



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Jaap Kistemaker en uraniumverrijking in Nederland 1945-1962

Streefland, A.H.; Streefland A.H.

Citation

Streefland, A. H. (2017, September 20). *Jaap Kistemaker en uraniumverrijking in Nederland 1945-1962*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/52965>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/52965>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/52965> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Streefland, A.H.

Title: Jaap Kistemaker en uraniumverrijking in Nederland 1945-1962

Issue Date: 2017-09-20

I DE SEPARATOR (1945-1949)

I Het Smythrapport

Op een middag in oktober 1945 kwam de Leidse hoogleraar theoretische natuurkunde Hendrik Anthony Kramers de werkkamer van Jaap Kistemaker, toen 28 jaar oud, binnengelopen. In zijn handen hield hij een geel boekje, dat door een speciale koerier uit Washington naar Europa was gebracht. Het was het officiële publieke rapport dat de Amerikaanse natuurkundige Henry DeWolf Smyth had geschreven over de ontwikkeling van de twee door de Amerikanen ingezette atoombomben, het Manhattanproject. Kistemaker mocht het boekje 24 uur houden. Daarna moest dit 'Smythrapport' doorgegeven worden aan iemand anders. Kistemaker las het 264 pagina's tellende verslag gretig.¹

Het Smythrapport gaf een beeld van de schaal van het Manhattanproject. Het was duidelijk dat er een nieuw tijdperk in de natuurkunde was aangebroken. Een ongekende hoeveelheid mankracht, talent en kennis was in de Amerikaanse onderzoekslaboratoria bij elkaar gebracht om zowel de theoretische als de logistieke en productietechnische moeilijkheden bij de vervaardiging van kernwapens te overwinnen. Duizenden mensen werkten in de oorlogsjaren aan de theoretische achtergronden van kernsplijting, de verrijking van uranium, het ontwikkelen van de benodigde materialen, de constructie van een nucleaire reactor en het ontstekingsmechanisme van de bommen. Het rapport bevatte alles wat er op dat moment was vrijgegeven over het project. De rest werd strikt geheimgehouden. Technische informatie over

de gebruikte technieken was daardoor uiterst schaars.²

De informatie die het boekje bevatte, plaatste Nederlandse beleidsmakers en fysici voor een lastig vraagstuk: hoe moest men zich hiertoe verhouden? Het was in Nederland onmogelijk om een eigen ‘Manhattanproject’ op te zetten – een dergelijke onderneming was eenvoudigweg veel te grootschalig en duur voor het door de oorlog zwaargehavende land. Maar nietsdoen was ook geen optie. Er moest wel iets gebeuren op het gebied van de nieuwe ontwikkelingen in de kernfysica, al was het maar om mee te blijven gaan in de vaart der volkeren. Zo realiseerden beleidsmakers zich, met minister-president Schermerhorn voorop, dat kernenergie ingezet kon worden voor de welvaart van het land.³ Het werd langzaam maar zeker gezien als de energiebron van de toekomst. En voor fysici was het duidelijk dat dit nieuwe vakgebied een grote toekomst had. Onmiddellijk na het einde van de oorlog werden er door de verschillende groepen plannen gemaakt. Fysici namen hierin het voortouw, met Kramers voorop.

In dit hoofdstuk zal blijken op welke manier Nederland een antwoord begon te formuleren op bovenstaand vraagstuk. Allereerst werd er een aantal commissies ingesteld die de verschillende mogelijkheden moesten vergelijken. Later leidde dit tot de oprichting van de Stichting FOM. Kistemaker bewoog zich in dit krachtenveld en kreeg, als een van de eerste werknemers van FOM, een centrale rol toebedeeld in de uitvoer van een van de plannen: het verrijken van uranium.

2 Een studie, een promotie

Dat Kistemaker een belangrijke rol zou gaan spelen in de kernfysica lag niet voor de hand. Geboren in 1917 groeide hij op in het Noord-Hollandse plaatsje Kolhorn. Zijn vader had een boerenbedrijf. Ook Jaaps moeder kwam uit Noord-Holland. Jaap had een broer Gerard en een zus Nettie. Gerard nam later het familiebedrijf over. Hij werd er miljonair mee omdat hij aardappels begon te produceren voor de chipsindustrie.⁴ Al vroeg begon de kleine Jaap

zich te interesseren voor de sterrenhemel. Zo schetste hij op vijfjarige leeftijd al een kaart van de maan. Toen hij twaalf jaar oud was, werd hij toegelaten tot een lokale groep amateurastronomen. Een oud-lid van die groep was Gerrit Pieter Kuiper uit het naburige Tuitjenhorn, die op dat moment in Leiden zijn promotieonderzoek aan het afronden was. Later zou hij hoogleraar planetaire astronomie in Chicago worden. In 1932 schreef Kistemaker, vijftien jaar oud, een brief aan Kuiper met daarin de vraag hoe hij astronoom moest worden. Hij kreeg een enthousiaste brief terug met daarin een aantal namen en adressen van jonge aspirant-astronomen die bezig waren met hun studie aan de Leidse Sterrewacht. Kuipers advies was: praat eens met hen, zij kunnen je helpen. Kistemaker reisde naar Leiden en maakte kennis met een aantal jonge studenten. Ook ontmoette hij de latere directeur van de Sterrewacht, Ejnar Hertzsprung.⁵ Hij besloot er te willen studeren.⁶

Dat ging niet zomaar. Eerst volgde Kistemaker de vijfjarige Hogere Handelsschool in Alkmaar, wellicht omdat dat met zijn achtergrond de meest logische stap was. Al op zijn twaalfde ging hij daarvoor in Alkmaar wonen, waarschijnlijk bij een tante.⁷ In 1934 deed hij eindexamen.⁸ Met dit diploma kon hij echter nog niet naar de universiteit. Daarom deed hij een jaar later Staatsexamen hbs, waarna hij kon beginnen met een studie natuur- en sterrenkunde.⁹ Hij ontving een studietoelage van het ministerie van Onderwijs.¹⁰ In de zomer van 1938 rondde hij zijn kandidaatsexamen in de natuur- en sterrenkunde af, met als hoofdrichting sterrenkunde.¹¹ Datzelfde jaar moest hij zijn dienstplicht vervullen. Hij kwam terecht bij het militaire weerstation Waalsdorp in Den Haag. Tot de lente van 1939 bleef hij in het leger, waarna hij zijn studie weer oppakte. Hij had besloten de sterrenkunde te laten vallen omdat een studie natuurkunde hem betere carrièremogelijkheden bood.¹²

Bij het uitbreken van de oorlog in mei 1940 moest Kistemaker opnieuw het leger in. Als korporaal werd hij na vijf dagen oorlog door de Duitse bezetter gedurende drie weken als krijgsgevangene vastgehouden. Daarna mocht hij terug naar Leiden. Op 20 november 1940, een week voordat de Leidse jurist en hoogleraar Cleveringa

zijn beroemde rede hield, behaalde Kistemaker zijn doctoraalexamen met als hoofdvak experimentele natuurkunde.¹³ Zijn begeleider was Willem Hendrik Keesom. Als opvolger van Heike Kamerlingh Onnes, die als eerste helium vloeibaar maakte, was Keesom vanaf 1924 directeur van het Natuurkundig Laboratorium van de Leidse Universiteit, het zogenoemde Kamerlingh Onnes-laboratorium (KOL). Keesom vervulde de functie samen met Wander de Haas. Op het KOL werd voornamelijk onderzoek gedaan naar lage temperaturen en de eigenschappen van gekoelde stoffen.¹⁴

De redevoering van Rudolph Cleveringa op 27 november 1940, waarin hij protesteerde tegen het door de Duitsers aangezegde ontslag van zijn promotor en collega Eduard Meijers en andere joodse hoogleraren, leidde na studentenstakingen tot een sluiting van de universiteit. Maar veel laboratoria en bibliotheken bleven open. Zo ook het Kamerlingh Onnes-laboratorium, waar Kistemaker aangesteld was als assistent.¹⁵ In de jaren twintig hadden Keesom en Kamerlingh Onnes een grote som geld – meer dan 100.000 gulden – ontvangen van de Amerikaanse Rockefeller Foundation. Hier plukte het laboratorium nog steeds de vruchten van. De beide hoogleraren benutten het geld om jaarlijks vijf à tien onderzoeksassistenten aan te stellen. Kistemaker was een van hen.¹⁶

