

Debetekenisder Zonnephysica voor de Astrophysica

Rede

uitgesproken op 18 Oct. 1937
bij de aanvaarding van
het ambt van buitengewoon
hoogleraar in de Sterrekunde
aan de Rijks-Universiteit
te Utrecht

door

Dr. M. G. J. Minnaert

Bij J. B. Wolters - Groningen, Batavia

EDELGROOTACHTBARE HEEREN CURATOREN, HOOGGELEERDE
HEEREN PROFESSOREN, ZEERGELEERDE HEBREN LECTOREN
EN PRIVAAT-DOCENTEN, DAMES EN HEEREN STUDENTEN, EN
GIJ ALLEN DIE HIER AANWEZIG ZIJT.

Het zal U niet verwonderen dat ik, in deze zaal het woord nemende, in de eerste plaats mijn gedachten voel gaan naar dengene die het natuurkundig onderzoek van de zon te Utrecht heeft ingevoerd, en die hier op deze zelfde plaats als mijn leermeester heeft gestaan. Het is Professor Julius die de bewonderenswaardige opstelling gebouwd heeft waarmee onze zonnewaarnemingen geschieden; door zijn zeer oorspronkelijke theorie, heeft hij frissche, nieuwe impulsen gegeven aan onze wetenschap en ons geprikkeld tot zelfstandig denken; hij heeft te Utrecht en in geheel Nederland de belangstelling voor de zon gaande gemaakt.

Bij het begin van mijn werkzaamheid als privaat-docent wil ik mijn ernstig voornemen uitspreken, om te trachten het door hem gegeven voorbeeld te volgen. Niet alleen de groote dankbaarheid die ik hem verschuldigd ben noopt mij daartoe; nog meer is het mijn bewondering voor zijn liefde tot de wetenschap, zijn streven naar waarheid, zijn edele menselijkheid. Ik stel mij voor U dikwijls over zijn theorieën en opvattingen te spreken; maar ik weet zeker dat ik in zijn geest handel door U ook andere zienswijzen te leeren kennen en die te verdedigen, waar mijn eerlijke overtuiging van de zijne afwijkt.

Eddington heeft ergens gezegd dat er weinig dingen zoo eenvoudig zijn als een ster, en daarin heeft hij ongetwijfeld gelijk. Een zon of een ster is veel eenvoudiger dan een dier of een plant, stellig zelfs veel eenvoudiger dan een amoeba. Onder alle natuurobjecten is er misschien maar één dat in volgroeiden eenvoud met de zon te vergelijken is: dat is een kristal.

Misschien is het wegens dien eenvoud, dat de natuurkunde der zon met zulk een bijzondere fraaiheid den ontwikkelings-

gang vertoont eener inductieve wetenschap. Nauwelijks honderd jaar zijn verlopen sedert men begonnen is haar ernstig te beoefenen; en in dien korten tijd heeft zij zich snel en met koenevlucht ontwikkeld. Zij bestond uit enkele kwalitatieve waarnemingen; zij wordt: een in alle onderdeelen quantitatieve wetenschap, die de oorzaken der verschijnselen verklaart aan de hand van de wetten der natuurkunde. Wij hebben het voorrecht, juist te leven in een tijd waarin dit getij snel aan het opkomen is, en het is bijzonder bekoorlijk, midden in de branding der gedachten vooruit te stoomen, en misschien te kunnen meewerken tot het vinden van den juisten koers.

De geschiedkundige ontwikkeling onzer wetenschap geeft een zoo goed denkbeeld van haar methode van onderzoek, dat ik U niet beter kan inleiden in dit gebied dan door U de groote stadia te schetsen, welke de natuurkunde der zon in de laatste jaren heeft doorgemaakt. Laat ik die door korte benamingen kenmerken: 1) de waarnemingen; 2) de theorie der afmetings-effecten; 3) de toepassing der atoomtheorie. Het onderlinge verband tusschen die verschillende gebieden zal het best uitkomen, wanneer wij achtereenvolgens nagaan wat op elk dezer drie gebieden bereikt is.

