفي الهابط تضعها^٦ على أفق المغرب، وتعلم على موقع المري علامة هي الأصل الثاني القائم في استخراج المقدار الثاني مقام الأصل الأول في استخراج المقدار الأول، وعدّ منه إلى كل واحد من جانبي اليمين واليسار ستين ومن الستين ثلاثين ومن

^٦ جزءاً: جزواً
^٧ تضعها: يضعها

^٤ جزءاً: جزواً
^٥ عدّ: عند

^٢ الكواكب: الكوكب
^٣ جزءاً: جزواً

^١ الشعاعات: العاعات: هـ
الشعاعات

الباب السادس <عشر>

(١-١٦) الفصل الأول: في معرفة أبعاد الدرجات والكواكب عن الأوتاد

(١-١-١٦) لُنُسَم الدرجة أو مري الكوكب الثابت أو السيار مثبتاً كان أو موصولاً بكاغدة دليلاً^١ لتسهيل الإشارة إليه فيما بعد، ثم ضعه على أفق المشرق وعلم على موقع المري علامة. فإن أردت بعد الدليل عن أول البيت العاشر عند كونه فوق الأرض أو عن أول البيت الرابع عند كونه تحتها، فأدر العنكبوت مستويماً إذا كان الدليل في النصف الصاعد فوق الأفق أو الهابط تحته حتى يوافي خط وسط السماء أو وتد الأرض، فما زال المري عن العلامة فهو أزمان البعد؛ وإن كان الدليل في النصف الصاعد تحت الأفق أو الهابط فوق الأفق، فليكن التحريك معكوساً إلى أن يوافي الدليل خط وسط السماء أو وتد الأرض، فيزول المري عن العلامة بقدر أزمان^٢ البعد. (٢-١-١٦) فإن استعملت، نسبت إلى نصف قوس نهار الدليل فوق الأرض وإلى نصف قوس ليله تحت الأرض، واستعملها معها^٣؛ وإن قسمت على خمسة عشر، نسبت ما خرج إلى ساعات نصف قوس النهار أو الليل، وإن قسمت على أجزاء ساعات نهار الدليل فوق الأرض أو إلى أجزاء ساعات ليله تحت الأرض، خرجت ساعات البعد معوجة ونسبت | ٥٢ ظ | إلى ستة أبداً.

(٢-١٦) الفصل الثاني: في مطرح شعاع الكوكب إذا اتفق على درجة أحد الأوتاد

(١-٢-١٦) قد جرت العادة باستعمال درجات الكوكب وإن كان لها عرض في إحدى الجهتين. (٢-٢-١٦) فإذا اتفق للكوكب أن يكون في درجة الطالع، فضعها على أفق المشرق وعلم على موقع المري علامة هي الأصل ومنها تعديد حصص^٤ المناظر التي هي للتسديس ستون وللتربيع^٥ تسعون وللتثليث مائة وعشرون. فعدّ كل واحد من هذه الأعداد من عند الأصل يمناً ويسرة وعلم على مبلغ كل واحد منها علامة لذلك الشعاع. فتكون^٦ العلامات اليمنى للشعاعات اليسرى التي تتقدم^٧ الكوكب إلى توالي البروج، فالعلامات اليسرى للشعاعات اليمنى التي تتأخر^٨ عنه وتكون^٩ إلى خلاف التوالي.

^٧ تتقدم: يتقدم

^٨ تتأخر: يتأخر

^٩ تكون: يكون

^٤ حصص: حصص

^٥ للتربيع: للربع

^٦ تكون: يكون

^١ دليلاً: ليلاً

^٢ أزمان: الزمان

^٣ معها: معها

السماء >وعلم على المري في الحجرة علامة> واعرف ما بين^١ بلدك وبين مكة في الطول، فإن طول مكة أكثر، فالعد من العلامة نحو اليسار وانقل المري إلى حيث بلغت في عدد^٢ الفضل من عند العلامة وانظر إلى الدرجة التي كنت وضعها على خط وسط السماء أين بلغت من دوائر السموت^٣ واعرف عددها في الأفق ووجهة سمت من ما وقعها، وذلك هو سمت القبلة بعده وجمته في بلدك. (١٥-٦-٤) إن كان من تقاطع الأفق مع مدار الحمل إلى جهة وسط السماء، فهو في الشمالي^٤ نحو الجنوب وفي الجنوبي نحو الشمال، وإن كان من^٥ التقاطع إلى جهة خط وتد الأرض، فهو في الشمالي^٦ نحو الشمال وفي الجنوبي نحو الجنوب؛ وإن كان على نفس التقاطع، فالصلوة على خط المشرق والمغرب، إن كان التقاطع في أفق المغرب، فباستدبار المشرق، وإن كان في أفق المشرق، فباستدبار المغرب. وإن ساوى^٧ طولاً مكة وبلدك فالصلوة على خط الزوال، إن كان عرض مكة أقل من عرض بلدك فنحو الجنوب وإن كان أكثر فنحو الشمال.

(١٥-٦-٥) فإن أريد سمت بلد غير مكة وكان من ذوات الظليل فاستخرج الدرجتين اللتين يساوي^٨ ميلاهما في الشمال عرض ذلك البلد، وذلك بأن تعد^٩ على خط وسط السماء من عند مدار الحمل إلى داخله في الأسطرلاب الشمالي وإلى خارجه في الجنوبي من المقنطرات مثل عرض ذلك البلد وتعلم على المنتهى في الخط علامة ثم أدر كل واحد من ربعي الربيع^{١٠} والصيف فالدرجتان المارتان فيهما على العلامة هما المسامتتان^{١١} له، ثم خذ فضل ما بين طوله وبين طول بلدك واعمل به في صحيفتك ما عملت بمكة في القبلة |٥٢| فيحصل سمت ذلك البلد وجمته في بلدك. (١٥-٦-٦) وإن كان ذلك البلد ذا ظل واحد استخرجت العلامة على خط وسط السماء بعرضه ووصلت بالمنطقة كاغدة يلزم مرصها تلك العلامة وأقم هذا المري مقام إحدى الدرجتين المذكورتين واعمل به وبفضل ما بين الطولين^{١٢} ما تقدم في القبلة فتكون دائرة السموت التي وافاها هذا المري هي دائرة سمت ذلك البلد في بلدك فتعرف عددها وجمتها على مثال ما سبق.

^{١٢} الطولين: الطول بن؛ هـ،

نخ: طولين

^٩ تعدّ: يعدّ

^{١٠} شطب الكاتب «والصيف

فالدرجات».

^{١١} المسامتتان: المسامتان

^٥ شطب الكاتب «القطا»

^٦ الشمالي: الشمال

^٧ ساوى: تساوي

^٨ يساوي: فساوي

^١ ما بين: هاتين

^٢ عدد: عد

^٣ السموت: السموات

^٤ الشمالي: الشمال

نزل كذلك، شدّ الخيط على الموضع الذي منه أرسل، ثم يشال^١ الشاقول إلى فوق وينصب الشخص بحيث إذا خَلِي ذلك الشاقول، يدلّ طرفه المُسجِد على رأس الشخص المنخرط، فيكون النصب كما أردت.

(١٥-٥-٢) ثم ارصد في الوقت الذي تشاء^٢ ظل هذا الشخص وخطّ مركز الدائرة إلى رأس الظل خطأ مستقيماً، ثم ارفع الشخص وضع مكانه الأسطرلاب مقلوباً بحيث ينطبق الخط الأفقي فيه على الخط الاعتدال وينطبق خط الانتصاب على خط الزوال. ويكون الخط المخطوط في وسط الظل واقعاً في ربع الارتفاع من الأسطرلاب، **٥١** و| وتنظر^٣ أين وقع من أجزائه، فما كان بينه وبين خط الاعتدال فهو سمت الظل المساوي لسمت الشمس؛ إن كان الظل في نصف الجنوب، فسمت الشمس في نصف الشمال وبالعكس، وإن كان سمت الظل في نصف المغرب، فسمت الشمس في نصف المشرق وبالعكس. وإذا عرفت ذلك فاطلب في دوائر السموت^٤ دائرة عددها كعدد سمت وفي جانبه وجهته وضع درجة الشمس عليها <وعلم> على موضع المري علامة، فأما الطالع فهو ما وافى أفق المشرق من المنطقة برجه ودرجته. (١٥-٥-٣) وأما الدائر من الفلك، فأدر له العنكبوت معكوساً حتى توافي درجة الشمس أفق المشرق، فما تحرك المري من عند العلامة فهو الدائر؛ فانقله إلى ما أصبت من الساعات.

(١٥-٦) الفصل السادس: في معرفة سمت القبلة وسمت^٥ ما أريد من البلاد

(١٥-٦-١) البلاد تتحدد بأطوالها المأخوذة من فلك نصف النهار موضعه في الأرض معلوم، قد صيرّ ابتداءً للأطوال باصطلاح كالانفاق على نهاية العمارة في جانب المغرب، ويعروضها التي هي مقدار تباعدها عن خط الاستواء. (١٥-٦-٢) وليس يحتاج في القبلة إلى غير مكة ليستقبل بها الكعبة في الصلوات وفي سائر المناجات. ومكة في البلاد ذوات الظلين فإنّ عرضها أحد وعشرون جزءاً وثلاث جزء،^٦ الشمس سامتها مرة إذا كانت من الجوزاء في خمس درجات ونصف درجة وأخرى إذا صارت في أربع وعشرين درجة ونصف درجة من السرطان وفيها يشرق ضياءها^٧ على مياه آبارها^٨ ويصير الظل طباق الخف ثم يشتمل عن سمت رؤوسهم^٩ فيما بين المسامتين^{١٠}. (١٥-٦-٣) ويقرب نصف نهارها عند نصف نهار بغداد في الطول ثلاثة أزمان واذ هي كذلك، **٥١** ط| فضع لمعرفة القبلة إحدى^{١١} هاتين الدرجتين على وسط

^{١٠} مسامتين: مساحين
^{١١} إحدى: احديا

^٧ ضياءها: ضياؤها
^٨ آبارها: الانارها
^٩ رؤوسهم: رؤسهم

^٤ السموت: السموات
^٥ سمت: سموت
^٦ جزء: جزو

^١ يشال: مثال
^٢ تشاء: يشاء
^٣ تنظر: ينظر

السمت المستخرج إن كان^١ جنوبياً شرقياً أو شمالياً غربياً، وقابل برقع الارتفاع جهة الشمس وأدر الأسطرلاب على نفسه حتى يقع ظل الهدفة التي تلي الشمس على العضادة سواء وينطبق عليها ويقع ضوء ثقبتهما^٢ على الخط المستقيم الذي في طول العضادة ثم اخرج كل واحد من القطر الأفقي والانتصاب على استقامتهما في الأرض وفي جهتهما، فيكون المخرج على استقامة الأفقي هو خط الاعتدال والمخرج على استقامة قطر الانتصاب هو خط نصف النهار. وإن كان^٣ السمت جنوبياً غربياً أو شمالياً شرقياً، نقصت السمت من تسعين ووضعت مري العضادة من أجزاء الارتفاع على مثل ما يبقى وقابلت بهذا الرقع جهة وأدرت^٤ الأسطرلاب حتى يقع ظل الهدفة على نفس العضادة، ثم اخرج حينئذ القطرين على استقامتهما في الجهتين، فيكون المخرج على استقامة خط الانتصاب هو خط الاعتدال والمخرج على استقامة الأفقي هو خط الزوال.

(١٥-٤-٣) ومتى استخرجت في يومك الارتفاع الذي لا سمت له ووضعت مري العضادة على مبدأ أجزاء الارتفاع ورصدت الشمس حتى ساوى ارتفاعها ذلك الارتفاع المستخرج ووقع ظل الهدفة على العضادة، كان الخط الأفقي مطابقاً لخط | ٥٠ ظ | الاعتدال. ألا إن ذلك غير عام من أجل أن الارتفاع الذي لا سمت له غير موجود إلا للدرجات الشمالية الميل.

(١٥-٥) الفصل الخامس: في كيفية رصد السمت في دائرة الأفق ومعرفة الدائر من الفلك والمطالع به

(١٥-٥-١) متى أردت ذلك بعد^٥ حصول خطي الاعتدال والزوال على وجه أرض محضضة ملساء، فأدر دائرة يكون^٦ مركزها ملتقاهما، فسترع^٧ هما أربعاً متساوية وانصب على مركزها شخصاً مستوياً مخروطاً حاد الطرف نصبه يقوم بها عموداً على وجه تلك الأرض؛ وطريقه أن يؤخذ قصب صليب غير مثنى، في أحد طرفيه حفرة يسيرة يدخل فيها رأس الشخص فيلزمها، ويقدر طوله بحيث يبلغ محيط الدائرة ويدار على محيطها، فإن لزمه الطرف في كل الإدارة، فينصب الشخص مستوية، وإن خرج الطرف عن المحيط في موضع فله إليه ميل^٨، يجب أن يسوى^٩ أو تغرز^{١٠} خشبة خارج الأرض المسواة مائلة يشرف^{١١} به رأسها أو شيء منها على ملتقى^{١١} الخطين ويرسل منها شاقول دقيق الرأس ينزل على نفس الملتقى، فإذا

١ — كان؛ ه: كان
٢ ثقبتهما: بقيتها
٣ كان: كانت
٤ أدت: اردت
٥ أدت ذلك بعد: مغطاة
٦ دائرة يكون: مغطاة بالخبر
٧ ميل: مثل
٨ يسوى: سستوى
٩ تغرز: يغرر
١٠ يشرف: سرف
١١ ملتقى: طبقي

خارج مدار الحمل، فإنّ سعة المشرق في الأسطرلاب الشمالي^١ جنوبية وفي الجنوبي شمالية، وإن كان داخل مدار الحمل فإنّها في الأسطرلاب الشمالي شمالية وفي الجنوبي جنوبية.

(٢-٣-١٥) فإن وقعت الدرجة أو مري الكوكب، وهما على الأفق، فيما بين دائرتين^٢ من دوائر السموت،^٣ فانظر إلى ما يوافق الدائرة التي عددها أقل من درجات المنطقة على الأفق وهي الأولى وإلى ما يوافق الدائرة الأكثر عددها وهي الثانية والتي بينهما هي المطلوبة، فاضرب ما بين الدرجة الأولى وبين المطلوبة التي وضعتها على الأفق في تفاضل أعداد دوائر السموت^٤ على الأفق واقسم المجتمع على ما بين الدرجة الأولى وبين الثانية وزد ما خرج على أقل عددين الدائرتين، فنتج^٥ سعة^٦ مشرق الدرجة المطلوبة في جهة ميلها،^٧ وهي تزداد بازدياده^٨ وتتناقص^٩ بتناقصه^{١٠}.

(٣-٣-١٥) وإن لم يكن الأسطرلاب مسمتاً^{١١} ثم كان مجيباً وفي الجيوب دائرة الميل مخطوطة، فضع مري النصف التسعيني على مثل تمام عرض البلد في أجزاء الارتفاع، ثم عدّ^{١٢} من أول الأجزاء مثل ميل الدرجة وانظر الجيب الخارج من مبلغه أين يقع من الحرف التسعيني. فعدده من عند القطب هو سعة مشرق تلك الدرجة.

(٢-١٥) الفصل الرابع: في استخراج خطي نصف النهار والاعتدال

(١-٤-١٥) سوّ^{١٣} الأرض غاية التسوية حتى يسيل^{١٤} الماء المنظر عليها نحو جميع الجوانب بالسواء وتقف^{١٥} البندقة المستوية الاستدارة على كل موضع منها لا تتدرج بنفسها إلى جهة^{١٦} | ٥٠ | دون أخرى، ثم لّف على حرف الأسطرلاب حول الحجرة شيزاً يعلو قليلاً على وجهه بحيث إذا أقرّ^{١٦} مسطوحاً^{١٧} على الأرض المسوّاة، استقر على حاشية الشيز موازياً للمستوي من وجهها ولم يمسه القطب.

(٢-٤-١٥) ثم افرض في نهارك ارتفاعاً^{١٨} للشمس في أحدي الجانبين واستخرج له سمتته في جهته وارصد حتى يصير ارتفاع الشمس كالذي فرضت، وضع الأسطرلاب مقلوباً على تلك الأرض المسوّاة، ومري العضادة موضوع على مثل

^{١٦} أقرّ: اقو
^{١٧} مسطوحاً: منطوحاً
^{١٨} ارتفاعاً: ارتفاعها

^{١١} مسمتاً: مسمياً
^{١٢} عدّ: اعدد
^{١٣} سوّ: سوي
^{١٤} يسيل: سيل
^{١٥} تقف: بقف

^٦ سعة: سبعة
^٧ ميلها: مثلها
^٨ بازدياده: بازياده
^٩ تناقص: ناقص
^{١٠} بتناقصه: ناقصه

^١ جنوبي
^٢ دائرتين: دايرين
^٣ السموت: السموات
^٤ السموت: السموات
^٥ فنتج: فيجتمع

(١٥-١-٥) وإن كانت دوائر السموت^١ مخطوطة تحت الأفق، ووضعت درجة الشمس على مقنطرة^٢ | ٤٩ | و

ارتفاعها في جانبه، فانظر الدائرة السموتية المارة على نظير درجة الشمس ومبلغها من الأفق وعددها هو بعد السموت. وتأمل الربيع الذي فيه السموت وعاكس صفتيه أعني إن كان في الربيع الشمالي الشرقي للمثال، فسمت الشمس جنوبي غربي وكذلك سائر الارتفاع.

(٢-١٥) الفصل الثاني: في اتخاذ عدد دائرة السموت

(١٥-٢-١) ربما كانت دوائر السموت^٣ مخطوطة في الأسطرلاب بتفاضلٍ مساوٍ لتفاضل المقنطرات في الأسطرلاب غير التام أو بغير ذلك التفاضل.

ثم وقعت درجة الشمس فيما بين دائرتين منها عدد إحداهما أكثر وعدد الأخرى أقل، فعلم حينئذ على موقع المري علامة محفوظة وأدر العنكبوت حتى تقع^٤ الدرجة على أقل الدائرتين عدداً وعلم على موقع المري علامة أولى وأدره أيضاً حتى تقع^٥ على أكثرهما عدداً وعلم على موقع المري علامة ثانية واضرب > ما بين العلامة المحفوظة والعلامة الأولى في ما بين عددي الدائرتين واقسم المجتمع على < ما بين العلامة الأولى والثانية فيخرج التعديل وزده أبداً على أقل عددي الدائرتين؛ فيجتمع عدد دائرة سمت الشمس في ربع^٦ من أرباع الأفق. (١٥-٢-٢) والسمت يبطل إذا وقعت دائرة على إحدى نقطتي^٧ تقاطع الأفق ومدار الحمل، وتسمى^٨ هذه الدائرة التي لا سمت لها، والارتفاع عليها الذي لا سمت له ومنهم من يسمي هذه الدائرة أول السموت؛^٩ وإذا كانت السموت تسعين، فكان الارتفاع معه ارتفاع نصف النهار.

(٣-١٥) الفصل الثالث: في معرفة سعة مشرق^{١٠} الشمس والكواكب

(١٥-٣-١) سعة المشرق هو بعد المطلع عن مشرق الاعتدال نحو إحدى جهتي الشمال والجنوب، وسعة المغرب تساويها^{١١} وأفقها في جهة^{١٢} مأخوذة من مغرب الاعتدال. ولمعرفتها ضع درجة الشمس^{١٣} أو مري | ٤٩ | ظ الكوكب على أفق المشرق في الأسطرلاب المسمت، فيكون عدد دائرة السموت الواصلة إليه هو سعة^{١٤} مشرقها؛ إن كانت الدرجة أو مري الكوكب

^{١٢} جهة: الجهة

^{١٣} الشمس: الشمال

^{١٤} سعة: سبعة

^٨ تسمى: يسمى

^٩ السموت: السموات

^{١٠} مشرق: المشرق

^{١١} تساويها: يساويها

^٥ تقع: يقع

^٦ ربع: حرر الكاتب «اربعة»

وشطب «ا».

^٧ نقطتي: نقطتي

^١ السموت: السموات

^٢ ارتفاع

^٣ السموت: السموات

^٤ تقع: يقع

الباب الخامس عشر

(١-١٥) الفصل الأول: في معرفة السمّ في الأسطرلاب المسّمّت

(١-١-١٥) معنى السمّ هو بعد دائرة الارتفاع في الأفق عن أحد طرفي خط الاعتدال، |٢٨ ظ| ودوائر السموت^١ في الأسطرلاب تجمع وتتقاطع عند نقطة ص^٢ ولذلك تنقطع عند محيط المقتطرة المشتملة على هذه النقطة كما تنقطع عند الأفق.

(١-١-٢) وربما لم تخط فوق الأفق في خلال المقتطرات لئلا^٢ تشبك لها قسوس^٣ وإنما تخط من كل دائرة منها ما وقع تحت الأفق في الصفيحة. فإن كانت في الأسطرلاب مخطوطة فوق الأفق وأخذت ارتفاع الشمس ووضعت درجتها على مقتطرتها في جانبه، فانظر حينئذ إلى الدائرة المارة على هذه الدرجة من دوائر السموت^٤ أين تبلغ من الأفق، فتجد عددها مكتوباً عندها وهو مقدار بعد السمّ.

(١-١-٣) إن كانت الدرجة في النصف الصاعد من وتد الأرض إلى الطالع إلى وسط السماء، فإن بعد السمّ هو من مشرق الاعتدال؛ وإن كانت في النصف الآخر الهابط، فإنه من مغرب الاعتدال.

(١-١-٤) وإن كانت موقع دائرة السمّ من تقاطع الأفق ومدار الحمل فوق خط المشرق والمغرب، فإن السمّ في الجنوبي نحو الشمال وفي الشمالي نحو الجنوب، وإن كان منها تحت خط المشرق والمغرب فهو في الشمالي نحو الشمال^٦ وفي الجنوبي نحو الجنوب؛ وتستوي^٧ الدرجات ومريات الكواكب بالعمل في هذا. وإذا كان نصف الأفق الذي يتوسطه قلب المشرق شرقياً^٨ والنصف الآخر غربياً، ثم كان نصفه الذي يتوسطه قلب الجنوب جنوبياً والنصف الآخر شمالياً. تركيب الصفات في كل ربع وسمت^٩ بسمتين، فكان ما بين قلبي المشرق والجنوب ربعاً شرقياً جنوبياً، وإلى قلب المغرب غربياً جنوبياً، وإلى قلب الشمال غربياً شمالياً، والباقي شرقياً شمالياً.

^١ السموت: السموات

^٢ لئلا: ليلا

^٣ قسوس: قسوس

^٤ تستوي: يستوي

^٥ تقطّتي: تقطّي

^٦ وسمت: واسمت

^٧ الشمال: الشمالي

^٨ شرقياً: وشرقها

نخذ من هذا الانحطاط ثلثه وثلثيه وزد الثلث على أول البيت الحادي عشر وأول البيت الثالث الذين^١ استخرجتهما^٢ بالتسوية وزد الثلثين على أول البيت الثاني عشر وأول الثاني^٣ ٤٨ وافتصير^٣ معدلة لذلك الموضوع.

(١٤-٢-٥) وفي الأسطرلاب الزورقي فاستخرج المحفوظ وهو الشرقي وألقه من سنتين فبقي الغربي، ثم ضع حرف الأفق الشرقي من الزورق على درجة الطالع، فبهر حرف الدقل على برج البيت العاشر ودرجته وعلم حينئذ على موقع مري الدقل علامة وسطى وأدر الزورق مستوياً حتى يزول المري عن العلامة بمقدار المحفوظ الغربي، فيوافي حرف الدقل أول البيت التاسع، وأزله أيضاً عما انتهى إليه بمقدار المحفوظ الغربي ثانية، فيبلغ حرف الدقل أول البيت الثامن. وأعد المري إلى العلامة الوسطى وأدر الزورق معكوساً بقدر المحفوظ الشرقي فيوافي حرف الدقل أول البيت الثاني عشر.

(١٤-٢-٦) وفي الهلالي تستخرج^٤ المحفوظين شرقيهما^٥ وغربيهما^٦ ثم تضع^٦ درجة الطالع على أفقها فيوافي أول العاشر خط وسط السماء وتعلم^٧ على المري علامة وسطى وتعد^٨ منها مستوياً بحسب أفق الطالع مقدار المحفوظ الشرقي وتعلم^٩ على مبلغه في الحجرة علامة أولى وتعد^{١٠} منها مرة ثانية وتعلم على المبلغ علامة ثانية، ثم عد إلى الوسطى \langle وعد منها معكوساً مقدار المحفوظ الغربي وتعلم على مبلغه في الحجرة علامة ثالثة \rangle وعد منها أيضاً معكوساً مرة ثانية وتعلم حيث علامة رابعة وإن وضعت المري على العلامة الأولى، وافى خط وسط السماء أول البيت الحادي عشر وعلى الثانية، أول البيت الثاني عشر وعلى الثالثة،^{١١} أول البيت التاسع وعلى \langle الرابعة \rangle ، أول البيت الثامن وبمعرفة ستة من البيوت سراج العلة من الستة الباقية لأنها تقابل بالبرج والدرجة.

^{١١} الثالثة: الثلثة

^٧ تعلم: يعلم

^٨ تعد: يعد

^٩ تعلم: يعلم

^{١٠} تعد: يعد

^٥ شطب الكاتب «قيها» في

«شرقيها» وحررها من

جديد.

^٦ تضع: يضع

^١ الذين: اللذين

^٢ استخرجتهما: استخرجتهما

^٣ فتصير: فيصير

^٤ تستخرج: يستخرج

نصف نهار أربعة أقسام وكل واحد منها بثلاثة بيوت لم تساو كتساوي الأبراج؛ وكل بيت كان مبتدئاً من هاتين الدائرتين فإنه يسمى وتداً وكل وتد فهو بين بيتين ينطبقان به عن جنبتيه، أما الذي عنه إلى التوالي فيسمى مائل الوتد. وهو كالرأفة في الخلافة إذا زال الوتد عن مكانه بدوران الفلك، وأما الذي عنه إلى خلاف التوالي فيسمى زائلاً إذا كان قبله وتداً ثم زال عنه. ومتى كان البرج الذي على خط وسط السماء عاشر برج الطالع سميت الأوتاد قائمة وثابتة، والقيام فيها أحسن من الثبات، وإذا كان البرج الذي على خط وسط السماء الحادي عشر من الطالع سميت مائلة وإذا كان تاسع الطالع سميت زائلة.

(١٤-٢-٢) وأما البيوت، فإن أردتها بخطوط الساعات المعوجة التي تحت الأفق، فضع درجة الطالع على أفق المشرق المجانس |٤٧ ظ| لبرجها وخطّ درجة السابع عن أفقها المجانس بساعتين حتى تبلغ أول الساعة الثالثة وانظر ما وافى خط وسط السماء من برج ودرجة فهو أول البيت الحادي عشر وخطّها أيضاً ساعتين آخريتين حتى تصير على أول الساعة الخامسة، فما وافى خط وسط السماء فهو أول البيت الثاني عشر، ثم ضع درجة الطالع على أول الساعة الحادية عشر، فيوافي^١ أول البيت التاسع خط وسط السماء، وضع درجة الطالع على أول الساعة التاسعة، فيكون ما وافى خط وسط السماء هو أول البيت الثامن؛ وأبرج البيوت المتقابلة متقابلة ودرجاتها متساوية. (١٤-٢-٣) وإن شئت فاستخرج تعديل نهار درجة الطالع وزد ثلثه على ثلثين جزواً إن كانت الدرجة شالية الميل وانقص هذا الثلث من ثلثين إن كانت جنوبية الميل فما حصل بعد الزيادة أو النقصان فاحفظه، ثم ضع درجة الطالع على أفق المشرق الذي يجانسه فتوافي درجات الأوتاد أمكنتها.

وأدر العنكبوت مستويّاً حتى يزول المري بقدر المحفوظ فيوافي خط وسط >السماء أول البيت الحادي عشر وتعلم علامة على مبلغه في الحجرة العلامة فيوافي خط وسط <السماء أول البيت الثاني عشر^٢ وأدره أيضاً حتى يزول المري ستين جزواً فيوافي خط وسط السماء أول البيت الثاني، ثم عد إلى العلامة وعدّ منها مائة وعشرين وانقل المري إلى حيث انتهيت فيوافي خط وسط السماء أول البيت الثالث. (١٤-٢-٤) وإن كان الطالع مغبرّ الذروة،^٣ حصل بانحطاط الأفق،

^٣ الذروة: الزروة

^٢ صح: الحادي عشر

^١ فيوافي: فيوافي في

الشمس على ارتفاعها في جانبه^١ أن يخلو الأفق عن البرج فإذا اتفق ذلك، فانظر إلى موقع المري من أعداد الحجر، وهي مبتدئة من كل واحد من طرفي خط المشرق والمغرب في اليمين واليسار ومنتهية بالتسعين عند خط وسط السماء، على كم وقع فانقله إلى مثله في الجانب الآخر، ثم انظر إلى أفق المشرق في تلك القطعة ما وافاه^٢ من برج ودرجة؛ أما البرج فانقص عدده المأخوذ من أول الحمل من اثني عشر برجاً فيبقى عدد برج الطالع وأما الدرجة فانقصها من ثلاثين فيبقى درجة الطالع.