Tijdens de oorlog begon Kistemaker te werken aan een promotieonderzoek. Het onderwerp was hem aangereikt door zijn begeleider Keesom, die in de eerste oorlogsjaren zijn standaardwerk *Helium* publiceerde.¹⁷ Keesom genoot vooral bekendheid vanwege zijn ontdekking van het zogenoemde lambdapunt van vloeibaar helium. Bij het koelen van helium vindt er bij een temperatuur van 2,17 Kelvin een overgang plaats waarbij de eigenschappen van het vloeibare helium abrupt veranderen. Keesom sprak van een overgang van 'Helium-I' naar 'Helium-II'. In de jaren dertig werd aangetoond dat Helium-II een superfluïde vloeistof is, dat wil zeggen een vloeistof waarbij de viscositeit geheel verdwenen is. Dit betekent dat op het moment dat de temperatuur van helium onder het lambdapunt komt, de viscositeit van de vloeistof verdwijnt. Deze eigenschap is vergelijkbaar met de verdwenen weerstand van supergeleiders, vandaar de term superfluïde.¹⁸

Kistemakers onderzoek ging over – en was getiteld – *Thermodynamische eigenschappen van helium in de omgeving van het lambda-punt*. Het was een directe voortzetting van het onderzoek van Keesom en paste goed in de lange traditie van Leids onderzoek naar gekoelde gassen dat was begonnen door Kamerlingh Onnes. Het onderzoek had niets te maken met Kistemakers latere carrière als kernfysicus. Zijn opdracht was om recente metingen van Keesom en Walstra aan eigenschappen van helium uit te breiden tot temperaturen onder het lambda-punt. Hiervoor ontwikkelde hij een nieuwe meetmethode, die ervoor zorgde dat hij op de drukmeter het niveau van het kwik tot tien keer zo nauwkeurig af kon lezen dan tot dan toe het geval was. Hij gebruikte röntgenfoto's om dit voor elkaar te krijgen. De resultaten bleken maar ten dele in overeenstemming te zijn met Keesoms eerdere werk en gaven daarom aanleiding tot een correctie van de Leidse temperatuurschaal zoals die in 1937 was vastgesteld.¹⁹

In de oorlogsjaren had Kistemaker naast het werk aan zijn proefschrift ook andere bezigheden. Zo schreef hij in 1943 samen met de Leidse hoogleraar Kramers een kort artikel in *Physica* over de natuurkundige eigenschappen van gasmengsels en in Delft gaf hij een lezing over fotografische effecten.²⁰ In 1944 hield hij voor de Nederlandse Natuurkundige Vereniging (NNV) een voordracht over de eigenschappen van gassen die door poreuze wanden worden geperst.²¹ Bovendien verrichtte hij bij de militaire weerdienst in Den Helder weken achtereenvolgende dagelijkse drukmetingen.²² Hij verbleef dan in Kolhorn. In de oorlogsjaren reisde hij op aanraden van De Haas voor enkele weken naar Parijs om daar te werken bij de firma Cellastic.²³ Deze reis zou hem later blijven achtervolgen. De Haas, die ook voor Cellastic werkte, vluchtte in de loop van de oorlog naar Engeland. Ook hij zou later nog met zijn oorlogsverleden worden geconfronteerd.

Op 1 mei 1943 trouwde Kistemaker met Jacoba (Cobi) C. Keizer.²⁴ Cobi studeerde rechten, ook in Leiden. Ze kwam uit een Haarlemse familie. Haar vader was slager. Cobi heeft haar studie rechten niet afgemaakt en is later huismoeder geworden voor de drie kinderen.²⁵ Tijdens de Hongerwinter bracht Kistemaker het grootste deel

van zijn tijd thuis door. Zijn ouders waren geselecteerd als boer voor de in de jaren dertig drooggevalle Wieringermeer. Ze bouwden een middelgroot boerenbedrijf op voor het verbouwen van aardappels, bieten en graan. Jaap verzorgde tijdens de Hongerwinter een transport van aardappelen uit de kop van Noord-Holland naar Leiden, per schuit. De aardappelen werden in Leiden door Kramers met een boerenkar gedistribueerd. Er gingen zakken naar de medewerkers van het Kamerlingh Onnes-laboratorium, een aantal Leidse professoren en een tante van Kistemaker.²⁶ Kramers vergeleek deze welkome schenking met Sint-Nicolaas en was Kistemaker zeer erkentelijk voor de zending: 'Onze geesten en magen zwemmen nog steeds in dankbaarheid,' schreef Kramers in maart aan Kistemaker.²⁷

Na de bevrijding, in de zomer van 1945, legde Kistemaker de laatste hand aan zijn proefschrift. Kramers had hem in het laatste oorlogsjaar met de afronding geholpen, omdat Keesom ziek was geworden en nog niet voldoende was hersteld. Kramers schreef hem lange brieven waarin hij de theorieën uitlegde die in Kistemakers proefschrift een rol speelden.²⁸ Vooral theoretisch was Kistemaker niet zo sterk; hij had meer talent voor het opzetten en doen van experimenten. De brieven liet hij door kennissen uit Noord-Holland bezorgen. Een van hen was de bekende hoboïst Haakon Stotijn met wie Kramers, die uitstekend piano en cello speelde, in het laatste oorlogsjaar kamermuziek begon te maken – 'heerlijk speelt Stotijn'.²⁹

Kistemaker mocht niet direct promoveren. Om te zorgen dat 'landverraders' passend werden gestraft, werden er zuiveringen gehouden: collaborateurs werden na een onderzoek ontslagen of gestaat.³⁰ Dit gebeurde ook op de universiteiten. Door het Militair Gezag werd direct na de bevrijding een College van Herstel ingesteld om het onderwijs weer op gang te helpen en de eerste zuivering door te voeren. Toen in juli 1945 de Nederlandse regering het gezag overnam kwam het College onder supervisie van de ministers van Onderwijs, Kunsten en Wetenschappen en Landbouw, Visserij en Voedselvoorziening (omdat de landbouwhogeschool in Wageningen onder dat ministerie viel). Op de verschillende universiteiten werden door het College van Herstel zuiveringscom-

missies ingesteld.³¹ De Leidse hoogleraar De Haas werd in juni 1945 door het Militair Gezag geschorst vanwege zijn betrokkenheid bij de Duitse firma Cellastic. Ook Kistemaker werd door de studentenzuiveringscommissie van de Leidse universiteit aan een zuiveringsonderzoek onderworpen. Later, in de jaren zestig en zeventig, ontstond er herhaaldelijk ophef over zijn zuivering. Pogingen om te reconstrueren welke procedure precies was gevolgd, liepen vast.³² Zeker is dat hij in oktober of november een voorlopige zuiveringskaart ontving, onder andere ondertekend door de Leidse rector magnificus B.G. Escher, die hem 'voorlopig toe[liet] tot alle universitaire werkzaamheden'.³³ Deze kaart zorgde ervoor dat Kistemaker in november kon promoveren. Het was de eerste promotie na de oorlog in Leiden. Die vond plaats op woensdag 21 november 1945, om vier uur 's middags. Als promotor trad Kramers op. Hij verving Keesom, die nog niet was hersteld.³⁴

Kistemakers proefschrift berustte vooral op experimenteel werk. Kramers noemde hem in zijn laudatio een 'goed, kritisch experimentator, die niet licht iets vergeet en ook geen arbeid, hoe vervelend ook, schuwt'. Over zijn mindere theoretische gaven merkte Kramers op: 'In Uw frisse, zij het ook ongeschoolde kijk op theoretische kwesties, heb ik zelf veel plezier; zonder pretenties Uwerzijds zag ik U vaak vallen en opstaan op het gladde ijs der theorie, maar vergeefs was Uw moeite niet.' Een eigenschap die blijkbaar toen al duidelijk naar voren kwam was Kistemakers zakelijke manier van werken. Kramers verwoordde het als volgt: 'Uw stijl suggereert soms een meer zakenachtige dan wetenschappelijke importantie maar ik weet gelukkig dat het hier niet om Uw eigenlijke levensstijl gaat.'³⁵ Kramers sprak aan het einde van zijn rede de wens uit dat Kistemaker zijn 'gaven in dienst van de wetenschap in ons vaderland' zou blijven ontplooien. Het was vervolgens Kramers zelf die ervoor zorgde dat Kistemaker inderdaad niet met de 'braindrain' naar Amerika vertrok, maar de kans kreeg zich voor de Nederlandse wetenschap in te zetten.

