

JEROEN VAN DONGEN

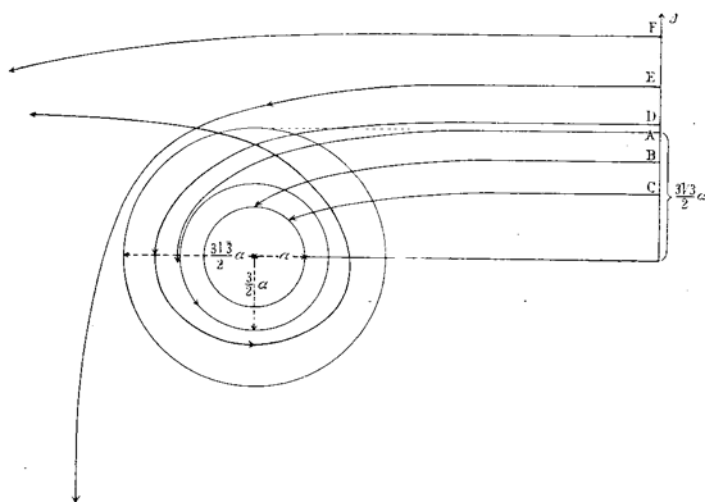
Zwarte gaten werden geboren

Zwarte gaten werden geboren in 1939. In dat jaar publiceerde J. Robert Oppenheimer, samen met zijn student Hartland Snyder, een artikel 'Over voortgezette gravitationele contractie'. Na het opbranden van de nucleaire energie van een ster wordt de zwaartekracht niet meer tegengewerkt door de uitgezonden straling; Oppenheimer en Snyder toonden aan dat een zware ster dan nog maar één ding kan doen: zich samentrekken. En dat samentrekken zal niet meer ophouden totdat de ster gereduceerd is tot slechts een nietig kleine punt. De relativiteitstheorie, stelden ze, zorgt er uiteindelijk voor dat de ster 'ertoe neigt zich af te sluiten voor iedere communicatie met een waarnemer op grote afstand; alleen zijn zwaartekrachtveld blijft over'.

Reeds voor 1939 waren er ideeën in omloop die op de inzichten van Oppenheimer anticipeerden. De belangrijkste vergelijking waar Oppenheimer en Snyder zich op baseerden stamt uit 1916 en was opgeschreven door Karl Schwarzschild, een Duitse astronoom die de ontwikkeling van Albert Einsteins relativiteitstheorie op de voet volgde. Schwarzschild rekende voor hoe het zwaartekrachtveld rondom een ster – weliswaar een denkbeeldige ster die zo groot of beter gezegd zo klein was als een punt – eruit moest zien, en stuitte daarbij op een vreemde omstandigheid: op een klein afstandje buiten het centrum van de ster leek het veld oneindig groot te worden. Maar voor een ster met de massa van de zon was dit afstandje nagenoeg nul, en in het centrum van een naïef puntmodelletje was een oneindig groot veld, als wiskundig artefact, wel te verwachten; Schwarzschild maakte er zich hoe dan ook weinig zorgen over. Niettemin, het bewuste afstandje wordt nu ook vaak aangeduid als de 'Schwarzschild-straal'.

Vele auteurs bogen zich over het stermodel van Schwarzschild. Het bood de mogelijkheid om heel precies de banen van planeten of kometen te beschrijven, of bijvoorbeeld om te bepalen hoeveel het licht van een ver weg gelegen hemellichaam af zou moeten buigen als dat licht langs het oppervlak van de zon scheert. Deze laatste berekening

vormde de opmaat voor de Britse eclipsexpedities van 1919, waarvan de resultaten Einsteins theorie leken te bevestigen; het krantenrumoer dat daarop volgde maakte van Einstein een wereldster. Maar om Oppenheimers latere werk te begrijpen is het eigenlijk belangrijker om naar de planeetbanen te kijken: wat gebeurt er bijvoorbeeld als een planeet, of een of ander deeltje, recht op zo'n puntster van Schwarzschild af vliegt?



Figuur 1. Banen van deeltjes die bewegen in de ruimte van Schwarzschild voordat de zwart-gat-interpretatie geïntroduceerd was. Volgens de oude opvatting komen deeltjes die naar het zwarte gat vallen nooit voorbij de 'Schwarzschild-straal'; deze is aangegeven met de afstand α . Uit: Max von Laue, *Die Relativitätstheorie*, Bd. 2, *Die allgemeine Relativitätstheorie* (Brunswick: Vieweg, 1921).