(١٤-١-٨) وفي المركبات من التسطيحين ضع درجة الشمس على مقنطرة ارتفاعها المجانسة لبرجها في التسطيح وانظر إلى ما وافق أفقي المشرق مشتركهما^٣ ومعرضهما^٤ من برج ودرجة، والطالع منها هو الذي يجانس الأفق الذي وافاه وترك الذي يخالف أفقه.

(١٤-١-٩) وأما في الصفيحة الأفقية فاستخرج الدائر بما تقدم من الوجوه واقصد من الآفاق،^٥ الأفق المساوي عدده عدد عرض بلدك نصفه أو قطعه الشرقية اليسرى وضع عليه درجة الشمس من منطقة العنكبوت وعلم على موقع المري ثم أدر العنكبوت مستوياً حتى يزول المري عن العلامة بمثل هذا الدائر، فما وافى ذلك الأفق الشرقي فهو الطالع بدرجته وله من الأقطار الأربعة خط وسط السماء وما وافاه^٥ من المنطقة فهو درجته؛ وكل ما يعمل بدرجة الشمس في هذا الباب متى امتثل في الكواكب مبرياتها مثله أدى إلى المطلوب |٤٧| من الطالع وغيره. (١٤-١-١٠) ومتى كان أخذ الارتفاع في موضع مفرط العلو عن وجه الأرض، قد حصل له انحطاط^٦ الأفق عن أفق أذباله على وجه الأرض، استخرج بالارتفاع الموجود هناك درجة الطالع بحسب ما تقدم، ثم رفعت حتى توافي المقنطرة الشرقية التي يساوي عددها ذلك الانحطاط الكلي، فما وافى أفق المشرق فهو درجة الطالع في تلك الذروة.

(١٤-٢) الفصل الثاني: في تسوية ما سوى الأوتاد من البيوت

(١٤-٢-١) كما أن فلك البروج انقسم بالإضافة إلى معدل النهار المقاطعة أرباعاً على تقطي غابة التقارب بالتقاطع وغاية التباعد بالتائل وقسم كل ربع بثلاثة بروج تنتقل^٧ فيها الكواكب؛ كذلك انقسم فلك البروج بدائرتي أفق المسكن وفلك^٨

^٧ تنتقل: ينتقل

^٨ فلك: ذلك

^٥ وافاه: وفاه

^٦ انحطاط: الانحطاط

^٣ معرضها: عرضها

^٤ + افاق

^١ جانبه: جانب

^٢ ما وافاه: ماواه

الشمس عليه وعلمت على موقع المري علامة أولى وادرت العنكبوت مستويًا حتى توافي^١ درجة الشمس خط وسط السماء، فتعلم^٢ على موقع المري علامة ثانية وتدير العنكبوت مستويًا حتى يزول المري عن العلامة الثانية بقدر ما بين الأولى والثانية وتنظر^٣ حينئذ إلى أفق المشرق وليس غيره ما وافاه فهو برج الطالع بدرجته. والغارب نظيرها في البرج السابع منه ودرجتا^٤ وسط السماء ووتد الأرض تكونان على خطها في برجهما.

(١٤-١-٤) وفي الأسطرلاب الزورقي تستخرج الدائر من الفلك في الماضي من النهار ثم تضع حرف أفق المشرق في الزورق على درجة الشمس في المنطقة وتعدّ من موقع مري الدقل نحو اليسار |٤٦| و| مثل ذلك الدائر وتنقل المري إلى منتهاها بإدارة الزورق معكوساً ثم انظر إلى حرف أفق الزورق الشرقي أين بلغ من المنطقة فهي درجة الطالع في برجهما، وما بلغه حرف الدقل منها فهو برج وسط السماء ودرجته؛ ودرجات باقي الوتدين نظائر لهذين.^٥

(١٤-١-٥) وأما في الأسطرلاب الهلالي فالبروج^٦ الجنوبية الميل على تحديب^٧ هلاله وقطعتها ما بين مداري^٨ الحمل والجدى والأفق في هذه القطعة والمقنطرات المتياسرة عن خط وسط السماء هي الشرقية والمتيامنة عنه هي الغربية. وأما البروج الشمالية الميل فإنها على تقعر هلاله وقطعتها هي التي بين مداري الحمل والسرطان والأفق في هذه القطعة والمقنطرات المتيامنة عن خط وسط السماء هي الشرقية والمتياسرة^٩ عنه هي الغربية وذلك مكتوب تحت هاتين القطعتين في الجانبين. فإذا كانت درجة الشمس في التحديب، فضع^{١٠} درجتها على مقنطرة ارتفاعها في جانبه وانظر إلى أفق المشرق في قطعها، فإن وقع عليه^{١١} برج جنوبي الميل، فهو الطالع بدرجته؛ وإن وقع عليه برج شمالي الميل نظرت إلى أفق المغرب في القطعة الجنوبية، ما وافاه من البروج الجنوبية فهو الغارب بدرجته ودرجة الطالع نظيرته. (١٤-١-٦) وإن كانت^{١٢} درجة الشمس في التقعر والارتفاع شرقي، فخذ من المغربيات وهي في القطعة الشمالية شرقية والغربية تأخذه من المشرقيات التي هي في هذه القطعة غربية، وضع درجة الشمس على مقنطرتها وانظر إلى ما وافق أفق المشرق في هذه القطعة؛ إن كان البرج شمالي الميل، فهو الطالع بدرجته وإن كان البرج جنوبي الميل، نظرت إلى أفق المغرب نحو اليسار |٤٦| في هذه القطعة، فما وافاه فهو البرج الغارب بدرجته نظير درجة الطالع. (١٤-١-٧) ومما سبق في هذا الأسطرلاب، إذا وضعت درجة

^{١٠} فضع: وضع
^{١١} عليه: عليها
^{١٢} كانت: كان

^٧ تحديب: تحديب
^٨ مداري: مدارين
^٩ المتياسرة: مياسرة

^٤ درجتا: درجتها
^٥ + لهذين
^٦ فالبروج: فالبرج

^١ توافي: يوافي
^٢ فتعلم: فيعلم
^٣ تنظر: ينظر

نهارها، فاحفظ الفضل بينهما^١ ثم ضع درجة الشمس على خط وسط السماء وعلم على المري وأدر العنكبوت معكوساً حتى يزول المري عن العلامة بقدر المحفوظ، فتوافي^٢ الدرجة مقنطرة ارتفاعها وهو غربي؛ وكذلك فافعل بمريبات الكواكب. (١٣-٧-٥) وفي الزورقي ضع حرف أفق المشرق على درجة الشمس وعلم منها عليه علامة الدرجة وضعها على أفق المشرق في الصفيحة وعلم على موقع مري الدقل علامة ثم أدر الزورق مستويًا حتى تقع^٣ علامة الدرجة على مثل الارتفاع الموجود في جانبه فما تحرك مري الدقل من العلامة فهو الدائر. وإن أريد الارتفاع من الدائر، فعّد مثله من العلامة نحو اليسار وانقل مري الدقل إلى منتهاه، فتوافي^٤ علامة الدرجة ارتفاعها في جانبه. وإن أخذت من مركز الكوكب مثل علامة الدرجة واستعملتها^٥ بدلها، وقفت على المطلبين منها. (١٣-٥-٨) والعمل في المركبات على هذه الأمثلة بعد حفظ الشرائط المذكورة فيها.

الباب الرابع عشر

(١-١٤) الفصل الأول: في معرفة الطالع بارتفاع الشمس | ٢٥ ظ | والكواكب

(١-١-١٤) الأفق وفلك نصف النهار في دورة الحركة الأولى مواضع مبادي التغير اليومية وما وافقها في فلك البروج يسمى أوتاداً ونظيرهما في دور القمر يجدان أيضاً مبادي التغير المنوطة بالشهور ويكون فيها المحاق والبدر ويساوي^٦ النور والظلام في القمر. ونظيرهما أيضاً في دور^٧ الشمس لذلك وفيها الاعتدالان والانتقلابان^٨ المسماة عند الطبيعيين^٩ النقط المغيرة.

(١-٢-١٤) فإذا عرفت ارتفاع الشمس في جانبه ووضعت درجتها على مقنطرتها^{١٠} وافق أفق المشرق درجة الطالع ووافق المغرب درجة الغارب وخطي وسط السماء ووتد الأرض درجتيهما من برجيهما.

والحال على مثله في الكواكب، إذا وضعت مرياتها على مقنطرة الارتفاع الموجود لها. (١-٣-١٤) فإن كان الأسطرلاب منصفاً، لم يخالف الكامل في هذا الباب مادام الارتفاع شرقياً، ثم إذا صار غربياً، احتسبت به شرقياً ووضعت درجة

^٩ الطبيعيين: الطبيعيين

^{١٠} مقنطرتها: مقنطرية

^٧ شطب الكاتب كلمة

«القمر».

^٨ الانتقلابان: الانتقلان

^٤ فتوافي: فيوافي

^٥ واستعملتها: واستعملها

^٦ يساوي: تساوي

^١ بينها: بينها

^٢ فتوافي: فيوافي

^٣ تقع: يقع

نهاره وتعديل نهاره وامتنل فيه ما تقدم بالنهار في الشمس، فيحصل لك الدائر من الفلك | ٢٤ ظ | من وقت طلوعه إلى وقت أخذ ارتفاعه ومنه ومن درجة الشمس يعرف الماضي من الليل.

(١٣-٥) الفصل الخامس: في معرفة الدائر وارتفاع الشمس أو الكواكب^١ أحدهما من الآخر

(١٣-٥-١) إذا علمت على درجة الشمس في المنطقة وعلى مقنطرة الارتفاع في جانبه بين المقنطرات، تضع^٢ الدرجة على ارتفاعها وعلم على موقع المري من الحجرة علامة ثم أدر العنكبوت معكوساً حتى توافي الدرجة أفق المشرق، فما تحرك المري من عند العلامة فهو الدائر من الفلك في الماضي من النهار. (١٣-٥-٢) وفي عكس ذلك، إذا كان المعطى^٣ معلوماً هو الدائر وأريد الارتفاع منه، تضع^٤ الدرجة على الأفق المشرق وتعلم^٥ على موقع المري علامة وتدير العنكبوت حتى يزول المري عن العلامة بمقدار الدائر المعطى، ثم تنظر^٦ إلى الدرجة آية^٧ مقنطرة وافت، فهو ارتفاع الشمس في جانب تلك المقنطرة. (١٣-٥-٣) فإن وقفت الدرجة فيما بين مقنطرتين، فعلم على الحجرة من المري علامة وسطى ثم ضع الدرجة على أقل المقنطرتين المختلفتين بما عدداً وعلم من المري علامة أولى وضعها على أكثر المقنطرتين عدداً وعلم أيضاً علامة ثانية واضرب ما بين العلامة الأولى والوسطى في أصل القسمة واقسم المبلغ على ما بين العلامة الأولى والثانية وزد ما خرج على أقل المقنطرتين عدداً،^٩ فيجتمع ارتفاع الشمس للوقت الذي أعطي فيه الدائر. (١٣-٥-٤) ومهما أقيمت مري الكوكب مقام درجة الشمس، وعملت به ما ذكرنا حصل لك الدائر منذ طلع أو ارتفاعه بذلك الدائر. (١٣-٥-٥) فإن أريد الدائر منذ أول الليل، فضع مريه على ارتفاعه الموجود وعلم على المري علامة ثم أدر العنكبوت معكوساً إلى أن يوافي نظير درجة الشمس أفق | ٢٥ و | المشرق، فيكون ما تحرك المري من العلامة هو الدائر؛ وفي عكسه، تضع <نظير> درجة الشمس على أفق المشرق وتعلم^{١١} على المري علامة ثم تدير^{١٢} العنكبوت مستويًا بمثل الدائر في الماضي من الليل في الحجرة من عند العلامة فيوافي مري الكوكب ارتفاعه في ذلك الوقت. (١٣-٥-٦) فإن كان الأسطرلاب منصفاً والارتفاع غربياً،^{١٣} فاحتسب به شرقياً وضع درجة الشمس على مقنطرتيه وعلم على المري وأدر الدرجة مستويًا حتى تضعها على خط وسط السماء، فما تحرك المري فزده على نصف قوس نهارها فيجتمع الدائر. وإن كان الدائر هو المعطى^{١٤} وزاد على نصف قوس

^{١٣} غربياً: غربي
^{١٤} المعطى: المعطى

^٩ عدداً: عدد
^{١٠} + أفق
^{١١} تعلم: يعلم
^{١٢} تدير: يدير

^٥ تعلم: يعلم
^٦ تنظر: ينظر
^٧ آية: انت
^٨ + هو

^١ الكواكب: الكوكب
^٢ تضع: يضع
^٣ المعطى: المعطى
^٤ تضع: يضع

(١٣-٤) الفصل الرابع: في معرفة الدائر بالجيوب

(١٣-٤-١) أما على وجه التقريب، فعدّ من المركز في النصف التسعيني مثل ارتفاع نصف النهار في يومك وعلم على المبلغ في حرف العضاة وأدراها حتى توافي هذه العلامة خط الجيب الخارج من الارتفاع الموجود وانظر حينئذ على كم وقع مري العضاة من أجزاء الارتفاع، فخذ لكل خمسة عشر جزءاً ساعة معوجة واضرب ما لا يتم خمسة عشر في أربعة، فنتجمع دقائق من ساعات؛ وهي الماضي من النهار إن كان الارتفاع شرقياً أو الباقي منه إن كان غربياً. (١٣-٤-٢) وللتحقيق فالتق عرض البلد من تسعين فيبقى تمامه، وضع مري العضاة على مثله، فإن كان الربع المقابل لربع الارتفاع مقسوماً بمثل أجزائه، فعدّ من كل واحد من الميرين^١ مثل ميل الشمس يومئذ إن كان شمالياً فنحو الكرسي وإن كان جنوبياً فنحو مقابل الكرسي، ثم ضع حرف المسطرة^٢ على منتهى الميل المأخوذ | ٤٤ | من عند الميرين^٣ إلى جهة واحدة وعلم على تقاطعه مع الخط الأفقي علامة فتسمّه بالشمال، إن كان^٤ الميل شمالياً وبالجنوب، إن كان جنوبياً. وإن لم يكن الربع مقسوماً، فلاستخرج هاتين العلامتين ح تعديل النهار في ذلك اليوم. (١٣-٤-٣) ثم فكك^٥ العضاة عن القطب، فإن كان ميل^٦ الشمس شمالياً، فعدّ في النصف التسعيني من عند القطب مثل تعديل النهار وعلم على المنتهى ثم ضع مري النصف الستيني على مثل ارتفاع نصف نهار يومك في أجزاء الارتفاع وامسكه عليه وحرك^٧ العضاة حتى توافي علامة المنتهى الخط الأفقي على العلامة الشمالية؛ وإن كان ميل^٨ الشمس جنوبياً، فعدّ من عند القطب في النصف الستيني مثل جيب تعديل النهار وعلم على المنتهى، ثم ضع مري النصف الستيني على مثل ارتفاع نصف نهار يومك وامسكه عليه وحرك^٩ العضاة حتى توافي^٩ علامة المنتهى الخط الأفقي، فتكون العلامة الجنوبية^{١٠} وامسك مري العضاة على ارتفاع نصف النهار وعلى علامته بحسب جهة الميل وانظر جيب الخارج من ارتفاع الشمس للوقت أين يلاقي حرف العضاة الستيني، وعلى الوضع المذكور،^{١١} عدّ منه إلى المري فما كان فهو جيب منكوس، تأخذ قوسه كما تقدم. (١٣-٤-٤) فإن كان الارتفاع شرقياً، أخذت فضل ما بين هذه القوس وبين نصف قوس النهار وإن كان الارتفاع غربياً، فاجمع هذه القوس إلى نصف قوس النهار، فيحصل من الفضل أو المجموع، ما دار من الفلك من وقت طلوع الشمس إلى وقت قياس ارتفاعها. وإن كان الوقت ليلاً والارتفاع لكوكب له مري في الأسطرلاب، فاستخرج ميله وهو بعده عن معدل النهار ومنه ارتفاع نصف

^{١٠} الجنوبية: الشمالية
+ ^{١١}

^٧ حرك: حركة
^٨ ميل: مثل
^٩ توافي: يوافي

^٤ كان: كانت
^٥ فكك: فلك
^٦ ميل: مثل

^١ الميرين: المرتين
^٢ المسطرة: مسطرة
^٣ الميرين: المرتين

(١٣-٣) الفصل الثالث: في معرفة الدائر من الفلك من خطوط الساعات المخطوطة على ظهر أم الأسطرلاب

(١٣-٣-١) هذه الساعات تخط إما في ربع الارتفاع وإما في الربع المقابل إياه وخطوطها منفرجة فيما بين مدارات عملت فيه تساوي الأبعاد بينها وتعمل^١ لكلي نوعي الساعات معوجتها ومستوياتها؛ ولن يخفى عليك حالها إذا تأملت مدار^٢ أول السرطان فكانت فيه أكثر من ست ساعات، أو في مدار أول^٣ الجدي أقل من ست، فهي للمستوية، وقلما^٤ تعمل؛^٥ وإن كانت^٦ فيها ست^٧ سواء، فهي للمعوجة. (١٣-٣-٢) ومعرفة الماضي من النهار بها، إذا كانت في ربع الارتفاع، أن تفتش^٨ ارتفاع الشمس ولا محالة أن العضادة فيها تكون^٩ محرفة، فانظر إلى تقاطع^{١٠} حرفها مع مدار درجة الشمس يومئذ، فإن اتفق على خط أول ساعة، فما تحته هي ساعات تامة ماضية من النهار إن كان الارتفاع شرقياً؛ (١٣-٣-٣) وإن وقع التقاطع بين خطين من خطوط الساعات، علّمت على موقع مري العضادة علامة ثانية وأدرتها إلى نحو مبدأ أجزاء الارتفاع حتى تضع^{١١} حرفها |٤٣ ظ| على تقاطع مدار الدرجة مع خط أول الساعة وعلم على مرعها علامة أولى، ثم أدرها نحو الكرسي حتى تضع حرفها^{١٢} على تقاطع خط آخر تلك الساعة مع المدار وعلم بالمري علامة ثالثة، ثم اضرب ما بين الأولى والثانية من العلامة في ستين واقسم ما اجتمع على ما بين العلامة الأولى والثالثة، فيخرج كسر الساعة بدقائقها؛ وتضفه^{١٣} إلى التامات التي معك، فيكون الماضي من النهار.

(١٣-٣-٤) وقد مرّ من تحويل بعضها إلى بعض ما يغني عن إعادة^{١٤} الذكر. وإن كان الارتفاع غربياً، كان ما خرج بهذا العمل هو الباقي من النهار؛ فإن كانت معوجة، نقصته من اثنتي عشرة^{١٥} ساعة ليبقى الماضي من النهار بها وإن كانت مستوية، فمن قوس النهار^{١٦} حتى يبقى الماضي.

١ تعمل: بعمل	٧ ست: سا	١٢ + على تقاطع مدار الدرجة	١٤ إعادة: عادة
٢ مدار: مدارا	٨ تفتش: نفس	مع خط أول الساعة وعلم	١٥ اثنتي عشرة: اثني عشر
٣ أول: أو	٩ تكون: يكون	على مرعها إلى الحرف (حرر)	١٦ النهار: النها
٤ قلما: فلما	١٠ تقاطع: تقا	الكاتب كلمة «زائد» فوق	
٥ تعمل: بعمل	١١ تضع: بضع	كلمة «حرفها».	
٦ + نت		١٣ تضفه: يصفه	

(١٣-٢) الفصل الثاني: في معرفة الدائر من الفلك من خطوط الساعات المخطوطة على ظهر العضادة

(١٣-٢-١) سقل من لبنتي العضادة قدر فم على داخلها حرف «و» أي ستة، وضع مري الأخرى على^١ أجزاء الارتفاع مثل ارتفاع نصف نهار يومك، ثم قابل ربع الارتفاع عين الشمس ولا تحرك^٢ العضادة عن وضعها ذلك، فسيمر ظل حرف اللبنة العليا، وهو الأسفل من حرفيها^٣ من المخطوط في طولها ماراً على وسط القطب ومنصفاً إياها، على تقاطع خط من خطوط الساعات معه وتحد حينئذ عدد الساعات المعوجة الماضية من النهار مكتوباً عن جنبتيه؛ إن كان^٤ الوقت قبل نصف النهار، فالعدد القاصر عن ستة وإن كان بعد نصف النهار، فالعدد الفاضل على ستة. (١٣-٢-٢) فإن لم يمر ظل ذلك الحرف على نفس التقاطع بل مر من خط^٥ الطول فيما بين خطين من خطوط الساعات، فعلم عليه واعرف ما قبله من الساعات التامات وعلم على منتهائها لتعرف كسر الساعة المعوجة بالتقريب؛ وهو أن تضع^٦ مسطرة على تقاطع أول تلك الساعة مع خط الطول ويماس حرفها حرف العضادة المظلل، وهو الذي نحو الأرض منها، وتعلم^٧ على مبلغ حرف^٨ المسطرة من أجزاء الارتفاع علامة أولى، ثم تضع^٩ حرف المسطرة على العلامة التي علمت في ممر الظل من خط الطول مماساً لذلك الحرف، وتعلم على مبلغ حرفها من أجزاء الارتفاع علامة ثانية، وضع المسطرة أيضاً على تقاطع خط آخر تلك الساعة مع خط الطول مماساً للحرف المذكور من اللبنة^{١٠} | ٤٣ | وتعلم على مبلغ^{١١} حرف المسطرة من أجزاء الارتفاع علامة ثالثة، ثم اضرب ما بين العلامة الأولى والثانية في ستين واقسم المبلغ على ما بين الأولى والثالثة، فتخرج^{١٢} دقائق الكسر وتضعها إلى التامات التي معك وهي معوجة. (١٣-٢-٣) إن أردتها مستوية، فحولها إلى الدائر ومنه إلى المستوية بالقسمة على خمسة عشر. واعلم أن الخط الواحد من هذه المخطوط يكون قبل نصف النهار^{١٢} مبدأ ساعة وبعد نصف النهار منتهى ساعة أخرى. فانعم تأمل ذلك ثم اعمل به في جميع ما يعمل عليه في الآلات بخطوط الساعات المعوجة؛ فإنه غير محقق من جميع الجهات، إلا ما يخرج من قسمة الدائر على أجزاء الساعات.

^{١١} فتخرج: فيخرج
^{١٢} النهار: النها

^٨ شطب الكاتب كلمة
«العضادة».
^٩ تضع: بضع
^{١٠} مبلغ: المبلغ

^٥ خط: الخط
^٦ تضع: يضع
^٧ تعلم: يعلم

^١ على: من
^٢ تحرك: بحرك
^٣ حرفيها: حرفيه
^٤ كان: كانت

(١٣-١-٦) وربما كانت خطوط الساعات معمولة فوق الأفق منقوطةً عليها للتمييز من المقنطرات كما هي في الأسطرلاب الهلالي بالضرورة. وحينئذ يكون ابتداءها من عند أفق المشرق، فاستعمل فيها درجة الشمس نفسها كما كنت تستعمل | ٤٢ | نظيرها حين كانت مخطوطة تحت الأفق. (١٣-١-٧) فإن كان^١ الأسطرلاب منصفاً، وهو الذي فيه أنصاف المقنطرات الشرقية فيما بين أفق المشرق وبين خط وسط السماء دون أنصافها الغربية، فمعرفة الدائر من الفلك فيه على مثال ما تقدم مها كان الارتفاع شرقياً؛ وأما إذا كان غربياً، فاحتسبت به شرقياً واعرف مقنطراته وضع درجة الشمس عليها <وعلم على موقع المري علامة أولى. ثم وضع درجة الشمس على خط نصف النهار> وعلم على موقع المري علامة ثانية واحفظ ما بين هاتين العلامتين وسمه محفوظاً، ثم أدر العنكبوت معكوساً حتى توافي درجة الشمس أفق المشرق، فما تحرك المري من العلامة الثانية فزد عليه المحفوظ، ويكون جملتها هو الدائر من الفلك.

(١٣-١-٨) وأما في الأسطرلاب الزورقي، فضع حرف أفق المشرق من الزورق على درجة الشمس وعلم على الحرف منها علامة وأدر الزورق حتى تضع^٢ هذه العلامة على أفق المشرق من الصفيحة وعلم على موقع مري الدقل علامة، ثم أدر الزورق مستوياً حتى تضع تلك العلامة على مقنطرة الارتفاع^٣ الموجود في جانبه شرقاً كان أو غرباً، فما تحرك المري من العلامة فهو الدائر من الفلك.

(١٣-١-٩) والعمل في الهلالي على مثال ما تقدم، إذا روعي في بروج تقعر هلاله الشمالية وبروج تحديه الجنوبية، وهو أن تضع^٤ درجة^٥ الشمس على ارتفاعها في جانبه إن كانت الدرجة جنوبية وفي خلاف جانبه إن كانت شمالية، وتعلم^٦ على المري أو النائب عنه علامة، ثم يدار العنكبوت للجنوبية معكوساً وللشمالية مستوياً حتى توافي الدرجة الأفق فما زال المري عن العلامة فهو الدائر.

(١٣-١-١٠) وأما في المركبات فالأمر فيه على حاله، إذا حفظت شريطة المجانسة في برج درجة الشمس وارتفاعها

| ٤٢ | ظ| والأفق الذي يوافيه بالإدارة المعكوسة.

^٥ درجة: الدرجة

^٦ تعلم: يعلم

^٣ ارتفاع: اتفاع

^٤ تضع: يوضع

كان: كانت

^٢ تضع: يضع

الباب الثالث عشر

(١-١٣) الفصل الأول: في معرفة الماضي من النهار من قبل ارتفاع الشمس

(١-١-١٣) أوجد في المنطقة درجة الشمس وفي الصفيحة المقنطرة التي يساوي عددها ارتفاع الشمس الذي وجدته، وضع درجة الشمس على تلك المقنطرة في الجانب الذي وجدت فيه الارتفاع من جانبي الشرق والغرب، وعلم على موقع المري من الحجرة علامة، ثم أدر العنكبوت معكوساً حتى توافي درجة الشمس أفق المشرق، فما تحرك^١ المري من عند العلامة فهو الدائر من الفلك من وقت طلوع الشمس إلى وقت قياسك ارتفاعها في جانبيه. (١-١-٢) فإن قسمت هذا الدائر على خمسة عشر، خرج لك ساعاته المستوية؛ وإن قسمته على أجزاء ساعات درجة الشمس، خرج **٤١ ظ** ساعاته المعوجة؛ وإن قسمته على ستة، خرج كهربان. كما تأخذ^٢ هذه المقادير إذا كان معلوماً، فضرِبته فيما كنت قسمت عليه، أعني الساعات المستوية في خمسة عشر؛ والمعوجة إن كانت نهارية، في أجزاء ساعات درجة الشمس، وإن كانت ليلية،^٣ ففي أجزاء ساعات نظير درجتها؛ وكهربان في ستة حصل لك الدائر من أزمان الفلك فيها. (١-١-٣) وإذا وضعت درجة الشمس على ارتفاعها، فانظر إلى نظيرها أين وقع من الساعات مستوية كانت أو معوجة. فإن وقع على خط من خطوطها، فأعدادها المبتدئة من تحت أفق المغرب توقفك على الماضي منها وهي تامة. (١-١-٤) فإن وقع نظير درجة الشمس فيما بين خطين من خطوط الساعات فم تاماتها كسر. ومعرفة قدره من الساعات أن تعلم^٤ على موقع المري من الحجرة علامة وسطى، ثم تدير العنكبوت معكوساً حتى يوافي^٥ النظر خط أول تلك الساعات وتعلم^٦ على المري في الحجرة علامة أولى. فإن كانت الساعات مستوية، فخذ لكل واحد مما بين العلامة الأولى والوسطى أربع دقائق من ساعة فيجتمع الكسر التابع لتاماتها. (١-١-٥) وإن كانت معوجة، فأدر العنكبوت مستويًا حتى يوافي^٧ النظر آخر تلك الساعات وتعلم على المري علامة ثانية وانسب مما بين الأولى والوسطى إلى ما بين الأولى والثانية، فيكون الكسر التابع لتاماتها. وطريقه أن تضرب^٨ ما بين الأولى والوسطى في ستين وتقسّم^٩ ما بلغ على ما بين الأولى والثانية، فتخرج^{١٠} دقائق الكسرة.^{١١}

^{١٠} فتخرج: فيخرج
^{١١} الكسرة: السكر

^٧ يوافي: توافي
^٨ تضرب: يضرب
^٩ تقسم: يقسم

^٤ تعلم: يعلم
^٥ يوافي: توافي
^٦ تعلم: يعلم

^١ تحرك: بحرق
^٢ تأخذ: ان احذ
^٣ ليلية: ليلة

فإنّ غروبه يكون بالنهار وإن كانت تحت الأفق فإنّ غروبه يكون بالليل. وعلى هذا، تضع^١ مريه على خط وسط السماء وتعتبر درجة الشمس حتى تعرف^٢ توسطه السماء بالنهار يكون أم بالليل.