3 Kramers en Nederlands uranium

Hendrik Kramers was een belangrijke spil in het netwerk van natuurkundigen dat direct na het einde van de oorlog plannen begon te maken over de toekomst en het herstel van de Nederlandse fysica. Op 16 augustus al, tien dagen nadat de atoombom op Hiroshima werd afgeworpen, schreef Kramers samen met zijn Groningse collega Dirk Coster een brandbrief aan de ingenieur en sinds kort nieuwe minister-president Willem Schermerhorn over de mogelijkheden van kernsplijting. Specifiek noemden de hoogleraren de mogelijkheid om uit de elementen uranium en thorium energie op te wekken en die 'economisch nuttig te maken'. Coster en Kramers drongen er bij Schermerhorn op aan om een 'petit comité' op te richten om daarmee binnen drie maanden een 'grondig rapport' op te stellen.³⁶ De brief had het gewenste effect: begin oktober werd door Schermerhorn samen met een van zijn secretarissen, de jonge fysicus en Philips-medewerker Hajo Bruining, een adviescommissie voor Atoomfysica ingesteld – met Kramers als voorzitter.³⁷ Deze commissie had als taak 'de wetenschappelijke status van de problemen, die zich op het gebied van de kernfysica voordoen, na te gaan'.³⁸

Een belangrijke troef die de Nederlandse fysici in handen hadden, was dat er vóór het uitbreken van de oorlog een grote partij uraniumoxide was gekocht. Het ging om 10 ton van het zogenoemde 'yellowcake': onbewerkt uranium dat door de Belgische firma Union Minière in Congo was gedolven.³⁹ Met onbewerkt uranium kan geen kernreactie worden opgewekt. Daarvoor moeten de verschillende isotopen eerst van elkaar worden gescheiden. Uranium dat direct uit een mijn komt bestaat grotendeels uit het isotoop met atoommassa 238. U-238, zoals het wordt genoemd, maakt 99,27 procent uit van het natuurlijke uranium. In principe is deze isotoop wel splijtbaar, maar er kan geen kettingreactie mee in gang worden gehouden. Een ander uraniumisotoop dat in de natuur gevonden wordt, met massa 235, kan dat wél. U-235 is het materiaal dat als brandstof fungeert in kernreactoren en waarvan atoombommen worden gemaakt. Slechts een kleine fractie, namelijk 0,72 procent,

van het natuurlijk gedolven uranium bestaat uit deze isotoop. Als er méér U-235 in het uranium zit dan het natuurlijke percentage, spreekt men van verrijkt uranium. En, omgekeerd, komt het verrijken van uranium neer op het scheiden van het isotoop U-238 van U-235.

Het aankopen van de grote partij uraniumoxide uit België was een idee van De Haas, Keesoms collega op het Kamerlingh Onnes-laboratorium in Leiden. Snel na de ontdekking van uraniumpijling in 1938 ging hij op bezoek bij de toenmalige minister-president Colijn. Het pleidooi van De Haas om uranium in te slaan viel in goede aarde en Colijn stemde in met een aankoop. De gedachte was dat er wel eens een run op het zeldzame uranium zou kunnen ontstaan en dat snel handelen gewenst was. Om achterdocht te voorkomen werd de aankoop verricht door de Verenigde Glasfabrieken in Delft.⁴⁰ Geen vreemde keuze, omdat glas vermengd met uranium aan het einde van de negentiende en het begin van de twintigste eeuw een grote populariteit kende vanwege de mooie kleuren die eraan konden worden gegeven. Daarnaast werd vanaf het begin van de twintigste eeuw het element radium gebruikt voor de lichtgevende wijzers van horloges. Radium, een vervalproduct van uranium, werd vaak gehaald uit uraniumerts.

De tweehonderd vaatjes yellowcake waren eigendom van het ministerie van Oorlog en werden aanvankelijk in de kelder van het Kamerlingh Onnes-laboratorium opgeslagen. Bij het uitladen zou De Haas gekscherend hebben opgemerkt: 'Zet ze niet op elkaar, want dan ontploffen ze,' verwijzend naar de kritische massa die nodig is voor een nucleaire explosie. Vlak voor de Duitse bezetting verhuisden de vaatjes naar Delft, waar ze werden ingemetseld onder het scheikundig laboratorium van de artillerie-inrichting. Volgens sommigen werd dit gedaan om ontdekking en roof door de bezetter te voorkomen, volgens anderen draaide het vooral om het tegengaan van vochtbeschadiging. De vaatjes werden niet gevonden door de bezetter en kwamen ongeschonden de oorlog door.⁴¹

De aanwezigheid van deze partij uraniumoxide speelde een grote rol bij het maken van de naoorlogse plannen. Kernenergie werd als

de energiebron van de toekomst gezien, daar waren zowel de wetenschappers als de politici het in de nazomer van 1945 over eens. Er wordt wel gezegd dat Nederland toen werd bestuurd door een 'wetenschappelijke regering', geleid door minister-president Schermerhorn.⁴² Het kabinet-Schermerhorn bruiste, in de woorden van historicus Geert Somsen, van de vernieuwingsplannen en ging dan ook voortvarend aan de slag met de organisatie van het kernfysisch onderzoek.⁴³ De adviescommissie voor Atoomfysica van Kramers voltooide al in december een eerste rapport, waarin werd beargumenteerd dat het zeer gewenst was om in Nederland op grote schaal met kernfysica aan de slag te gaan. Schermerhorn beaamde dit en gaf een vervolg aan de adviescommissie door een groep fysici te benaderen om zitting te nemen in een *vaste* commissie.⁴⁴

In eerste instantie werd de scheikundige Jan Hendrik de Boer benaderd om deze 'commissie voor Kernphysica' voor te zitten, waarvan de naam in de laatste maanden van 1945 werd veranderd in het bredere 'commissie voor Atoomphysica'. De Boer was echter te druk met ander werk en moest het aanbod afslaan.⁴⁵ Daardoor bleef Kramers de functie vervullen. Hij bevond zich hiermee in een uitzonderlijk invloedrijke positie: dicht bij de minister-president, als voorzitter van een gretige groep fysici die zowel de financiering van als het organisatorische apparaat achter de Nederlandse kern- en atoomfysica wilde realiseren. In de commissie zaten negen hoogleraren uit het hele land, waaronder Coster en de vu-hoogleraar Gerard Sizoo.⁴⁶ Bruining werd secretaris.⁴⁷

De voornaamste taak van de commissie was om na te gaan of er in Nederland een kernreactor gebouwd kon worden waarmee op een gecontroleerde manier een kernreactie opgewekt en in stand gehouden kon worden. In een kernreactor wordt voldoende verrijkt uranium bijeengebracht om een nucleaire kettingreactie te doen ontstaan. Deze reactie wordt in toom gehouden door een zogenoemde moderator. Meestal wordt hiervoor grafiet of zwaar water gebruikt. De warmte die vrijkomt door de kernsplijting wordt vervolgens omgezet in elektriciteit.