De waarnemingen vormen den grondslag van onze wetenschap. Het is niet zonder ontroering dat ik hier de eerste waarnemers herdenk, die dikwijls hun geheele leven hebben gegeven om het materiaal te verzamelen waarop komende geslachten zouden bouwen: Johannes Fabricius, Christoffel Scheiner, Jozef Fraunhofer, Heinrich Schwabe, Julius Fenyi, en zooveel anderen. Zij zijn het die het eerst de vlekken hebben bespied welke voortdurend over de zonneshijf trekken, die de protuberansen hebben gekatalogiseerd, die een voor een de spectraallijnen hebben vastgelegd. Hoezeer zijn de waarnemingsmethodes sedertdien veranderd! In plaats van afgetrokken zonderlingen, zich opsluitend in de eenzaamheid van den waarnemingskoepel, vergt onze wetenschap thans in alle opzichten praktische menschen, die belangstelling moeten hebben voor techniek, die zelf de hand aan het werk kunnen slaan te midden van ronkende electromotoren en radiotoestellen.

De invoering van vaste coelostaten heeft de mogelijkheden ineens uitgebreid. Vroeger moesten onze toestellen altijd licht en beknopt zijn, want ze moesten meebewegen met den kijker waaraan men ze bevestigde. Thans kunnen wij gebruik maken zelfs van de meest ingewikkelde physische opstelling, die volkomen vast en dreunvrij gebouwd kan worden.

Nog in een ander opzicht is de waarnemingskunst veranderd,

namelijk hierin, dat de gegevens nu bijna altijd quantitatief worden opgeteekend.

Honderd jaar geleden gaf Lalande aan een beginneling den raad: „ne vous arrctez pas trop aux taches, c'est un phénomène qui n'a pas de lois." Welnu, het is voldoende geweest dat iemand geduldig gedurende tien of twintig jaar het aantal vlekken is gaan opteekenen, opdat ineens een merkwaardige, 11-jarige periodiciteit in het aantal dezer vlekken te voorschijn zou komen; en wanneer men nu vond dat bepaalde planeten ook telkens na 11 jaar in denzelfden onderlingen stand ten opzichte van de zon terugkeeren, lag het voor de hand de vorming der zonnevlekken aan den invloed dezer planeten toe te schrijven. Daargelaten of die verklaring nu wel de juiste is, — in elk geval zien wij uit het aangehaalde voorbeeld hoeveel belangwekkender de waarneming van de zonsoppervlakte wordt, wanneer zij quantitatief geschiedt, en hoe de getallen zelf dikwijls op het spoor brengen van de oorzaken, waardoor men de feiten moet verklaren.

Laat ik nog een voorbeeld aanhalen. Het opstijgen der protuberansen, dat schijnbaar zoo grillig verloopt, werd eigenlijk pas dan merkwaardig toen schattingen gemaakt waren van hun snelheid, en toen het bleek dat die soms honderden kilometers per seconde bereikte, snelheden zoo groot dat wij er ons geen voorstelling van kunnen vormen. Nu zijn in den laatsten tijd de metingen verfijnd, en men heeft gevonden dat die snelheid tijdens het opstijgen telkens plotseling toeneemt, terwijl zij in de tusschentijden onveranderlijk blijft; in een bepaald geval bedroeg zij gedurende het eerste half uur: 64 km/sec; gedurende de volgende 25 minuten 191 km/sec; daarna 317 km/sec. Het spreekt vanzelf dat zulk een gegeven van groot belang is, wil men de oorzaken van dit snelle opstijgen nagaan.

Uit dit laatste voorbeeld moge blijken, dat het niet voldoende is te meten, maar dat *nauwkeurig* meten van belang is.