(١٢-٤-٢) وفي الزورقي تضع كل واحد من حروف الأفق الشرقي والغربي والدقل على مركز الكوكب وتعتبر في كل واحد منها ما في داخل الزورق؛ فإن كانت درجة الشمس، فتلك الحالة له تكون^٣ بالنهار وإن كانت نظيرها، فهو بالليل.

(١٢-٥) الفصل الخامس: في معرفة وقت طلوع الكوكب أو غروبه أو توسطه السماء من ليل أو نهار

(١٢-٥-١) ضع مري الكوكب على أفق المشرق وعلم على موقع مري رأس الجدي أو السرطان من الحجره علامة، فإن كان طلوعه^٤ نهاراً فأدر العنكبوت معكوساً حتى توافي درجة الشمس أفق المشرق فما زال المري عن العلامة فخذ لكل خمسة عشر جزءاً ساعة ولكل جزء مما يبقى أقل أربع^٥ دقائق من ساعة وذلك هو الماضي من النهار إلى وقت طلوع ذلك الكوكب. وإن كان طلوعه ليلاً، فضع مريه على أفق المشرق وعلم على موقعه علامة ثم أدر العنكبوت | ٤١ | ومعكوساً حتى تبلغ درجة الشمس أفق المغرب، فما زال المري عن العلامة فهو الدائر في الماضي من الليل إلى وقت طلوعه، فاجعله ساعات. وعلى مثله فاعمل لتوسطه السماء بوضع مريه على خطه واعتبار الليل والنهار ودرجة الشمس فيه، ثم ضع لغروبه مريه على أفق المغرب وعلم على المري علامة وأدر العنكبوت معكوساً حتى توافي درجة الشمس بالنهار أفق المشرق وبالليل أفق المغرب.

(١٢-٥-٢) وفي الزورقي ضع حرف الأفق الشرقي على مركز الكوكب وعلم على مري الدقل علامة، فإن كان طلوعه نهاراً، فأدر الزورق مستويّاً حتى يوافي الحرف درجة الشمس فما تحرك المري من العلامة فهو الدائر في الماضي من النهار، وإن كان طلوعه ليلاً^٦ فمتى توافي الحرف نظير درجة الشمس، فيكون زوال المري عن العلامة بقدر الدائر في الماضي من الليل. واستعمل حرف الأفق الغربي لغروبه وحرف الدقل لتوسطه السماء على مثال ما تقدم في الأفق الشرقي.

^٥ أربع: ربع
^٦ ليلاً: نهاراً

^٣ تكون: يكون
^٤ طلوعه: بطلوعه

^١ تضع: يضع
^٢ تعرف: يعرف

تلك الدرجة هي التي تغرب معه. وأما في الأسطرلاب الزورقي، فضع حرف الأفق الشرقي للطلوع والغربي للغروب على مركز الكوكب في الصفيحة وانظر إلى ما وافق ذلك الأفق من المنطقة فهو درجة الطلوع أو الغروب لأحدهما^١ عملت.

(١٢-٣) الفصل الثالث: في معرفة ما يطلع أو يغرب من الكواكب بطلوع آخر أو غروبه أو توسطه السماء

(١٢-٣-١) ضع مري الكوكب المقصود على أفق المشرق وانظر، فإن اتفق معه مري كوكب آخر عليه فهو طالع بطلوعه والذي يتفق على أفق المغرب فهو غارب بطلوعه، وكذلك ما وافى خط وسط السماء هو متوسط وقت طلوعه. ثم ضع مري الكوكب المقصود على أفق المغرب، فما اتفق^٢ مريه على أفق المشرق فهو طالع بغروبه، وما وقع مريه على خط وسط السماء فهو الذي يكون متوسطاً حين غروبه. على هذا المثال ضع مريه على خط وسط السماء واعتبر ما يتفق مريه عليه أو على أفق المشرق أو أفق المغرب، فإن اتفق^٣ في هذه الأوضاع الثلاثة كون نظير درجة الشمس على المقتطرة الثامنة عشرة،^٤ حدث للكوكب تلك الحالة؛ أما إذا كانت المقتطرة غربية، فمعه طلوع الفجر وأما إذا كانت شرقية، فمعه مغيب الشفق.

(١٢-٣-٢) وأما في الأسطرلاب الزورقي، فضع حرف الأفق الشرقي من الزورق على مركز الكوكب المقصود وانظر إلى هذا الحرف، فإن مرّ على مركز كوكب آخر، فهو الطالع بطلوعه وما مرّ حرف الأفق الغربي من الزورق على مركزه من الكوكب فهو الغارب بطلوعه والمتوسط ما مرّ حرف الدقل على مركزه.

(١٢-٤) الفصل الرابع: في معرفة طلوع الكوكب أو غروبه أو توسطه السماء أمّهاراً يكون أم ليلاً

(١٢-٤-١) ضع مري الكوكب^٦ على أفق المشرق،^٧ فإن اتفقت^٨ درجة الشمس معه عليه فإنه طالع معها، وإن اتفقت^٩ على أفق المغرب، فطلوعه وقت غروب الشمس مساءً، فإن كانت درجة الشمس فوق الأفق في حين النهار، فطلوعه يكون نهاراً أو إن كانت تحت الأفق فطلوعه يكون بالليل. ثم ضع مريه على أفق المغرب، فإن كانت درجة الشمس معه عليه، فغروبه يكون مع غروبها، وإن كانت على أفق المشرق، فغروبه يكون مع طلوعها بالغداة؛ وإن كانت فوق الأفق،

^٧ المشرق: المغرب

^٨ اتفقت: انفقت

^٩ اتفقت: انفقت

^٤ عشرة: عشر

^٥ + في

^٦ الكوكب: لكوكب

^١ لأحدهما: لانهما

^٢ اتفق: انفق

^٣ اتفق: انفق

الأفق. فإن اتفق^١ وقتئذ في أول الميزان كوكب ذو عرض كان طالماً مع درجته أو في أول الحمل كان غارباً مع درجته. (١٢-٢)
 ٢-٢) وأما ذوات الظلين والمسامنتين فإن مدار قطب فلك البروج تقاطع آفاقها ويكون له فيها طلوع وغروب. فمادام فوق
 الأفق كان طلوع الكواكب وغروبها على مثال ما في ذوات الظل. وإذا صار على الأفق الشرقي كان الكوكب الذي عليه
 طالماً أيضاً مع درجته. وعلى الأفق الغربي يغرب^٢ الكوكب الذي على هذا الأفق مع درجته أيضاً. فإذا صار قطب فلك
 البروج | ٣٩ ظ | هناك تحت الأفق، انعكس ما ذكرنا فصار طلوع الكوكب الشمالي العرض بعد درجته وغروبه قبلها وطلوع
 الكوكب الجنوبي العرض قبل درجته وغروبه بعدها.

(١٢-٢-٣) وليس يتميز^٣ خط الاستواء في ذلك عن ذوات الظلين إلا بدرجتي الطلوع والغروب المتحدتين^٤ مع
 درجة الكوكب فإنه يكون في خط الاستواء عند طلوع المنقلبين وغروبهما، وبأن درجتي الطلوع والغروب فيه تكونان^٥
 درجة الممر ولا يكون ذلك كذلك في ذوات الظلين. فإذا أردت معرفة درجة طلوع الكوكب، فضع مريه على أفق المشرق
 وانظر ما وافى هذا الأفق من برج ودرجة وطلوعه يكون معها؛ وبغروبه تضع^٦ مريه على أفق المغرب وتنظر^٧ ما وافى هذا
 الأفق من برج ودرجة فهي التي تغرب معه. وإن أردت اعتبار ذلك في خط الاستواء، فأقم خط المشرق المستقيم مقام
 أفق المشرق وخط المغرب مقام أفق المغرب واعمل بها ما عملت بالأفقين، فستبين لك درجتنا طلوعه وغروبه.

(١٢-٢-٤) وأما في الأسطرلاب المركب^٨ فاعرف مري الكوكب بأي التسطیح عمل من جهة البرج الذي هو في
 حيزه بين القطرين المارين على أوله وآخره، ثم ضع مريه على أفق المشرق الذي يجانسه من الأفقين المشترك والمعتزض وانظر
 إلى ما وافى كليهما في جانب المشرق من البروج ودرجتها وخذ بالذي يجانس أفقه في التسطیح أعني أن يكونا^٩ معاً فيه
 شماليين^{١٠} أو معاً جنوبيين^{١١} واعرض عن البرج الذي يخالف الأفق الواقع عليه في التسطیح؛ فتكون^{١٢} الدرجة المجانسة
 لأفقه، دون المخالفة إياه، هي التي تطلع مع ذلك الكوكب. (١٢-٢-٥) وأما الدرجة <التي> تغرب^{١٣} معه، فضع مريه على
 | ٤٠ و | أفق المغرب الذي يجانسه وانظر إلى ما وافى أفقي المغرب من البروج والدرج وخذ بالمجانس دون المخالف فتكون^{١٤}

^{١٣} تغرب: يغرب
^{١٤} فتكون: فيكون

^٩ يكونا: يكون
^{١٠} شماليين: شماليين
^{١١} جنوبيين: جنوبيين
^{١٢} فتكون: فيكون

^٥ تكونان: يكونان
^٦ تضع: يصع
^٧ تنظر: ينظر
^٨ المركب: المركبة

^١ اتفق: انفق
^٢ يغرب: تغرب
^٣ يتميز: يميز
^٤ المتحدتين: المتحدتين

الباب الثاني عشر

(١٢-١) الفصل الأول: في معرفة درجة الممر وهي التي تمرّ مع الكواكب على خط وسط السماء

(١٢-١-١) الشمس والكوكب العديم العرض تمرّ على خط وسط السماء مع درجاتها، والكوكب ذو العرض إذا كان في أول السرطان أو أول الجدي فإنّ درجته لا تخالف^١ درجة ممره. وأما إذا كانت درجته غير المنقلبين، فإنّ درجة ممره تسبق^٢ إلى وسط السماء درجته إذا كانت درجته في النصف الصاعد الذي يتوسط رأس الحمل وإن كان عرضه شمالياً أو كانت في النصف الهابط الذي يتوسط رأس الميزان وعرضه جنوبي. ثم تتخلف^٣ درجة^٤ ممره عن درجته، إذا كانت درجته في النصف الصاعد وعرضه جنوبي أو في النصف الهابط وعرضه شمالي. ويكون الاختلاف بينهما بحسب عرضه، في قلته وكثرته، وفي بعده عن أول السرطان أو الجدي حتى يكون على أعظم مقاديره عند أول الحمل أو^٥ الميزان. (١٢-١-٢) فإذا أردت معرفة هذه الدرجة التي توافي^٦ خط وسط السماء بموافاته إياه، فضع مريه أو طرف كاغذته المعتناة من صفيحة عرض ستة وستين جزءاً^٧ وربع وسدس جزئه^٨ على خط وسط السماء وانظر ما وافي هذا الخط من برج ودرجة، فهي درجة ممره على خط | ٣٩ | و^٩ وسط السماء أو على خط وتد الأرض. (١٢-١-٣) وفي الأسطرلاب الزورقي ضع الدقل على مركز الكوكب، فما وافق حرفه من درج المنطقة فهي درجة ممره.

(١٢-٢) الفصل الثاني: في معرفة الدرجة التي تتطلع مع الكوكب والتي تغرب معه

(١٢-٢-١) الشمس والكواكب التي لا عرض لها عن المنطقة في إحدى الجهتين، تتطلع وتغرب في درجاتها التي هي فيها. وأما ذوات العروض، فلها في ذلك أحوال تتغير في البلاد ذوات الظل والظلين؛ وذلك أنّ قطب فلك البروج دائم الظهور في ذوات الظل الواحد منها، فيطلع الكوكب الشمالي العرض فيها قبل درجته ويغرب بعدها ويطلع الجنوبي العرض بعد درجته ويغرب^٩ قبلها، ولا يتفق فيها لشيء منها طلوع أو غروب مع درجته أصلاً. وأما البلاد التي سامتها الشمس في السنة مرة أو مرتين: أما ذو المرة الواحدة فإنّ مدار قطب فلك البروج يماس أفقه ويستوي فيه حال طلوع الكواكب وغروبها مع الذي ذكرنا في ذوات الظل إلا إذا كان أول السرطان في وسط السماء، فيكون قطب فلك البروج^{١٠} على

^٩ شطب الكاتب كلمة «بعدها»
١٠ + و

^٧ جزءاً: جزء
^٨ جزئه: جزوه

^٤ درجة: درجته
^٥ + او
^٦ توافي: يوافي

^١ تخالف: يخالف
^٢ تسبق: يسبق
^٣ تتخلف: يتخلف

النصف الشمالي وتقتصر في الجنوبي وتختلف في النهار^١ وليله. وما يدور من معدل النهار في الواحدة منها يسمى أجزاء الساعات وأزمانها نهارية وليلية.^٢ فإذا أردتها، فاقسم قوس النهار أو الليل على اثني عشر فتخرج^٣ أجزاء ساعات.

(١١-٣-٤) أم، فضع نظير درجة الشمس على خط ما من خطوط الساعات المعوجة تحت^٤ الأفق وعلم على الحجرة من المري علامة، ثم أدر العنكبوت مستويًا أو معكوساً حتى يقع^٥ نظير درجة الشمس ساعة^٦ واحدة ويصير على الآخر من اللذين يحيطان بالساعة، فما تحرك المري من العلامة فهو أجزاء ساعات النهار. ومتى عملت بدرجة الشمس نفسها ما عملت بنظيرها، حصلت على أجزاء ساعات الليل وإن عرفته لأحدهما ثم نقصته من ثلثين بقي أجزاء الساعات للآخر. وإن أردت أجزاء الساعات من الساعات المستوية، فزد على عددها ربه بأن تضربه في خمسة وتقسم المبلغ على أربعة فتخرج أجزاء الساعات؛ وفي عكس ذلك، إذا نقصت من أجزاء الساعات خمسها بأن تضربها^٧ في أربعة وتقسم المبلغ على خمسة، فيخرج عدد الساعات المستوية.

(١١-٣-٥) والهند يستعملون مقداراً يسمونه كهري ويسمونه دقائق الأيام، ومتى قسمت قوس النهار أو الليل على ستة، خرج ما فيه من عدد كهريان. وإن أردته من عدد الساعات المستوية، فإنهما يتناسبان، فضعه | ٣٨ ظ | في مكانين ونصف ما في أحدهما واضعف ما في الآخر، ثم اجمعها فيكون عدد كهريان. ومعرفة عدد الساعات المستوية من عدد كهريان أن تأخذ^٨ خمسيه^٩ بأن تضعفه وتقسم^{١٠} ما بلغ على خمسة فيخرج عدد الساعات المستوية. وإن أردت عدد كهريان من أجزاء الساعات فاضعها وفي عكسه إذا أردت أجزاء الساعات من عدد كهريان فنصفه.

^{١٠} تقسم: يقسم

^٧ تضربها: يصيرها

^٨ تأخذ: ياخذ

^٩ خمسيه: خمسة

^٤ تحت: بحسب

^٥ يقع: تقع

^٦ ساعة: ساعات

^١ النهار: النهار

^٢ ليلية: ليله

^٣ فتخرج: فيخرج

(٣-١١) الفصل الثالث: ^١ في تقسيم قوسي النهار والليل بنوعي الساعات ^٢

(١-٣-١١) الساعة مدة مأخوذة باصطلاح لدوران خمسة عشر أزماناً فينقسم الدور بها أربع وعشرون ساعة تسمى ^٣ مستوية لأن مقدارها واحد لا يتغير في نهار وفي ليل، لكنّ النهار والليل ^٤ مختلفان طول السنة ^٥ إلا في وقتي الاعتدال، فساعات كل واحد منها تخالف إلا في «الاثني» عشر الذي هو عدد ساعات نهار الاعتدال وليله. فالساعات المستوية إذن مستوية في التقدير مختلفة في التعديد لكل نهار ^٦ وليله، وقد تسمى ^٧ أيضاً اعتدالية واستوائية ^٨ بمعنى أنّها ساعات النهار ^٩ والليل في خط الاستواء طول السنة ^{١٠} ولأنّها أيضاً عدد ساعات نهار الاستواء في جميع البلدان ولأنّها واسطة القدرتين مقداري ساعتين صيفية وشتوية.

(٢-٣-١١) وإذا كان ما يطلع في كل نهار وفي كل ليل ستة بروج ولها نصف وثلث وسدس، مال مستعملوا الساعات إلى تنصيفها ^{١١} لتوافق عدتها عدة ساعات النهار المعتدل وليزيد في كسورها كسران هما الربع ونصف السدس. فجعلوا كل نهار وكل ليلة من السنة اثنتي عشرة ساعة ^{١٢} سموها معوجة بإزاء المستوية لأنّ اعوجاجها يظهر بقياس ^{١٣} مقدار ساعة واحدة من نهار غير معتدل إلى مقدار ساعة واحدة من ليله، ^{١٤} فهي إذن مستوية في التعديد مختلفة في التقدير بالنهار والليل؛ وتسمى ^{١٥} أيضاً زمانية لأنّ بها نسب ^{١٦} الماضي من النهار أو الليل إلى كله فيقال نصف وثلث وربع؛ وتسمى ^{١٧} ساعات القياس | ٣٨ | ولأنّها تستعمل ^{١٨} في الرخامات والآلات فيقاس بها.

(٣-٣-١١) وليس تحتاج ^{١٩} من التسوية إلا أن تعرف ^{٢٠} قوس النهار أو الليل كم هو بها، فمتى قسمتها على خمسة عشر خرج عدد ساعاتها المستوية، وإذا عرفته في أحدهما ثم القيته من أربعة وعشرين بقي ساعات الآخر مستوية. وأما المعوجة فليس تحتاج ^{٢١} إلى عددها إذ هو اثني عشر أبداً لا يتغير وأما تحتاج ^{٢٢} إلى مقدار الواحدة منها، فإنها تطول ^{٢٣} في

^{٢٠} تعرف: يعرف
^{٢١} تحتاج: يحتاج
^{٢٢} تحتاج: يحتاج
^{٢٣} تطول: بطول

^{١٣} بقياس: يقاس
^{١٤} ليله: ليلة
^{١٥} تسمى: يسمي
^{١٦} نسب: سبب
^{١٧} تسمى: يسمي
^{١٨} تستعمل: يستعمل
^{١٩} تحتاج: يحتاج

^٧ تسمى: يسمي
^٨ استوائية: استوايه
^٩ النهار: النها
^{١٠} السنة: النسبة
^{١١} تنصيفها: صيفها
^{١٢} اثنتي عشرة ساعة: اثني عشر ساعات

^١ الثالث: الرابع
^٢ شطب الكاتب كلمة «مدة».
^٣ تسمى: يسمي
^٤ - النهار و
^٥ السنة: النسبة
^٦ نهار: نهار

(١١-٢) الفصل الثاني: في قوس النهار والليل

(١١-٢-١) ما فوق الأرض موسوم بالنهار وما تحتها موسوم بالليل. والنهار المطلق هو مدة كون الشمس فوق الأفق والليل المطلق هو مدة غيبتها تحت الأفق.

(١١-٢-٢) وكذا الحال في كل كوكب أو نقطة مفروضة إلا أنّ نهاره وليله مضافان إليه موصوفان به. وإنما يضاف إلى كل نهار وليل لفظ قوس لأنّ الحركة مستديرة يرسم بها كل متحرك في الأثير^٢ دائرة تنقسم بالطلوع والغروب إلى نهار^٣ وليل، كل واحد منهما قوس منها وهو مع ذلك ظاهر التقويس للعيان خاصة إذا كانت الحركة حائلية لا منحنوية^٤ كما هي في خط الاستواء ولا رحاوية^٥ كما هي تحت القطب. (١١-٢-٣) فإذا أردت معرفة قوس نهار درجة، فضعها على أفق المشرق وعلم على المري علامة، ثم أدر العنكبوت مستويًا حتى توافي الدرجة أفق المغرب، فتكون^٦ قوس نهارها ما تحرك المري في الحجره وإن أردت^٧ العنكبوت معكوساً كان ما تحرك المري هو قوس ليلها. وبالحرّكة المستوية إذا ابتدأت بوضع الدرجة على أفق المغرب ثم أردت العنكبوت مستويًا إلى أن يوافي أفق المشرق، كانت حركة المري بمقدار قوس ليلها. ومتى عرفت أحدي^٨ | ٣٧ | و، س ١٢ ... | النهار والليل ثم نقصته من ثلاثمائة وستين بقي الآخر؛ وهكذا الحال في قسي نهار الكواكب وليلها إذا استعملت مرياتها كما استعملت الدرجة.

(١١-٢-٤) وفي الأسطرلاب الزورقي تضع أفق المشرق من الزورق على الدرجة في العنكبوت أو على مركز الكواكب وتعلم^٩ عليه ثم تعمل هذه العلامة في الأفق الثابت الذي في الصفيحة ما تقدم، فتحصل^{١٠} لك قوس النهار والليل للدرجة أو الكواكب.

(١١-٢-٥) وأما في الأسطرلابات^{١١} المركبة فلا يغير هذا العمل إذا راعيت فيها الجنس، | ٣٧ | ظ فاستعملت البرج والدرجة في الأفق المجانس ما^{١٢} في التسطيح.

١ شطب الكاتب «واو» أخرى.	٤ منحنوية: منحنوية؛ و ٣٧ و، س ٦: منحنوية	٧ أردت: اردت	٩ تعلم: يعلم
٢ الأثير: الاثر	٥ رحاوية: رجاوية؛ و ٣٧ و، س ٧: رحاوية	٨ + الفصل الثالث: في قوس النهار ... عرفت احدي	١٠ فتحصل: فيحصل
٣ نهار: نحا	٦ فتكون: يكون	(حزّر الكاتب هذه السطور من جديد).	١١ الأسطرلابات: الاسطرلاب ١٢ ما: اما

الباب الحادي عشر

(١١-١) الفصل الأول: في تعديل نهار درجة الشمس أو جرم الكوكب الثابت

(١١-١-١) النهار المعتدل هو المساوي | ٣٦ | وليه،^١ فيكون كل واحد منهما نصف دائرة مشتملاً^٢ على مائة وثمانين جزءاً وهو في أول^٣ كل واحد من برج الحمل والميزان. فإذا استويا في أول الحمل يسمى استواء ربيعياً وفي أول الميزان يسمى اعتدالاً واستواء خريفياً. ثم إنَّ النهار في النصف الشمالي يزداد على النهار المعتدل ويلج فيه من ليله ما يسمى^٤ فضل النهار أي على ليله أو على النهار المعتدل ونصف هذا الفضل يسمى تعديل النهار. (١١-١-٢) وأما في النصف الجنوبي، فإنَّ النهار ينقص عن النهار المعتدل ويلج منه في ليله ما يسمى فضل النهار^٥ ومن حقه أن يسمى فضل الليل أي على نهاره أو على الليل المعتدل بل لو سمي في الشمال زيادة النهار^٦ وفي الجنوب نقصان النهار لكان أصوب. ونصفه الذي تعديل النهار يساوي أبداً في كل درجة فضل ما بين مطالعها في خط الاستواء ومطالعها في البلد. (١١-١-٣) فإن أردت تعديل نهار درجة مفروضة، فضعها على خط المشرق والمغرب المستقيم وضع على موقع المري من الحجرة علامة ثم أدر العنكبوت حتى توافي تلك الدرجة أفق المشرق، فما زال المري عن العلامة فهو تعديل النهار؛ ونهارها زائد على النهار المعتدل إن كانت الإدارة نحو الأفق بانعكاس وناقص عنه إن كانت الإدارة نحو الأفق باستواء. واعمل في الكواكب بمرياتها ما عملت بالدرجة فيؤديك إلى تعديل نهارها.

(١١-١-٤) وفي الأسطرلاب الزورقي ضع أفق المشرق من الزورق على الدرجة وعلم عليه منها، ثم ضع العلامة على خط المشرق، فما كان بين مبدأ العدد في منتصف | ٣٦ | ظ الكرسى وبين مري الدقل فهو تعديل النهار؛ إن كان واقعاً من المبدأ إلى <اليمين> فنهارها زائد وإن كان إلى اليسار فنهارها ناقص. وللکواكب فضع أفق المشرق على مركز ذلك الكوكب وعلم عليه منه وامثل ما تقدم من علامة الدرجة.

^٥ النهار: النها

^٦ النهار: نهار

^٣ أول: الأول

^٤ يسمى: فيسمى

^١ ليله: الليلة

^٢ مشتملاً: مشتمل

مثله من العلامة في الحجرة نحو اليمين في الارتفاع الشرقي ونحو اليسار في الارتفاع الغربي وضع المري على المنتهى، فحيث بلغت الدرجة أو مري الكوكب فهو موضع مقنطرة الارتفاع.

(١٠-٢-٢) في الزورقي ضع حرف الدقل على درجة الشمس أو مركز الكوكب وعلم على الدقل منها علامة وضع هذه العلامة على المقنطرة الأولى <وعلم عند مريه في الحجرة علامة واستخرج التعديل بعلامة الدقل بين المقنطرتين وعدّ مثله من العلامة على الاعتبار^١ المتقدم وضع مري الدقل على المنتهى فيصير <نائب> الدرجة أو مري الكوكب | ٣٥ ظ | على الارتفاع^٢ الموجود.

(١٠-٣) الفصل الثالث: في اتخاذ درجة الطالع ووسط السماء

(١٠-٣-١) برج الطالع هو المعترض على أفق المشرق ودرجته هي التي توافيه،^٣ فإن وقع الأفق فيما بين خطين من خطوط برج الطالع فعلم بالمري في الحجرة علامة وسطى وأدر العنكبوت معكوساً حتى يبلغ الخط الأول في المنطقة أفق المشرق <وعلم عند المري في الحجرة علامة أولى وأدر العنكبوت مستويّاً حتى يبلغ الخط الثاني في المنطقة أفق المشرق> وعلم عند المري في الحجرة علامة ثانية وانسب ما بين العلامة الأولى وبين الوسطى بما بين أولها والثانية وخذ من أصل القسمة بمثل تلك النسبة، فيكون التعديل. وإن شئت ضربت ما بين العلامة الأولى وبين الوسطى في أصل القسمة وقسمت المبلغ على ما بين أولى العلامات وثانيها فيخرج التعديل، ثم زد التعديل أبداً على عدد الخط^٤ الأول، فيجتمع عدد درجة الطالع في برجهما. وعلى مثله الحال في برج وسط السماء المعترض على خطه ودرجته التي توافيه إذا وقع خط وسط السماء فيما بين خطين من خطوط برجه، فإنك إذا عملت بخط وسط السماء مثل ما عملت في الأفق حصل لك منه درجة وسط السماء في برجهما.

(١٠-٣-٢) وكذلك في الأسطرلاب الزورقي إذا حصل حرف الأفق الشرقي في الزورق^٥ على ما بين خطين في المنطقة، فاعمل به ما عملت هناك بالأفق وإذا وقع حرف الدقل فيما بين خطين^٦ منها عملت فيه ما عملت هناك بخط وسط السماء حتى يحصل مطلوبك.