Vrijwel alle discussies binnen de commissie gingen over nauw hieraan gerelateerde onderwerpen zoals het bereiden van grafiet

en hoe scheiding van isotopen het best bewerkstelligd kon worden.⁴⁸ De vu-hoogleraar Sizoo was bereid om een onderzoek op te starten naar de zuivering van het Nederlandse uraniumoxide. Minister-president Schermerhorn droeg het beheer van de vaatjes uraniumgrondstof eind 1945 aan hem over.⁴⁹ De partij werd vanuit Delft overgebracht naar het staatsbedrijf van de artillerie-inrichting op het Hembrug-terrein in Amsterdam-Noord waar het in een magazijn werd opgeslagen.⁵⁰ Eén vaatje ging alvast naar Sizoo's laboratorium aan de Amsterdamse De Lairesestraat, waar begonnen werd met een onderzoek naar zuiveringsmethodes.⁵¹ Het zuiveren van het uraniumoxide was de eerste stap in een keten die uiteindelijk kon leiden tot het verkrijgen van verrijkt uranium voor gebruik in een kernreactor. Nadat het ruwe, onbewerkte uraniumoxide was gezuiverd tot uraniummetaal, was de volgende stap om de uraniumisotopen van elkaar te scheiden. Het uranium werd op deze manier verrijkt. Ook onderzoek naar dit proces werd door de commissie voor Atoomfysica in de steigers gezet.

4 De commissie voor Atoomfysica

Centraal bij het maken van de plannen voor uraniumverrijking van de commissie stond het al eerder genoemde Smythrapport. De distributie van dit boekje begon bij Hajo Bruining, die al eind augustus 1945 een eerste exemplaar van het rapport in handen kreeg van generaal-majoor A.G. van Tricht.⁵² Wellicht was dit het exemplaar dat door Kramers in Leiden werd verspreid en door Kistemaker werd gelezen, want pas in november en december kwamen er via J.H. de Boer zo'n dertig exemplaren van het rapport uit Londen naar Nederland. 'Hoe meer, hoe beeter!' schreef Bruining aan De Boer.⁵³ Het rapport suggereerde dat de atoombom toch vooral ontwikkeld was door theoretische natuurkundigen. Maar zowel de fysici die betrokken waren bij de commissie als Schermerhorn begrepen dat belangrijke hindernissen bij de ontwikkeling van de bommen waren opgelost door ingenieurs en werktuigbouwkundigen.⁵⁴

In het Smythrapport werd een aantal manieren genoemd waarop de Amerikanen voor hun atoombommen uranium hadden geprobeerd te verrijken. Een belangrijke conclusie die de fysici trokken uit het Smythrapport was 'dat men zich geen illusies over concurreren of imiteeren moest maken'.⁵⁵ Het werk dat de Amerikanen in de oorlog hadden verzet zou Nederland decennia kosten en veel te kostbaar zijn. Het was voor de commissie duidelijk dat uranium-verrijking op grote schaal in Nederland onuitvoerbaar was. Het zou onmogelijk zijn om de reusachtige fabrieken die in de oorlogsjaren in Oak Ridge waren neergezet in Nederland na te bouwen.

De commissie begon daarom plannen te maken voor de ontwikkeling van een massaspectrograaf, een apparaat dat op kleine schaal isotopen kan scheiden. Een spectrograaf is bedoeld om te onderzoeken uit welke materialen iets is opgebouwd, dus voor de analyse van stoffen. Daarmee heeft het apparaat een wezenlijk andere functie dan de grote 'separators' of 'calutrons' die in Amerika waren gebouwd. Daarvan was het doel namelijk geen analyse, maar groot-schalige productie van isotopen. Wel werken de apparaten met hetzelfde principe en op vrijwel dezelfde manier. Het proces bestaat grofweg uit drie stappen. Allereerst zorgt een ionenbron voor ionisatie van verschillende gasvormige elementen of isotopen. Hierbij is er een lading aan het deeltje toegevoegd of weggenomen, zodat er geladen deeltjes, ofwel ionen, overblijven. Deze ionen worden vervolgens versneld en in een magnetisch veld gebracht. Dit is de tweede stap. Vanwege hun lading buigen de deeltjes in het magneetveld af, waarbij zwaardere deeltjes een grotere bocht maken dan de lichtere. Aan het einde van het traject worden de ionen opgevangen. Vanwege het massaverschil komen de verschillende isotopen op andere plekken uit en kunnen ze los van elkaar worden verzameld. Deze gedifferentieerde detectie is de derde stap in het proces dat aan de basis ligt van zowel massaspectrografen (voor analyse) als massaseparators (voor productie). De fysici in de commissie waren het erover eens dat het van groot belang was dat er een persoon kwam 'die dit terrein beheerscht'.⁵⁶

In februari 1946 werd door de minister-president een bedrag van 50.000 gulden beschikbaar gesteld aan de commissie voor Atoom-

fysica. Dit gaf de commissie een zekere slagkracht. Het geld werd ingezet om voorlopige onkosten te dekken en om jonge, talentvolle wetenschappers een kans te geven zich op dit gebied te ontwikkelen. Dat laatste gebeurde op verschillende manieren. In Nederland creëerde de commissie onderzoeksbanen. Zo mocht Frans Barendregt bij Sizoo aan de VU gaan werken, H. Groendijk bij Coster in Groningen, Pieter Endt bij Joannes Marius Wilhelm Milatz in Utrecht en Hendrik den Hartog en Cornelis 't Hooft bij Jacob Clay aan de Gemeente Universiteit van Amsterdam.⁵⁷ De jongere generatie werd als het ware verdeeld over de verschillende Nederlandse universiteiten. Ze werden per 1 april 1946 benoemd en voor hun werk betaald door de commissie.⁵⁸ In dezelfde maand werd de commissie omgezet in een stichting, de Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie (FOM). In de volgende jaren werd FOM het leidend orgaan van het Nederlandse atomaire onderzoek.⁵⁹

Een ander deel van het wetenschappelijke talent werd naar het buitenland gestuurd om daar waardevolle expertise op te doen. Een dergelijke uitzending was een investering in de ontwikkeling van jonge wetenschappers. Het werd gezien als een manier om Nederland terug te brengen in het internationale verspreidingsnetwerk van wetenschappelijke kennis. Nieuw was deze praktijk niet, want Nederlandse wetenschappers maakten hier in het interbellum al gretig gebruik van.⁶⁰ Kramers, een leerling van Paul Ehrenfest, was bijvoorbeeld een van de eerste theoretici die voor een langere periode naar het buitenland was geweest. Maar ook andere studenten van Ehrenfest gingen op zijn aanraden naar het buitenland. Later bood Kramers op zijn beurt zijn jonge protegés kansen om op een vergelijkbare manier een internationaal netwerk op te bouwen.⁶¹

Een ander argument om jonge talenten naar het buitenland te sturen, was dat het als een manier werd gezien om de wetenschappers juist aan Nederland te binden. De commissieleden klaagden geregeld over een gebrek aan mensen en mankracht. Al in oktober 1945 verwoordde Bruining dat voor het kernfysisch onderzoek 'alle krachten die in Nederland beschikbaar zijn' moesten worden ingeschakeld.⁶² Daarom werd afgesproken dat de jongeren na hun buiten-

landse avontuur terug zouden komen naar Nederland. Door een tijdelijk verblijf in het buitenland financieel te ondersteunen op voorwaarde van terugkeer, probeerde men te voorkomen dat jongeren blijvend naar het buitenland vertrokken.