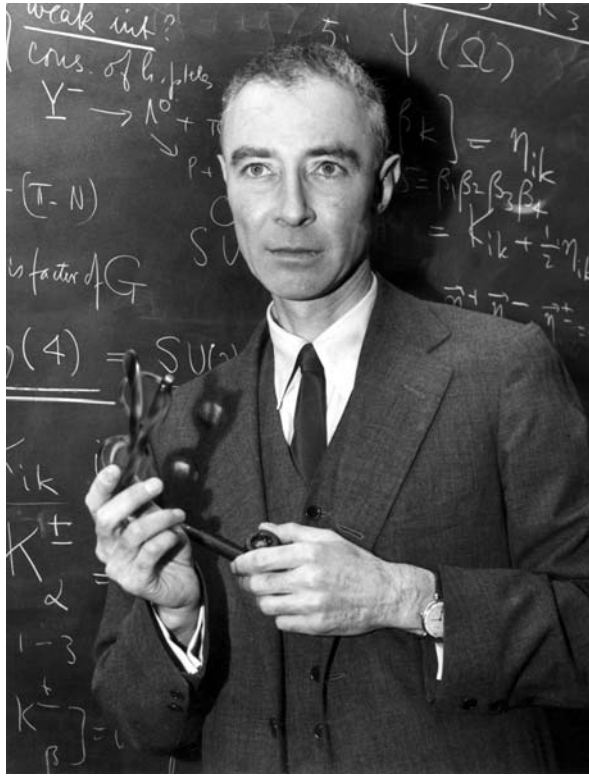
De algemeen aanvaarde conclusie was dat zo'n deeltje dan almaar dichter in de buurt van de ster komt, maar dat hij nooit voorbij de Schwarzschild-straal zal geraken; het zou zelfs oneindig lang duren vooraleer de massa die straal ooit zou kunnen bereiken (zie figuur 1). Dat betekende ook dat, mocht een ster imploderen, het oneindig lang zou duren voordat de ster zich samen had getrokken tot de Schwarzschild-straal; de Britse astronoom Arthur Eddington sprak van een 'magische cirkel', waarop licht en materie zich opstapelen, zonder ooit voorbij deze horizon te geraken.

Gaandeweg, echter, begon dit beeld te kantelen. In 1932 deed een Belgische kosmoloog en priester, Georges Lemaître, berekeningen aan relativistische modellen voor het heelal. Hij constateerde terloops dat

het oneindig groot worden van het gravitatieveld op de Schwarzschild-straal geen wiskundige noodzakelijkheid was, maar slechts een kwestie van perspectief. Volgens de algemene relativiteitstheorie kan men voor de beschrijving van een fysisch probleem een willekeurige klok of meetlat gebruiken – ofwel willekeurige wiskundige coördinaten. Natuurlijk zijn voor bepaalde waarnemers bepaalde meetlatten en klokken meer voor de hand liggend, net zoals iemand die een voetbalveld op wil meten liever een landmeter gebruikt dan een geodriehoek, terwijl die laatste formeel gesproken even bruikbaar is. Hoe dan ook, de algemene relativiteitstheorie stelt dat ieder stelsel van coördinaten, iedere verzameling van meetlatten en klokken, in principe volledig equivalent is aan ieder ander. Lemaître constateerde echter dat voor de beschrijving van sterren eigenlijk altijd het klokje (of de tijdcoördinaat) gebruikt werd dat voor de hand ligt voor een waarnemer die op een grote afstand van de ster staat. Zou men de natuurlijke klok gebruiken van een waarnemer die vrij valt in de kromme ruimte van de ster, dan zou men moeten concluderen dat het gravitatieveld helemaal niet oneindig werd op de Schwarzschild-straal.

Lemaître publiceerde zijn bevindingen in de enigszins obscure *Publications du Laboratoire d'Astronomie et de Géodésie de l'Université de Louvain*, en ze vonden weinig weerklank. Hij maakte echter ook uitgebreide reizen door Noord-Amerika, en heeft daarbij alsnog de kosmologen Howard Robertson en Richard Tolman, respectievelijk werkzaam te Princeton en op het California Institute of Technology in Pasadena (een kleine onderzoeksuniversiteit met ook toen al een uitstekende reputatie), op de hoogte gebracht van zijn ideeën; een aantal jaren vormden ze verborgen kennis die alleen circuleerde in het kleine kringetje van toptheoretici. Niettemin bleven de implicaties van deze gedachten onduidelijk, en een goed zichtbare publicatie waarin onomwonden gesteld werd dat er vanuit het perspectief van een invallende waarnemer niets oneigenlijks aan de hand was met de ruimte om een Schwarzschild-ster bleef uit.

J. Robert Oppenheimer werd geboren in 1904, in een welgesteld joods gezin in New York. Hij groeide op aan de Upper West Side, tussen schilderijen van Van Gogh en Picasso, en doorliep de scholen van de 'Ethical Culture Society', een joods-seculiere groep die zijn leden op het hart drukte verantwoordelijkheid te dragen voor persoonlijke ontwikkeling en de bestemming van de maatschappij. Na een vormende reis door New Mexico – Oppenheimer zou altijd een liefde blijven koesteren voor de natuurlijke woestenij aldaar – werd zijn studie voortgezet aan Harvard, aangevuld met lange en korte onder-



J. Robert Oppenheimer in 1954. Collectie Spaarnestad foto.

zoeksstages op de beste Europese universiteiten; in Leiden werd hem de koosnaam 'Opje' gegeven, wat later in de v s verbasterde tot 'Op-pie'.