^٥ الزورق: الزورقي
^٦ خطين: خطين

^٤ الخط: المخطوط؛ ه، ن؛
الخط

^٣ توافيه: وافته

^١ الاعتبار: اعتبار
^٢ الارتفاع: الارتفاع

(١٠-١-٣) وإما الحساب وهو أن تضع الخط الأول المتقدم <عن> درجة الشمس على خط وسط السماء وتعلم على المري علامة، ثم تضع الخط الثاني المتأخر عن درجة الشمس على خط وسط السماء وتنظر كم زال المري عن العلامة وذلك أصل الدرجات وتحصل كم من الخط الأول إلى درجة الشمس وتنسبه من أصل القسمة حتى تعلم أنصف هو أم ثلث أم سدس أم عشر وتأخذ بمثل تلك النسبة من أصل الدرجة وهو التعديل، فتعدّ مثله من العلامة نحو اليسار وتضع المري على المبلغ ثم تنظر ما وافى خط وسط السماء مما بين الخط الأول وبين الثاني فهو درجة الشمس فتعلم عليها في المنطقة علامة. وإن أردت التعديل بالحساب، فاضرب ما بين الخط الأول وبين درجة الشمس في أصل الدرجات، فاقسم المبلغ على أصل القسمة فيخرج ذلك التعديل.

(١٠-١-٤) وهكذا الحال في الأسطرلاب الزورقي إذا وقع حرف الدقل على الخط الأول فعلم^١ على مري الدقل في الحجرة علامة، ثم ضع أيضاً على الخط الثاني، فيزول المري بقدر أصل الدرجات واستخرج التعديل وعدّ من العلامة نحو اليسار وضع المري على المنتهى فيوافق حرف الدقل درجة الشمس وعلم عليها في المنطقة.

٣٥ | (١٠-٢) الفصل الثاني: في اتخاذ مقنطرات^٢ الارتفاع

(١٠-٢-١) إذا لم يكن الأسطرلاب كلاً تاماً، تحطّت مقنطراته بمثل تفاضل الدرجات في المنطقة استحساناً لا اضطراراً، فإذا خطّت^٣ ولم (?) ووقع الارتفاع الموجود للشمس أو الكوكب فيما بين مقنطرتين، فضع الدرجة أو مري الكوكب عند ذلك على المقنطرة الأقل عدداً منها وهي الأولى في جانب الارتفاع شرقياً أو غربياً، وعلم على المري في الحجرة علامة ثم أدر العنكبوت مستوياً في الارتفاع الشرقي ومعكوساً في الارتفاع الغربي حتى تنتهي^٤ الدرجة أو مري الكوكب إلى المقنطرة^٥ الثانية الأكثر عدداً، فما زال المري عن العلامة فهو أصل المقنطرات، وانظر كم بين المقنطرة الأولى وبين الارتفاع الموجود والنسبة من أصل القسمة كما تقدم وخذ من أصل المقنطرات مثله فيكون التعديل. وإن شئت ضربت ما بين المقنطرة الأولى وبين الارتفاع الموجود في أصل المقنطرات وقسمت ما اجتمع على أصل القسمة فيخرج التعديل وعدّ

^٥ المقنطرة: المنطقة

^٣ خطّت: نخطّت

^١ فعلم: وعلم

^٤ تنتهي: ينتهي

^٢ مقنطرات: مقنطرة

(٢-٣-٩) وفي الأسطرلاب الزورقي ضع حرف أفق المشرق للمطالع أو حرف أفق المغرب للمغرب على المعلوم لك من الطرفين وعلم على مري الدقل وأدر هذا المري مستويًا إن كنت وضعت النهاية^١ ومعكوساً إن كنت وضعت المبدأ^٢ حتى يزول المري عن العلامة بقدر ما أعطيته من المطالع أو المغرب، ثم انظر إلى أفق الزورق الذي استعملته أين بلغ من المنطقة، فهو الطرف الآخر من الدرج السواء. (٣-٣-٩) ولن يخفى عليك ذلك في الأسطرلاب الهلالي إذا تأملت ما تقدم من الأعمال فيه.

الباب العاشر

(١-١٠) الفصل الأول: في اتخاذ موضع الشمس من منطقة البروج

(١-١-١٠) درج فلك البروج ثلاثمائة وستون، فإن انقسم البروج في المنطقة بثلاثين قسماً يسمى الأسطرلاب كلياً وكلاً، وإن انقسم بخمسة عشر قسماً يسمى نصفاً، وإن انقسم بعشرة أقسام يسمى ثلاثاً، وإن انقسم بخمسة أقسام يسمى سدساً. وذلك بحسب ما تهيأ في البرج من الانقسام بحسب القسمة والعظم، فإن بلغ به الصغر إلى أن تكون^٣ قسمة البروج بثلاثة أقسام يسمى عشرًا.

ولنسم^٤ هذه الأعداد أصل القسمة؛ وإنما لم يستعمل فيه الربع والسبع والثمان والتسع لامتناع الثلثين عن الانقسام عليها قسمة عددية عرية عن الكسور؛ ومتى كان الانقسام دون الكل على أصل القسمة، كانت خطوط الدرجات الباقية بين الخطين الذين في المنطقة متروكة، وللوقوف عليها طريقتان.

(٢-١-١٠) إما التقدير تخميناً برأي العين فقط عليه بالخزر وهو المانع عن قسمة **٣٤ ظ** البرج بستة أقسام لأن ما بين الخطين يكون خمس درجات وتقسيم البعد^٥ بخمسة أقسام ربما لا يسهل بالتخمين والتقدير بسهولة قسمته بثلاثة أقسام في الثلث ويقسم^٦ كل واحد من نصفيه بثلاثة في السدس ولهذا، لم يجر الرسم في الأسطرلاب بالخمس ولو عمله عامل لم ينتج عليه فيه اعتراض.

^٦ يقسم: تقسيمه

^٥ البعد: شطب الكاتب
«البرجد»؛ هـ: البعد

^٣ تكون: يكون
^٤ لتسم: ليسم

^١ النهاية: إليها به
^٢ المبدأ: إليه و

وانظر كم زال المري عن العلامة فهو مطالع تلك الدرجة من أول الحمل أو الجدي في البلاد؛ متى عملت^١ مثل هذا العمل بعينه على أفق المغرب كان زوال المري عن العلامة بمقدار مغارب ما فرض لك في عرض ذلك البلد.

(٢-٢-٩) وفي الأسطرلاب الزورقي ضع حرف الأفق الشرقي في الزورق^٢ على مبدأ^٣ درج^٤ السواء المعطاة وعلم على مري الدقل ثم أدر الزورق معكوساً حتى تضع ذلك الحرف على منتهاها^٥ | ٣٣ ظ | وانظر كم زال المري عن العلامة فهو المطالع المطلوبة في عرض الزورق. ومتى أردت المغارب عملت هذا العمل بعينه على حرف الأفق الغربي في الزورق حتى^٥ تحصل^٦ المغارب.

(٣-٢-٩) وفي الأسطرلاب الهلالي ممها^٧ كان طرفا المفروض في نصف واحد من نصفي فلك البروج فاعمل ممها للمطالع بأفق المشرق وللمغرب بأفق المغرب ما تقدم من مثله في مطالع خط الاستواء وأقم الأفق فيه بدل خط وسط السماء هناك؛ وإن انقسم ذلك إلى النصفين فوقع طرف في أحدهما وطرف^٨ في الآخر، فامثل أيضاً مثله بالمخالفة في الإدارة لكل واحد من القسمين واجمع ما يخرج لك فيكون مطلوبك من المطالع إن كنت عملت بأفق المشرق، والمغرب إن كنت عملت بأفق المغرب. (٤-٢-٩) فأما في الأسطرلاب المركب^٩ فاستعمل كل برج في المطالع والمغرب بأفقه الذي يجانسه في التسطیح وتوق الذي يخالفه فيه واجمع ما تحصل للبروج المختلفة فامثل ما تقدم فستصل به إلى مطلوبك.

(٣-٩) الفصل الثالث: في تقويس مطالع البلد ومغاربه

(١-٣-٩) لابد من أن يكون في المنطقة مبدأ^{١٠} درج^{١١} السواء التي لها تلك المطالع أو المغرب أو منتهاها معلوماً، فضعه للمطالع على أفق المشرق وللمغرب على أفق المغرب وعلم على المري علامة، فإن كان الموضوع مبدأها فأدر العنكبوت مستويًا وإن كان الموضوع منتهاها فمعكوساً حتى يزول المري عن العلامة بقدر المطالع أو المغرب المعطاة، ثم انظر إلى الأفق الذي وضعت عليه ما الذي وافاه من المنطقة، فهو منتهى تلك درج^{١١} السواء إن كنت وضعت المبدأ | ٣٤ و | أو هو مبدأها^{١٢} إن كنت وضعت المنتهى؛ ومهما عرفت المبدأ أو المنتهى عرفت كمية ما بينها من درج السواء.

^{١٠} درج: الدرج
^{١١} درج: الدرج
^{١٢} مبدأها: مبدأها

^٧ ممها: ممها
^٨ طرف: طرف
^٩ المركب: المركبة

^٤ منتهاها: منتهى
^٥ + حتى
^٦ تحصل: يحصل

^١ عملت: علمت
^٢ الزورق: الزورقي
^٣ درج: الدرج

(٩-١-٩) ومعرفة مطالع خط الاستواء في الأسطرلاب الزورقي هو أن تضع حرف العمود، وهو الدقل، على الدرجة التي هي مبدأ الدرج السواء المعطاة وتعلم^١ على موقع مريه من الحجرة علامة، ثم تدير الزورق معكوساً حتى تضع حرف العمود على الدرجة التي هي منتهى تلك درج^٢ السواء فما تحرك مري الدقل من عند العلامة فهي المطالع المطلوبة.

(٩-١-١٠) وفي الأسطرلاب الهلالي ربما^٣ ماس المري أقسام الحجرة وربما زايلها بانقطاعها، فناب عنه أي خط مستقيم مرّ على مركز العنكبوت وبلغها مثل الحرف الداخل من العمود المستقيم المنصف للفلك^٤ وأمثاله بعد أن يكون معيّناً محفوظاً. (٩-١-١١) فإن أردت مطالع برج أو بعضه وأضعافه مع برج فانظر فإن كان أول المفروض وآخره معاً في نصف واحد من نصفي فلک البروج شمالية وجنوبية، فضع أول درج^٥ السواء من المنطقة على خط وسط السماء وعلم على موقع المري أو النائب^٦ عنه من الحجرة علامة؛ فإن كان المعطى من النصف الجنوبي فأدر العنكبوت مستويّاً حتى يوافي آخر تلك درج^٧ السواء المفروضة لك خط وسط السماء فما تحرك^٨ | ٣٣ | المري أو النائب^٩ عنه من العلامة فهو مطالع تلك درج^{١٠} السواء في خط الاستواء، وإن كان معاً من النصف الشمالي فافعل سهما ما تقدم ولتكن الإدارة معكوسة حتى تحصل المطالع. وإن كان بعض ما فرض لك من هذا النصف وبعض من ذلك، فاستخرج لكل واحد من ذلك^{١١} البعضين مطالعه باختلاف الإدارتين فاجمع ما يخرج لكل واحد منهما، فتكون الجملة مطالع تلك درج^{١٢} السواء المفروضة لك في خط الاستواء.

(٩-٢) الفصل الثاني: في معرفة مطالع درج السواء ومغارها في البلاد ذوات العروض

(٩-٢-١) ضع أول البرج أو البعض منه أو الأضعاف المفروضة على أفق المشرق في صفيحة ذلك العرض وعلم على المري في الحجرة، ثم أدر العنكبوت مستويّاً حتى يوافي آخر المفروض لك أفق المشرق، فما تحرك المري من العلامة فهو مطالع تلك درج^{١٣} السواء في ذلك البلد. فإن أريدت <من> أول الحمل، ولم يجز فيها رسم بأول الجدي، ولا ذلك بجائز إلا أن يُصرّح، فضع أول أمهما أريد على أفق المشرق وعلم على المري ثم أدر العنكبوت مستويّاً حتى تطالع الدرج المفروضة لآخرها

^{١٣} درج: الدرج

^٩ النائب: الثابت

^٥ درج: الدرج

^١ تعلم: يعلم

^{١٠} درج: الدرج

^٦ النائب: الثابت

^٢ درج: الدرج

^{١١} ذلك: ذلك

^٧ درج: الدرج

^٣ ربما: بما

^{١٢} درج: الدرج

^٨ + فما يحرك

^٤ للفلك: للفلك

(٩-١-٣) وإذا كان الأفق لموضع ذي عرض سُميت مطالع البلد وتخالفتها المغارب فيه متساوي مطالع النظير. ومطالع البلد ربما زادت على مطالع خط الاستواء وربما نقصت عنها، ويسمى الفضل بينهما فضل المطالع. (٩-١-٤) فإذا فرض لك برج <أو> أقل |٣٢| أو أكثر وأريدت^١ مطالعه في خط الاستواء، فضع أول المفروض لك على خط وسط السماء وعلم على موقع المري من الحجرة علامة، ثم أدر العنكبوت مستويًا حتى يوافي آخر ما فرض لك خط وسط السماء فما تحرك المري من العلامة فهو مطالع ما فرض لك من برج أو أقل منه أو أكثر. (٩-١-٥) وإن أريدت المطالع في خط الاستواء من أول الحمل إلى درجة مفروضة من درج البروج، فضع أول الحمل على خط وسط السماء وعلم على المري علامة، ثم أدر العنكبوت حتى توافي تلك الدرجة خط وسط السماء، فما زال المري من العلامة فهو المطالع المطلوبة. (٩-١-٦) وإن أريدت من أول الجدي، فقد جرى الرسم باستعمال ذلك أحياناً، فإما أن تضع^٢ الدرجة المفروضة على خط وسط السماء وتنظر العدد الذي وافاه المري من أعداد الحجرة، وهي مبتدئة من وسط الكرسي آخذة نحو^٣ اليمين، فهي المطالع المطلوبة؛ وإما أن يزيد على الذي حصلته منها من أول الحمل تسعين أبداً، فيتحول من أول الحمل إلى أول الجدي.

(٩-١-٧) وأما تعكيس هذه المطالع وأخذ حصتها من درج السواء: فإنك إذا أعطيت مطالع قوس من فلك البروج في خط الاستواء معلومة المبدأ^٤ أو المنتهى^٥ أيهما كان معلوماً وأريد الآخر، تضع المعلوم منهما على خط وسط السماء وتعلم على المري علامة وتعدّ^٥ منها إن كان الموضوع مبدأ القوس نحو اليمين مثل تلك المطالع المعطاة وإن كان الموضوع منتهى القوس فإلى اليسار، فضع المري على أي المثليين^٦ كان فما وافى خط وسط السماء من المنطقة هو المنتهى إن كان |٣٢| ظ^٧ الموضوع مبدأ أو المبدأ إن كان الموضوع منتهى؛ فإذا عرفت المبدأ والمنتهى في المنطقة كان ما بينهما هي درج السواء التي لها تلك المطالع. (٩-١-٨) وإن كانت المطالع مفروضة من أول الحمل أو الجدي فضع أيهما كان على خط وسط السماء وعدّ من عند المري نحو اليسار مثل تلك المطالع وانقل المري إلى المبلغ فما وافى خط وسط السماء من المنطقة هو الدرجة التي لها تلك المطالع المعطاة؛ وتحويل المطالع إلى درج السواء يسمى تقويساً.

^٦ المثليين: المييعين
^٧ + ان كان

^٤ مبدأ: مبدأ
^٥ تعدّ: يعدّ

^٣ شطب الكاتب كلمة
«الميل».

^١ أريدت: اريد
^٢ تضع: يضع

المقنطرات والأفق سواء كان المشترك أو كان المعترض، ولاتستعمل شيئين^١ متباينين أعني برجاً شمالي التسطيح في أفق أو مقنطرات جنوبية التسطيح.

(٧-٤-٨) وأما في الأسطرلاب الزورقي فضع حرف أفق المشرق في العنكبوت وهو الأيسر من الزورق على درجة الشمس في الصفيحة وعلم على حرف الأفق علامة الدرجة، وكذلك فضع حرف أفق المغرب وهو الأيمن من الزورق على نظير درجة الشمس وعلم^٢ على الحرف علامة النظير وضع هذه العلامة على المقنطرات الثامنة عشرة^٣ في جانب المغرب وعلم على مري الدقل،^٤ أعني العمود المستقيم، في الحجرة علامة^٥ وأدر | ٣١ ظ | الزورق مستويًا حتى توافي علامة الدرجة أفق الصفيحة، فما تحرك المري من العلامة فهو الدائر في مدة ما بين طلوع الفجر^٦ وطلوع الشمس وهو الباقي من الليل. (٨-٤-٨) ولمغيب الشفق، ضع علامة الدرجة على المقنطرة^٧ الثامنة عشرة^٨ من المقنطرات الشرقية ثم أدر الزورق معكوساً حتى توافي علامة الدرجة أفق المشرق في الصفيحة، فما تحرك المري من عند العلامة فهو الدائر بين المغيبين.

الباب التاسع

(١-٩) الفصل الأول: في معرفة مطالع البروج^٩ والقسي المفروضة في المنطقة في خط الاستواء وعكس ذلك من تحويل

هذه المطالع إلى درج السواء^{١٠}

(١-١-٩) إنَّ القسي المفروضة في فلك البروج، سواء كانت أبراجاً تامة أو كانت بعض برج أو أضعافه، يسمى أقسامها درج السواء؛^{١١} وفي معدل النهار أزماناً ومطالع. فمطالع كل قوس مفروضة من فلك البروج هي الأزمان التي تطلع معها ومغارمها هي الأزمان التي تغرب معها. (٢-١-٩) فإذا كان الأفق الذي منه الطلوع وفيه الغروب أفق موضع عديم العرض، سميت المطالع فيه مطالع الفلك المستقيم والأصوب فيها رفض هذه اللفظ بعلل ليس هذا موضع الإبانة عنها والأحسن إبدالها بخط الاستواء وقد فعلناه، ومغارب كل قوس هناك مساوية لمطالعها فيه.

^{١٠} السواء: السواء
^{١١} السواء: السواء؛ هـ، نخ:
السواء

^٧ المقنطرة: المقنطرات
^٨ عشرة: عشر
^٩ البروج: البرج

^٤ مري الدقل: مري هـ الدقل
^٥ علامة
^٦ الفجر: و

^١ شيئين: ستين
^٢ — وعلم؛ هـ: وعلم
^٣ عشرة: عشر

فليس يجري عليه حكم بل لا يكاد يفتن له العوام كما يشعرون بالصبح الكاذب. (٨-٤-٣) وللذي تجري عليه الأحكام <في> بعض الأسطرلابات قوسان مشاهمتان لخطوط الساعات المعوجة، مكتوب عند شرفيتها^١ «طلوع الفجر» وعند الغربية «مغيب الشفق» تبلغها^٢ درجة الشمس عند وقتيها. فإذا أردت معرفة ما بين طلوع الفجر وبين طلوع الشمس، والخطان المذكوران في الأسطرلاب مخطوطان، فضع درجة الشمس على قوس طلوع الفجر وعلم موقع المري من الحجر علامة وأدر العنكبوت مستويًا حتى توافي درجة الشمس أفق المشرق، فما تحرك المري من عند العلامة فكل خمسة عشر جزءًا^٣ منه ساعة مستوية وما لا يتم خمسة عشر فكل جزء منه أربع دقائق من ساعة وهي من طلوع الشمس. وحين تضع درجة الشمس على خط طلوع الفجر فانظر أي كوكب من الثوابت يوافق مريه أفق المشرق فهو الطالع مع الفجر وأي كوكب وافق مريه المغرب فهو الساقط حينئذ. (٨-٤-٤) وهكذا إن أردت ما بين غروب الشمس وبين مغيب الشفق، فضع درجة الشمس على أفق المغرب وعلم موقع المري من الحجر، ثم أدر العنكبوت مستويًا حتى تبلغ^٤ درجة الشمس خط مغيب الشفق فما زال المري من العلامة فكل خمسة عشر جزءًا^٥ منه ساعة مستوية وما لا يتم خمسة عشر فاضربه في أربعة فتجتمع دقائق من ساعة. وكذلك فانظر إلى ما وافى^٦ | ٣١ | أفق المشرق^٦ حينئذ من مريات الكواكب فهو الطالع، وما وافى أفق المغرب فهو الآفل.

(٨-٤-٥) فإن لم تكن هاتان القوسان مخطوطتين، فضع نظير درجة الشمس على المنقطة الثامنة عشر في جانب المغرب وعلم على موضع المري علامة، ثم أدر العنكبوت مستويًا حتى توافي درجة أفق المشرق فما تحرك المري عن عند العلامة فهو الدائر من الأزمان فاجعله ساعات وكسورها. ولمعرفة ما بين^٧ غروب الشمس ومغيب الشفق، ضع درجة الشمس على أفق المغرب وعلم على موقع المري ثم ضع نظير درجة الشمس على المنقطة الثامنة عشرة^٨ في جانب المشرق وانظر كم زال المري من العلامة فهو الدائر بينها فاجعله ساعات.

(٨-٤-٦) وفي المركب من الأسطرلابات لا يخط هذان الخطان، فاستعمل فيه هذا الطريق الأخير بعد أن تحفظ فيه شريطة^٩ تعم^٩ أنواعه وهو أن تنظر إلى برج الشمس وإلى نظير برجهما من أي التسطحيين هو، فاستعمله فيما جانسه من

^٩ تعم: نعم

^٧ شطب الكاتب كلمة

«معرفة».

^٨ عشرة: عشر

^٤ تبلغ: يبلغ

^٥ جزءًا: جزوا

^٦ + و

^١ شرفيتها: شرفيها

^٢ تبلغها: يبلغها

^٣ جزءًا: جزوا

ارتفاع الشمس لأول أوقات العصر. (٢-٣-٨) ثم زد على ظل أول العصر المقياس مرة ثانية فيجتمع ظل آخر أوقات العصر، فهو أول أوقاتها على مذهب العراقيين، واعرف منه الارتفاع على مثال ما تقدم. | ٣٠ | و (٣-٣-٨) وفيما بين أئمة الفريقين في هذا الباب اختلافات كثيرة وروايات معيّنة خارجة مما نحن فيه ومدارها على ما ذكرناه يعرفونه بالمثل^١ والمثلين^٢ أي المقياس والمقياسين^٣ بعد فيء الزوال. ومنهم من لا يذكر معه أو معها فيء الزوال ولا يعرف تحقيق الأمر فيه ذكراً أو تركاً فيوقع غيره في الخطأ ونفسه في التعب والشاقة.

(٤-٣-٨) وإن كان خط الزوال مخطوطاً على ظهر أمّ الأسطرلاب كان معه أيضاً خطأ أول العصر وآخره فيه مخطوطين مقاطعين للمدارات. فتمت علّمت على تقاطع مدار درجة الشمس مع كل واحد منها وفعلت ما تقدم في خط الزوال، حصل لك ارتفاعها وظلاها بأي مقياس أردت.

(٢-٨) الفصل الرابع: في معرفة وقتي طلوع الفجر ومغيب الشفق

(١-٤-٨) للشمس من ضوءها ثلث طلائع يطلع أمّاها، وأولها الصبح الكاذب المستطيل المرتفع مستنداً ويعرف بذنب السرحان شبيهاً ولا يجري عليه حلّ أو عقد، والثانية الفجر المعترض المنبسط على الأفق وعليه تجري أحكام الصوم والصلوة، والثالثة الحمرة المنتشرة على الأفق إذا أرف طلوع الشمس وهي تحتفّ بما حتى تطلع فيها وتبقى^٤ في عقابيلها إلى أن تصفر^٥ عند ارتفاعها وتبقى^٦ فيها.

(٢-٤-٨) وللشمس منها أيضاً ثلث ساقات تتبعها^٧ بعد غياها^٨، هي تطان تلك الطلائع منعكسة الترتيب وأولها الحمرة المنتشرة على الأفق بعد مغيبها نظيرة الطليعة الثالثة وهي الشفق عند أصحاب الحديث، والثانية البياض المنبسط على الأفق نظيرة الطليعة الثانية التي هي الفجر وهو الشفق عند أصحاب | ٣٠ | الظن^٩، والثالثة البياض المستطيل المستند الباقي إلى العتمة وبعدها نظيرة الطليعة الأولى فسّمه شفقاً كاذباً أو ما شدّت.

^٧ تتبعها: يتبعها
^٨ غياها: عيارها

^٥ تصفر: يصفو
^٦ تبقى: يبقى

^٣ المقياسين: المقياسان
^٤ تبقى: يبقى

^١ المثل: الميل
^٢ المثلين: الميلين

أو مري الكوكب نقطة ص نفسها^١ وذلك الارتفاع تسعون سواء غير منسوب إلى شمال أو جنوب. (٨-١-٢) فإن كان خط الظهيرة مخطوطاً للزوال في الأسطرلاب، فيكون في الربع المقابل لربع الارتفاع، فاعرف موضع الشمس من برجمها وانظر منتهى مدارها الخارج من درجتها إلى هذا الخط وضع حرف العضاة عليه فما قطع مرجمها من أجزاء الارتفاع فهو ارتفاع الشمس يومئذ في نصف النهار.

(٢-٨) الفصل الثاني: في معرفة ظل نصف النهار وارتفاعه أحدهما من الآخر

(٨-٢-١) ظل نصف النهار يسمّى في الزوال «أباً^٢ مرجعة» لأنّ أطلال الشخص في أول النهار تكون^٣ على غاية الطول ولا يزال^٤ تتقلّص وتتناقص مقاديرها إلى أن تبلغ^٥ غاية القصر نصف النهار، ثم تأخذ^٦ في الازدياد وتفيء^٧ على تلك المقادير الأولى^٨ ٢٩ ظ إلى أن تبلغ^٩ غاية الطول أيضاً بالعشي. (٨-٢-٢) فإن أردت معرفة أقصر أطلال النهار في يومك فاستخرج ارتفاع الشمس نصف النهار وضع مري العضاة على مثله من أجزاء الارتفاع، فما وقع عليه مرجمها الآخر من أقسام الظل فهو ظل نصف النهار؛ فإن كان الارتفاع جنوبياً فرأس الظل نحو الشمال وإن كان الارتفاع شمالياً كان رأس الظل نحو الجنوب، وإن كان تسعين سواء استقلت^{١٠} أقدام^{١١} أطلالها فبطل أصلاً لنصف النهار.

(٨-٢-٣) وإن كان الظل لنصف النهار معلوماً وضعت عليه مري العضاة، فيوقفك مرجمها الآخر على ارتفاع نصف النهار. وإن شدت وضع حرف العضاة على تقاطع مدار الشمس مع خط الزوال، فتضع مرجمها من أقسام الظل على فيء الزوال. وتعرس معرفة جهة رأس الظل وجهة الارتفاع من هذا الباب، إلا أن يكون الصانع قد احتال له إذا حظي بمعرفة تامة وتصرف كامل في العلم مع لطف كث وحذق ومهارة في الصناعة.

(٨-٣) الفصل الثالث: في معرفة ارتفاعي^{١٢} العصرين بظل المثل^{١٣} والمثلين^{١٤}

(٨-٣-١) إذا عرفت فيء الزوال بمقدار معلوم من أصابع أو أقدام، فزد عليه مثل المقياس الذي لها، فيجتمع ظل الشخص لأول أوقات العصر على مذهب الحجازيين. وإذا وضعت مري العضاة على مثله من أقسام الظل، وقع مرجمها الآخر على

^{١٣} المثل: الميل
^{١٤} المثلين: الميدين

^٩ تبلغ: يبلغ
^{١٠} استقلت: اسقلت
^{١١} أقدام: الاقدام
^{١٢} ارتفاعي: ارتفاع

^٥ تبلغ: يبلغ
^٦ تأخذ: ياخذ
^٧ تفيء: بغي
^٨ — الأولى؛ ه: الأول

^١ — نفسها؛ ه، نخ: نفسها
^٢ أباً: ابى
^٣ تكون: يكون
^٤ ولا يزال: والايزال

من المقنطرات واحفظه، فإن كان داخل مدار الحمل فهو^١ الشمالي وخارجه^٢ فهو^٣ الجنوبي. وكان ما وجدت من ارتفاعه مأخوذاً من جانب الجنوب فانقص ذلك الارتفاع من تسعين وزد ما يبقى^٤ على المحفوظ فيجتمع عرض البلد. وإن كان الارتفاع تسعين جزءاً^٥ سواء فالمحفوظ نفسه هو عرض البلد. وإن كان ارتفاعه الموجود مأخوذاً من ناحية الشمال بمروره^٦ شمالياً عن سمت الرأس فانقص الارتفاع من تسعين وما بقي فألقه من المحفوظ فيبقى عرض البلد.