De waarnemingen der zonneverschijnselen terug te brengen tot de natuurkundige ervaringswetten van het laboratorium, zie daar de groote stap dien wij nu hebben te doen. Welnu, daarbij hebben we een zeer bepaalde moeilijkheid te overwinnen, een moeilijkheid die in zekeren zin kenmerkend is voor onze wetenschap: dat zijn de groote afmetingen waarop alle verschijnselen zich afspelen. De zonnegassen zijn zóó doorschijnend (in hun buitenste lagen), dat wij duizenden kilometers diep in de zon kunnen kijken. Daardoor zien wij eigenlijk nooit één bepaald volume-elementje op zichzelf, maar meestal een heele reeks lagen tegelijk, ieder met eigen temperatuur en

drukking en samenstelling, waarvan alleen de integraalwerking waar te nemen is. Daarenboven kunnen de lichtstralen op deze lange wegen allerlei eigenaardige wijzigingen ondergaan, die tot gevaarlijke vergissingen aanleiding zouden kunnen geven.

Deze eigenaardige moeilijkheden, deze gevaren in de interpretatie der waarnemingen, zijn langen tijd niet voldoende in acht genomen. Het is eigenlijk pas sedert 1900 dat vooral Julius en Schwarzschild ons den weg hebben gewezen om deze zgn. afmetingseffekten te begrijpen en weg te rekenen. In het algemeen gebeurt dat *niet* zoo, dat men uit het uitzicht van het geheel rechtstreeks besluiten kan afleiden omtrent de eigenschappen van elk volume-element; de verschijnselen zijn zoo ingewikkeld, dat men meestal moet beginnen met een algerneene onderstelling over de elementairwetten, en dan berekent hoe het groote ding er als geheel zou uitzien. Krijgt men overeenstemming met de waarneming, dus te beter. Zoo niet, dan begint men opnieuw met een andere elementairwet.

Deze tweede groep onderzoekingen is de schakel geweest die later mogelijk heeft gemaakt de waarnemingen te verbinden met de atoomtheorie. Zij vormt aldus het voorbereidingswerk dat noodzakelijk geschiedt moest vooraleer de moderne natuurkunde kon ingrijpen. In dit licht beschouwd, krijgt de theorie van Julius haar ware beteekenis. Vooreerst heeft hij het zeer oorspronkelijke denkbeeld geopperd, dat de lichtstralen allerlei onregelmatige afwijkingen zouden ondergaan in de verschillend dichte gaslagen, zoodat als het ware scintillatieverschijnselen op groote schaal optreden; iedere lichtbundel wordt pluimvormig verbreed, en daardoor moeten zeer typische veranderingen in het uitzicht der zon optreden. Daarenboven heeft hij de aandacht geroepen op de versterking van alle verschijnselen van verstrooiing en onregelmatige breking in de nabijheid van Fraunhoferlijnen, tengevolge van de werking der anomale dispersie. De consequente ontwikkeling dezer gronddenkenbeelden heeft hem geleid tot zulke verstrekkende gevolgtrekkingen, dat hij het bestaan der protuberansen als bewegende stof in twijfel dorst trekken en dat hij een nieuwe verklaring dorst opperen voor de ook nu nog zoo raadselachtig gebleven Fraunhoferlijnen. Het werk van Julius is een breed opgezette poging om de phantastische verschijnselen van het zonsoppervlak te verklaren uit optische afmetingseffekten, terwijl de stof zelf bijna geheel in rust verkeert.

De groote beteekenis van het werk van Schwarzschild is, dat hij het begrip van het stralingsevenwicht heeft ingevoerd, dat van fundamenteel belang is gebleken, en dat een onderling

verband aangeeft tusschen de verschillende volume-elementen van de zonnemassa.

Het is een hoogst interessante analyse, waarbij elk volume-elementje wiskundig vastgeschakeld wordt aan alle andere, en waarbij die ingewikkelde wisselbetrekkingen beschreven worden door eenvoudige vergelijkingen.

Eerst heeft hij alleen de emissie en de absorptie nagegaan, en in een paar meesterlijke bladzijden alle eigenaardigheden van het stralingsevenwicht afgeleid. Daarna heeft hij ook de verstrooiing van het licht behandeld, en op grond daarvan het rooder en donkerder worden van de zon naar den rand kunnen verklaren, alsook het over de geheele schijf onveranderde uitzicht der Fraunhoferlijnen.