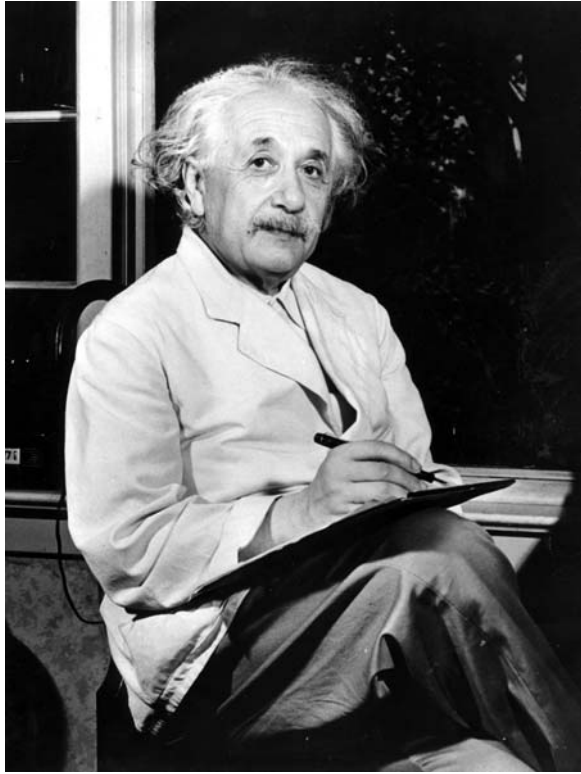
Robert Oppenheimer had een teer gestel en leed aan zware depressies; tijdens een getroebleerd verblijf in Cambridge werd hij zo angstig dat hij een vergiftigde appel op het bureau van zijn docent legde. De universiteit liet zich ervan overtuigen de zaak niet over te dragen aan de politie, op voorwaarde dat Oppenheimer zich onder behandeling van een psychiater zou stellen. Gaandeweg, en vooral op het Europese vasteland, in Göttingen, Leiden en Zürich, hervond Oppenheimer zijn intellectuele zelfvertrouwen; zozeer zelfs, dat men hem nogal eens arrogant achtte.

Het was duidelijk dat Oppenheimer uitzonderlijk getalenteerd was. Toch speelde hij slechts een bescheiden rol in de quantumrevolutie die de natuurkunde in de jaren twintig omwoelde; hij verscheen daarvoor net te laat op het toneel. Hij zou uiteindelijk neerstrijken in Californië, waar hij een positie aan het California Institute of Technology

combineerde met een docentschap in Berkeley. Op die laatste plek verzamelde hij een groep enthousiaste studenten om zich heen, en tezamen vormden zij de eerste school in de theoretische fysica op het Amerikaanse continent; Oppenheimer deed zijn ideeën veelal op in Pasadena, om ze vervolgens onder zijn vele studenten in Berkeley uit te zetten. Zo ook in het geval van het zwarte gat: Tolman heeft Oppenheimer Lemaître's ideeën over de Schwarzschild-ruimte bijgebracht, en met de hulp van Snyder, in Berkeley, integreerde Oppenheimer die met de nieuwste opvattingen over sterevolutie.

Californië verlinkste in de jaren dertig, en in Berkeley breidde Oppenheimer zijn vriendenkring uit met progressieve intellectuelen; in linkse kringen voelde hij zich omgeven door een zekere kameraadschap, en verbonden met het 'leven van mijn tijd en mijn land'. Hij raakte bevriend met de charismatische Haakon Chevalier, docent Frans, en naar alle waarschijnlijkheid lid van de Amerikaanse Communistische Partij. De natuurkunde richtte zich inmiddels op de kernfysica. Hans Bethe, een Duitse emigrant, kon hiermee de energievoorziening van sterren verklaren: fusie van waterstof- en heliumkernen, en zo verder, tot aan de zware ijzerkernen, geeft de energie die ervoor zorgt dat een ster straalt en zo vermijdt te bezwijken onder zijn eigen gewicht. Oppenheimer begon inmiddels de reputatie te krijgen van het wonderkind dat zijn belofte niet zou inlossen, maar nu had hij zijn onderwerp gevonden: de evolutie van sterren, bestudeerd met de algemene relativiteitstheorie.

In 1939 publiceerde ook Albert Einstein een artikel over het bestaan van zwarte gaten. Einsteins biografie is genoegzaam bekend: na een enigszins onopvallende jeugd, met een onderbroken middelbare-schoolcarrière en een naar eigen inzicht ingevulde studie in Zürich, publiceerde hij, als patentbeambte 2e klas, in 1905 vijf artikelen die de omwentelingen van de natuurkunde van de twintigste eeuw inluiden: licht gedraagt zich soms net als een deeltje, en klokken en meetlatten kunnen achterlopen c.q. krimpen, al naar gelang hun relatieve bewegingstoestand. Einstein klom vervolgens snel op in de academische hiërarchie, en accepteerde in 1914 een unieke positie in Berlijn, met veel tijd en geld voor onderzoek. Aldaar werkte hij de relativiteitstheorie zo uit dat deze ook de gravitatiekracht omvatte. Ook groeide hij uit tot een publiek persoon. Niet alleen zijn wetenschap, maar evenzeer zijn democratische, zionistische, en, vooral, pacifistische opvattingen, en de door hem gevoelde noodzaak deze uit te dragen, zorgden voor een haast permanente aanwezigheid in krantenkolommen over de hele wereld.



Albert Einstein in 1943. Collectie Spaarnestad foto.

In 1939 werkte Einstein niet meer in Berlijn, maar in de Verenigde Staten. Na de machtsovername van de nationaal-socialisten in 1933 was het Einstein onmiddellijk duidelijk geweest – hij verbleef op dat moment in de v s – dat een terugkeer naar Duitsland onmogelijk was geworden. Reeds lang daarvoor ingezette besprekingen mondden erin uit dat hij zich voltijds verbond aan het Institute for Advanced Study te Princeton.