(٣-٧) الفصل الثالث: في معرفة عرض البلد بالشمس

(٧-٣-١) هذا على قياس الكوكب الطالع الغارب في البلد، فإذا أردت ذلك فارصد غاية ارتفاعها في ذلك اليوم وجانبه أهو من الجنوب أم من الشمال، فاستخرج ميلها^٧ وجهته ليومئذ، فإن كان الارتفاع والميل موصوفين معاً بجهة واحدة وكانت تلك الجهة هي الجنوب فاجمع الميل والارتفاع وألق مجموعهما من^٨ تسعين، فيبقى عرض البلد؛ وإن كانت تلك الجهة الشمال فانقص تسعين من المجموع، فيبقى عرض البلد؛ وإن اتّصف الارتفاع والميل بجهتين مختلفتين فخذ فضل ما بين الميل والارتفاع وانقصه من تسعين فيبقى عرض البلد؛ وإن كان الارتفاع تسعين سواء استغني عنه فكان ميل^٩ الشمس هو عرض البلد.

٢٩ | الباب الثامن

(٨-١) الفصل الأول: في معرفة ارتفاع الشمس أو الكوكب في فلك نصف النهار

(٨-١-١) ارتفاعات الشمس والكواكب تكون^{١٠} من دائرة عظمى مائة على سمت الرأس، فإن مرّت على قطب الكل، ففي فلك نصف النهار والارتفاع الموجود فيه هو ارتفاع نصف النهار؛ فإن أردته^{١١} للشمس فاستعمل درجتها ليومئذ، فإن أردته لكوكب ثابت فاستعمل مريه بأن تضع الدرجة أو المري على خط وسط السماء، فما وافقه من المقنطرات فهو ارتفاع نصف نهاره؛ إن كان من نقطة ص نحو الحجرة في الشمالي أو نحو القطب في الجنوبي فالارتفاع من جانب الجنوب، وإن كان من نقطة ص نحو القطب في الشمالي أو نحو الحجرة في الجنوبي فالارتفاع من ناحية الشمال، وإن طابقت الدرجة

^{١٠} تكون: يكون

^{١١} أردته: اردت

^٧ ميلها: مثلها

^٨ من: و

^٩ ميل: مثل

^٤ يبقى: يتفق

^٥ جزءاً: جزء

^٦ بمروره: مرور

^١ فهو: في

^٢ خارجه: خارجه

^٣ فهو: في

الظهور، فعين منها واحداً من المشهورة التي لا تكاد تلتبس عليك وارصد أعظم ارتفاعيه حتى تقف^١ ارتفاعاته عن الزائد وتبني^٢ على الأخذ في الناقص، واحفظه، وليس ينتفع به إلا مع حصول^٣ أصغر ارتفاعيه، فارصده حين يقف عن التناقص ويكاد يأخذ في التزايد. ومعلوم أن إدراك الكواكب بالعين لا يكون إلا ليلاً، والليل^٤ في حاشيته بقايا ضياء من الشمس تمنع عن إدراك الكوكب الواحد على فلك نصف النهار مرتين في ليلة أو ليالٍ متقاربة إلا في (?) في الشمال ويحتاج في غيرها إلى مدة بين الرصدين لا يقصر | ٢٨ | عن شهر. (٧-١-٥) فإذا حصل لك ارتفاعا الكوكب، كان أصغرهما شمالياً لا محاله وأما أعظمها فيحتمل ثلاثة أقسام: أحدها أن يكون شمالياً، والثاني أن يكون جنوبياً، والثالث أن لا يكون شمالياً ولا جنوبياً بل تسعين جزءاً سواء؛ فأما في القسم الأول إذا كان الارتفاعان معاً شماليين بمرور الكوكب شمالياً عن سمت الرأس فاجمعهما وخذ نصف الجملة فيكون عرض البلد، وإن شئت فزد نصف فضل ما بينهما على الأصغر أو انقصه من الأعظم فيحصل بكليهما عرض البلد. وأما في القسم الثاني الذي يختلف فيه جهتها الارتفاعين بمرور الكوكب جنوبياً عن سمت الرأس فانقص أعظمها من مائة وثمانين وزد أصغرهما^٥ على ما يبقى وخذ نصف المبلغ فيكون عرض البلد، وإن شئت فانقص شماليهما من الجنوبي ونصف ما بقي وألقه من تسعين فبقي عرض البلد. وأما في القسم الثالث الذي فيه أعظمها ربع دائرة بمرور الكوكب على قمة الرأس، فاعمل مثل ما عملت في الأول بعينه، فإن اتفق في هذا الثالث أن يعدم أصغرهما مع عدم طلوع لذلك الكوكب وغروب، كان مداره مماساً للأفق، فالعرض حينئذ خمسة وأربعون جزءاً^٦ لا غير، لكن مماسة الكوكب الأفق فلا^٧ يدرك حساً وإنما يعقل وهماً.

(٧-٢) الفصل الثاني: في معرفة عرض البلد بالكواكب^٨ الطالعة الغاربة فيه

(٧-٢-١) وما لم يكن الكوكب الذي له طلوع وغروب في البلد مثبتاً في الأسطرلاب، فلن ينتفع به في معرفة عرضه^٩. وذلك لاحتياجه في أكثر العمل إلى الحساب وخروجه بذلك من جنس أعمال الأسطرلاب. فإن كان الكوكب المعين مثبتاً فيه، فارصد | ٢٨ | ظ ارتفاعاته الشرقية إلى <أن> يقف عن التزايد ويتوسط جرمه موضعي الطلوع والغروب وذلك يكون ارتفاع نصف نهاره. (٧-٢-٢) وإذا حصلت، فضع مري الكوكب على خط وسط السماء وانظر ما بينه وبين مدار الحمل

^١ تقف: يقف
^٢ تبني: بنى
^٣ حصول: حصو
^٤ الليل: ليل
^٥ اصغرهما: اصغرها
^٦ جزءاً: جزء
^٧ فلا: فلما
^٨ بالكواكب: في لكواكب
^٩ عرضه: عروضه

الرأس نحو أفق الشمال ويكون ذلك أصغر ارتفاعاتها. (٣-٣-٤) وإن أردت معرفته بالأسطرلاب الشمالي، إذ ليس للجنوبي إليه مدخل، فضع مري الكوكب على خط وسط السماء فيما بين القطب والكرسي وانظر ما وافقه من المقتنطرات فهو أعظم ارتفاعيه، وأدره حتى يوافي خط وسط السماء تحت القطب فيما بينه وبين الأفق وانظر إلى عدد المقتنطرة التي وقع عليها، فهو أصغر ارتفاعيه.

(٤-٣-٤) فإذا اعتبرت مثل هذا في الأسطرلاب الجنوبي كان ما دار فيه من الكواكب الثابتة حول القطب تحت الأفق أبد الخفاء، ولا فائدة في تعريف^١ أعظم انخطاطيها،^٢ وسائر ذلك طالعات وغاربات فيه ولن توجد فيه الأبدية الظهور إلا أن تعظم الصفيحة حتى يتم فيها الأفق وتقع وراءه الدائرة المماسه له أعني التي هي أولى الأبديات الظهور وما في ضمنها^٣ من سائر المدارات في عرض تلك الصفيحة؛ وما أظن أحداً يتكلف ذلك لأنه يتعذر صناعة ويسمج منظرًا.^٤

الباب السابع

(١-٧) الفصل الأول: في معرفة عرض البلد بالكواكب الأبدية الظهور فيه

(١-١-٧) عرض البلد على الأرض هو أقصر بعد كروي بين البلد وبين خط الاستواء ومن يعتذر على زرعه ومساحته مع طول المسافة واعتراض الجبال والأنهار والبحار فيها فيشامحه على السماء | ٢٧ ظ | ما بين السمته^٥ وبين معدل النهار من فلك نصف النهار ويساويه في الحس ارتفاع قطب الشمال وبها يغنى في معرفة عرض البلد ولأن ارتفاع القطب والعرض في قرن، فإنهما معدومان في خط الاستواء لأن العرض^٦ منه لا له والقطب لازم أفقه غير مرتفع عليه. فإذا تنحى البلد عن خط الاستواء، ارتفاع القطب عليه بمقدار تنحيه. (٢-١-٧) ومتى ارتفع، دار ما حوله من الكوكب ظاهرة في ذلك البلد لا تطلع^٧ فيه من شرق ولا تأفل في غرب. فإنها^٨ تخفى نهاراً بضوء الشمس؛ وهذه الكواكب يقلّ عددها بقلة مدار العرض ويكثر بكثرته. وهي كالفرقدين والنعش من بنات النعش فإنها تدور ظاهرة في بلاد المغرب. (٣-١-٧) ويظهر بعض البنات في الإقليم الثالث وكلها في الخامس مرتفعة. وإذا ظهر مدار الكوكب كله وافى فلك نصف النهار فوق القطب في أعظم ارتفاعيه^٩ ثم وافاه ثانية تحت القطب في أصغر ارتفاعيه. (٤-١-٧) فإذا أردت معرفة عرض البلد من أحد هذه الأبدية

^١ ه: تعرف
^٢ انخطاطيها: انخطاطية ها
^٣ ضمنها: صمها
^٤ منظرًا: منظر
^٥ المراد «سمت الرأس»
^٦ العرض: الفرض
^٧ تطلع: يطلع
^٨ فإنها: فانها
^٩ ارتفاعيه: ارتفاعية

(٢-٦) الفصل الثاني: في معرفة الكواكب الأبدية الظهور والحفاء في البلاد^١

(١-٢-٦) كل كوكب يساوي بعده عن معدل النهار فضل ما بين عرض البلد وبين التسعين، فإنه في دورانه يماس الأفق من غير أن يكون طالعاً أو غارباً. فإن قصر بعده عن معدل النهار عن هذا الفضل كان له طلوع من جانب المشرق وغروب في جانب المغرب. وإن فضل بعده على الفضل نظرت فإن كان بعده شالياً فهو أبدي الظهور هناك وإن كان جنوبياً فهو أبدي الحفاء، مهما كانت الزيادة على الفضل في الكوكب الأبدية الظهور أكثر كان في دورانه أعلا وأبعد عن الأرض وفي حركته إبطاء في المنظر لإقترابه من القطب. (٢-٢-٦) فأما معرفة ذلك | ٢٦ ظ | بالأسطرلاب، إن كان له في العنكبوت مري أو عمل له من كاغد فإنك تضع مريه على خط وتد الأرض، فإن وقع على نفس الأفق فهو المماس له في الدوران. أما في الأسطرلاب الشمالي، فهو أول الأبديات الظهور وأما في الجنوبي فهو أول الأبديات الحفاء. وإن وقع تحته في حيز الليل فهو في الأسطرلاب الشمالي طالع غارب وفي الجنوبي أبدي الحفاء، وإن وقع فوقه في حيز النهار فهو في الشمالي أبدي الظهور وفي الجنوبي ذو طلوع وغروب.

(٣-٦) الفصل الثالث: في معرفة أصغر ارتفاعي الأبدية الظهور وأعظمها^٢

(١-٣-٦) قد ظهر مما تقدم أنّ أصناف الكواكب ثلاثة في كل مسكن ذي عرض، وهي إما طالعة عليه وغاربة عنه ترسم فيما بين الطلوع والغروب قوس نهار فوق الأرض وقوس ليل تحتها، وإما أبدية الظهور تدور حول قطب الشمال ظاهرة لا تطلع ولا تغرب ومدارها لها نهار كله، وإما أبدية الحفاء تدور حول قطب^٣ الجنوب تحت الأرض غائبة لا تطلع ولا تغيب كان مدارها لها ليل كله. وليس في خط الاستواء غير الصنف^٤ الأول فالكواكب كلها تطلع هناك وتغرب باستواء زماني نهارها وليلها. ثم إنّها في غير خط الاستواء تتخالط فيصير الصنف الأول في الثاني بالإمعان في ناحية الشمال ويصير الثاني في الأول بالرجوع عن الشمال وكذلك يصير من الثالث^٥ في الأول بالإمعان نحو الجنوب ومن الأول في الثالث بالرجوع عن الجنوب. (٢-٣-٦) ومن خواص الأبديات الظهور أن توافي فلك نصف النهار فوق الأرض مرتين كل يوم بليته إحدهما فوق القطب، | ٢٧ و | ويعرف ذلك باعتلائها على جدي القبلة وهو أبعد البنات عن النعش الأصغر وأقربهما^٦ من سمت الرأس ويكون ذلك أعظم ارتفاعاتها،^٧ والأخرى تحت القطب ويعرف ذلك بسفولها تحت الجدي وتباعدها عن سمت

^٢ ارتفاعاتها: ارتفاعاتها؛ ه، نخ: ارتفاعاتها

^٥ الثالث: الثلث
^٦ إقربها: اقربها

^٣ قطب: القطب
^٤ الصنف: النصف

^١ البلاد: البلد
^٢ أعظمها: اعظمها

٤-٥) وهذا في الأسطرلاب الشمالي أبيض منه في الجنوبي إلا أن يكون فيه فضاة صالحة خارج مدار السرطان مخطوط فيها بقايا المقنطرات^١ الجنوبية. (٤-٤-٦) وأما الكواكب الثابتة فأقر^٢ مرياتها على خط وسط السماء فما مر منها على نقطة ص فهو الذي يمر في ذلك العرض الذي له الصفيحة على سمت الرأس وأما الذي يمر ورائها نحو الحجر في الشمالي أو دونها نحو القطب في الجنوبي فهو الذي يمر^٣ في ذلك العرض عن جنوب سمت الرأس والذي يمر دونها نحو القطب في الشمالي أو ورائها نحو الحجر في الجنوبي فهو الذي يمر فيه عن شمال سمت الرأس.

الباب السادس

(١-٦) الفصل الأول: في معرفة أمها^٥ من الكواكب يدور في مدار الدرجات وأمها^٦ لا يدور

(١-١-٦) كل كوكب يبعد عن معدل النهار بأقل من الميل الأعظم فلا بُد من <أن> يدور في مدار درجتين شاليتين إن كان بُعد الكوكب^٧ شمالياً أو جنوبيتين إن كان جنوبياً. فإذا فرض لك كوكب وأردت^٨ أن تعلم^٩ هل هو كذلك، فضع مريه المثبت في العنكبوت أو ٢٦| و١٠ المضاف إليه بكاغد كما ذكرنا على خط وسط السماء، فإن وقع فيما بين مداري السرطان والجدي فإنه كذلك، وإن وقع خارجهما أو داخلهما فليس مما يدور في مدار شئ من الدرجات. (٢-١-٦) وأما معرفة الدرجتين، فيجب أن تعلم على موقع مريه من خط وسط السماء علامة، ثم تدور العنكبوت مقبلاً ومدبراً وما مر على العلامة من الدرجات فهي التي يدور الكوكب في مدارها، إن كان شمالي البعد فتمر على علامته درجة من الربع الربيعي وأخرى من الصيفي وإن كان جنوبي البعد فتكون إحدى الدرجتين في الربع الخريفي والأخرى في الشتوي، وإن وافق المري مدار السرطان أو مدار الجدي فإنه يدور في مدار درجة واحدة هي أول هذين، إن كان بعده شمالياً فمع أول برج السرطان وإن كان جنوبياً فمع أول برج^{١١} الجدي.

^{١١} برج: البرج

^٨ حرر الكاتب «ان ردت»

^٥ أمها: انما

^١ المقنطرات: لمقنطرات

ثم شطب حرف النون.

^٦ أمها: انما

^٢ فأقر: فامر

^٩ تعلم: يعلم

^٧ حرر الكاتب «الكواكب»

^٣ يمر: تتمر

^{١٠} + أو

ثم شطب الألف فيها.

^٤ ورائها: وراها

(٢-٥) الفصل الرابع: في معرفة أي الكواكب يمرّ على سمت الرأس وأنها يشتمل عنه أو يجتنب

(١-٤-٥) الشمس إذا بلغت كل واحدة من نقطتي^١ الاعتدال سامت^٢ |٢٥| و^٣ خط الاستواء ومن سكناه عليه ثم تميل عن تلك المسامته بعد رأس الحمل إلى الشمال وتعد رأس الميزان إلى الجنوب. وأما في البلاد ذوات العروض وهي بالوجود في ناحية الشمال فإنها في وقتي الاعتدالين تكون جنوبية عن سمت الرأس. والبلاد المنتخبة بعروضها عن خط الاستواء على نوعين يقال لأحدهما ذوات ظلين وللآخر ذوات ظل واحد. فأما النوع الأول فهي التي تقصر عروضها عن مقدار الميل الأعظم فسامتها الشمس مرتين في السنة عند درجتين غير نقطتي الاعتدال ذات ميلين^٣ متساويين ولا تزال المدة بين المسامتين تتقاصر بحسب ازدياد العرض إلى أن يساوي العرض الميل الأعظم. فتتحد المسامتان وقصر الظل طباق الحف مستقلاً وذلك مبدأ البلاد ذوات الظل الواحد.

(٢-٤-٥) فإن أردت معرفة الدرجتين اللتين فيها تنشق المسامتان فأدر العنكبوت على الصفيحة التي للعرض المقصود فيه معرفة ذلك وانظر ما يمر من درج الربع الربيعي والربع الصيفي على نقطة ص من المقنطرات وهي غايتها وتكون^٤ هذه النقطة في صفائح هذه البلاد ذوات الظلين فيما بين مداري الحمل والسرطان. فإذا عرفت الدرجتين المارتين على نقطة ص فإن ربيعيتها هي التي فيها أولى المسامتين^٥ وصيفيتها للمسامته الأخرى، والمدة بينها هي التي فيها تسير^٦ الشمس، ما بين الدرجتين، فخذ لها بالتقريب لكل درجة منه يوماً. (٣-٤-٥) وأما النوع الثاني منها وهي التي تفضل عروضها على الميل الأعظم فلا تسامت الشمس شيئاً منها ولا يوجد فيها طرف ظل المقياس |٢٥| ظ في ظل النهار نحو الجنوب كما يكون في ذات الظلين إلى الشمال مرة وفيما بين المسامتين نحو الجنوب أخرى. (٤-٤-٥) وأما العرض^٧ المساوي للميل الأعظم فهو مبدأ النوع الثاني إلا أنه يتصور منه أنه كالمتوسط بين النوعين لأنه يشبه ذوات الظلين^٨ بحصول المسامته فيه مرة واحدة في رأس السرطان ويشبه ذوات الظل الواحد إذ لا يوجد للمقياس فيه ظل نحو الجنوب في نصف النهار ونقطة ص لهذا^٩ العرض تكون على محيط مدار السرطان نفسه وفي ذوات الظل الواحد داخل هذا المدار. (٥-

^٧ العرض: عرض

^٨ هـ، نـ: الظلين

^٩ لهذا: ل هذا

^٤ تكون: يكون

^٥ المسامتين: المسامتين و

^٦ يسير: تسير

^١ نقطتي: نقطه

^٢ السامت

^٣ ميلين: مثلين

(٣-٥) الفصل الثالث: في معرفة بعد الكواكب^١ عن معدل النهار

(١-٣-٥) أما بُعد الشمس عن معدل النهار فهو ميل^٢ درجتها وليس يلتفت^٣ إلى ما سورها من السيارة في هذا الباب. وأما الكواكب الثابتة فما كان مريه معمولاً في الأسطرلاب، فإن معرفة بعده عن معدل النهار هو أن تضع مريه على خط وسط السماء فما كان بينه وبين مدار الحمل من المقنطرات، فهو بعد المطلوب ويسمى ميلاً له وميل مجزي. وانظر لجهته إلى رأس مريه فإن وقع داخل مدار الحمل في الأسطرلاب الشمالي أو خارجه في الجنوبي فإن ذلك البعد في الشمال، وإن وقع خارج مدار الحمل في الشمالي أو داخله في الجنوبي فهو في الجنوب. (٢-٣-٥) وما لم يكن له مري في الأسطرلاب فلا سبيل إلى معرفة هذا المطلوب فيه إلا أن تكون^٤ في الأسطرلاب صفيحة لعرض ستة وستين جزءاً وربع جزء وسدسه وقد خطت^٥ فيها مقنطرات الارتفاع والانحطاط | ٢٤ ظ | معاً واختر على كليهما دوائر السموت،^٦ فإن كانت فيه على هذه^٧ الصفة، فضع مري رأس الجدي أو السرطان على خط وسط السماء وحصل الدائرة المارة على درجة^٨ الكوكب المفروض الذي خلا العنكبوت عن مريه من دوائر السموت،^٩ ثم عدّ عليها بالمقنطرات عرض الكوكب من عند درجته في المنطقة، أما إن كان عرضه شمالياً ففي الأسطرلاب الشمالي إلى داخل المنطقة وفي الجنوبي إلى خارجها وإن كان عرضه جنوبياً ففي الشمالي إلى خارج المنطقة وفي الجنوبي إلى داخلها حيث انتهيت فهو موضع مري ذلك الكوكب في الصفيحة. فحوله إلى المنطقة، الصق^{١٠} كاغدة متينة بالشبه^{١١} عليها محددة الطرف يطابق طرفها مري الكوكب المعلم في الصفيحة، ثم أدر العنكبوت حتى يوافي طرف الكاغدة خط وسط السماء واعتبر به ما تقدم في الكوكب المثبت في الأسطرلاب. (٥-٣-٣) وإن أردت أبعاد السيارة فاعمل لها بدرجتها وعروضها في جهتها مثل هذا العمل حتى يظهر لها المري واعمل به ما تقدم. (٤-٣-٥) في الأسطرلاب الزورقي ضع حرف العمود المستقيم على وسط دائرة ذلك الكوكب وعلم على ما وافاه^{١٢} منه فتنوب هذه العلامة عن مريه، فإن^{١٣} تضعها^{١٤} على خط وسط السماء وتعدّ منها في المقنطرات إلى مدار الحمل فيكون بُعد ذلك الكوكب عن معدل النهار.

^{١٣} فإن: بان
^{١٤} تضعها: يضعها

^٩ السموت: السموات
^{١٠} الصق: الصادق
^{١١} بالشبه: بالشبه
^{١٢} وافاه: وفاه

^٥ خطت: خط
^٦ السموت: السموات
^٧ — هذه: ه، صح: هذه
^٨ درجة: درجتنا

^١ الكواكب: الكوكب
^٢ ميل: مثل
^٣ يلتفت: يلتفت
^٤ تكون: يكون

سبعة عشرة جزءاً ٢٣ ظ في الشمال للدرجة السابعة عشرة^١ من الثور وبعدها عن أول الحمل إلى التوالي سبع وأربعون درجة فهو أيضاً ميل الدرجة الثالثة عشرة^٢ من الأسد في الشالي فإن بعدها عن أول الميزان إلى خلاف التوالي سبع وأربعون درجة أيضاً وهو ميل كل واحدة من الدرجة السابعة عشرة^٣ من العقرب^٤ والثالثة عشرة^٥ من الدلو نحو الجنوب. فالذي في الربع الربيعي من أول الحمل إلى آخر الجوزاء متزايد صاعد وفي الصيفي بعده متناقص هابط وفي الخريفي متزايد هابط وفي الشتوي متناقص صاعد.

(٥-٢-٣) وفي الأسطرلاب الزورقي تعرف ذلك بأن تضع حرف العمود المستقيم على تلك الدرجة وتعلم عليه علامة ثم تدير الزورق^٦ حتى تضع تلك العلامة على خط وسط السماء وتعد ما بينها وبين مدار الحمل من المقطرات، فيكون ميل^٧ الدرجة.

(٥-٢-٤) فإن كان الأسطرلاب مجيب الظهر وفي ربع الجيوب^٨ منه حول القطب ربع دائرة صغيرة فهي دائرة الميل الأعظم. ومعرفة ميل الدرجة منها أن تأخذ أقرب بعد الدرجة من أقرب نقطتي^٩ الاعتدالين إليها عن جنبتيها أعني التوالي وخلافه، ولن يفضل هذا البعد على تسعين درجة، فعد مثله من أول أجزاء الربع الذي فيه الجيوب^{١٠} وضع طرف العضادة المحرفة على المبلغ وتعلم على ممر الحرف من دائرة الميل ثم انظر الجيب المار على تلك العلامة أين ينتهي من أجزاء الربع فما كان فهو ميل الدرجة. (٥-٢-٥) وفي عكس ذلك إذا كان الميل معلوماً وأريد بعد درجته من نقطة الاعتدال، تعد من أول الأجزاء ٢٤ و التي لربع الجيوب^{١١} مثل الميل المعطى وتنظر^{١٢} الجيب الخارج من منتهاه أين يقطع دائرة الميل فتعلم عليه فيها، ثم تضع حرف العضادة على العلامة، فما قطعه مرسمها من أجزاء الربع، فهو بعد الدرجة التي لها ذلك الميل عن الاعتدال. (٥-٢-٦) فأما أي اعتدال هو والبعد إلى التوالي هو وإلى خلافه فلن يعلم إلا بعد معرفة الفصل من السنة. فإن كان ربيعاً فالبعد إلى التوالي من أول الحمل وإن كان صيفاً فهو إلى خلاف التوالي عن أول الميزان وإن كان خريفاً فهو عنه إلى التوالي وإن كان شتاء فهو <من> أول الحمل إلى خلاف التوالي.^{١٣}

^{١٣} التوالي: التوالي

^٩ نقطتي: تقطي

^{١٠} الجيوب: الجنوب

^{١١} الجيوب: الجنوب

^{١٢} تنظر: ينظر

^٥ عشرة: عشر

^٦ الزورق: الزورقي

^٧ ميل: مثل

^٨ الجيوب: الجنوب

^١ عشرة: عشر

^٢ عشرة: عشر

^٣ عشرة: عشر

^٤ العقرب: العرب

فانظر في خط وسط السماء كم بين مدار الحمل وبين أحد مداري الجدي أو السرطان من المقنطرات فذلك هو الميل الأعظم، إن كان ذلك إلى رأس السرطان فهو الشمالي وإن كان إلى رأس الجدي فهو الجنوبي. (٥-١-٢) وإن رمته بتولى الاعتبار فارصد في أواخر الربيع حين يكون أفياء الزوال متصاغرة في شمال المقياس منفصلة، أو متقاطعة في جنوب المقياس منبسطة، ارتفاع الشمس نصف نهار كل يوم متى يتناهي ارتفاعه في كبد السماء ويزمغ الزوال إلى ناحية المغرب ولا يزال. فتجده^١ كل يوم متزايداً إن كان من ناحية الجنوب وعلى ما وجدته بالأمس زائداً إلى أن ينتهي ارتفاع نصف النهار إلى غاية أياماً. ثم يأخذ بعدها في النقصان أو تجده متناقصاً إن كان من ناحية الشمال على ما وجدته بالأمس ناقصاً إلى أن ينتهي ارتفاع نصف النهار إلى غاية أياماً ثم يأخذ بعدها في الزيادة. فإذا وقعت على الغاية التي تعقبها التناقص بعد الزيادة أو الزائد بعد التناقص حفظتها لما بعد. (٥-١-٣) ثم ارصد ارتفاع الشمس | ٢٣ | و نصف نهار كل يوم في أواخر الخريف حين كان أفياء الزوال متزايدة إلى أن يقف أيضاً على مقدار لا تناقص بعدها بل يقف على مقدار واحد ثم يأخذ في التزايد فاحفظ تلك الغاية أيضاً. ثم عد إلى ما حفظت أولاً لأول الصيف. (٥-١-٤) فإن كان حصل التناقص^٢ بعد التزايد فانقصت^٣ منه هذا المحفوظ الشتوي وخذ نصف ما يبقى فيكون الميل الأعظم. وإن كان الصيفي حصل متزايداً بعد التناقص فانقص^٤ الصيفي من مائة وثمانين ثم ألق الشتوي مما بقي وخذ نصف ما يبقى فيكون الميل الأعظم. وإن شئت عند ذلك فانقص كل واحد من المحفوظين من تسعين واجمع ما يبقى منها وخذ نصفه أو اجمع المحفوظين وانقص المبلغ من مائة وثمانين ونصف ما يبقى، فيكون في جميعها الميل الأعظم.