Het was vervolgens Kramers die de verschillende lijntjes aan elkaar knoopte. Hij was op de hoogte van het feit dat op het beroemde instituut van Niels Bohr een massaseparator werd ontwikkeld. Daarom stelde hij tijdens de commissievergadering van 16 februari 1946 voor om Jaap Kistemaker op kosten van de commissie naar Kopenhagen te sturen. Kramers zelf had jarenlang op het Deense instituut gewerkt, was er zowat kind aan huis en kende veel van de medewerkers persoonlijk.⁶³ Binnen de commissie werd Kramers' plan niet direct goedgekeurd. De hoogleraar technische natuurkunde Hendrik Berend Dorgelo uit Delft offerde om een van zijn studenten, Sijbrand Broersma bijvoorbeeld, naar Denemarken te sturen, waarna de commissie besloot om eerst een inventarisatie te maken van de beschikbare jonge krachten, met hun capaciteiten. Kramers en Dorgelo stelden een lijstje op van talenten op het gebied van de massaspectroscopie, Sizoo voor die op dat van de scheikunde van radioactieve materialen.⁶⁴ Nog vóór de volgende vergadering op 2 maart was er een selectie gemaakt en werd toch besloten om Kistemaker naar Kopenhagen uit te zenden.⁶⁵ Daarmee werd hij als het ware uitverkoren om dé specialist op het gebied van massaspectrografie in Nederland te worden. In de daaropvolgende maand ontving Kistemaker een uitnodiging van Francis Simon van het Clarendon-laboratorium uit Oxford, of hij niet daar zou willen komen werken aan een onderwerp dat in lijn lag met zijn proefschrift. Hij moest het aanbod afslaan omdat hij al besloten had naar Denemarken te gaan.⁶⁶ Voor zijn reis kreeg hij van FOM een toelage van 5000 gulden.⁶⁷

Overigens was niet iedereen het eens met deze gang van zaken. De Haas, die na de oorlog in Leiden pogingen deed om het Kamerlingh Onnes-laboratorium opnieuw op te bouwen, verzuchtte: 'Het lab richt zich moeizaam op. Menschen als Mayer en Kistemaker hadden nog niet moeten verdwijnen. Het is tegen het belang van het lab.'⁶⁸ Want, inderdaad, Kistemaker was niet de enige die vertrok.

Zijn Leidse collega Dirk ter Haar ging ook naar Kopenhagen en promoveerde in 1948 bij Kramers.⁶⁹ Nico Bloembergen ging in 1945 naar Harvard en kwam in 1947 weer terug (voor even). Ook Siegfried Wouthuysen ging naar de vs voordat hij in Amsterdam hoogleraar werd.⁷⁰

Voor de ontwikkeling van de plannen van FOM beschikten de Nederlandse wetenschappers, naast de vaatjes uranium, over een tweede belangrijke troef. In Eindhoven was Philips tijdens de oorlog begonnen met de ontwikkeling van een cyclotron, een deeltjesversneller. Dit apparaat was bedoeld voor onderzoeksdoeleinden met het oog op de productie van medische isotopen. Philips-werknemers Frans A. Heyn en Cornelis J. Bakker waren hierbij betrokken.⁷¹ Toen Bakker in november 1945 vernam dat er een commissie voor Kernfysica was ingesteld, kaartte hij bij zijn baas Henrik Casimir aan dat daar vreemd genoeg niemand van Philips bij was betrokken. Casimir echter had geregeld contact met Kramers en Bruining over de rol van Philips. Rond de jaarwisseling werd besloten om het cyclotron van Philips naar een laboratoriumruimte in Amsterdam te verplaatsen.⁷² De Amsterdamse hoogleraar Jacob Clay, die bij het onderzoek werd betrokken, wist wel een locatie. De Centrale Oost van het Gemeente-Energiebedrijf, aan de Ooster Ringdijk in Amsterdam, werd rond die tijd ontmanteld als energiecentrale. Er zou geen stroom meer geproduceerd worden, de turbines met generatoren en het ketelhuis werden leeggehaald en de centrale zou slechts voor distributie in gebruik blijven. De leeggekomen ruimten zouden ideaal zijn voor huisvesting van het cyclotron. Clay wist zowel de directeur van het Gemeente-Energiebedrijf als de burgemeester van de stad enthousiast te maken voor dit plan. Ook in Den Haag was men enthousiast. Zo schreef Bruining aan de minister-president: 'Ik stel mij zelfs voor, dat het na eenig onderhandelen zal lukken, dat de Gemeente Amsterdam het gebouw afstaat voor het kernfysisch onderzoek, zonder hiervoor huur te vragen.'⁷³ Een groot voordeel van de locatie was dat er op deze plek makkelijk met hoogspanning kon worden gewerkt. Daarnaast waren de vloeren van het gebouw goed gefundeerd en was er voor groot vermogen zowel gelijk- als wissel- als krachtstroom be-

schikbaar. Het feit dat Amsterdam een universiteitsstad was en dat het academisch ziekenhuis behoefte had aan radioactieve isotopen speelde ook een rol.⁷⁴ Philips stemde met deze plannen in en droeg vervolgens de cyclotron over aan de Amsterdamse fysici.⁷⁵ Bakker werd directeur van dit Instituut voor Kernfysica (IKO), zoals het nieuwe laboratorium werd genoemd. Dit was het eerste losstaande FOM-laboratorium. Vanwege de betrokkenheid van Clay was er een sterke band met de Amsterdamse Gemeente-Universiteit.

5 Een Deens lustoord

Op 6 mei 1946 vertrok Kistemaker naar Kopenhagen. Het hoofddoel van de reis was om de massaspectrograaf van Jørgen Koch te bestuderen en ermee te leren werken.⁷⁶ Koch begon midden in de oorlog op het laboratorium van Niels Bohr met zijn werk aan massaspectrografie. ‘Zonder zelfs maar een vermoeden te hebben over de Amerikaanse ontwikkeling op dit gebied (het calutron) heeft hij de isotopenseparatie op grote schaal geheel oorspronkelijk aangepakt,’ schreef Kistemaker bij terugkomst uit Denemarken in zijn rapport voor de Stichting FOM – een van de weinige bronnen die inzicht geven in deze periode.⁷⁷ Samen met Koch begon Kistemaker een onderzoek naar botsingen van ionen op nikkel en op beryllium-targets. Dit onderzoek kwam voort uit berekeningen van Aage Bohr, de zoon van Niels Bohr, die aantoonde dat het mogelijk was om ionen van edelgassen op metalen plaatjes in te vangen. Door het geladen gas met een flinke snelheid op het metaal te schieten konden ionen in de kristalstructuur terechtkomen.⁷⁸ Andere ionen kaatsten juist van het metaal terug.

Het onderzoek van Koch en Kistemaker was tweeledig. Ten eerste werden zogenoemde ‘gas targets’ geproduceerd, gasvormige doelwitten, die vervolgens in een hoogspanningsinstallatie – het Kopenhaagse cyclotron of de daar aanwezige vandegraaffgenerator – aan een bombardement van protonen onderworpen konden worden. Deze experimenten waren van belang voor het onderzoek naar

kwantummechanische kernniveaus dat op het instituut werd uitgevoerd. Ten tweede keken Koch en Kistemaker naar de hoeveelheid gereflecteerde deeltjes bij bombardementen van vaste metalen. Het uiteindelijke doel van dit onderzoek was om de terugkaatsing van deeltjes te verminderen, om zo meer ionen in de vaste stof gevangen te krijgen. Later zou Kistemaker een dergelijk onderzoek herhalen in Amsterdam.

Kistemaker kreeg in Denemarken voor het eerst te maken met fundamenteel onderzoek naar de eigenschappen van materie, waarbij de massaspectrograaf een belangrijke rol speelde. Hij kreeg inzicht in de mogelijkheden van het soort onderzoek dat met dit apparaat gedaan kon worden. Een belangrijk toepassingsgebied was bijvoorbeeld het onderzoek naar werkzame doorsneden, ofwel de maat voor de waarschijnlijkheid dat een wisselwerking tussen deeltjes plaatsvindt.⁷⁹ Het grootste probleem waar Koch en Kistemaker tegenaan liepen bij de ontwikkeling van de massaspectrograaf was het ontwikkelen van een geschikte ionenbron voor de productie van de geladen deeltjes. De bron die in Kopenhagen gebruikt werd, had flinke tekortkomingen en behoeftte 'dringend verbetering'.⁸⁰ Hij werkte bijvoorbeeld alleen bij bepaalde gassen, maar functioneerde niet bij andere gassen, maar het werd niet goed begrepen waarom dit zo was. Daarnaast was de ionenstroom, oftewel het aantal ionen dat in een bepaalde tijd door de bron werd aangemaakt, zeer laag: slechts 1 tot 10 microampère. Daardoor konden proeven erg lang duren: om 10 microgram van een bepaald ion te produceren was het apparaat al snel dertig uur bezig.