De quantummechanica kwam voor Einstein eigenlijk te laat. Als de theorie in 1925 in haar eerste vorm het licht ziet, is Einstein al een aantal jaren bezig met een alternatieve manier om de natuurkunde van het allerkleinste te begrijpen. Hij verwachtte door gravitatie en elektromagnetisme op de ‘wiskundig meest natuurlijke wijze’ met elkaar te verbinden, door ze te ‘unificeren’, een nieuwe grondslag voor de natuurkunde te zullen kunnen geven. Ongetwijfeld was hij hiertoe geïnspireerd door zijn eigen ervaringen met de successen van de relativiteitstheorie, waar de wiskunde hem uiteindelijk de juiste theorie leek te hebben gegeven. Een deeltjesoplossing in zo’n veralgemeniseerde,

geünificeerde theorie – een oplossing waarin oneindigheden, zoals die van het stermodel van Schwarzschild, afwezig waren – zou wellicht een goede kans bieden om de tegenintuïtieve gedragingen van quantumdeeltjes volledig, en dus beter te beschrijven.

Aanvankelijk herste er groot ontzag voor dit ambitieuze project. Algauw sloeg dit om in onbegrip, en rond 1939 werden deze onderzoeken zelfs met enige gêne gadeslagen door de nieuwe generatie. Einsteins werk leek volledig te zijn losgeslagen van experimentele waarnemingen; de kernfysica en de nieuwe natuurkunde van de kosmische straling leken geheel aan hem voorbij te gaan. Einsteins reputatie als onderzoeker van de zwaartekracht, het eigenlijke domein van zijn relativiteitstheorie, stond echter nog als een huis. Niettemin, de fysici die aan het front stonden van de laatste ontwikkelingen vonden dat inmiddels een stoffig onderwerp.

Hoogstwaarschijnlijk attendeerde Robertson Einstein op de problemen met het gravitatieveld van Schwarzschild. Het is onduidelijk in hoeverre Einstein op de hoogte was van de ideeën van Lemaître, of daar de consequenties van overzag – net zomin als het duidelijk is waarom hij onmiddellijk zijn eigen visie op schrift stelde. Misschien zag Einstein in dat wanneer de oneindigheid op de Schwarzschild-straal slechts een artefact was, de oneindigheid in het centrum van de ster des te onvermijdelijker werd? En dat daardoor zijn eigen idealistische programma, om nette deeltjesoplossingen te vinden in theorieën met gravitatie en elektromagnetisme, weer een beetje minder geloofwaardig werd? Hoe dan ook, Einstein publiceerde een lange berekening waarin hij het gravitatieveld bestudeerde van een bol met deeltjes die in een cirkel om een middelpunt draaide. Zijn conclusie: die ronddraaiende deeltjes bereiken de lichtsnelheid als de straal van de bol te dicht in de buurt van de Schwarzschild-afstand komt. En aangezien deeltjes nooit sneller dan licht kunnen bewegen, kan de bol niet te dicht worden samengetrokken. Dus: de Schwarzschild-straal ‘bestaat niet in de fysische werkelijkheid... omdat materie niet willekeurig dicht geconcentreerd kan worden’. De deeltjes blijven voor altijd op een veilige afstand ronddraaien in hun ideale cirkelbanen – maar recht naar beneden vallen, daar had Einstein niet aan gedacht?

In de zomer van 1939 ontving Einstein in zijn zomerhuisje aan de kust van Long Island, even buiten New York, een groepje geëmigreerde Hongaarse wetenschappers. Het was net bekend geworden dat uraniumatomen splijten wanneer ze een langzaam neutron invangen, en dat daarbij meerdere neutronen vrijkomen. Een van de Hongaren, Leo Szilárd, had zich gerealiseerd dat het mogelijk was een kettingre-

actie in gang te zetten – een vrijgekomen neutron stoot een nieuwe uraniumkern aan, en zo verder – en dat zo'n kettingreactie wel eens enorm explosief zou kunnen verlopen: Szilárd realiseerde zich dat er een atoombom gemaakt kon worden. Aangezien het meeste uranium te vinden was in Belgisch Congo, hadden Szilárd en zijn medebezoezers zich voorgenomen om de Belgische regering te informeren; Einstein was een goede vriend van de Belgische koningin.

Al snel werd het de Hongaren echter duidelijk dat ze als eerste de Amerikaanse overheid op de hoogte zouden moeten stellen, en eigenlijk meteen president Roosevelt zelf. Einstein dicteerde twee versies van een brief, en zou beide ondertekenen. Roosevelt werd aldus geïnformeerd dat het mogelijk zou kunnen zijn om 'extreem krachtige bommen van een nieuwe soort te construeren', en kreeg het advies om contact te leggen en te onderhouden met de fysici die het best op de hoogte waren van kettingreacties met uranium; Duitsland was tenslotte misschien al wel zo'n bom aan het bouwen.

Roosevelt was genoeg onder de indruk om meteen een comité samen te stellen, waar de Hongaren deel van uitmaakten. Einstein koos ervoor om afstand te bewaren. Overigens zou hij toch geen toestemming hebben gekregen om betrokken te raken bij geheim kernonderzoek vanwege zijn linkse en eigenzinnige reputatie. Aanvankelijk gebeurde er echter weinig, en het duurde totdat de Britten de Amerikanen wakker schudden – Rudolph Peierls en Otto Frisch, joodse vluchtelingen in Oxford, hadden uitgerekend dat er slechts een kilo uranium (van de juiste soort) nodig was voor een bom, veel minder dan doorgaans werd geloofd – eer deze hun 'Manhattan-project' op zouden starten.