(٥-٢) الفصل الثاني: في معرفة حصة كل درجة من الميل

(٥-٢-١) أما في الصفيحة فضع الدرجة على خط وسط السماء وانظر ما بينها وبين مدار الحمل من المقنطرات على هذا الخط فيكون ميل الدرجة، فإن كان موقعاً داخل مدار الحمل في الأسطرلاب الشمالي أو خارجه في الجنوبي فإن ميل^٥ تلك الدرجة شمالي وإن كان في الأسطرلاب الشمالي خارج مدار الحمل وفي الجنوبي داخله فإن ذلك الميل جنوبي^٦. والميل الكلي الأعظم لا يكون إلا لدرجتين فقط هما أول السرطان وأول الجدي. وأما الميل الجزئي^٧ الذي للدرجات فإنه مشترك بمقدار واحد لأربع درجات عن جنوبي نقطتي^٨ الاعتدالين أعني أول الحمل والميزان بأبعاد متساوية. (٥-٢-٢) مثالها كان هذا الميل

^٥ الجزئي: الحروي
^٦ نقطتي: قطبي

^٥ ميل: مثل
^٦ جنوبي: جنوبية

^٣ فانقصت: ما نقصت
^٤ فانقص: فانقصت

^١ فتجده: فذه
^٢ التناقص: ناقص

ظ| (الصفحة بيضاء كاملة) | ٢٢ | والقوس. (٧-١-٤) وإن أردت للقوس جيبيها المعكوس^١ فخذ فضل ما بينها وبين التسعين وحصل المستوي لهذا الفضل، فإن كانت القوس أنقص من تسعين فانقص^٢ هذا الجيب من ستين وإن كانت القوس أزيد على تسعين فزد هذا الجيب عليه^٣ وما حصل بعد الزيادة أو النقصان فهو الجيب المعكوس لتلك القوس.

(٢-٤) الفصل الثاني: في معرفة القوس للجيب المستوي والمعكوس

(١-٢-٤) إذا كان معك جيب مستو وأردت قوسه فضع النصف الستيني على خط الانتصاب وخذ من أجزائه المرقومة، وهي من عند القطب، مثل الجيب الذي معك وانظر الخط المستقيم الخارج من المنتهى أين مبلغه من أجزاء الارتفاع، فما كان فهو قوس ذلك الجيب المستوي. (٢-٢-٤) وإن لم تكن خطوط الجيوب فيه مخطوطة ونصفا العضادة منقسبان بأقسامها فضع النصف الستيني على أحد الخطين المذكورين وعد منه مثل الجيب المستوي الذي معك وعلم عند المنتهى عن الخط علامة ثم أدر العضادة حتى يطبق نصفها التسعيني على هذا الخط، فما وافى العلامة من أقسامه فهو قوس ذلك الجيب المستوي. (٣-٢-٤) فإن كان الجيب معكوساً وأردت قوسه فخذ فضل ما بينه وبين الستين واعرف له القوس كما تقدم في المستوي فإن كان الفضل للستين على ذلك الجيب فانقص هذه القوس من تسعين وإن كان الفضل للجيب على الستين فزد القوس على تسعين، فتحصل^٤ بعد الزيادة أو النقصان قوس ذلك الجيب المعكوس. ومهما كان الجيب في كلي النوعين^٥ مستوية ومعكوسة ستين سواء كانت^٦ قوسه تسعين سواء | ٢٢ | ظ| كما أنّ القوس إذا كانت تسعين سواء فجيبيها في كلي النوعين ستون سواء.

الباب الخامس

(١-٥) الفصل الأول: في معرفة الميل الأعظم في جهتي الشمال والجنوب

(١-١-٥) الشمس تقرب من سمت رؤوس سُكَّان معمورة الأرض في ناحية الشمال صيفاً وتبعد عنهم نحو الجنوب شتاء بميل لها في هاتين الجهتين متساوي المقدار لا يتعدى حدّيه وكل واحد يستوي لها ميلاً^٨ أعظم. ومتى أردته من الصفيحة،

^٧ و: او
^٨ شطب الكاتب كلمة
«عطي».

^٤ فتنصل: فيحصل
^٥ النوعين: النوعي
^٦ كانت: كان

^١ المعكوس: العكوس
^٢ + و
^٣ عليه: على

طرفها لشد شاقول منه يمنعها عن الامتناع ويقوي تدليتها. فإذا أخذ الارتفاع بهذه الصفيحة كان ممر هذه العضادة على ضلعي المربع قائماً مقام ممر عضادة الأسطرلاب المحرفة عليها.

الباب الرابع

(١-٢) الفصل الأول: في معرفة جيب القوس المفروضة مستويًا ومعكوساً

(١-١-٢) القوس طائفة من محيط الدائرة، وترها هو الخط المستقيم الواصل بين طرفيها، وجيبها المستوي هو نصف وتر ضعفها، وجيبها المعكوس هو سهم ضعفها، فوتر القوس إذن يقوي على جيبها المستوي والمعكوس. (٢-١-٢) والجيوب في الأسطرلاب خطوط مستقيمة على ظهره متوازية تخرج من كل واحد من أجزاء الارتفاع على^١ | ٢١ | موازاة^٢ الخط الأفقي. فيقسم نصف قطر الانتصاب تسعين قسماً مختلفة. (٣-١-٢) ينقسم بمثلها أحد نصفي العضادة ويسمى نصف التقويس أو النصف التسعيني ثم يقسم نصفها الآخر بستين قسماً متساوية ويسمى نصف التجيب أو النصف الستيني. (٤-١-٢) ورتباً تخرج معها من أجزاء الارتفاع أمثالها موازية لخط الانتصاب. ثم إن منهم من يقتصر في الجيوب على ربع الارتفاع الأيسر ومنهم من يفعل ذلك في كلي الربعين الأعلىين حتى يصير النصف كله مغرباً. (٥-١-٢) فإن كانت^٣ معك قوس معلومة وأردت جيبها المستوي وإن كانت القوس تسعين جزءاً سواء فحجبها ستون جزءاً سواء ويسمى الجيب كله. وإن كانت أقل من تسعين^٤ جزءاً فضع النصف الستيني على خط الانتصاب وخذ من أجزاء الارتفاع مثل تلك القوس وانظر الخط الخارج من المنتهى أين يبلغ^٥ من الأجزاء المرقومة على حرف العضادة المبتدئة من عند وسط القطب فما كان فهو عدد جيبها المستوي. وإن كانت القوس أكثر من تسعين ألفتها من مائة وثمانين^٦ ثم أخذت الجيب لما يبقى كما تقدم فيكون الجيب المستوي لتلك القوس التي معك. (٦-١-٢) وإن لم تكن الجيوب^٨ مخطوطة في ظهر الأسطرلاب ثم كان حرفا نصفي العضادة منقسمين كما ذكرنا، فضع حرف النصف التسعيني على أحد خطي الانتصاب والأفقي وخذ من أقسامها المختلفة المبتدئة من عند وسط القطب مثل عدد القوس التي أعطيتها^٩؛ فحيث انتهت فعلم على الخط علامة وأدر العضادة حتى يطابق حرفها الستيني ذلك الخط فما وافى من أقسام^{١٠} تلك العلامة فهو عدد الجيب المستوي لتلك | ٢١ |

^{١٠} أقسام: اقسامه

^٧ ثمانين: ثمين

^٨ الجيوب: الجنوب

^٩ أعطيتها: اعطيته

^٤ تسعين: سبعين

^٥ أجزاء: أجزاء

^٦ يبلغ: تبلغ

^١ على

^٢ موازاة: موازان

^٣ كانت: كان

(٣-٣) الفصل الثالث: ١ | ٢٠ | في استعمال ظل السلم

(٣-٣-١) هذا الظل مربع في الربع المقابل لربع الارتفاع، أحد زواياه على المركز والزاوية التي تقابلها على منتصف الربع، وضلعاه^٢ الأقربان في المحيط كل واحد مقسوم بأقسام مقياس الظل معدودتان من عند القطرين أعني الخط الأفقي وخط الانتصاب. فيجتمع منتهى العددين عند المحيط ويكون أحد هذين الضلعين نحو الأرض والآخر منتصباً عليه ومكتوب في وسط المربع على قطره عدد الأصل للتقسيم. إن كان الظل أصابع، مائة وأربعة وأربعين، وإن كان أقداماً منكسرة، فإثنان وأربعون وربع. لا يكون هذا المربع إلا في الأسطراب محرف العضادة. (٣-٣-٢) فإذا كان مخطوطاً فيه على ظهر الأم وأعطيت ارتفاعاً للشمس وأريد الظل المستوي لوقتئذ، فضع مري العضادة على مثل الارتفاع المعطى وانظر إلى حرفها المار على أي الضلعين وقع. فإن كان وقع على أسفلها، فعدده هو الظل؛ وإن وقع على المنتصب، فاقسم على عدده ما هو موضوع في وسط المربع أصلاً للقسمة فيخرج الظل، فإن كان بمقدار الجنس المطلوب فذاك وإلا فحوّله إليه. (٣-٣-٣) وفي عكس ذلك إذا أعطيت ظلاً وأريد ارتفاع الشمس لوقته فإن كان الظل بالمقدار الذي في الأسطراب وإلا فحوّله إليه. ثم إن كان غير فاضل على المقياس، فضع حرف العضادة على مثله في الضلع الأسفل فيوافي المري الأعلى الارتفاع المطلوب. وإن كان الظل المعطى المحول أكثر من المقياس، فاقسم عليه عدد الأصل للقسمة، فما خرج فضع حرف العضادة على مثله من الضلع المنتصب، فيري المري مقدار الارتفاع في أجزاء.

(٣-٣-٤) وإن أعطيت ما ارتفع على | ٢٠ | ظ | جدار من ظل آخر يقابله، فانظر كم فيه سمك الجدار المظلل بأقسام الظل الذي أعطيته وألق منه الظل المعطى وما بقي فاضره^٣ في مقياس الظل الذي في الأسطراب واقسم المجتمع على بعد الجدار المظلل فيخرج المحول. فإن ساوى هذا المحول المقياس فالارتفاع خمسة وأربعون جزءاً، وإن قصر المحول عن مقدار المقياس فضع^٥ حرف العضادة على مثله من الضلع المنتصب فيوافي المري الارتفاع. وإن فضل المحول على المقياس فاقسم عدد الأصل على المحول، فما خرج فضع حرف العضادة على مثله من الضلع الأسفل وانظر ما وافق المري من الارتفاع فهو المطلوب. (٣-٣-٥) وربما لم يكن المربع مخطوطاً على ظهر الأم ولكنه كان على ظهر صفيحة القمر على مركز غير القطب وقد تدلت^٦ منه عضادة سلسلة الحركة محرفة دقيقة بطول قطر هذا المربع سهلة الدوران على قطبها مثقوب

^٥ فضع: وضعت
^٦ تدلت: بدليت

^٣ فاضره: ما ضربه
^٤ بعد: سمك

^٢ وضلعاه: وضلعها؛ ه، ن: خ
وضلعاه

^١ الفصل الثالث

المحوّل عنه فيصير ما يخرج من القسمة محوّلاً إلى جنس الظل الذي في الأسطرلاب، فتعمل به ما ذكرنا حتى يخرج لك الارتفاع. وإن شئت في تحويل الأصابع إلى الأقدام الصحاح فنصف الأصابع وزد على النصف سدسه، وإلى الأقدام المنكسرة فزد على الأصابع نصف سدسها ونصف المبلغ. وأما في تحويل الأقدام الصحاح إلى المنكسرة فانقص منها نصف سبعمها وإلى الأصابع فانقص من ضعفها سبع الضعف. وأما في تحويل الأقدام المنكسرة إلى الصحاح فزد عليها جزءاً من ثلاثة عشر منها وإلى الأصابع فانقص | ١٩ ظ | من ضعفها جزءاً من ثلاثة عشر من الضعف. فإذا حوّلت الظل إلى جنس الذي في الأسطرلاب فقد تهيأ لك استخراج الارتفاع منه على ما تقدّم وهذا في الظل المستوي المستنبط على وجه الأرض من المقياس القائم عليه. (٣-١-٥) وفي عكس ذلك إذا أعطيت ارتفاعاً وأريد ظله فضع مري العضادة على مثل ذلك الارتفاع المعطى وانظر إلى مربها الآخر أين وقع من أجزاء الظل فهو المطلوب. إن كان في الأسطرلاب من الجنس المُفْرَج وإن لم يكن فحوّله إليه كما تقدم.

(٣-٢) الفصل الثاني: في معرفة الارتفاع والظل المعكوس أحدهما من الآخر

(٣-٢-١) الظل المعكوس هو ما وقع على جدار مواجه للشمس من مقياس موتود فيه قائم عليه ولم يعهد معمولاً^١ في الأسطرلاب. والرسم فيه أن ينقسم مقياسه ستين قسماً متساوية وتسمى أقسام الظل بها أجزاء. فإن أعطيت ارتفاعاً للشمس مفروضاً وأريد ظله المعكوس، فانقص ذلك الارتفاع من تسعين وضع مري العضادة من أجزاء الارتفاع على مثل ما يبقى وخذ ظله بالمري الآخر واضربه في ستين واقسم المبلغ على مقياس الظل الذي في الأسطرلاب فما خرج فهو الظل المعكوس للارتفاع المعطى. وفي عكسه إذا أعطيت ظلاً معكوساً وأريد ارتفاعه فحوّله أولاً إلى الظل الذي في الأسطرلاب بأن تضربه في مقياسه وتنقسم المبلغ على ستين فما خرج تضع المري من أجزاء الظل على مثله وتنظر المري الآخر على كم وقع من أجزاء الارتفاع، فإن كان نقصته من تسعين فتفي الشمس لذلك الظل.

^١ في معمولاً

فيه المري خط المشرق والمغرب فهي منحطة انحطاطاً أقل من ذلك الكلي. ومتى كان هذا الكلي محصلاً لما هناك محفوظاً، ثم زيد على ارتفاعها الموجود في الجبل صار من عند أفقه المنحط عن أفق سفحه.

(٢-٢) الفصل الثاني: في انحطاط الأشياء المعيّنة على الأرض عن المواضع المرتفعة

(١-٢-٢) أما هذا الانحطاط فإنّ المنظور إليه مهما قرب وإن قلّ اعتلاء موضع الناظر فإنه يتجاوز كسور الجزء الواحد إلى أضعافه. فمتى كنت في موضع مرتفع عال^١ عن وجه الأرض مُشرف على موضع يعين لك أو شيء على وجهها مشار إليه، فانظر نحوه من الثقبين أو بالأنبوبة، والأسطرلاب يعلّق من يسارك^٢، فإذا رأيته كان ارتفاع مري العضاءة في أجزاء الارتفاع مساوياً لانحطاط ذلك الشيء.

الباب الثالث

(١-٣) الفصل الأول: في معرفة الارتفاع والظل المستوي أحدهما من الآخر

(١-١-٣) الظل، تكون في الأسطرلاب على محيط الربع المقابل لربع الارتفاع أقساماً غير متساوية ومن |١٩| و^٣ عند خط الانتصاب مبتدئة. ربّما كانت أصابع إذا انقسم مقياسه^٤ باثني عشر قسماً متساوية > أو كانت أقداماً، فعلى نوعين، أحدهما أن ينقسم بسبعة أقسام متساوية < ويسمى صحاحاً وسباعية، والآخر على أنه منقسم بستة ونصف ويسمى منكسرة. (١-٢-٣) ومعرفة حال ما يكون منه معمولاً في الأسطرلاب من أي جنس هو يكون بأن تضع^٥ مري العضاءة على خمسة وأربعين جزءاً من أجزاء الارتفاع وتنظر^٦ <على> ماذا^٧ وقع مرّحها الآخر من أجزاء الظل، فيكون عدة أقسام المقياس الذي به عمل الظل. فإن كان ما وقع عليه اثني عشر فالظل المعمول أصابع، فإن كان سبعة فهو أقدام صحاح، وإن كان ستة ونصف فهو أقدام منكسرة. (٣-٢-٣) ثم إن كان الظل الذي تعطاه^٨ من جنس الذي في الأسطرلاب فضع مري العضاءة على مقدار الظل المعطى وانظر إلى مرّحها الآخر على كم وقع من أجزاء الارتفاع، فهو ارتفاع الشمس في الوقت الذي كان الظل فيه على المقدار الذي أعطيته. وإن لم يكن الظل المعطى من جنس الذي في الأسطرلاب، وجب عليك أن تحوّله أولاً إليه ثم تعمل به ما ذكرنا. (٤-١-٣) وتحويله أن تضربه في المقياس المحوّل إليه وتقسّم ما اجتمع على المقياس

^٧ ماذا: ماذي

^٨ تعطاه: يعطاه

^٥ تضع: يضع

^٦ تنظر: ينظر

^٣ + ومن

^٤ مقياسه: وقياسه

^١ عال: عالي

^٢ يسارك: يسارك

(٣-١) <الفصل الثالث>: في معرفة ارتفاع رؤوس الجبال والحيطان

(١-٣-١) أخذ ارتفاع الجبال والأبنية من المنارات والأهرام وأمثال ذلك على مثال ما تقدم في قياس | ١٨ | و^١ ارتفاع الكواكب بأن تنظر من ثقبتي^٢ العضادة بفرد عين أو في جوف الأنبوبة إلى قلة الجبل أو طرف المنارة أو ذروة الهرم حتى تراها فيكون ما وقع عليه مري العضادة هو ارتفاعها في مقام الرصد.

<الباب الثاني>

(١-٢) الفصل الأول: في معرفة انحطاط الشمس عن الأفق بحسب شموخ الجبال

(١-١-٢) الخلاف بين ارتفاعي الشمس المأخوذين معاً في وقت واحد أحدهما في قلة جبل والآخر في سفوحه واجب اضطراراً إلا أن أصغر مقدار شهوق الجبال عند عظم الأرض، تنقل ذلك الاختلاف بينها؛ كما أن أصغر الأرض بحيث عظم فلك الشمس يستوي بين الوجود في مركز الأرض وبين الوجود على ظهرها في الحس. (٢-١-٢) ولكن الآلة المقيس بها الارتفاع إذا عظمت حتى تجزّت أجزاءها وشمخ الجبل أخرج ذلك الاختلاف إلى الحس. وحكى أبو الطيب سند بن علي أنّ المأمون أمره وأنه فعل ذلك فوجد لها^٣ انحطاطاً (؟) عن خط المشرق والمغرب وأنه عرض ذلك على المأمون فأراه به طريق معرفة قطر الأرض. (٣-١-٢) وكذلك اقتنينا بأرض الهند في جبل لم يعل جداً ولم يبلغ ذرعان عموده الألف وقسنا في قلته طبقى السماء والأرض في المنظر، فوجدنا انحطاطه عن الأفق في سفحه خمسين جزءاً وسدسه. (٤-١-٢) فلهب أنّ الجبل أعظم ما يمكن من علوه مثل جبل دنباوند بطبرستان والحويرث بأذربيجان وقاقوس بأرض الروم ليكون هذا الانحطاط فيه أظهر، فإذا قيس في ذروته بثقبتي الهدفتين | ١٨ | ظ^٤ جرم الشمس وقد طلع نصفه أو غرب نصفه، وجد مري العضادة منحطاً عن الخط الأفقي بمقدار هو انحطاط الأفق هناك غير متغير القدر ونسبته لذلك^٥ كلياً. (١-٢-١-٥) فإن كان الربع المنحط فيه مري العضادة مقسوماً بمثل أقسام ربع الارتفاع فقد حصل من أجزائه مقداره، وإلا وجب أن تعلق الأسطرلاب بيسارك وتجعل ربع الارتفاع نحو وجهك ثم تقيس الشمس، فما ارتفع مري العضادة في ربع الارتفاع فهو مقدار انحطاط الأفق هناك عن الحسي في السفح. ومادامت الشمس فيما بين موضع طلوعها وبين الموضع الذي يبلغ

^٤ ونسبته ذلك؛ ه، ن: ه، ونسبته لذلك

^٣ لها: اها؛ ه، ن: لها

^١ + في قياس

^٢ ثقبتي: ثقبتيين

وإن نقص عن الأول، فالأول يمكن أن يكون غربياً إذا كان أنقص من ارتفاع نصف النهار؛ وذلك موكول إلى ما سيجيء من استخراجها فيما بعد، أو من دفتر السنة المثبت فيه غاية ارتفاع الشمس نصف نهار كل يوم من أيامها، ويمكن أن يكون الأول لنصف النهار إذا ساوى المعلوم منه، ويمكن أن يكون الأول شرقياً إذا ساوى الثاني وقصر اتفاق^١ ارتفاع نصف النهار. ويجب أن لا يكون هذا الإهمال كثيراً، فليس يؤمن عند ذلك الزلّة^٢ والخطأ من زيادة الارتفاع الغربي على الأول وهو شرقي إذا تخللها ما هو أعظم من كل واحد منها.

(٢-١) الفصل الثاني: < في أخذ ارتفاع الكواكب

(١-٢-١) وأما ارتفاع الكواكب، فليس يشغل فيه بالكواكب السيارة لمشاهدة^٣ فيها من أحوال | ١٧ ظ | القمر إلا أن ينظر إليه ويخاف فوت الوقت. وكذلك فليس يقصد من الكواكب الثابتة إلا ما هو منها مثبت في الأسطرلاب بمريه واسمه، وإلا عدل فيه عن العمل به إلى الحساب الذي تضمنه الأزياج. (٢-٢-١) وإن أردت أخذ ارتفاع كوكب وليس للكوكب من الضياء ما يمكن به استعمال ما تقدّم، فعلق الأسطرلاب بيمينك مخلى وقابل لربع الارتفاع ذلك الكوكب وارفع إليه طرف العضادة الأعلى وانظر نحوه من ثقبه اللبنة السفلى بفرد عين والأخرى مغمضة وارفع العضادة إليه وخطها حتى ترى^٤ ذلك الكوكب^٥ بكليتي الثقبين. ثم انظر حينئذ إلى مري العضادة على كم وقع من أجزاء الارتفاع كما فعلت في الشمس، فما كان فهو ارتفاع الكوكب وقتئذٍ شرقية وغربية معلومة على مثل ما تقدم في الشمس. (٣-٢-١) وقد يكون على ضلعي اللبنتين الأعلىتين^٦ ثلثة، فوق الثقب، يسهل منها إدراك الكواكب. ومتى تعدّر عليك النظر في كليتي الثقبين، فخذ أنبوبة فضية جوفاء دقيقة تكون سعة تجويفها ستة عدسة وينبغي أن تكون على غاية الاستواء والاستقامة وتقي داخلها من القشور. ثم ألزقها بشبه^٧ إلى جنب العضادة بطولها من أي جانبيها كان. ثم أدر العضادة وانظر في جوف الأنبوبة بفرد عين، كما كنت تنظر في الثقبين أو الثلمتين، فإذا أدركت الكوكب من داخلها فقد وقع مري العضادة على ارتفاعه.

^٧ بشبه: شبة

^٥ الكوكب: الكواكب
^٦ الأعلىتين: الاعلتيين

^٣ لمشاهدة: لمشابه
^٤ ترى: يري

^١ اتفاق: امتاع
^٢ الزلّة: الزلية

(١-١-٦) فإن القطب بفرسه إذا توسّط بين الهدفين أحوج في أخذ الارتفاع إلى قلب القطب حتى |١٦ ظ| شدّ بفرسه على ظهر أم الأسطرلاب ويخلو الوجه عن الموانع. وإذا كانت اللبتان على الصورة فلا بُدّ من عمود فيما بينهما في الوسط مثل ما في الزورقي يري الارتفاع أو خط من قطر يتوسطهما يقوم ما على الطوق منه مقام المري. (١-١-٧) والرسم في أجزاء الارتفاع التسعين أن يقسم بها الربع الذي من الكرسي إلى نحو اليسار. ويكون ابتداء الأرقام من عند الخط الأفقي المعروف بخط المشرق وعلى الظهر ومنتهاهما عند منتصف الكرسي. فتستعملها العضاءة التامة والمحرفة^١ والصفحة القمرية إن كان مريا الارتفاع فيها عند الهدفين. وأما إن كان مري الارتفاع في هذه الصفحة في منتصف ما بين الهدفين من محيطها فإنّ أجزاء الارتفاع تكون^٢ في الربع الذي من الكرسي إلى جانب اليمين وابتداء الأرقام من عند الكرسي وانتهاءها عند خط المغرب.

(١-١-٨) فإن أردت معرفة ارتفاع الشمس في وقت ما من النهار فعلق الأسطرلاب بيمينك^٣ مخرّجاً وقابل بالربع الأيسر من الكرسي عين الشمس ليواجهك ظهر الأسطرلاب مرمى ما يكون في العضاءة. ثم انظر إلى الشعاع الداخل من ثقب الهدفة العليا أين وقع، فإن طابق ثقبه السفلى فهو المطلوب. وإن وقع فوقها أو تحتها حرّكت العضاءة وأدرت طرفها الأسفل إلى ظل اللبنة العليا رفعاً أو خفضاً حتى ينتهي إليه وينطبق عليه، ويقع الضوء من ثقبه العليا على ثقبه السفلى. فإذا حصل كذلك نظرت إلى مري العضاءة الأعلى أين بلغ من أجزاء الارتفاع. ويعرف ذلك بسهولة من أعداد الخمسات التامة المكتوبة فوقها مزيداً عليها ما قطع المري من الخمسة الناقصة |١٧ و| فما كان فهو ارتفاع الشمس لوقتئذ. وإن كان مري الارتفاع على محيط صفحة القمر متوسطاً للبتين فما زال عن خط الانتصاب المنتصف للكرسي نحو الربع الأيمن فهو ارتفاع الشمس. (١-١-٩) هكذا أخذ ارتفاع القمر إن كان باهر النور مظلاً للأرض بأشخاصها على أنّ ذلك لا^٤ يكاد يستعمل إلا عن ضرورة لفساد العمل به من أجل اختلاف منظره وسرعة حركته وتغيير موضعه وعرضه. (١-١-١٠) وإن كانت الهدفتان على العنكبوت فليكن وجه الأسطرلاب إليك.

(١-١-١١) فأما معرفة جانب الارتفاع أهو شرقي أم غربي، فلا يخفى على من أحس بدورانها إلا بالقرب من نصف النهار وعند ذلك يجب أن يهمل هنيهة ثم يعاد أخذ ارتفاع الشمس، فإن زاد على الأول فالأول شرقي، فإن ساواه فكذلك.

٤ لا: الأ

٣ بيمينك: ليمينك

٢ تكون: يكون

١ المحرفة: الحرفة

الباب الأول

(١-١) الفصل الأول: في أخذ ارتفاع الشمس

(١-١-١) الارتفاع في الأشخاص السائية هو أقصر بُعد كروي بين المرتفع الذي يقاس به وبين دائرة الأفق، فإذاً هو قوس من دائرة عظمى قائمة على الأفق بينه وبين المرتفع. وتُسبب^١ هذه الدائرة إلى الارتفاع لأنَّ عليها السمو إلى قمة الرأس وهي أعلى ما فيه المسكن. فإن كان الشخص المقيس منحطاً عن الأفق تحت الأرض، فما بينه وبين الأفق من دائرة الارتفاع المذكورة يسمّى انحطاطاً، إن احتيج إلى ذكر دائرته سميت دائرة الانحطاط من أجله. (١-١-٢) والمرتفع إذا كان ذا شعاع، يظهر للأشخاص المنصوبة على الأرض فيه ظل، فارتفاعه بلبنتين متوالي الوجهين ويسمّيان أيضاً هدفين بسبب أنّهما منفذتان^٢ |١٦| في وسطها يدخل الشعاع في عليهما ويقع على سفلاهما. والأسطرلاب في تلك الحالة منسدل معلق بجلقته مخلى. ومنصب الهدفين في ظهر الأسطرلاب إما على عصابة هي قطعة مستطيلة كالمسطرة مسلوكة في القطب بثقبه في منتصفها ولها وراء الهدفين شطّيتان حادثان تسمّى كل واحدة منها مري العصابة ومري الارتفاع لأنّها تريه وتدل عليه.

(١-١-٣) والعصابة على نوعين أحدهما تامة يمر بنصفها القطر المار على القطب فينتصفها بالطول والآخر منصفه بطولها بالقطر المذكور قد اسقط أحد نصفها وترك منه حول القطب قطعة مستديرة يمسكها القطب بها ويسمّى عصابة مخرفة لأنّ مناط أعمال كثيرة على حرفها أو أنّها حرّفت عن التمام إلى النصف وبعض يقول مخرفة لأنّها خرقت بإسقاط النصف كما خرقت العنكبوت بالشبكة؛ (١-١-٤) وإما أن يكون منصب الهدفين على محيط صفحة مخرفة لأعمال القمر ونوره وزيادته ونقصانه أو لكسوفه، وربما شغل ظهر الأسطرلاب بأعمال كأمثال حُق القمر المقنطر فيه إلى أقطاب وأفراس، تمنع العصابة عن الدوران. (١-١-٥) فنصبت الهدفتان من طوق العنكبوت على طرفي العمود المستقيم المار بفلكة القطب. والأصوب فيها أن ينحيتا عن هذا العمود بالتساوي في جهة واحدة لتلا يعترض القطب بينهما. ويمنع عن وصول الشعاع إلى ثقبه الهدفة السفلى كما عمل صانع هذا الأسطرلاب المعقرب وكما لا يزال يعمل في الهلالي^٣ والزورقي.