Het was gissen naar de oplossingen die de Amerikanen voor deze problemen hadden gevonden. De Amerikaanse massaseparator (het calutron) behoorde volgens Kistemaker 'tot de meest geheime onderdelen van het Manhattanproject'. De reactie die Kistemaker en Koch kregen toen ze de Amerikaanse fysicus Ernest Lawrence in een brief om hulp vroegen voor een beter functionerende ionenbron was wellicht in de lijn der verwachtingen: alle informatie hierover was geheim.⁸¹ Ook een wetenschapper die recent het Radiation Laboratory in Berkeley had bezocht vertelde Kistemaker dat 'niemand iets van het inwendige van de daar aanwezige calutronhal

te zien kreeg'.⁸² Problemen moesten dus zonder Amerikaanse hulp worden opgelost.⁸³

Kistemaker genoot in de maanden dat hij in Kopenhagen was intens van het gastvrije karakter van het instituut. Aan Kramers schreef hij: 'Ik zal U altijd dankbaar blijven voor 't lustoord waar U me heenstuurde. Vooral de vele mensen die je hier ontmoet zijn zoo waardevol'.⁸⁴ Zo kwamen er veel Scandinavische fysici in Kopenhagen op bezoek, voor een paar dagen of zelfs voor weken. Onder de prominente internationale bezoekers die in die periode Kopenhagen aandedden, waren Philip Warren Anderson, George Platzman, Bruce Rosenblum, Res Jost en Otto Stern. Maar ook bijvoorbeeld Hendrik Brinkman was 'voor een maandje' in Kopenhagen.⁸⁵ Hij was hoofd van de researchafdeling van de KEMA in Arnhem, een groot adviesbureau op het gebied van energie.⁸⁶ Dirk ter Haar, een andere promovendus van Kramers en studiegenoot van Kistemaker, schreef zijn proefschrift op het instituut.⁸⁷

Op 27 november 1946 gaf Kistemaker een afsluitende lezing in de vorm van een colloquium, waar hij over zijn promotieonderzoek sprak. Kistemaker had, in de woorden van Clay, in Kopenhagen 'genoeg geleerd'.⁸⁸ Een paar dagen later vertrok hij, samen met zijn vrouw, naar Zweden om daar een tweeweekse rondreis te maken langs verschillende wetenschappelijke laboratoria. In Lund, Uppsala en Stockholm gaf hij lezingen over gekoeld helium. Een van de belangrijke tussenstops op deze reis was het Nobelinstituut van Manne Siegbahn in Stockholm.⁸⁹ Siegbahn had recent een grote elektromagnetische isotopenseparator besteld, waarbij de magneet een diameter van niet minder dan 3,2 meter had. Kistemaker mocht de tekeningen van het apparaat bestuderen. Daarnaast viel hem op, zowel bij Siegbahns laboratorium als bij het militaire defensie-instituut dat hij later bezocht, dat de Zweden uitgebreid onderzoek deden naar de verschillende manieren om ionenbronnen op te bouwen.

Naast isotopenseparatoren bekeek Kistemaker op deze reis ook drie verschillende massaspectrometers die bedoeld waren om analyses van stabiele isotopen te doen.⁹⁰ Twee daarvan waren al vier jaar in aanbouw en werkten nog niet en de derde was gebouwd

door de Amerikaanse firma Westinghouse. Ook die werkte nog niet. In zijn rapport voor FOM vermeldde Kistemaker hierbij dat ‘Westinghouse onlangs alle geleverde massaspectrometers weer opgevraagd schijnt te hebben wegens een constructiefout in de ionenbron’. Hoewel het Kistemaker interessant leek om na zijn bezoek aan Zweden ook nog een bezoek te brengen aan Teddington, nabij Londen, werd hij door de wetenschappers in zijn thuisland gemaand om in december terug te komen naar Nederland.⁹¹ Er was genoeg gereisd. Kistemaker had in Denemarken veel geleerd en was, zoals Kramers en Clay al verwachtten, teruggekeerd als een specialist op het gebied van massaspectrografie en isotopenscheiding. Nu was het zaak om zijn kennis dienstbaar te maken voor het Nederlandse natuurkundige onderzoek.

6 Aan de slag in Amsterdam

In de periode dat Kistemaker in Kopenhagen was, was het natuurkundige landschap in Nederland ingrijpend veranderd. Op 15 april 1946 was de Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie officieel opgericht. De wens om een kernreactor te bouwen, werd in de eerste maanden van 1946 verbreed tot een veel algemener doel – zoals dat in de statuten van FOM werd opgenomen – om fundamenteel onderzoek der materie te bevorderen.⁹² In de eerste paar jaar lag de focus voornamelijk op de kernfysica, al werd wel degelijk geprobeerd om de stichting zo breed mogelijk te laten functioneren. Zo werd er bijvoorbeeld een groep opgericht die zich alleen op de eigenschappen van metalen richtte.⁹³ FOM financierde onderzoek dat werd verricht door wetenschappelijke en technische medewerkers zowel in laboratoria van universiteiten, als in eigen laboratoria van de stichting. In eerste instantie was het enige FOM-laboratorium het Instituut voor Kernfysisch Onderzoek (IKO), zoals het al eerdergenoemde laboratorium rond de door Philips ontwikkelde cyclotron werd genoemd. Het grootste deel van het budget van FOM – in 1946 was dat 157.000 gulden – ging in het eerste jaar naar IKO, dat niet minder dan 137.000 gulden ontving. Rechtmatig was IKO een

van FOM losstaande stichting. In 1947 was het budget van FOM aanzienlijk groter: 257.000 gulden.⁹⁴ Het bedrag dat naar IKO ging groeide niet mee (in 1947 ging ruwweg een ton naar IKO), waardoor er veel meer ruimte bleef voor de bekostiging van andere projecten.

Kistemaker werd bij terugkomst in Nederland in januari 1947 door Clay aan het werk gezet.⁹⁵ Zijn mentor Kramers, nu voorzitter van de Raad van Bestuur van FOM, had een flink deel van 1946 in de vs doorgebracht en vertrok ook in de lente van 1947 naar Columbia University en het Institute for Advanced Study van Princeton.⁹⁶ Daarom kreeg Kistemaker een nieuwe leidinggevende toegewezen: Cornelis Jan Bakker. Bakker had, zoals reeds vermeld, tijdens de oorlog samen met Heyn bij Philips aan het cyclotron gewerkt. In 1946 werd hij directeur van het IKO. Bakker had op dat moment twee werkgevers: Philips in Eindhoven en het FOM-instituut in Amsterdam. In oktober verliet hij zijn Eindhovense werkgever om aan de Universiteit van Amsterdam hoogleraar-directeur van het Zeemanlaboratorium te worden.⁹⁷ Hiermee werd de relatie tussen het nieuwe FOM-laboratorium en de UvA versterkt. In februari 1947 hield hij zijn oratie, getiteld *Grepen uit de Kernphysica*.⁹⁸ Onder zijn leiding ontwikkelde zich op het Zeemanlaboratorium een aantal nieuwe takken van onderzoek die vaak aan FOM waren gelieerd. Eén hiervan was kernfysisch onderzoek op het gebied van bèta-spectroscopie, dat in nauwe samenwerking met het IKO gebeurde.⁹⁹ Kistemaker kwam, door FOM betaald, bij Bakker op het Zeemanlaboratorium te werken.