Oppenheimer werd aangezocht om als wetenschappelijk directeur het Manhattan-project te dienen. Als een van de weinige geboren Amerikanen die de fysica voldoende zouden beheersen (wellicht de enige), als evident genie, maar ook wegens zijn grote charisma en vooral zijn tomeloze ambitie, was het duidelijk dat hij de ideale kandidaat was. Oppenheimer begreep dat zijn politieke activiteiten de toegang tot het project wel eens zouden kunnen verhinderen, en hij ontdeed zich in rap tempo van 'iedere communistische connectie'.

In oktober van 1942 werd hij benoemd, en een paar maanden later zou hij naar New Mexico vertrekken, alwaar op een tafelberg midden in de woestijn een stadje ('Los Alamos') opgetrokken werd waar in het diepste geheim gewerkt zou gaan worden aan het nieuwe wapen.

Voordat Oppenheimer en zijn vrouw uit Berkeley vertrokken, nodigden ze de Chevaliers uit voor een klein diner bij hen thuis; Haakon en Barbara Chevalier waren inmiddels intieme vrienden geworden,

en ze wilden in alle rust afscheid kunnen nemen. Aan het begin van de avond trok Oppenheimer zich kort terug in de keuken om een aperitief te maken, en Chevalier volgde hem. Deze had recent gesproken met een wederzijdse kennis, de Britse natuurkundige George Eltenton, die in Californië voor Shell werkte. Eltenton had Chevalier gevraagd Oppenheimer een verzoek voor te leggen. Zou Oppenheimer bereid zijn om informatie over zijn nieuwe werk door te spelen aan een Russische diplomaat in San Francisco?

J. Robert Oppenheimer publiceerde slechts drie artikelen over stellaire evolutie. Hij dacht al langer na over de energiehuishouding van sterren, maar Bethes resultaat lijkt de onmiddellijke aanleiding te zijn geweest voor Oppenheimers bijdragen. Waarschijnlijk had hij eigenlijk zelf Bethes werk willen doen, en de eerste van de drie publicaties (geschreven samen met Robert Serber) bevatte niet veel meer dan een aanbeveling van diens theorie. Daarnaast gaf het artikel een schatting voor de ondergrens van de massa van een bepaald soort sterkernen. Oppenheimer en Serber wilden aftasten voor welke waarden van de massa zulke kernen nog stabiel zouden zijn. Ze gebruikten daarvoor echter nog steeds de oude gravitatie-theorie van Isaac Newton.

George Volkoff, een van Oppenheimers studenten in Berkeley, was toen al een jaar aan het nadenken over de energiebronnen van sterren. Oppenheimer wilde nu weten wat er zou gebeuren met een zware ster die niet meer genoeg brandstof zou hebben voor het voortzetten van kernfusie. Om een precies resultaat te behalen moest men eigenlijk de algemene relativiteitstheorie gebruiken, en samen met Tolman stelden Oppenheimer en Volkoff de vergelijkingen op die opgelost moesten worden. Ze kwamen toen weer het model van Schwarzschild tegen.

Eerder had een Russische onderzoeker, Lev Landau, uitgerekend dat sterren met een massa groter dan anderhalf keer die van de zon zouden imploderen tot een neutronenster, een ster van alleen maar dicht op elkaar gepakte neutronen. De relativistische berekeningen van Oppenheimer en Volkoff lieten zien dat alleen sterren met een massa die kleiner was dan drie kwart van de zonsmassa een stabiele neutronenster op zouden leveren. Als anderhalf keer de zonsmassa nodig was om een neutronenster te vormen, en een massa van meer dan drie kwart van de zonsmassa te veel was om een neutronenster stabiel te laten zijn, dan zouden zulke neutronensterren waarschijnlijk zeer zeldzaam zijn. Het leeuwendeel van de opgebrande zware sterren zou hun implosie ongeremd voortzetten, dwars door een neutronenster-fase heen. Maar wat zou er uiteindelijk met deze sterren gebeuren?

Oppenheimer koos Snyder voor zijn volgende project, waarschijnlijk omdat het een wiskundig begenadigde student was. Het viel tegen om de berekeningen tot een goed einde te brengen, en de resultaten waren 'erg vreemd', zoals Oppenheimer aan een collega schreef. Volgens een denkbeeldige waarnemer die ver van de ster weg bleef, zorgde de 'gravitationele deflectie van het licht ervoor dat er geen straling meer kan ontsnappen, behalve dan door een recht naar buiten gerichte lichtkegel, die alsmaar kleiner wordt terwijl de ster zich samentrekt'. Alleen het gravitationele veld van de ster bleef over, als een donker graf van de vroegere lichtbal. Enig signaal van achter de horizon zou de buitenwereld nooit meer bereiken; de hemel was zwart geworden.