^٣ الهلالي: الهلال

^٢ منفذتان: منقويتان في

^١ نسبت: سبب

الآخذ عنه يميناً أو^١ شمالاً أو إليها معاً؛ الفصل الرابع: في تعريف^٢ نفر أمقبلون إليك أم مدبرون عنك ومتيامنون هم أم متياسرون؛

الباب العشرون: الفصل الأول: في معرفة قطر الأرض ودورها؛ الفصل الثاني: في تصحيح مواضع الكواكب في أسطرلاب عتيق وهذا آخر الفهرست.

^٢ تعريف: تعرف

^١ أو: و

الباب الرابع عشر: الفصل الأول: في معرفة الطالع بارتفاع الشمس والكواكب؛ الفصل الثاني: في تسوية ما سوى الأوتاد من البيوت؛

الباب الخامس عشر: الفصل الأول: في معرفة السمات في الأسطرلاب المسمت؛ الفصل الثاني: في اتخاذ عدد دائرة السمات؛ <الفصل الثالث>: في معرفة سعة مشرق الشمس والكواكب؛ <الفصل الرابع>: في استخراج خطي نصف النهار والاعتدال؛ <الفصل الخامس>: في كيفية رصد السمات في دائرة الأفق ومعرفة الدائر من الفلك والمطلع^١ <به>؛ | ١٥ |
الفصل السادس: في معرفة سمات القبلة وسمت ما أريد من البلد؛^٢

الباب السادس عشر: الفصل الأول: في معرفة أبعاد الدرجات والكواكب عن الأوتاد؛ الفصل الثاني: في معرفة مطرح شعاع الكواكب إذا اتفق على درجة أحد الأوتاد؛ الفصل الثالث: في مطرح شعاع الكواكب إذا كان فيما بين الأوتاد؛ الفصل الرابع: في تسيير الأدلاء إلى المواضع المفروضة؛ الفصل الخامس: في تحاويل^٣ السنين ومبلغ التسييرات عندنا؛ الفصل السادس: في مطرح الشعاع بالصفحة الملقبة به؛ الفصل السابع: في تسيير الأدلاء بهذه الصفحة؛

الباب السابع عشر: الفصل الأول: في معرفة سمك شخص يوصل إلى أصله بالمثلث القائم الزاوية المتساوي الساقين؛ الفصل الثاني: في معرفة سمك ما يوصل إلى أصله بالمثلث القائم الزاوية المختلف الساقين؛

الباب الثامن عشر: الفصل الأول: في معرفة سمك شخص لا يوصل إلى أصله بارتفاعين لرأسه؛ الفصل الثاني: في معرفة سمك شخص لا يوصل إلى أصله بمقياسين؛^٤ الفصل الثالث: في معرفة سمك شخص لا يوصل إلى أصله بالظل في الأسطرلاب؛

الباب التاسع عشر | ١٥ | الفصل الأول: في معرفة الأبعاد المنقعة^٥ في الأرض الفصل الثاني: في معرفة بعد على وجه الأرض في سمت الطول الذي تسلكه إن توجهت إلى الأمام؛ الفصل الثالث: في معرفة بعد معترض على سمت الطول

^٥ المنقعة: المتقعدة

^٤ بمقياسين: شطب الكاتب

«بالظل في الأسطرلاب»؛

هـ، صح: بمقياسين

^١ المطالع: الطالع

^٢ و

^٣ تحاويل: تحويل

الباب الثامن: الفصل الأول: في معرفة ارتفاع الشمس أو الكوكب في فلك نصف النهار؛ الفصل الثاني: في معرفة ظل نصف النهار وارتفاعه أحدهما من الآخر؛ الفصل الثالث: في معرفة ارتفاعي العصرين بظل المثل والمثلين؛ | ١٤ | الفصل الرابع: في معرفة وقتي طلوع الفجر ومغيب الشفق؛

الباب التاسع: الفصل الأول: في معرفة مطالع البروج والقسي المفروضة في المنطقة في خط الاستواء وعكس ذلك من تحويل هذه المطالع إلى درج السواء؛ الفصل الثاني: في معرفة مطالع درج السواء ومغارها في البلاد ذوات العروض؛ الفصل الثالث: في تقويس مطالع البلد ومغاربه؛

الباب العاشر: الفصل الأول: في اتخاذ موضع الشمس من منطقة البروج؛ الفصل الثاني: في اتخاذ مقتطرات الارتفاع؛ الفصل الثالث: في اتخاذ درجة الطالع ووسط السماء؛

الباب الحادي عشر: الفصل الأول: في تعديل نهار درجة الشمس أو جرم الكوكب^١ الثابت؛ الفصل الثاني: في قوس النهار والليل؛ الفصل الثالث: في تقسيم قوسي النهار والليل بنوعي الساعات؛

الباب الثاني عشر: الفصل الأول: في معرفة درجة الممر وهي التي تمر مع الكواكب على خط وسط السماء؛ الفصل الثاني: في معرفة الدرجة التي تطلع مع الكوكب^٢ والتي تغرب معه | ١٤ | الفصل الثالث: في معرفة ما يطلع أو يغرب من الكواكب بطلوع آخر أو توسطه^٣ السماء؛ الفصل الرابع: في معرفة طلوع الكوكب^٤ أو غروبه أو توسطه السماء أنهاراً يكون أم ليلاً؛ الفصل الخامس: في معرفة وقت طلوع الكوكب^٥ وغروبه أو توسطه السماء من ليل أو نهار؛

الباب الثالث عشر: الفصل الأول: في معرفة الماضي من النهار من قبل ارتفاع الشمس؛ الفصل الثاني: في معرفة الدائر من الفلك من خطوط الساعات المخطوطة على ظهر العضاة؛ الفصل الثالث: في معرفة الدائر من الفلك من خطوط الساعات المخطوطة على ظهر^٦ أم الأسطرلاب؛ الفصل الرابع: في معرفة الدائر بالجيوب؛ الفصل الخامس: في معرفة الدائر وارتفاع الشمس أو الكواكب أحدهما من الآخر؛

^٥ كوكب: كواكب

^٦ + العضاة

^٣ توسطه: توسط

^٤ الكوكب: الكواكب

^١ الكوكب: الكواكب

^٢ الكوكب: الكواكب

مقصودنا ههنا من حل الرتبة الوسطى، فخير الأمور أوسطها. | ١٣ | وأوساط الناس في الأخلاق المعتدلة بين التفريط والإفراط شهداء على غيرهم وفائزون بعيش السعداء بينهم والله الموفق للخير. وقد جدولنا الأبواب وفصولنا ليشتمل في الطلب^١ وجودها.

الباب الأول: الفصل الأول: في أخذ ارتفاع الشمس؛ الفصل الثاني: في أخذ ارتفاع الكواكب؛ الفصل الثالث: في معرفة ارتفاع رؤوس الجبال والحيطان؛

الباب الثاني: الفصل الأول: في معرفة انحطاط الشمس عن الأفق بحسب شموخ الجبال؛ الفصل الثاني: في انحطاط الأشياء المعينة على الأرض عن المواضع المرتفعة؛

الباب الثالث: الفصل الأول: في معرفة الارتفاع والظل المستوي أحدهما من الآخر؛ الفصل الثاني: في معرفة الارتفاع والظل المعكوس أحدهما من الآخر؛ الفصل الثالث: في استعمال ظل السلم؛

الباب الرابع: الفصل الأول: في معرفة جيب القوس المفروضة مستويًا ومعكوسًا؛ الفصل الثاني: في معرفة القوس للجيب المستوي والمعكوس؛

| ١٣ | ظ | الباب الخامس: الفصل الأول: في معرفة الميل الأعظم في جهتي الشمال والجنوب؛ الفصل الثاني: في معرفة حصة كل درجة من الميل؛ الفصل الثالث: في معرفة بعد الكواكب عن معدل النهار؛ الفصل الرابع: في معرفة أي الكواكب يمر على سمت الرأس وأنها يشتمل عنه أو يجتنب؛^٢

الباب السادس: الفصل الأول: في معرفة أي الكواكب يدور في مدار الدرجات أيها لا يدور؛ الفصل الثاني: في معرفة الكواكب الأبدية الظهور والخباء في البلاد؛ الفصل الثالث: في معرفة أصغر ارتفاعي الأبدية الظهور وأعظمها؛^٣

الباب السابع: الفصل الأول: في معرفة عرض البلد بالكواكب الأبدية الظهور فيه؛ الفصل الثاني: في معرفة عرض البلد بالكواكب الطالعة الغاربة فيه؛ الفصل الثالث: في معرفة عرض البلد بالشمس؛

^١ كتب الكاتب «الطلب»،
^٢ أو تجتنب: والحب؛ هـ:
^٣ أعظمها: اعظمها
الطلب
ثم شطب اللام الأولى.

(٥-٨-٠) والأفق يكون مبدءا المقنطرات أعني الدوائر المتداخلة وهي إما للارتفاع وإما للانخفاض. فالتى للارتفاعات

هي الكائنة فوق الأفق للانخفاض فهي^١ الكائنة تحت الأفق ليسترك بينهما حتى يبتديء كل واحد بأعدادها من عنده.

(٦-٨-٠) وإذا استقبلت الأسطرلاب بوجهك والكرسي فوق مواجه جهتك فهو الوضع المستوي. وإذا استقبلته

والكرسي تحت مواجه صدرك فهو الوضع المقلوب وما حاذي الجهة حينئذ فهو قائم مقام. وخط وتد الأرض مكان خط

وسط السماء وانحطاط المشرق باليد اليسرى <يصير ارتفاع المغرب باليد اليمنى و> يصير أفق المغرب في الوضع المستوي

أفق المشرق في المقلوب. وكذلك جهتا خط المشرق والمغرب المستقيم يبدلها بخلافه. (٧-٨-٠) ومقنطرات الانحطاط في

الوضع المستوي إذا قلبت الأسطرلاب تصير مقنطرات الارتفاع^٢ ومقنطرات الارتفاع حينئذ مقنطرات الانحطاط^٣ ويكون

من غير الجنس الذي يسمّى به ذلك الأسطرلاب | ١٢ ظ | أعني أنّ مقنطرات الارتفاع في الشمالي تصير^٤ في القلب

مقنطرات انحطاط لأسطرلاب جنوبي ومقنطرات الانحطاط في الشمالي تصير^٥ في القلب مقنطرات ارتفاع لأسطرلاب

جنوبي وهما في الجنوبي بعكس هذه الصفة. ولهذا قلنا إن شئت سميتها مقنطرات ارتفاع وانحطاط وإن شئت سميتها

مقنطرات مشتملة ومجتنبية بمعنى الإضافة إلى الجنس.

(٨-٨-٠) والأفق بينهما يشترك ويكون مرة مشتملاً وأخرى مجتنباً. ويكون في الأسطرلابات المركبة أفق آخر يسمى

معتزلاً وهو مخالف الوضع للأفق المشترك بالتحديد والتعوير ما. وله مقاطع إياه على مدار الحمل، ولشدة ظهوره للناظر

قلّ ما ينقط على المشترك لأنه إن خلا عن النقط لم يتميز من بين المقنطرات إلا بالأرقام^٦. (٩-٨-٠) ويتعكسان في صفحة

التسطيح أعني أنّ المشترك إن كان شمالي التسطيح كان المعتزض جنوبياً وبالعكس. وتجانسها البروج بموافقة التسطيح

أيضاً وتنافرها مخالفة التسطيح.

(١٠-٨-٠) ولأنّ ما يحتاج إليه من الأسطرلاب هو معرفة درجات الأوتاد من الطالع والغارب ووسط السماء ووتد

الأرض ومعرفة ما يلي الأوتاد من البيوت التي هي الثاني والخامس والثامن والحادي عشر ومعرفة الزوائل الباقية من

البيوت وتحقيق ما مضى من النهار أو الليل. ويكتفي بذلك من تنحط درجته في الصناعة. وبعد ذلك ما لا يستغني عنه

المتوسط الرتبة فيها. وأما عاليها^٧ فلن يشبع من الازدياد منها ولن يرضى إلا بالبراهين فيها. (١١-٨-٠) ونحن نجعل

^٧عاليها: العاليا

^٥تصير: يصير

^٣الانحطاط: انحطاط

^١هي: هو

^٦بالأرقام: بالأوراق

^٤تصير: يصير

^٢الارتفاع: ارتفاع

(٢-٨-٠) والبروج تكون شمالية من وجهين، أحدهما | ١١ ظ | من جهة ميلها^١ إلى هاتين الجهتين؛ فيكون ما في النصف الذي من أول الحمل بالتوالي إلى آخر السنبله شمالي الميل وما في النصف الآخر من أول الميزان بالتوالي إلى آخر الحوت جنوبي الميل، وذلك لها في الفلك ذاتي لا يتغير. والوجه الآخر من جهة القطب والتسطيح، إن كان الأسترلاب شمالياً فبروجه كلها شمالية وإن كان جنوبياً فبروجه كلها جنوبية التسطيح وإن كان مركباً حفظ في كل برج جهته بالوجهين المذكورين معاً. وما يقع في حيز كل برج من الكواكب فتابع لتسطيحه. ومدار الحمل ثابت الوضع في كلي نوعي الأسترلاب فما دار من العنكبوت داخله نحو قطب الأسترلاب فهو في الشمالي مشتمل التسطيح شمالي الميل وما دار خارجه نحو الحجرة فهو مشتمل التسطيح جنوبي الميل. وأما في الأسترلاب الجنوبي فما دار من العنكبوت داخل مدار الحمل فهو محتجب^٢ التسطيح جنوبي الميل وما دار خارجه فهو محتجب^٣ التسطيح شمالي الميل.

(٣-٨-٠) والمري المطلق غير المضاف إلى عضادة أو إلى كوكب من الثابتة، هو شظية بارزة من رأس الجدي في الأسترلاب الشمالي أو من رأس السرطان في الجنوبي تماس الحجرة عند دوران العنكبوت كأن تعدّ أجزائها. وربما يدور بُعد ما بين مدار المنقلب وبين الحجرة إذا اتسعت الصفيحة، فعدم المري المطلق في الأسترلاب ولا بُدّ من أن يتوسطها في العنكبوت طوق مماس للحجرة وعليه خط هو بعض القطر^٤ المار على رأسي المنقلب، فيماس طرفه الحجرة في إدارة العنكبوت وينوب عن مري رأس الجدي أو السرطان في الأعمال. فإذا ذكرنا حينئذ المري عيننا به رأس | ١٢ و | ذلك الخط.

(٤-٨-٠) والأفق هو القوس المقاطعة مدار الحمل على نقطتي^٥ تقاطعه مع خط المشرق والمغرب المستقيم ونصفه الأيسر يسمى أفق المشرق والأيمن أفق المغرب؛ وتقعيره في الأسترلاب الشمالي وتحديه في الجنوبي نحو الكرسي؛ وما فوقه إلى الكرسي هو حيز النهار وما تحته إلى خلاف جهة الكرسي هو حيز الليل. وبذلك يسمى ما فوق الأفق من القطر المنصف للكرسي خط وسط السماء وما تحته منه خط وتد الأرض. وهذه حالة الأفق وصورته في المواضع ذوات العرض. فأما في خط الاستواء، فالأفق هو خط المشرق والمغرب نفسه، وأما في عرض تسعين فهو مدار الحمل نفسه.

^٥ تقطتي: تقطي

^٣ محتجب: محجب

^١ ميلها: مثلها

^٤ القطر: قطر

^٢ محتجب: محجب

١٠ | ظ (٥-٧-٠) وأحسب أنّ الدال على الآفاقية ما عمله بعض الصناعة في الربع^١ الشرقي الجنوبي من المنقطرات وفي الربع المقابل له أعني الغربي الشمالي ما <هو> حصة من خطوط الساعات وفي الربعين الباقيين مثل ذلك لعرض آخر. فاشتمل الوجه^٢ الواحد على عرضين ووجهما الصفيحة على أربعة عروض. ثم زاد عليه آخر بتضعيف ذلك وهو أنه عمل في كل ربع من أرباع الصفيحة أفق عرض بمقطراته فتوالت الدوائر كالبكرات المتوالية الدندانجات ووسع وجه الصفيحة أربعة من العروض. (٦-٧-٠) ثم عملت الآفاقية بعد ذلك حاوية لآفاق أكثر وغير مستعملة بما استقلت به تلك.

(٧-٧-٠) ومن الأسطرلابات | ١١ | ما ركب من نوعيها تركيباً آخر كالصدي والسمكي والسلحفي وأمثالها ولكن من اهتدى لاستعمال الذي تقدم ذكرها سيهتدي بها إلى تلك. (٨-٧-٠) ومنها ما، وإن باينت^٣ المعهود في الصنعة لم تباينه في الاستعمال، وذلك كالمبطخ الذي تولاه يعقوب الكندي وتممه حبش الحاسب. (٩-٧-٠) ومثل الذي عملته^٤ بالتسطيح الأسطواني ولقبته بالحاوي، فإنّ العمل بهما لا يغير العمل بالمعهود. (١٠-٧-٠) ومنها أنواع مستغربة عن التسطيح، وطرفة خارجة تجري مجرى الآلات المستعملة في الساعات والرخامات المعمولة لها وللطوالع وذلك مثل المسطري والصليبي واللولبي وأمثالها.

(٨-٠) مقدمة لبعض ما نريد ذكره من الألقاب: الأسطرلابات البسيطة غير مستغنية عن تلقيب ما فيها وتعريف خطوطها ودوائرها ثم المركبة أمّس حاجة إلى ذلك. فلهذا يجب أن نذكر^٥ من ذلك طرفاً.

(١-٨-٠) فالعنكبوت هو الشبكة المخرقة التي فيها منطقة البروج ومريات الكواكب الثابتة وهي رؤوسها المحددة كرؤوس الشظايا مكتوب عند كل واحد اسم كوكبة. ومكان العنكبوت فوق الصفايح يستدير عليها وهي ثابتة لا تزول وإدارة العنكبوت إما مستوية وهي اليسار إلى الكرسي النائي من الحجرة إلى خارج للتعليق ومن الكرسي إلى اليمين وإما معكوسة وهي من اليمين إلى الكرسي إلى اليسار. وتوالي البروج أن يكون مثلاً من برج الحمل إلى الثور ثم إلى الجوزاء وكذلك إلى آخرها وخلاف^٦ التوالي أن يكون من الحمل إلى الحوت ثم إلى الدلو وكذلك إلى أولها.

^٥ نذكر: يذكر

^٦ خلاف: حلاقة

^٣ باينت: مانت

^٤ عملته: عمله

^١ ربع: ربعي

^٢ الوجه: الواجد

٩ ظ | (٤-٦-٠) وصفائح المقنطرات فيه على مثاله في الأسطرلاب المعهود سواء كان جنوبياً أو شمالياً بزيادة شيء فيه وهو نطاق البروج قد حُطّ فيه قبل تخطيط المقنطرات كما هو في العناكب البسيطة بأساء البروج وأجزائها. وأثبت حولها الكواكب الثابتة بمثل ما يستخرج في العنكبوت الشمالي ثم حُطّت المقنطرات فيها بعد ذلك منقطعة عند البلوغ إلى النطاق وعائدة إلى نظامها عند مفارقة النطاق. فيكون على هذه الصورة التي لوجه واحد من وجوه الصفائح.

١٠ | (٧-٠) **الصفحة الآفاقية:** (١-٧-٠) هذه الصفحة لا تنفرد وإنما تكون في الأسطرلابات الشمالية والجنوبية ولا تقوم بذاتها. وإنما تسند إلى ما ليس من جنس التسطیح من معرفة الدائر من أزمان معدل النهار في الماضي من الليل والنهار بالجيوب وخطوط الساعات التي هي من فن الآلات دون مذهب تسطیح الكرة. (٢-٧-٠) وفيها الآفاق المتناسبة^١ على تعالي تقاطع مدار الحمل مع الأقطار^٢ المربعة الصفحة فإن كانت متوالية تفاضلت في كل ربع بأربعة أربعة وإن تخطت بفضل معلوم صار التفاضل المذكور بمقدار ذلك^٣ التخطي مضروباً في أربعة. وربما لم يعتبر في تفاضلها وتخطيها^٤ نظام واتباع فيها الإرادة لسبب أو غير سبب.

(٣-٧-٠) فن الصناعة من يخط هذه الآفاق تمامه ما وقع منها في الصفحة كلها في جانب اليمين واليسار حتى تكون للمشرق والمغرب معاً. ومنهم من يقتصر على الأنصاف الشرقية من كل أفق ويلقي أيضاً فيها الغربية، ومنهم من لا يكملها ولا ينصفها أيضاً بل يقتصر منها على ما وقع بين مداري السرطان والجدي من القطعة الشرقية من الأفق دون الغربية. وذلك بحسب الاستحسان، لا يتغير به شيء من العمل. وتكون^٥ صورة الآفاقية هكذا.

(٤-٧-٠) ولو شاء شائي <أن> يكثر هذه الآفاق في الوجه الواحد من الصفحة لثن وجهها بأربعة أقطار كما جرى الرسم بتزيعها بالقطرين، فوسّع بها ضعف وسّع بها لو خطّ بالقطرين الزائدين أيضاً^٦. فأما غريبة الآفاق لم يستسمح اشتباكها مع الشرقية الأولى. وازدانت بكل^٧ النقوش^٨ بقدر تمكّن الصانع من لطف الكف والاعتدال بالعلم والعمل على مقاصد الصناعة.

^١ المتناسبة: متناسبة
^٢ الأقطار: الاقطاب
^٣ ذلك: اذلك
^٤ تخطيها: تخطها
^٥ تكون: يكون
^٦ + ايضاً
^٧ بكل: بكا
^٨ النقوش: لنقوش

(٣-٥-٠) بل لو كان نصب في العنكبوت على العمود المستقيم الذي فيه قاعدة الهلال يماسه بطرفيه أو على موضعين في الطوق آخرين لا يتوسطهما القطب والفرس مهدفين مثنوبي الوسط متوازية السطحين على التقابل لنا، ينافي قياس الارتفاع عن العضادة إذا كان مبدأ العدد في الحجرة من مقابلة الكرسي في كل واحد من الربيعين، وخلا له مع ذلك ظهر الأسطراب لما أراد من سائر الأعمال. وهذه عنكبوت الهلالي.

٨ | ظ (٤-٥-٠) وأما مقنطراته في الصفيحة فإنها لا تغاير مقنطرات الأسطراب الشمالي المعهود إلا في شيئين، أحدهما الأفق وهو أن ما كان منه واقعاً خارج مدار الحمل فأيسره هو أفق المشرق وأيمنه أفق المغرب. وما وقع منه داخل مدار الحمل فإن الأمر فيه بالعكس وهو أن أيسره يكون أفق المغرب وأيمنه أفق المشرق. والآخر أنه لما انجزم منه ما تحت الأفق سقطت خطوط الساعات المعوجة عنه، فمن أرادها لم يجد بُدأ^١ من تخطيطها^٢ فوق الأفق ثم نقط عليها متوالية^٣ لتمييز^٤ عن المقنطرات وقت الاستعمال على المهتدي لكيفيات الأعمال، مستغن عنها.

(٥-٥-٠) وكما أزلنا المعايق من العلاقة عن العضادة في الدوران كذلك يجب أن تزال عن العنكبوت، والأصوب له أن يثقب الكرسي للعلاقة من الجانبين دون الوجه ليكون محور العلاقة غايته عن الوجه، وتقع^٥ الحلقة أين أريد من وجه الأسطراب وظهره. وهذه صورة صفيحة المقنطرات في الهلالي.

٩ | و (٦-٠) الأسطراب الزورقي: (١-٦-٠) هذا أسطراب رأيت لأبي سعيد السجزي فيه كتاباً ثم وجدت منه معمولاً صنعة جعفر بن محمد بن جرير غير مورّخ حتى يوقفني التاريخ من أبي سعيد أهو تابع فيه أو متبوع، وكيف ما هو. (٦-٠-٢) فإنه لم يكن مهتدي بحقيقة مبنى الأمر فيه وهو الذي يراه أرجبهه الهندي من حمل الحركة الأولى المديرة للكل من المشرق إلى المغرب دورة في قرب من مدة اليوم بليته على الأرض دون الأثير وبأباه بطلميوس ويناقضه في المقالة الأولى من المجسطي. (٣-٦-٠) فأما الذي عمله أبوسعيد فإنه قد شبّه الأفق فيه بزورق دخله عمود خارج عن الفلك مخرق الحاشية يمر بالمركز وشظية طرفه يماس الحجرة ليقوم في العمل مقام مري رأس الجدي والأفق متصل من داخله بالفلك يوصل كالعادة في عناكب سائر الأسطرابات إذ^٦ الأفق في هذا يقوم مقام العنكبوت في تلك وهو على هذه الصورة.

^٥ تقع: يقع
^٦ إذ: اذا

^٣ متوالية: مواليه
^٤ لتمييز: ليتمر

^١ بدأ: بد
^٢ تخطيطها: اخطيطها

محركان يدار هما العنكبوت وجعلها متوازي الوجهين المتقابلين وثقبتها على مثال ثقبتي البنيتين في العضادة قياساً عنهما في أخذ الارتفاع. (٤-٤-٠) وذلك لأنه كان ينتقل ظهر الأسطرلاب بحُق القمر وأقطابه وأفراسه الدائرة بإدارة قطب الأسطرلاب. فأسقط العضادة من أجلها ووصل أيضاً بهذا الطوق العمود المستقيم المار على الفلكية الوسطانية في العنكبوت مختلفتين عند الملتقى تحريماً منه للاستطراف. ولم يتم بهذا الطوق بل قطعه بالقرب من أول القوس في آخر الجدي بقطعة أوصلته إليها مقوسة يجرّهما نحو القطب.

٧| و١ (٥-٤-٠) وأضاف مريات الكواكب الثابتة إلى الطوق^٢ والعمود المستقيم والحلقتين اللتين على طرفيه والفلكة وسائر القطع المستعملة في الوصل بعد أن راعى في إيقاع رأس الثوابت التسطيح المستعمل للبرج الذي تلك الكواكب في حيزه لأن تلك شريطة قائمة فيه وفي المسرطن وسائر المركبات. وهذه صورة عنكبوت هذا الأسطرلاب وهي أشبه بصورة السرطان لو لا أنّ المسرطن قد فاز بهذه السمة. ولهذا ٧| ط| أعرضت عنها وعدلت إلى تلقيبه بالمعقرب لقرب الشبه بين السرطان وبين المعقرب بأرجلها وزبانتها واشترآكهما في الصيد هما^٣ حتى أنبذت ما هو إضافة^٤ زبانتين وذنب وأرجل إلى الآسي. وجعل عقدها وأطرافها كواكب ثابتة وفقها، اختلس إليه هذا اللقب بلبس على العيان مزيد.

(٦-٤-٠) وأما مقنطرات هذا الأسطرلاب فإنها في الصفيحة مركبة من النوعين بحسب تركيب^٥ المنطقة من كلي التسطحين تابعة للأفقين اللذين اشترك أحدهما بين نوعي المقنطرات واعترض عليه الآخر كهذه الصورة.

٨| و١ (٥-٠) الأسطرلاب الهلالي: (١-٥-٠) مُخرج هذا الأسطرلاب أبوسعيد السجزي ويطنّ به من يراه في أول وهلة أنه مركب من نصفي مطبل وآسي وليس كذلك؛ إنما هو تسطيح واحد هو الشمالي وليس يمتنع أن يكون من تسطيح جنوبي بانفراده أيضاً، إلا أنّ الشمالي أوفق لشكله وأليق بخلقته والجنوبي لا يطابقه كطابقته.

(٢-٥-٠) وكان حزّ من عرض العضادة حزّةً ليتمكن من بلوغ التسعين في الارتفاع ولا تمنعها العلاقة التي فيها الحلقة. ولو لم يفعل، بل قصر العضادة قليلاً ونقص من طولها، أو رفع الثقب في الكرسي شيئاً حتى ارتفعت العلاقة ولم يبلغ طرفها أجزاء الارتفاع^٦ لكفاه الأمر ولم يحتج إلى تصليح صورة العضادة.