De algemene leiding van FOM lag bij de Raad van Bestuur. De dagelijkse leiding was in handen van het Uitvoerend Bestuur, dat een deel van zijn taken delegerde aan de directeur van de stichting.¹⁰⁰ Onder het bestuur werden een aantal commissies in het leven geroepen om het werk te coördineren. Zo ook een commissie voor Massaspectrografie. Nog een niveau lager werd het werk zelf ondergebracht in werkgroepen. Elk kwartaal stuurde elke werkgroep van FOM aan alle andere werkgroepen een verslag van de werkzaamheden, zodat het onderlinge contact optimaal bleef.¹⁰¹

Kistemaker maakte binnen FOM deel uit van de werkgroep MS-I, wat stond voor massaspectrografie-I. Een opmerkelijk gekozen

naam, omdat er binnen de werkgroep vooral aan een massaseparator werd gewerkt en in mindere mate aan massaspectrografie. Of dit opzet was is niet bekend. Bakker, in zijn functie als hoogleraar, had de leiding over deze groep, die werd ondergebracht op het Zeemanlaboratorium. Het plan van FOM was om deze werkgroep later bij het IKO in te laten trekken.¹⁰² Naast de groep van Bakker in Amsterdam werkte in Utrecht, rond de hoogleraar Milatz, een werkgroep MS-II aan massaspectrometers. Het onderscheid tussen de groepen zat hem voornamelijk in de toepassing: waar de groep rond Milatz werkte aan analyse van materialen, begonnen Bakker en Kistemaker aan een vooronderzoek naar een massaseparator, een apparaat zoals dat van Koch in Kopenhagen, bedoeld voor de scheiding van isotopen.¹⁰³ Door deze duidelijke afbakening kwamen de groepen, in elk geval in de eerste paar jaar, niet in elkaars vaarwater.

De coördinatiecommissie voor Massaspectrografie bestond uit Bakker, Milatz en Dorgelo. Zij keurden twee projecten goed die binnen Bakkers werkgroep op het Zeemanlaboratorium uitgevoerd mochten worden.¹⁰⁴ Het eerste project was de ontwikkeling van een kleine massaspectrometer voor lichte materialen. Het apparaat was bedoeld als 'lekkenzoeker' en werd vooral gebouwd om deze techniek, die op het Europese vasteland nog niet breed bekend was, onder de knie te krijgen.¹⁰⁵ Er konden gaslekken mee worden opgespoord en daarnaast konden er bijvoorbeeld mengsels van waterstof en deuterium mee geanalyseerd worden. In de zomer van 1948 was het apparaat al zo goed als klaar.¹⁰⁶ Het tweede en meest belangrijke project van de werkgroep op het Zeemanlaboratorium was de bouw van een grote elektromagnetische isotopenseparator. In eerste instantie was het zaak om na te gaan of zo'n calutron in Amsterdam überhaupt kon worden gebouwd. Het zou geen goedkoop project zijn en Kistemaker was zich uit zijn Kopenhaagse tijd bewust van de technische moeilijkheden die aan een dergelijk project kleefden. Maar tegelijkertijd was het voor hem en voor FOM ook een prestigeproject. Een nauwe samenwerking met IKO lag in het vooruitzicht, omdat de separator – net als in Denemarken – targets (doelen) zou kunnen produceren voor gebruik in het cyclotron.¹⁰⁷

FOM wilde de werkgroep in een later stadium naar het IKO-laboratorium gaan verplaatsen.

Het grote voordeel van de ontwikkeling van een separator boven de andere technieken om isotopen te scheiden, was dat de methode voor alle soorten gassen bruikbaar is. Het werd door Kistemaker vaak herhaald. 'Elk gas of elke damp kan erin gescheiden worden.'¹⁰⁸ Sterker nog, het was de enige bekende techniek om vrijwel alle bekende isotopen te kunnen produceren. Een dergelijk apparaat kon daarom functioneren als wegbereider voor een heel scala aan fundamentele onderzoeken, zoals bijvoorbeeld onderzoek naar het 'bèta-spectrum van kunstmatig bestraalde stoffen',¹⁰⁹ het leveren van isotopen voor magnetische kernresonantieproeven en het bepalen van de remwerking van metaalfolies. Interessant genoeg vermeldde Kistemaker in het door hem aan de coördinatiecommissie gestuurde stuk *Urgentie Isotopen Separator* uit de zomer van 1948 niet dat met deze methode ook uranium verrijkt kon worden. In zijn eerdere rapport over zijn Scandinavische reis noemde hij dit juist als eerste en meest belangrijke toepassing van een isotopenseparator. De vraag in hoeverre het verrijken van uranium vanaf het begin van het onderzoek een belangrijk achterliggend doel is geweest, is daarom niet eenduidig te beantwoorden. Uraniumverrijking schittert in de bronnen uit de eerste jaren juist in afwezigheid, met als uitzondering het rapport van Kistemaker uit Scandinavië. Desondanks was bij alle betrokkenen bekend dat de ontwikkeling van een massaseparator in Nederland nauw samenhangt met het feit dat de Amerikanen hun calutrons binnen het Manhattanproject voor verrijkingsdoel-einden hadden ingezet. Expliciteren was daarom wellicht niet nodig en mogelijk ongewenst, vanwege de gevoeligheid van het onderwerp. Iedereen wist wat er met dit apparaat gedaan kon worden.

Het bouwen van een separator bleek geen eenvoudige exercitie. De belangrijkste moeilijkheden waren door Kistemaker in het rapport over zijn reis reeds onder elkaar gezet. Het achterliggende idee van een calutron is dat isotopen gescheiden worden door het minieme verschil in massa's. De geïoniseerde isotopen worden in een magneetveld gebracht en daardoor afgebogen. Vanwege het massaverschil vliegen zware isotopen net iets meer uit de bocht dan

lichtere isotopen. Aan het einde van het traject door het magneetveld komen de verschillende isotopen daardoor op verschillende plekken op het zogenoemde target aan.

De ionen worden geproduceerd in een ionenbron, die volgens Kistemaker erg veel aandacht verdiende. Kistemaker wist dat de Amerikanen voor hun calutrons niet minder dan zeventig bronnen hadden geprobeerd.¹¹⁰ Een ander punt van belang was de ontwikkeling van een sterke vacuümpomp, die een luchtverplaatsing van ten minste 5000 liter per seconde aan moest kunnen. Het hoge vacuüm dat hiermee kon worden opgewekt, was nodig om de ionen in de magneetkamer zo goed als wrijvingsloos te laten bewegen. Door het voorkomen van botsingen tussen de ionen en luchtdeeltjes kon de ionenstroom met een factor 100 worden verhoogd. Kistemaker verwachtte gebruik te kunnen maken van het soort oliediffusiepomp dat voor het cyclotron op het IKO ontwikkeld werd. Begin 1950 zou hij het apparaat ontvangen.¹¹¹

Vervolgens was het zaak een goede magneet te ontwikkelen. Kistemaker had Kochs ontwerp van de Deense magneet meegenomen uit Kopenhagen. Dit apparaat had een diameter van 80 centimeter en was daarmee te klein voor de Amsterdamse plannen. De separator waar Siegbahn aan werkte had een twee keer zo grote diameter. In 1948 vernam Kistemaker uit Frankrijk dat er in het laboratorium van Frédéric Joliot-Curie werd gewerkt aan een proefmodel van een grote separator. Dit proefmodel had een diameter van twee meter. Ook in Harwell, Engeland, begon men rond deze tijd 'full speed' aan proeven voor een grote elektromagnetische isotopenseparator.¹¹² De meeste van de hiervoor gebruikte magneten hadden de vorm van een halve cirkel. Kistemaker gaf in zijn eerste plannen juist de voorkeur aan een magneet van een kwart cirkel, met een diameter van vier meter en een veldsterkte van 2500 Gauss.¹¹³ Op zich zegt de grootte van de magneet niets over het functioneren. De sterkte van het magneetveld is van evenveel belang. Een kleinere magneet met een sterker veld kan nog steeds bewerkstelligen dat zware ionen afdoende worden afgebogen om het gehele traject te doorlopen. Later paste Kistemaker zijn plannen dan ook aan. Het plan werd om een kleinere, sterkere magneet met een diameter van

twee meter in de vorm van een halve cirkel te bouwen.

De eerste werknemer die vanaf 1 januari 1947 bij Kistemaker in het Zeemanlaboratorium kwam werken, was Jan Pieter Jacobus Janssen, een oud-medewerker van het Kamerlingh Onnes-laboratorium en 'Meester Glasblazer-Instrumentmaker'. Hij werd door Kistemaker en de latere medewerkers stevast aangesproken als Meester Janssen. Janssen werd als chef-constructeur aangesteld bij het IKO, waar de werkgroep later immers gehuisvest zou worden.¹¹⁴ In februari 1948 kwam H.I. Douwes Dekker met een studietoelage op het laboratorium werken, een kandidaatsstudent natuurkunde. Daarnaast werd er een leerjongen van het IKO-laboratorium geleend, G. de Roo, die tot 1950 op het lab bleef. Überhaupt ontstond er een nauwe samenwerking met IKO, wat ongetwijfeld te maken had met de gedeelde directeur. In 1949 werd bijvoorbeeld op het Zeemanlaboratorium begonnen met de bouw van een spectroscop, speciaal voor het IKO.¹¹⁵ Daarnaast werden er verschillende apparaten door IKO in bruikleen gegeven aan Kistemakers laboratorium.