Vroegere onderzoekers meenden zoals gezegd dat ieder samentrekken van een ster uiteindelijk oneindig lang zou duren. Oppenheimer wist door Tolman niettemin dat er een tweede perspectief van belang was: dat van een waarnemer die samen met de contraherende materie op de Schwarzschild-straal af vliegt. Volgens die waarnemer, aldus Oppenheimer, is de benodigde tijd voordat volledige 'isolatie' optreedt 'eindig, en wellicht tamelijk kort'. Een essentieel verschil met de berekening van Einstein was dat Oppenheimer uit was gegaan van een imploderende ster, waardoor hij gedwongen werd recht naar beneden vallende materie te beschouwen. Hij had die aanloop genomen omdat hij begonnen was met een probleem uit de actuele studie van sterevolutie; Einstein daarentegen was naar alle waarschijnlijkheid überhaupt nauwelijks op de hoogte van dit onderwerp. Hoe dan ook, het resultaat was dat de deeltjes van Einstein eindelijk rondjes bleven draaien, terwijl de deeltjes van Oppenheimer recht naar beneden vielen, het oneindig diepe zwarte gat in.

Oppenheimer sloeg het voorstel van Chevalier meteen af. Ontstemd stelde hij niets met het voorgelegde 'verraad' te maken te willen hebben; het argument dat een stel reactionairen in Washington de geallieerde Russen, die ook nog eens voor hun lijfsbehoud aan het vechten waren, onterecht vitale kennis onthield kon hem allerminst overtuigen. Al snel voegden Oppenheimer en Chevalier zich weer bij hun echtgenotes. Oppenheimer deed in eerste instantie geen melding van het voorval bij zijn militaire superieuren, ondanks het feit dat hij als aanstaande voorman van het atoombomonderzoek inmiddels streng in de gaten werd gehouden. Misschien wilde hij zijn vriend beschermen, of achtte hij het voorval gewoon niet belangrijk genoeg.

In maart 1943 begon het werk op de tafelberg in de woestijn pas echt. Hans Bethe gaf leiding aan de theoretische afdeling, en Robert Bacher aan de experimentele groep. Oppenheimer zou snel groeien in

zijn rol en zich manifesteren als een doortastend bestuurder die het geheel goed overzag. Hijzelf was verantwoording schuldig aan generaal Leslie Groves, een wat lompe man, rechtdoorzee en autoritair, maar een aanpakker die uiteindelijk goed met Oppenheimer overweg kon. Isidor Rabi, een van Oppenheimers beste vrienden, wilde niet naar Los Alamos komen; Rabi vond dat 'het hoogtepunt van drie eeuwen fysica' geen massavernietigingswapen mocht zijn. Oppenheimer was echter van mening dat men hoe dan ook de atoombom moest ontwerpen, voordat de Duitsers dat zouden doen.

Er waren twee mogelijkheden om een kernsplijtingsbom te maken: men zou een uranium-'kogel' af kunnen vuren op een andere uraniummassa, of een hoeveelheid plutonium kunnen laten imploderen. In beide gevallen zou dan precies de juiste hoeveelheid van een bepaalde isotoop (een atoom van dezelfde chemische soort, maar met een afwijkend aantal neutronen) resulteren, zodat een kettingreactie in gang werd gezet. Het opwerken van de zware metalen om de goede mix van isotopen te bereiken was een bijzonder tijdrovend en kostbaar proces, en de onderzoekers in New Mexico voelden onophoudelijk de druk van de gevreesde Duitse bom. Er was ook nog een derde mogelijkheid: een waterstofbom. Deze zou nog veel destructiever zijn. De explosie zou in dat geval het gevolg zijn van fusiereacties van waterstofkernen, net als in het binnenste van een ster.

Edward Teller, een theoreticus en een van de Hongaren die bij Einstein op bezoek waren geweest, raakte maar niet uitgesproken over deze 'superbom'. Het bouwen van een waterstofbom was echter een te grote uitdaging, en had geen hoge prioriteit. Toen Teller zijn werk aan splijtingsbommen begon te negeren verving Oppenheimer hem door Peierls; Teller mocht vanaf dat moment zo veel en zo lang als hij maar wilde nadenken over 'de super', maar het werk aan de uranium- en plutoniumbom zou hij niet langer meer op kunnen houden. Teller voelde zich beledigd, net als eerder, toen Bethe en niet hij tot de leider van de theoretische afdeling was benoemd.

Op het moment dat de atoombommen gereed waren om getest te worden, was Duitsland al verslagen. Al snel bleek dat het Duitse kernprogramma nooit een serieuze concurrent was geweest. Oppenheimer zocht samen met de militairen een stuk woestijn uit voor een proefexplosie: de keuze viel op een gebied dat door Spaanse kolonisten de Jornada del Muerto genoemd was, maar Oppenheimer gaf het een nieuwe naam: Trinity. Niet lang daarna, op 16 juli 1945, om half zes 's ochtends, vulde de hemel zich met wit licht: 'Nu ben ik geworden dood, de vernietiger van werelden,' dacht Oppenheimer.

Drie weken later, op 6 augustus 1945, voegde Einstein zich bij zijn secretaresse en huisgenote, Helen Dukas, voor de middagthee. Ze verbleven in een vakantiewoning in het Adirondack-gebergte in het noorden van de staat New York, en Einstein had net een middagdutje gedaan. Dukas vertelde hem dat de atoombom op Hiroshima gevallen was. 'O mijn god,' zei Einstein.