Het werk dezer onderzoekers van de tweede periode is van onvergankelijke waarde. De hoofdwetten der afmetingseffekten blijven toepasselijk, hoc ook in den loop der wetenschappelijke ontwikkeling het beeld moge wisselen dat wij ons van de zon vormen. Een verrassend voorbeeld is o.a. dit: Julius en Schwarzschild hebben zich voorgesteld dat de Fraunhoferlijnen ontstaan door verstrooiing; nu heeft Milne waarschijnlijk gemaakt dat althans de centrale deelen der lijn ontstaan door een soort fluorescentie, waarbij het atoom straling opneemt door absorptie, maar om ze bijna onmiddellijk daarna weer uit te zenden, Welnu, dezelfde differentiaalvergelijkingen, dezelfde formules die Schwarzschild afgeleid had voor de verstrooiing, blijken nu toepasselijk te zijn op deze fluorescentie. Het beeld is anders, de wetten van het afmetingseffekt zijn gebleven.

Wij moeten ons echter goed rekenschap geven van het feit, dat de onderzoekers der tweede periode nog niet tot het begin zijn opgeklimmen; zij zijn halfweg begonnen. Julius heeft allerlei verschijnselen verklaard, aannemend dat de zonnegassen voldoende sterk verstrooien en breken; maar dan blijft toch nog aan te toonen dat de zonnegassen inderdaad deze eigenschappen bezitten, dat zij die *moeten* bezitten uit hoofde van hunnen aard zelf. Schwarzschild heeft aangetoond, dat de randverzwakking van de zonnenschijf veel beter dan door convectiestroomen te verklaren is, als men aanneemt, dat de energiewisseling in de zon door straling geschiedt; maar het is duidelijk, dat de gasmassa die de zon samenstelt niet voor het kiezen had op welke wijze zij de energie zou overbrengen; dit zal afhangen van de viscositeit van de stof, en van andere omstandigheden, die in laatste instantie terug te voeren zijn tot eigenschappen der atomen en der straling.

Aan die voorbeelden moge duidelijk worden, wat de stap

is die de nieuwere zonnephysica heeft moeten doen: zij is moeten teruggaan tot de' laboratoriumproeven omtrent de elementaireigenschappen der stof, om daarop dan de theorie der afmetingseffekten te kunnen toepassen, en tenslotte de waargenomen verschijnselen te verklaren. Het is ongeloofelijk hoe mooi in onze wetenschap de ontdekkingen altijd juist intijds gekomen zijn, hoe de eene de andere aanvult en weer de volgende voorbereidt. Toen de theorie der afmetingseffekten in groote trekken ontwikkeld was, zoodat men er voldoende mee werken kon, toen waren de tijden rijp voor het verschijnen der atoomtheorie van Bohr, die ons geheel nieuwe wegen zou openen.

In 1913—14 komt de nieuwe theorie op; ongeveer zes jaar zijn noodig eer haar belang voor de kennis van de zon begrepen wordt. Zes jaar, juist de tijd noodig voor den groei eener wetenschappelijke generatie, een groei die zich voltrekt te midden van tragische omstandigheden. Van 1919 lot nu toe is het een toenemende stroom geschriften, die meestal in den geest der nieuwere atoomtheorie zijn ontstaan, en die nog ieder jaar in aantal toenemen. Elk jaar publiceert het Engelsche tijdschrift, de „Monthly Notices of the Royal Astronomical Society" een overzicht van de gewichtigste verhandelingen die in den loop van dat jaar verschenen zijn over de Natuurkunde der Zon. Telt men nu hoeveel van die verhandelingen voor de verschillende jaren worden opgegeven, dan vindt men de tabel hieronder, die U een denkbeeld geeft van den snellen groei onzer wetenschap gedurende de laatste jaren. Deze groei is stellig voor het grootste gedeelte te danken aan den invloed der atoomtheorie.