^٥ تركيب: تركب
^٦ الارتفاع: الانفاغ

^٣ + و
^٤ + و

^١ + القطب
^٢ الطوق: اطوق

٦ و | (٥-٣-٠) واقتدى أبو سعيد أحمد بن محمد بن عبد الجليل السجزي بنسطولس في اختراع أنواع كثيرة منها وزاد

عليه تمزج^١ البروج من مساطر مختلفة يعينون بها مقادير الأقطار في^٢ دوائرها. (٦-٣-٠) ثم حظي أحد أحداثنا بلطف كف في الأعمال ومهارة في الصناعات لفضل فطنة وحسن الاعتناء^٣ للاستنباط، فعمل للأمير الشهيد أبي العباس خوارزم شاه، أنار الله برهانه، طرائف من يربط من ستائة قطعة عاج وآبنوس ويقم وزوجي سكتين بملعقتيها أحدهما ساذج الحلية والآخر مكتوبة بالسميخنج، ووزن الجملة أقل من نصف درهم، فجناها. (٧-٣-٠) ووصله وأحسن جائزته. ثم قال لي إنك تعلم زهادتي في الهزل واللعب. وأفل هذا الفتى منها إلي ما يجدي عليه بالمنهج المرتضى، ولا تحمل^٤ في طباعه؛ ففعلته^٥ وخرجه في صنعة الأسطرلاب وعمل المرايا. فخرج فيها نابغة زمانه لولا أن عجمته ودناءة همته لم يمكنه من التبرع في العلوم.

(٢-٠) **الأسطرلاب المعقرب**:^٦ (١-٤-٠) وهذا الأسطرلاب الذي أفذه الشيخ أيده الله من الصنعة^٧ المذكورة وهو عمرو^٨

بن الحسن الخوارزمي (٢-٤-٠) قد اقتفى فيه أثر نسطولس في تركيبه من نوعي التسطيح لكنه فصل بروج الأرباع ولم يوالها كما توالت في المسرطن من نوع واحد. وقد وضع^٩ المطبل فيه أساساً وخط^{١٠} في نصف فلك البروج الجنوبي الميل بالتسطيح الشمالي برج العقرب والدلو إلى التسطيح الجنوبي حتى صارا في نظام الآسي وخط^{١١} أيضاً في نصف فلك البروج الشمالي الميل وهو المطبل بالتسطيح الجنوبي برجي الجوزاء والسرطان إلى التسطيح الشمالي حتى صارا في نظام الآسي.

(٣-٤-٠) ثم استعمل الحدق | ٦ ظ | والمهارة في وصل البروج بعضها ببعض بما راق منظره ولاق بالعقد صورته.

وذلك أنه علق أول الجوزاء بآخر الثور بقطعة كنصف شكل هلالتي قد اتصلت بعرضها بأول الجوزاء حتى أخذت عرض المنطقة، ثم دقت معقفة حتى اتصلت بأواخر الثور من داخل البرج اتحاد وتحديب القوسين المحيطتين^{١٠} بالقطعة نحو قطب الأسطرلاب. وفعل مثله بآخر السرطان حتى وصله بأوائل الأسد من داخله وكذلك وصل أول الدلو بآخر الجدي لمثل تانك القوسين المتحاذيتين^{١١} المحذبتين عند تقاربهما من غير اتصال. ثم متباعدين بعد ذلك نحو المشرق وترك من صفيحة العنكبوت طوقاً مماساً للحجرة عرضه باستحسانه مقارب لنصف عرض البروج في المنطقتين قد اتصل هذا الطويق بالقرنين الخارجين^{١٢} من آخر الثور وأول الأسد بالقرب منها أيضاً بقطعتين مستقيمتين أقام عليهما هدفين صغيرتين يخيل منها أنهما

^{١٢} الخارجين: الخارجان

^٩ وضع: ضع

^{١٠} شطب الكاتب حرف

«في».

^{١١} المتحاذيتين: امتحاذتين

^٥ ففعلته: ففعلت

^٦ المعقرب: العقرب

^٧ الصنعة: صنعة

^٨ عمرو: عمروي

^١ تمزج: هوج

^٢ + في

^٣ الاعتناء: الاعتداء

^٤ يهمل: تهمل

(٣-٠) الأسطرلاب المسرطن: (١-٣-٠) ثم إنَّ نسطولس قصد الانحراف في الصناعة وإظهار اقتداره على العمل، فابعد الأسطرلاب المسرطن^١ مركباً من آسي ومطلبل. (٢-٣-٠) قد قطع الآسي فيه على عرضه بنصفين على نقطتي^٢ المنقلبين. فاشتمل على بروج فلك البروج الصاعد الذي أوله رأس الجدي وآخره آخر الجوزاء وأول برج الحمل في وسطه وعلى بروج فلك البروج الهابط الذي أوله رأس السرطان وآخره آخر القوس، وأول برج^٣ الميزان في وسطه. وألفهما من المنطقتين المتقاطعتين اللتين تقدم تصويرهما في المطلبل والآسي بحيث حصل فيها ستة بروج من التسطيح الشمالي في ربعين متقابلين هما ربع الربيع والخريف والستة البروج الباقية في ربعي الشتاء والصيف من التسطيح الجنوبي. وألحق بكل برج من الكواكب الثابتة ما وقع في حيزه الذي يحده الخطان الخارجان من قطب الأسطرلاب ما زين على أوله^٤ وآخره بحسب نوع التسطيح الذي |٥| و^٥ لبرج^٦ شمالي كان أو جنوبي وهذه صورة عنكبوت الأسطرلاب المسرطن.

(٣-٣-٠) وأما مقنطرات المسرطن، فإنه عمل في النصف الأيمن من الصفيحة عن خط نصف النهار إلى كل واحد من علو الصفيحة نحو خط وسط^٧ السماء وسفلها نحو خط وتد الأرض مقنطرات الارتفاع بالتسطيح الشمالي منقطعة عند خط نصف النهار ولم يشترك بينهما أفق لأتھا <ليست> |٥ ظ| من نوع واحد بل ثني. فيتقاطع الأفقان^٨ على تقاطع مدار الحمل مع خط المشرق والمغرب وبنقط^٩ على كل واحد من الأفقين نقطاً متوالية للتمييز.

(٤-٣-٠) ثم عمل في نصف الصفيحة الأيسر عن خط نصف النهار ونحو كل واحد من سفليها وعلوها المقنطرات بالتسطيح الجنوبي فتشئ الأفق أيضاً ويقاطعا على نظير النقطة المذكورة وهي تقاطع مدار الحمل مع خط المشرق والمغرب المستقيم وبنقط^{١٠} عليها أيضاً نقطاً متتالية. ومن شأن كل مقنطرة تخط بكلي التسطحين أن ينقيا على نقطة واحدة على خط نصف النهار ويتصلا وهذه صورة مقنطرات المسرطن.

^٩ نقط: قطه

^{١٠} نقط: قط

^٧ — وسط؛ س، صح:

وسط

^٨ الأفقان: الافعال

^٤ أوله: اواله

^٥ + الذي

^٦ لبرج: البرج

^١ المسرطن: بالمسرطن

^٢ نقطتي: قطه

^٣ برج: بروج

خُطت مقلوبة. والأفق مشترك بينهما ولذلك تنقط عليه نقط بالتوالي ليميز منها ولا يتشبه بها، فيتشبه الأمر فيه إذ ليست له علاقة غير متقاطعة مدار الحمل على نقطتين يمرّ عليها خط المشرق والمغرب في جانبه.

(٢-٠) الأسطرلاب الآسي والمطبل: (١-٢-٠) إن أول تركيب ظهر في الأسطرلاب من نوعيه البسيطين الذين هما الشمالي والجنوبي هو المطبل والآسي. (٢-٢-٠) أما الآسي ففيه من التسطیح الشمالي نصف فلك البروج الشمالي الميل ومن التسطیح الجنوبي نصف الجنوبي الميل، ويسمى آسيّاً على وجه التشبيه بورقة الآس. واقتصر فيه على ماهو واقع في الصفيحة داخل مدار الحمل ولذلك عملت الصفيحة بمقداره كما عملت في الشمالي بمقدار مدار^١ الجدي وفي الجنوبي بمقدار مدار السرطان. واشترك في الآسي المدار الذي في ضمن مدار الحمل بين رأسي السرطان والجدي فداراً معاً عليه، وألحق بكل نصف من فلك البروج ما أريد من كواكبه بحسب تسطيحه سواء اشتملت أو اجتنبت.^٢

(٣-٢-٠) وأما المطبل فهو من بواقي الآسي وعلى خلافه لأنّ نصف فلك البروج الشمالي الميل فيه هو من التسطیح الجنوبي والنصف الآخر الجنوبي الميل هو فيه من التسطیح الشمالي. ويسمى مطبلاً على وجه التشبيه بالمطبل الكراعة. والبروج كلها فيه دائرة خارج |٤| و^٣ مدار الحمل ويتحد فيه مدار الجدي والسرطان. والكواكب الثابتة فيه في نصفي فلك البروج على مثال ما تقدم في الآسي بحسب تسطيح النصفين. ونحن نصوّر عكوسهما متصلين فيكون المطبل هو المصفر والآسي هو المتروك على بياضة فإن اسقط الملون بقي الآسي وإن اسقط الأبيض بقي المطبل.

|٤| ظ (٤-٢-٠) وأما المقنطرات، فصفتها لكل واحد من الآسي والمطبل واحدة والتخطيط واحد؛ وهو مقنطرات الارتفاع بالتسطیح الشمالي وتحتها مقنطرات إن شدت <سميتها> مقنطرات الانحطاط بمعنى كونها تحت الأفق وإن شدت سميتها مقنطرات ارتفاع بالتسطیح الجنوبي وهذا اللقب أولى بها. والأفق مشترك بينهما منقوط بالنقط المتتالية ليميز عن المقنطرات. (٥-٢-٠) ولا بدّ فيه من أفق مساو لهذا الأفق مخالف إياه بالوضع أعني أنّهما يتقابلان داخل مدار الحمل بتقعرهما وخارجه بتحديهما ويتقاطعان على نقطتي^٤ تقاطع^٥ مدار الحمل مع خط المشرق والمغرب، ونحن نسميه أفقاً معترضاً. وليس يحتاج إلى النقط فإنه ليس بمشابه الوضع للمقنطرات إلا أن ينقط على وجه الاحتياط.

^٤ تقطتي: نقطه

^٢ اجتنبت: اجنبت

^١ شطب الكاتب كلمة

^٥ تقاطع: يقاطع

^٣ + خارج

«الحمل».

(٣-١-٠) ثم إذا تنحى موضع البصر عن القطب إلى داخل الكرة أو إلى خارجها مع لزومه المحور أو استقامته، فإن أشكال الدوائر المذكورة تكون في الأسطرلاب قطع مخروط زائدة ومكافئة وناقصة كما أبان عن ذلك أبو حامد الصغاني في كتاب التسطيح التام. وأشار إلى عمل الدائرة المفروضة في الكرة بأي نوع اقترح في الأسطرلاب من خط مستقيم أو محيط بتدوير أو أحد قطع المخروط الثلاثة، إلا أن إخراج القطوع إلى الفعل **٣** و **٢** بالتطريق الصناعي لما عسر وتعذر تخطيطها في السطوح المستوية اقتصر من الأسطرلاب على نوعين البسيطين شماليه وجنوبيه، إذ كان التخطيط فيها لم يعد الدوائر والخطوط المستقيمة؛ وهما أسهل ما في الصناعات ولمثله أوتر شمالي الأسطرلاب على جنوبيه لفضل سهولة عمل ما كان من الدوائر أصغر قطراً على التي هي أعظم قطراً.

(٤-١-٠) فإن العوارض الطبيعية اللاحقة بالأجسام التعليمية إذا استعملت في الآلات تساعد في المثال على عمل دائرة نصف قطرها عشرة^٤ أذرع فما دونها ثم يأخذ بالتعذر والاعتياص فما فوقها حتى يحرن في التي نصف قطرها مائة ذراع ولا^٥ يكاد توافي عملها. (٥-١-٠) ومقنطرات الارتفاع فوق الأرض تكون في الأسطرلاب الشمالي دوائر مراكزها من قطبه نحو الكرسي يأتي من الحجرة للعلاقة والحلقة وهي مبتدئة من الأفق متصاعدة متضائقة. والأفق فيه أعظمها يقابل الكرسي بتغيره. ومن الضرورة فيه أن يتقاطع^٦ مدار الحمل وخط المشرق والمغرب المستقيم على نقطة واحدة في جانب المشرق الأيسر وعلى أخرى مثلها في جانب المغرب الأيمن. (٦-١-٠) وكذلك هما في الأسطرلاب الجنوبي لكن الأفق فيه يقابل الكرسي بتحديده دون تغيره. وما كان من المقنطرات أقل عدداً من العرض الذي عملت له الصفيحة، فمركزها من القطب في خلاف جهة الكرسي وتحديدها نحوه، ولا يزال يزداد اتساعاً إلى أن تبلغ المقنطرة التي يساوي^٧ عددها عرض الصفيحة، فيكون فيه خطأ مستقيماً موازياً لخط المشرق والمغرب. ثم ينقلب الأمر في المقنطرات الزائدة الأعداد **٣** | **ط** على عرض الصفيحة فتصير مراكزها من القطب في جهة^٨ الكرسي وتقابله بتغيرها.

(٧-١-٠) ومقنطرات الانحطاط في الأسطرلاب الجنوبي، أعني التي تكون تحت الأرض، فهي مقنطرات الارتفاع في الشمالي قد حُطت مقلوبة. كذلك مقنطرات الانحطاط في الأسطرلاب الشمالي هي مقنطرات الارتفاع في الجنوبي قد

^١ شطب الكاتب كلمة «الصناعي».

^٢ إذا: إذا

^٣ + إلى الفعل

^٤ عشرة: عشر

^٥ لا: لا

^٦ + و

^٧ يساوي: تساوي

^٨ جهة: جهة

فهو المؤيد بالتوفيق وبطلميوس مو في اختراعه^١ إلى أبعد غاياته وأعلى درجاته كفعله بسائر الفنون من تبليغه إياها إلى الممكن (؟) من حد الكمال؛ وإن لم يكن تقدّمه فيه مستنبطه له، فهو الحائز قصب السبق إلى (؟). ولو لا ابتناء هذه الآلة على قواعد البراهين الضرورية لكاد أن يتصف بالإعجاز، ولكن أساس الأمر فيها على توهم كرة العالم مستقيمة^٢ والمادة والدوائر التي على سطحها الداخل والخارج مدوّنة وموضع الناظر إليها هو أحد قطبيها^٣ حتى أنّه بذلك أبصر تلك الدوائر ساكنة كانت أو متحرّكة متشكّلة بمخروطات البصر على سطح مستقيم مفروض قائم على محور الكل.

(١-٠) ذكر الأسطرلاب الشمالي والجنوبي: (١-٠-١) وسبب نسبتها إلى هاتين الجهتين معلوم من شنبه قطبي الكل أنّه ينقسم بالقسمة الأولى إلى قسمين؛ أحدهما الذي الناظر فيه على جنوبي القطبين ويسمى الأسطرلاب بهذا الوضع شمالياً لأنّ السطح المتشكل فيه الدوائر يكون شمالياً عن الناظر، سواء ما ش هذا السطح الكرة على قطب الشمال أو قام دونه أو ورائه على محور الحركة. فإنّ قطب الأسطرلاب الذي عليه يدار العنكبوت يكون في هذا التسطيح قطب الشمال فستي الأسطرلاب به شمالياً، واختار له من السطوح سطح مدار الجدي لأنّ الشمس | ٢ ظ | لا تتجاوز هذا المدار في تنحّيها إلى الجنوب. والقسم الآخر هو الذي الناظر فيه على شمالي القطبين ويسمى أسطرلاباً جنوبياً لأنّ السطح^٤ المتشكل فيه يجتنب عن موضع الناظر ويكون قطبه الذي يدور عليه العنكبوت هو قطب الجنوب، فينتسب الأسطرلاب إلى جهته ويختار له سطح مدار السرطان لمثل ما ذكرناه في الشمالي.

(٢-١-٠) ولا خفاء بأنّ ناظر البصر ممّا كان على نفس أحدي قطبي الكرة لم تخل الدوائر التي عليها عظامها وصغرها من أن تجتاز على ذلك القطب أو <لا> تجتاز عليه. فالتّي تجتاز على القطب تشكّل في الأسطرلاب خطوطاً مستقيمة كما تبين في^٥ كتاب أوقليدس في المناظر أنّ البصر إذا كان في سطح دائرة داخلها أو على دورها أو خارجاً من محيطها لم يدرك من تلك الدائرة سوى خط مستقيم. والتي لا تجتاز على ذلك القطب تشكّل في الأسطرلاب دوائر كما بين أبلونيوس في كتاب المخروطات من قطعي المخروط المتساوي الزاويتين بالتبادل أنّ أحدهما إذا كان دائرة فالأخرى كذلك دائرة. وهكذا حال تلك الدوائر مادام رأس مخروط البصر على نفس قطب الكرة.

^٥ في: من

^٣ قطبيها: القطبها

^١ اختراعه: الاختراعه

^٤ السطح: سطح

^٢ مستقيمة: مستقيم

مقالة في التطريق إلى استعمال فنون الأسطربلابات

١١ ظ | بسم الله الرحمن الرحيم

رب يسر وتمم بالخير

مقالة أبي الريحان محمد بن أحمد البيروني في التطريق إلى استعمال فنون الأسطربلابات

(١٠٠٠) الأسطربلاب، أطال الله بقاء الشيخ، أشرف الآلات التي بها تضبط^١ حقائق الأوقات متى أصححت ولم يمنع في جهتها مانع عن قياس الشمس أو أحد الكواكب الثابتة المثبتة في عنكبوته بالمریات المحددة الرؤوس؛ وذلك لاشتتاله على أعمال قارب عددها مائة باب^٢ في مقالة عملتها في إخراج ما في قوة الأسطربلاب إلى الفعل من غير تكلف فيها وتعسف وتضاعف معكوساتها وإضافة أشباهها إليها. ثم إن تعداها^٣ أحد بالتفريع أقلها^٤ وأكثرها كأبي الحسين بن الصوفي^٥ في تبليغه أبواب كتابه ألفاً وستائة وثمانين، لم يضمن^٦ فيها على عمره وعمر غيره؛ وإن لم يخل منها باب عن إفادة ما لمستفيد عاجز عن تحقيق التصور وقياس آت على ماض ولثله يمكن^٧ الزيادة على أبواب أبي الحسين بما^٨ يطول ويميل^٩. (٢٠٠٠) وما عثرنا لأحد من القدماء على كتاب في استعمال الأسطربلاب غير كتاب أبيون لإبيون^{١٠} البطريق^{١١} في العمل في الأسطربلاب المسطح إفراناً له في التلقيب عن الأسطربلاب الكري. واشتمل كتابه هذا على مائة وسبعة وخمسين باباً إذا حصلت بالتهذيب ونفحت عن زوائد التقريب نقصت^{١٢} عدتها شيئاً كثيراً على أن أبوابه في الكتاب ناقصة عما يضمنه الفهرست الأعداد. وأعماله في بعضها مبترة لقصور الترجمة عنها وفساد الأصل المنقول. وثابت بن قرة إماماً لله تولى الترجمة وإماماً لله أصلح منه ما أمكن^{١٣} عند المطالعة.

(٣٠٠٠) والهند يقتصرون في مقاصده^{١٤} بالمقياس وظله والماء وطاساته لا يمتددي أحد منهم لصنعة أسطربلاب ولا لاستعماله أو شيء مما شاعه لأنه مما اختصت به اليونانيون ولم ينقل إليهم منهم، (٤٠٠٠) ولم يقع إلينا من جهتهم كتاب في صنعته غير كتاب بطلميوس في تسطيح الكرة مع تفسير ببس له. فإن كان تقدم بطلميوس فيه مخترع له

^{١٣} أمكن: اممكن
^{١٤} + في مقاصده

^٩ تمل: وعمل؛ ه، ن: وتمل
^{١٠} أبيون لإبيون: اهون
^{١١} البطريق: الطريق
^{١٢} نقصت: نقصت

^٥ الصوفي: صوفي
^٦ يضمن: نضمن
^٧ يمكن: مممكن
^٨ بما: بما

^١ تضبط: يضبط
^٢ باب: باباً
^٣ تعداها: بعداها
^٤ أقلها: إتمامها؛ ه، ن: أقلها

5. Arabic Part

5-1: Arabic Edition of the *Taṭrīq*

Edition based on the unique manuscript Fonds Arabe no. 2498 preserved in the National Library of France (Bibliothèque nationale de France) in Paris.

I have used the following abbreviations and symbols in my edited Arabic text of the *Taṭrīq*:

- ˆ (for *hāmish* [margin]) indicates a marginal note.
- شطب الكاتب indicates text that was crossed out by the scribe.
- Vertical arrows in footnotes indicate that the given word is written above or below the word in the text. Two arrows indicate placement *exactly* above or below the word in the text, one arrow placement just before or after it.
- + indicates superfluous words in the manuscripts.
- I have added folio numbers between vertical lines | |.
- و (for *wajh*) indicates the front side of the folio (*recto*).
- ظ (for *zahr*) indicates the back side of the folio (*verso*).
- I have reconstructed some passages for mathematical sense, and added words and passages that were omitted by scribal error. Such reconstructed words and passages appear in angular brackets < >.
- For easy reference, I have divided the text into sections numbered (14-1-2, 14-1-3 etc.). These numbers appear in parentheses in the Arabic edition.

ارتباط این رساله با آثار دیگر بیرونی و برخی دیگر از منجمان دوره اسلامی در شرح رساله آمده است.

بیرونی در رساله دیگرش، که احتمالاً آن را پیش از سال ۴۰۸ نوشته است، کاربردهای اسطرلاب استاندارد را در ۶۹ باب توضیح داده است. از نسخه‌های خطی متعددی که از این رساله در کتابخانه کشورهای مختلف نگهداری می‌شود، تصویر ده نسخه در اختیار ما قرار گرفت که کهن‌ترین آنها در قرن هشتم هجری کتابت شده است. با مقایسه نسخه‌های در دسترس، دو نسخه به عنوان نسخه‌های معیار برای تصحیح متن انتخاب شدند. با مقایسه این دو نسخه (و در موارد نیاز استفاده از نسخه‌های دیگر) متن این رساله بیرونی به طور کامل تصحیح شد. بخش‌هایی از این رساله که از لحاظ فنی دارای محتوای ویژه‌ای هستند بر اساس همه ده نسخه تصحیح و به انگلیسی ترجمه شدند.

از دید ناظر زمینی اجرام آسمانی بر کره‌ای با شعاع بسیار بزرگ، که «کره آسمان» نامیده می‌شود، در حرکتند. اسطرلاب یک ابزار نجومی کهن قابل حمل است که تصویری دوبعدی از کره آسمان به دست می‌دهد. این ابزار ما را قادر می‌سازد تا موقعیت اجرام آسمانی را تقریباً بدون انجام محاسبات مشخص کنیم. اسطرلاب شامل یک صفحه ثابت (صفیحه) و یک صفحه مشبک متحرک (عنکبوت) است که می‌تواند روی صفیحه حرکت کند. صفیحه شامل دو دسته منحنی اصلی برای نشان دادن مختصات آسمانی و نیز خطوطی برای تعیین ساعت است. برای هر عرض جغرافیایی، صفیحه مخصوص به آن عرض جغرافیایی باید در اسطرلاب گذاشته شود. عنکبوت شامل تصویر مسیر حرکت ظاهری خورشید در طول سال، و نیز نشانه‌هایی برای تعیین موقعیت برخی ستاره‌های معروف در آسمان است. چرخش عنکبوت بر صفیحه گردش کره آسمان حول زمین (بر اساس نجوم قدیم) را شبیه‌سازی می‌کند. اسطرلاب احتمالاً در قرن چهارم میلادی در یونان اختراع شد. در سده‌های بعدی استفاده از این ابزار به مناطق مختلف تمدن اسلامی، از جمله ایران، و دیگر نواحی شرق مدیترانه گسترش یافت. آثار بسیاری که در سده‌های میانه درباره ساخت و کاربرد اسطرلاب نوشته شدند کاربرد گسترده اسطرلاب در آن دوره را نشان می‌دهند. علاوه بر اسطرلاب استاندارد انواع مختلفی از اسطرلاب‌های غیر استاندارد نیز توسط منجمان مسلمان در قرون چهارم و پنجم هجری ساخته شدند و براساس شکل عنکبوتشان نامگذاری شدند. عنکبوت هر یک از این اسطرلاب‌ها شبیه حیوان، گیاه یا اشیائی است که به ذهن سازنده آن اسطرلاب‌ها خطور کرده و آن اسطرلاب بر اساس همین شباهت نامگذاری شده است (مثلاً اسطرلاب مُطَبَّل (طبل مانند)، مُسَرَطَن (خرچنگ مانند)، مُعَقَرَب (عقرب مانند)، و زورقی (قایق مانند)).

۶. دیباچه

بیرونی در میان دانشمندان دوره اسلامی مقام ویژه‌ای دارد. علاوه بر این که وی دانش وسیعی در زمینه‌های مختلف از جمله نجوم، ریاضیات، گاهشماری و کانی‌شناسی داشت، آثارش از اعتبار و دقت بالایی برخوردار است. ابوریحان محمد بن احمد بیرونی در سال ۳۶۲ هجری قمری در اطراف شهر کاث، یکی از دو شهر مهم خوارزم در جنوب دریاچه آرال (واقع در ازبکستان کنونی)، زاده شد. در سال ۳۸۵ به سبب آغاز جنگ داخلی در خوارزم، بیرونی زادگاه خود را ترک کرد و به ری و گیلان گریخت. وی پس از سال ۳۹۴ به خوارزم بازگشت. در سال ۴۰۷ سلطان محمود غزنوی به خوارزم لشکر کشید و بیرونی را با خود به غزنه، واقع در نیمه شرقی افغانستان کنونی، برد. هرچند بیرونی و سلطان محمود هیچ وقت روابط خوبی با هم نداشتند، محمود در لشکرکشی‌هایش به هند بیرونی را نیز همراه خود برد. در این اثنا بیرونی فرصت یافت مطالب بسیاری درباره علم، فرهنگ و زبان‌های هندی بیاموزد. پس از مرگ سلطان محمود، بیرونی همچنان در غزنه ماند و در سال ۴۴۰ در همانجا درگذشت. بیرونی حدود ۱۲۰ رساله و کتاب نوشت، اما فقط ۲۶ اثر از او باقی مانده که از این میان ۲۴ اثر چاپ شده است. وی نه تنها یک منجم و ریاضیدان برجسته بود، بلکه به زبان و ادبیات عربی نیز علاقه ویژه‌ای داشت و به این زبان شعر نیز می‌سرود. او در نگارش بسیاری از نوشته‌هایش سبکی ویژه به کار برده است که تسلط او بر زبان عربی را نشان می‌دهد.

در این پایان‌نامه به دو رساله منتشر نشده از بیرونی با عنوان‌های کتاب إخراج ما فی قوة الأسطرلاب إلى الفعل و مقالة التطریق باستعمال فنون الأسطرلابات پرداخته‌ایم. تمرکز ما بیشتر بر رساله دوم بوده است. بیرونی احتمالاً این رساله را پس از سال ۴۲۷ در زمان اقامتش در غزنه نوشته است. وی این رساله را با مقدمه‌ای مفصل درباره اصول اسطرلاب استاندارد و برخی اسطرلاب‌های غیر استاندارد آغاز کرده و سپس در بیست باب به توضیح کاربرد آنها پرداخته است. وی در نگارش این رساله زبان نسبتاً پیچیده‌ای به کار برده است. از این رساله فقط یک نسخه خطی شناسایی شده که احتمالاً در قرن دهم هجری کتابت شده است و اکنون در پاریس نگهداری می‌شود. این نسخه بسیار دشوارخوان است و اشتباهات کاتب، که ناشی از ناآشنایی او با موضوع رساله بوده، بر دشواری خوانش آن افزوده است. در این پایان‌نامه متن این رساله برای اولین بار تصحیح و به طور کامل به انگلیسی ترجمه شده است. همچنین توضیح دشوارهای رساله، محاسبات ریاضی و اطلاعاتی درباره

دو رساله در اسطرلاب

تأليف ابوريحان محمد بن احمد بيروني (٣٦٢-٤٤٠ ق.)

مقالة في التطريق إلى استعمال فنون الأسطرلابات

كتاب في إخراج ما في قوة الأسطرلاب إلى الفعل

تصحيح متن عربي، ترجمه و شرح به انگلیسی

پویان رضوانی