Na zijn brieven aan Roosevelt was Einstein verder niet meer betrokken geweest bij het Amerikaanse atoomprogramma; die brieven zouden hem echter nog geregeld voorgevoerd worden als het eigenlijke begin daarvan. Einstein verdedigde zich door de proporties van zijn eigen rol terug te brengen, maar meende tevens dat, ondanks zijn eerdere pacifisme, een krachtige zelfverdediging tegen de virulente nationaal-socialisten een absolute noodzaak was geweest – ook Einstein betoogde dat de mogelijkheid van een Duits atoomwapen hem met de rug tegen de muur had gezet. Maar hij vond tevens dat de bom niet tegen Japan gebruikt had mogen worden.

Aan een tijdschrift uit dat land schreef hij later dat verzet tegen oorlogsmiddelen geen werkelijk doel dient; men moest zich in de eerste plaats inspannen om oorlogen en de redenen tot oorlogen weg te nemen. Einstein was ervan overtuigd dat er een 'wereldregering' gevormd moest worden. Deze zou individuele legers overbodig maken. De Verenigde Naties schoten tekort, omdat dat slechts een vereniging van natiestaten was; deze moesten op korte termijn ondergeschikt worden gemaakt aan een hogere autoriteit, en die autoriteit zou als enige het geheim van het atoomwapen mogen beheren.

In 1946 werd Einstein voorzitter van het 'Emergency Committee of Atomic Scientists'. De doelstelling van dit comité was het Amerikaanse publiek te informeren over de gevaren van kernwapens: er bestond geen enkele twijfel over dat andere landen ook atoombommen zouden kunnen bouwen, en verdediging tegen deze wapens was onmogelijk. Bij een volgende oorlog zouden ze zeker ingezet worden, en de beschaving vernietigen. De enige oplossing was internationaal toezicht, en, uiteindelijk, het uitbannen van oorlogen. Zonder wereldregering, luidde Einsteins overtuiging, zou de wereld te gronde gaan.

In april 1955, vlak voor zijn overlijden, sprak Einstein de wereld nog een laatste maal toe in een manifest dat hij samen met Bertrand Russell ondertekende. Ze waarschuwden voor de gevaren van de waterstofbom, duizenden malen sterker dan de bom van Hiroshima, en inmiddels al succesvol getest. Einstein en Russell riepen nog eens op tot het afschaffen van oorlog; als eerste stap werd het afschaffen van de fusiebom voorgelegd. Toegang en invloed bij Amerikaanse machthebbers had Einstein echter al lang niet meer (als hij dit in de v s ooit

al echt gehad zou hebben). Sommige politici en bureaucraten vonden hem subversief, een cryptocommunist. Anderen, de ogen gericht op de Koude Oorlog, zagen in Einstein vooral een onpragmatische idealist; iemand die, op veilige afstand, in zijn eigen platonische universum eindeloos zelfgekozen rondjes draaide.

In 1947 werd Oppenheimer directeur van het Institute for Advanced Study, waardoor hij formeel Einsteins baas werd. Na Los Alamos kon Oppenheimer maar moeilijk zijn draai hervinden als docent in Californië, en in Princeton, aan de Amerikaanse oostkust, zou hij dichter in de buurt van Washington zijn, waar zijn advies veelgevraagd was; hij genoot er enorm aanzien als ‘vader van de atoombom’. In hetzelfde jaar werd hij gekozen tot voorzitter van de wetenschappelijke General Advisory Committee, die de Atomic Energy Commission (AEC) bijstond. De laatste droeg als hoogste overheidsorgaan verantwoordelijkheid voor al het kernfysisch onderzoek en de mogelijke toepassingen daarvan; ze viel rechtstreeks onder de president en het Amerikaanse Congres.

Einstein en Oppenheimer onderhielden geen bijzonder warme relatie. Einstein kon slechts beperkte achting opbrengen voor Oppenheimers bijdragen aan de fysica, terwijl Oppenheimer, die volledig overtuigd was van de juistheid van de quantummechanica, Einstein al in de jaren dertig als ‘volledig kierewiet’ beschouwde. Niettemin respecteerde Einstein Oppenheimer als bestuurder, en Oppenheimer sloeg het vroegere werk van Einstein uiteraard zeer hoog aan. Ze waren hartelijk in elkaars omgeving, maar Einstein had weinig begrip voor Oppenheimer: ook deze vreesde een wapenwedloop, maar deinsde ervoor terug om zich er stevig tegen uit te spreken.

Oppenheimer wilde vooral zijn invloed behouden. Toch opereerde hij niet altijd even evenwichtig. In het najaar van 1945 mocht hij op audiëntie bij president Truman. Die meende dat de Russen er nooit in zouden slagen om een atoomwapen te maken. Uit het lood geslagen door Trumans onbegrip – een nerveuze Oppenheimer had hem juist op het hart willen drukken een internationale controle van atoomtechniek in het leven te roepen – zei hij zachtjes dat hij bloed aan zijn handen had. Truman reageerde gepikeerd en liet later weten dat hij deze ‘huilbaby’ nooit meer wilde zien.