Jaartal.	Aantal verhandelingen.	Jaartal.	Aantal verhandelingen.
1917	21	1922	37
1918	24	1923	43
1919	35	1924	66
1920	29	1925	65
1921	23		

De nieuwere onderzoekingen groepeeren zich in hoofdzaak om drie onderwerpen: de binnenste deelen der zon; het uitwendig zichtbare oppervlak met de zgn. omkeerende laag; en de chromosfeer.

De beschouwingen over de binnenste deelen der zon en van de sterren in liet algemeen zijn vooral verbonden aan den naam van Eddington. Zijn onderzoekingen hebben betrekking op de diepste lagen, waar we nooit rechtstreeks iets over te weten

kunnen komen. Alleen de totale massa, de totale lichtslroom, de diameter van de ster, ziedaar enkele uitwendig zichtbare grootheden die ons den toestand in het binnenste verraden.

Indien wij in het binnenste der zon metingen konden doen, zouden wij in het middelpunt zelf een temperatuur vinden van 40 miljoen graad; de dichtheid bedraagt 76, meer dus dan die van de zwaarste ons bekende metalen; daar heerscht een drukking die, gemeten in atmosferen, grooter is dan 10^{12} . Toch gedraagt zich de stof in die omstandigheden als een ideaal gas, want de ionisatie is zoo groot, dat de atomen geen of weinig electronen meer over hebben gehouden. De massa is taai als een soort siroop, maar heel langzaam wordt ze door machtige inwendige stroomingen door elkaar geroerd. Natuurlijk is de lichtstraling van alle kanten verblindend fel, — violet-blauw zou ze ons toeschijnen —; maar verreweg de hevigste straling bestaat uit onzichtbare Röntgenstralen, van een golflengte van 1 a 2 AE. Zelfs die zoo doordringende stralen kunnen echter niet verder dan een duizendste millimeter komen door de dicht opeengepakte stof.

Klinkt het niet alles als een sprookje? En toch zijn de aangehaalde getallen afgeleid uit strenge berekeningen, die alle vertrouwen inboezemen.

De grootheden, die in hoofdzaak den toestand bepalen, zijn de absorptiecoëfficiënt, de totale massa van de ster, de energieontwikkeling per gram stermaterie, en het gemiddeld moleculair gewicht. Men kan hiervoor geschikte waarden kiezen, die de waarnemingen verklaren. Maar Eddington heeft *meer* gedaan; en dit is nu kenmerkend voor een zeer ver ontwikkelde inductieve wetenschap: hij heeft getracht de waarden van verscheidene dezer fundamenteele constanten zelf *a priori* te berekenen. Vooreerst heeft hij getracht den absorptiecoëfficiënt te vinden, die in de ster Capella b.v. ongeveer 53 moet bedragen.

Eddington berekende uit atoombeschouwingen de waarde 80, wat vrij goed klopt. Jammer genoeg bleek de theorie niet houdbaar. Daarna is de berekening verbeterd, langs een weg aangegeven door Prof. Kramers; maar nu werd het resultaat 5, dus aanzienlijk te klein. Een volledige overeenstemming is hier nog niet bereikt, maar het is toch prachtig, dat men althans de orde van grootte zoo goed heeft kunnen berekenen voor een zoo geheimzinnige natuurkonstante als de absorptiecoëfficiënt in het binnenste eener ster!

Vervolgens heeft Eddington geloond, dat ook de massa van een ster niet zoo maar een willekeurige grootheid is, maar dat ze zeer bepaalde redenen heeft om te zijn wat ze is, redenen die

alweer volgen uit de meest algemeene eigenschappen van de stof en van de straling.

Een sterrekundige, afgesloten van het heelal door een dikke wolkenlaag, kan uit zijn laboratoriumproeven afleiden, dat een aan zichzelf overgelaten gasmassa in de oneindige ruimte niet ineenvallen kan tot een grooten klomp, maar dat ze zich „van-zelf" verdeelen *moet* in bollen wier massa van de orde 10^{34} gram is. De wolken schuiven weg. en ziet, daar verschijnen de myriaden sterren aan den hemel, en die hebben alle massa's van diezelfde vooruitberekende orde!