Edward Teller had de hoop nooit opgegeven eens de ‘super’ te bouwen, en toen in 1949 bleek dat de Sovjets ook een plutoniumbom hadden ontwikkeld, rook hij zijn kans: ontwikkeling van de fusiebom werd aangeprezen als het beste middel om Rusland voor te blijven. Oppenheimer twijfelde lang over de technische haalbaarheid van de

waterstofbom, en was verontrust dat een dusdanig destructief wapen door velen beschouwd werd als de beste oplossing om de vrede te bewaren. Zijn comité adviseerde tegen een versnelde ontwikkeling van de neutronenbom; deze kon op geen enkele manier ingezet worden zonder genocide te plegen. Niet alleen waren er technische en morele bezwaren, ook achtte men de veiligheid van de v s niet gediend met dit nieuwe wapen. Truman stelde echter dat als de Russen een waterstofbom zouden kunnen ontwikkelen, de Amerikanen dat zeker ook moesten doen.

In 1953 gaf Oppenheimer een lezing voor een select gezelschap van juristen en bankiers waarin hij de wijsheid van het Amerikaanse beleid – alsmar meer en alsmar grotere wapens, om nog verwoestender uit te kunnen halen naar de zich haast even snel bewapenende Sovjet-Unie – in twijfel trok. Ook bekritiseerde hij de geheimhouding waarmee vrijwel alles wat met atoomwapens te maken had omgeven was. Een prominent lid van de A E C, Lewis Strauss, was laaiend, en begon aan Oppenheimers stoelpoten te zagen: Strauss liet in veelgelezen tijdschriften een verhaal plaatsnemen waaruit zou blijken dat Oppenheimer de ontwikkeling van de waterstofbom had vertraagd. Ook zorgde hij ervoor dat de F B I een memorandum rondstuurde waarin Oppenheimers loyaliteit sterk in twijfel werd getrokken. President Eisenhower schorste meteen Oppenheimers toegang tot gevoelige informatie: een ‘kale muur’ moest rondom hem neerdalen.

Strauss hield Oppenheimer twee mogelijkheden voor: ofwel hij zou stilletjes zijn ontslag als adviseur indienen, ofwel hij zou een formele ondervraging moeten ondergaan, waaruit zou moeten blijken of zijn toegang tot atoomgeheimen hersteld kon worden. Oppenheimer koos ervoor om de aanklachten aan te vechten. (Einstein had hem het tegendeel geadviseerd, en noemde Oppenheimer vervolgens een ‘nar’.) Tijdens de dagenlange verhoren werd Edward Teller opgeroepen, om te getuigen over Oppenheimers verzet tegen de neutronenbom. Teller sprak tegen dat Oppenheimer niet loyaal zou zijn aan de Verenigde Staten. Maar hij begreep Oppenheimers daden vaak niet, noemde ze verward en gecompliceerd, en zag de ‘vitale belangen van dit land’ liever in handen waar hij meer vertrouwen in had.

Natuurlijk zou ook Oppenheimers keukengesprek met Chevalier ter sprake komen. Oppenheimer had dit uiteindelijk zelf opgebiecht, eerst in augustus van 1943 aan kolonel Boris Pash, en later nog eens, aan de F B I. Chevaliers naam had hij aanvankelijk achtergehouden, maar later toch prijsgegeven. Zijn ondervragers beschikten over een transcriptie van een opname van het eerste gesprek, en naar nu bleek had Oppenheimer destijds – zonder dat daarvoor een aanleiding aan

te wijzen was – allerlei onware details toegevoegd: er zouden meerdere wetenschappers zijn benaderd, er zou gesproken zijn over microfilm als een manier om informatie over te brengen. Oppenheimer had geen verklaring voor de onwaarheden. Hij kon niet anders dan toegeven dat hij destijds had gelogen; hij gaf zelfs toe dat hij een hele keten van leugens aaneengeregen had. Robert Oppenheimer viel, recht naar beneden.

LITERATUUR:

- Bird, Kai, en Martin J. Sherwin, *American Prometheus. The Triumph and Tragedy of J. Robert Oppenheimer*, New York: Vintage, 2006.
- Einstein, Albert, 'On a Stationary System with Spherical Symmetry Consisting on Many Gravitating Masses', *Annals of Mathematics*, 40 (1939), 922-936.
- Eisenstaedt, Jean, 'Trajectoires et impasses de la solution de Schwarzschild', *Archive for History of Exact Sciences*, 37 (1987), 275-357.
- Eisenstaedt, Jean, 'Lemaître and the Schwarzschild Solution', pp. 353-389 in John Earman, Michel Janssen en John Norton (red.), *The Attraction of Gravitation. New Studies in the History of General Relativity*. Boston: Birkhäuser, 1993.
- Feld, Bernard, 'Einstein and the Politics of Nuclear Weapons', pp. 369-393 in Gerald Holton en Yehuda Elkana (red.), *Albert Einstein. Historical and Cultural Perspectives*, New York, Dover, 1997.
- Hufbauer, Karl, 'J. Robert Oppenheimer's Path to Black Holes', pp. 31-47 in Cathryn Carson en David A. Hollinger (red.), *Reappraising Oppenheimer. Centennial Studies and Reflections*, University of California, Berkeley: *Berkeley Papers in History of Science*, Volume 21, 2005.
- Oppenheimer, J. Robert, en Hartland Snyder, 'On Continued Gravitational Contraction', *Physical Review*, 56 (1939), 455-459.
- Van Dongen, Jeroen, *Einstein's Unification*, Cambridge: Cambridge University Press, 2010.