Het moet ons met dankbaarheid vervullen, dat zulk een ontdekking mogelijk is geweest. Het moet ons een spoorslag wezen om hardnekkig en onophoudelijk te vragen naar het waarom der dingen, niet te rusten, en de z.g.n. „niet verder verklaarbare" gegevens altijd weer terug te dringen tot nog meer elementaire beginselen.

Reeds nu kunnen we voorspellen dat er drie belangrijke, principieele vragen zijn betreffende het binnenste der zon, die tot nu toe niet voldoende zijn opgelost, maar weldra aan de orde zullen komen:

1) de bekende vraag: van waar komt de energie die in dit binnenste wordt vrijgemaakt?

2) waarom is de procentueele samenstelling van de zon uit de verschillende elementen juist die — welke zij is? Waarom is dus bijvoorbeeld het gemiddeld moleculair gewicht 2,1, een belangrijke constante die in verschillende formules voorkomt en dikwijls in een hoogere macht?

3) hoe verklaren wij de zeer bijzondere aswenteling van de zon?

Deze vragen zijn onderling nauw verwant. Want zij betreffen alle drie de kern der atomen. Ook de derde vraag! Immers, er bestaat een diepzinnig en zeer algemeen theorema, de stelling van Von Zeipel, die een verband aangeeft tusschen de rotatie en de energievoortbrenging in een hemellichaam, dus tusschen de rotatie en de kernprocessen.

Maar genoeg over dit binnenste der zon! Het is een vraagstuk dat voor ons natuurlijk van groot belang is, maar dat toch zijn ware beteekenis eerst krijgt wanneer men voortdurend de zon met de andere sterren vergelijkt, en dat dus niet zoo speciaal tot ons domein behoort.

De onderzoekingen, die betrekking hebben op de meer uitwendige doelen van de zon, zijn veel meer typisch voor dit hemellichaam. Hier kunnen we nu zien, dat we die grootc „eenvoudigheid" van een ster niet al te letterlijk mogen opnemen! Een ster is een eenvoudig ding zoolang men er zoover

vandaan blijft, dat men er vrijwel niets van te weten komt. Maar de zon is nu toevallig zoo dicht bij ons, dat we hier eens terdege kunnen zien hoe ingewikkeld zulk een hemelbol toch eigenlijk is.

Het oppervlak dat de zon ons vertoont, stelt ons voor een heele reeks belangwekkende vragen, vooral vastknoopend aan het Fraunhoferspectrum. Vroeger stelde men zich alleen ten doel, deze lijnen een voor een te identificeren met de spectraallijnen van een der 80 bekende elementen op aarde. Thans is het standpunt nogal zeer veranderd. We weten dat we niet te maken hebben met 92 elementen, maar eigenlijk met 184. Want door de hooge temperatuur die op de zon heerscht, heeft elk atoom ook kans geïoniseerd te worden, en een ion is spectroscopisch precies hetzelfde als een nieuw element. De atoomtheorie heeft ons heel veel geleerd omtrent deze mengsels van atomen, ionen en electronen; voor elk element is hun wisselwerking weer anders en hun mengverhouding verschillend. Het is nu mogelijk geworden deze mengverhoudingen vooruit te berekenen, en dit nieuwe gegeven is een der gewichtigste ontdekkingen van de zonnephysica. De theorie ontwikkelde zich in schoonen opstijgenden gang, eerst toegepast op één enkel gas, dan op een mengsel van gassen, dan op het verfijnde evenwicht tusschen atomen in allerlei stralingstoestanden, eindelijk ook op het geval, dat straling van hoogere temperatuur dringt door een ruimte van lagere temperatuur. Het rechtstreeksche doel waar men op af marcheert wordt gewoonlijk niet uitdrukkelijk genoemd; maar er kan geen twijfel aan zijn: wij willen de geheele samenstelling van het Fraunhofer spectrum en de verhouding der sterkten van alle Fraunhoferlijnen kwantitatief berekenen uit eenvoudige onderstellingen betreffende de temperatuur, de drukking, en de samenstelling der lagen. Naderhand zullen we dan weer in bijzonderheden hebben te bewijzen dat deze temperatuur, deze drukking, deze samenstelling wel in overeenstemming zijn met wat we uit de theorie van het stralingsevenwicht konden verwachten.

Het nauwkeurig meten van de sterkte der Fraunhoferlijnen op de zon, en het theoretisch verklaren dezer sterkten, is een van de gewichtigste vraagstukken der moderne zonnkunde; het is het hoofdonderzoek geworden, waaraan wij ons hier wijden, gebruik makende van de vele hulpmiddelen en de groote ervaringen, die de zuiver physische afdelingen van het Utrechtsche Laboratorium bezitten op het gebied van de meting der lijnsterkten. .

Niet minder interessant is de theorie van het continue spec-

traallicht dat den achtergrond vormt voor de donkere Fraunhoferlijnen. Langen tijd heeft men zich vruchteloos afgevraagd hoe gassen zulk een continu spectrum kunnen uitzenden. Thans weet men, dat zelfs de ijste gassen zulk een gebied van continue straling bezitten voorbij de grens van hun seriën; en het lag u voor de hand aan te nemen, dat de achtergrond van het Fraunhoferspectrum uit een bijeenvoeging van een groot aantal zulke continua ontstaat, van al de verschillende seriën van al de soorten atomen. Op dien grondslag kan men den absorptiecoëfficiënt berekenen voor de buitenste lagen van de zon, en vindt dan een volkomen verklaring voor den continuen achtergrond, en voor het bestaan van een scherpen zonsrand. Ik mag er misschien de aandacht op vestigen, dat de afhankelijkheid van den absorptiecoëfficiënt van de golflengte nog niet berekend is, wat onmiddellijk moet kunnen uit de bekende vergelijkingen, en tot heel merkwaardige toetsingen kan aanleiding geven.

De zon biedt ons een uitgezochte gelegenheid tot het nagaan van de veranderingen, die in haar spectrum optreden, als men van den rand van de schijf overgaat naar het centrum. Deze zijn hoogst belangwekkend! Want de theorie der afmetings-effecten leert, dat deze veranderingen gelijkwaardig zijn met die welke optreden als men van de buitenste lagen dieper in de zon dringt. Wij hebben dus hier een methode om een eind ver in de zon te peilen, en daar moeten we gebruik van maken; des te meer, omdat dit de eenige ster is, op welke die methode toegepast kan worden.

De laatste groep moderne onderzoekingen heeft betrekking op de buitenste deelen van de zon, waar de drukking afneemt van 10^{-4} atm. tot 10^{-13} atm. en minder, waar de ijle gassen op hoogst eigenaardige wijze zwevend worden gehouden door selectieven stralingsdruk, waar het optreden van de coroniumlijnen wijst op de geheimzinnigste, waarschijnlijk metastabiele toestanden der atomen. Dit ontzaglijke gebied, dat de zon omringt, zal stellig ook om iedere ster voorkomen. Maar alleen bij de zon hebben wij gelegenheid het waar te nemen. Men heeft kunnen berekenen, dat voortdurend Ca-ionen en andere deeltjes uit die omhulling weggeblazen worden door den stralingsdruk, en met snelheden van 1600—1700 km/sec in de wereldruimte ontsnappen; het schijnt waarschijnlijk, dat dit de langgezochte deeltjes zijn, die voortdurend de aarde bombardeeren en hier aanleiding geven tot noorderlicht en tot allerlei magnetische en electriche verschijnselen.

Uit dit korte overzicht moge U blijken, dat de nieuwere theorieën der zonnephysica aan alle kanten licht en klaarheid

brengen. Men krijgt werkelijk den indruk van een landschap waarover de nevel aan het optrekken is; nu hier, dan daar, breken stukken van het terrein ineens te voorschijn; de wolken scheuren, het is dag geworden en de klaarte overstroomt alles. Wij behoeven ons niet te vleien met de gedachte, dat we 't nu wel zoowat weten; maar we mogen zeggen, dat er lijn gekomen is in ons werk, dat we eenigszins zien hoe de weg loopt.

Wanneer wij den geheelen ontwikkelingsgang van de zonnekunde overzien, dan treft ons, dat de drie stadia, die ik bij het begin heb opgesomd en die zich achtereenvolgens hebben ontwikkeld, elkaar niet successievelijk hebben verdrongen, maar dat integendeel de nieuw ontdekte gebieden voortdurend het belang van de reeds bestaande hebben verhoogd. Nooit bijvoorbeeld is de rol der afmetingseffekten scherper op den voorgrond getreden, als nu men beproeft een deugdelijke theorie der Fraunhoferlijnen te ontwikkelen; nooit is de behoefte aan goede eclipswaarnemingen zoo groot geweest als nu de theorie — de Utrechtsche theorie — de sterkte van een aantal emissielijnen heeft leeren voorspellen. Wie meenen zou, dat het zwaartepunt verplaatst is van de waarneming naar de atoomtheoretische bespiegeling, zou zich ten zeerste vergissen: wat aangetoond is, is de noodzakelijkheid van wisselwerking tusschen beide.

HOOGGELEERDE PROFESSOR ORNSTEIN,

Het is mij een voorrecht, de Natuurkunde der Zon te mogen beoefenen in Uw Laboratorium, waar de richting van het onderzoek zoo buitengewoon gunstig is voor het oplossen der vragen die de Zonnephysica thans stelt. Ik ben U dankbaar voor Uw persoonlijke belangstelling in mijn werk.

DAMES EN HEEREN STUDENTEN,

Ik zal niet beproeven Uw belangstelling te wekken door U voor te spiegelen, dat de natuurkunde der zon misschien eens zal kunnen leiden tot belangrijke toepassingen voor de menscheid, tot een zekerder voorspelling van regen of warmte, tot een benuttigen van de zonne-energie voor de techniek. Gij; studenten, jonge menschen vol idealisme, vol geestdrift voor de natuurwetenschap, gij zult gevoelen dat het vorschen naar waarheid op zichzelf een voldoende doel is. *Wij willen weten hoe het op de zon gesteld is;* is dat niet belangrijk genoeg?

Dat wij daarbij ook eenig nut kunnen bewijzen aan de aardsche natuurkunde, waarvan we zelf voortdurend gebruik maken, dat kan niet anders dan ons verheugen. In allerlei gevallen is het

gebleken dat de astrofysica een frissche, levenwekkende kracht is. die prikkelt tot natuurkundige ontdekkingen door het scheppen van nieuwe toepassingsmogelijkheden. Aan de astrofysica dankt de natuurkunde de ontdekking van de algemeene aantrekkingskracht, van de snelheid van het licht, van den lichtdruk, van het beginsel van Doppler. van de spectraalontleding, van de wet van Kirchhoff, van de ionisatie-evenwichten, van het ondoorzichtig worden der gassen bij hooge temperaturen.

Er gaat een machtige aantrekking uit van onze wetenschap, waar wij anders nauw merkbare physische verschijnselen te voorschijn zien komen in hun volle grootschheid van kosmische natuurkrachten, op een reusachtige schaal, onder de meest extreme toestanden van de stof die wij ons kunnen voorstellen. Er gaat een machtige aantrekking uit van die zon, die voor ons de naastbijzijnde ster is, de eenige waarvan wij het oppervlak kunnen bestudeeren, en die ons door haar voorbeeld leert hoe al die andere hemelbollen samengesteld moeten zijn.

Degenen onder U, die daar iets naders over willen vernemen, zullen hier hartelijk welkom zijn.

Ik heb gezegd.