Kistemaker had zijn tijd in Kopenhagen en de eerste maanden op het laboratorium ook gebruikt om een aantal delen van zijn proefschrift verder uit te werken tot artikelen.¹¹⁶ Maar het meeste werk ging zitten in de ontwikkeling van een goed werkende ionenbron voor de massaseparator.

7 De achilleshiel: ionenbronnen

In 1947 en 1948 kwam de nadruk van Kistemakers onderzoek te liggen bij een uitvoerig vooronderzoek naar ionenbronnen. In deze paragraaf zal om twee redenen dieper worden ingegaan op de ontwikkeling hiervan. Ten eerste geeft deze vrij technische geschiedenis een goed beeld van de werkwijze van het laboratorium. Latere technische ontwikkelingen, zoals die op het gebied van de ultracentrifuge, voltrokken zich op een vergelijkbare manier: gewoon proberen en kijken waar het schip strandt. Ten tweede bleek een paar jaar later dat de doorontwikkelde ionenbron het huzarenstukje van de elektromagnetische isotopenseparator was. Dit zal in het volgende

hoofdstuk aan bod komen. De ontwikkeling van de ionenbron was een kwestie van 'trial and error' en het was de belangrijkste bezigheid van Kistemaker en zijn medewerkers in het jaar 1948. In tien maanden tijd ontwikkelde de bron zich van een eenvoudige glazen buis tot een hoogst geavanceerd apparaat.¹¹⁷

De eerste onderzoeken naar ionenbronnen begon Kistemaker met een eenvoudige cilindrische glazen buis waaromheen cirkelvormige elektroden werden geplaatst. Deze hoogfrequente elektroden zorgden in de buis voor een plasma van waaruit ionen vrijkwamen. Interesse in dergelijke hoogfrequente ionenbronnen, waarbij gasontladingen zorgen voor de aanmaak van ionen, ontstond na de oorlog tegelijkertijd in de vs, Engeland en Zweden. Het aantrekkelijke van deze techniek is dat er geen gloeidraad nodig is voor de aanmaak van ionen. Kistemaker had het idee meegenomen uit Denemarken.¹¹⁸ Boven en onder in de buis werden bovendien nog twee elektroden geplaatst om een potentiaalverschil op te wekken om de ionen te versnellen. Deze eerste opzet was de meest eenvoudige ionenbron denkbaar en werkte eigenlijk verrassend goed, ware het niet dat er tegen de glazen wand ophopingen van positieve ionen ontstonden. Daarom werd besloten de hoogfrequente spanningselektroden van de buitenkant van de buis naar binnen te verplaatsen. Dit werkte iets beter, maar de glazen wand van de bron werd nog steeds zo sterk bestoven met ionen en elektronen dat hij na een tijdje geleidend werd. Omdat dit een sterk negatief effect op de ionenproductie had, concludeerde Kistemaker dat het beter was om in het vervolg in plaats van een glazen, een metalen omhulsel te gebruiken.

Als nieuw model bouwde Kistemaker een variatie op de eerdere bron waarbij alle grootheden regelbaar waren. Het apparaat werkte als ionenbron ronduit slecht, maar omdat de stroomsterkten en potentialen op alle manieren gevarieerd konden worden, gaf het wel inzicht in het effect van de verschillende instellingen op de ionenproductie. Een belangrijk probleem kwam hieruit naar voren: wat je ook deed, de ionen kwamen volledig verstrooid uit de bron tevoorschijn. Ze waren niet 'gefocuseerd', zoals dat werd genoemd. Het probleem van focusering werd vervolgens op verschillende

manieren aangepakt. Zo werd er geprobeerd om de gehele ionenbron rotatiesymmetrisch te maken. Inwendig kreeg de bron een soort klokvorm, met op de plek van de klepel een ringvormige elektrode voor het opwekken van het plasma. Met dit model lukte het om de positieve ionen vrijwel allemaal de juiste kant op te dirigeren. 'Van een mooi gefocusseerde ionenstraal was evenwel geen sprake,' schreef Kistemaker.

Vervolgens werd geprobeerd om een reeks van elektrostatische roosters in de bron te plaatsten, waar de ionen wél, maar de elektronen níet doorheen konden. Deze speciaal gevormde roosters fungeerden als lenzen. Dit werkte echter maar matig. Ook werd nog gekeken of het gebruik van radarfrequenties een uitkomst kon bieden, waarvoor adviezen ingewonnen werden bij het Radarlaboratorium van de Marine in Oegstgeest.¹¹⁹ In juni en juli 1948 werd een zogenoemde naaldelektrode of magnetronlens in de bron gezet, maar ook dit liep op niets uit. In de zomer besloot Kistemaker daarom de focusering aan te pakken door middel van ruimteladingscompensatie. Het idee hiervan is dat een uitgekiende baan elektronen de ionenstroom in toom kan houden. Het was de enige optie die nog open was en bracht als consequentie met zich mee dat er tóch een gloeidraad in de bron gestopt moest worden, terwijl het voordeel van het plasma was dat dit niet nodig was geweest. Onder in de bron zorgde de gloeidraad voor een soort schild aan elektronen dat, om de ionen heen, in de richting van het hoogfrequente plasma boven in de bron bewoog. Deze elektronen hielden de positieve ionen daarbinnen bij elkaar, gefocusseerd. Kistemaker schreef: 'Bij het inschakelen van de gloeidraad [...] zag men een felle lichtbundel van de gloeidraad naar het [hoogfrequente] plasma gaan, veroorzaakt door het oplichten van het gas.' Met dit systeem lukte het voor het eerst om een gefocusseerde ionenstroom te krijgen. De stroom was klein, slechts 1 mA, maar het was een begin. In de herfstmaanden werden nog een aantal belangrijke veranderingen doorgevoerd. Het ging hierbij vooral om een 'grotere technische perfectie', waarbij verschillende technieken werden ingezet om de ionenstroom te verhogen.¹²⁰ Aan het einde van 1948 liep de stroom op tot ongeveer 10 mA.¹²¹

Bij een bezoek aan Engeland in november realiseerde Kistemaker zich dat ze 'tot nu toe het ionenuittreemechanisme te veel verwaarloosd hadden'.¹²² Een gefocusseerde straal ionen is één ding, de volgende stap is om dit zo te houden tot in de magneetkamer. Hij ontmoette Rudolf Peierls in Manchester en Marcus Oliphant in Birmingham. Deze laatste had met Ernest Lawrence aan de cyclotrons van het Manhattanproject gewerkt. Ook bezocht Kistemaker het nieuwe onderzoeksgebied in Harwell, waar hij bijvoorbeeld Peter Thonemann ontmoette.¹²³ Hij realiseerde zich dat de ionen eigenlijk door een ander mechanisme geproduceerd werden dan aanvankelijk gedacht. Magnetische ionisatie zorgde voor de productie van de ionen.¹²⁴ Dit zou op het moment dat de ionenbron bij de gigantische magneet van de isotopenseparator in de buurt kwam wellicht een probleem kunnen worden.

Samen met de medewerker Douwes Dekker begon Kistemaker een nieuw onderzoek naar de precieze werking van de ionenbron. Ook al vertrok Douwes Dekker op 1 april 1949 van het laboratorium, in augustus 1949 verschenen er nog twee publicaties van hem samen met Kistemaker over de ontwikkeling van de ionenbron in het tijdschrift *Physica*.¹²⁵ In het volgende hoofdstuk zal aan de orde komen welke oplossingen er uiteindelijk werden gevonden voor het goed functioneren van de bron. Want de ontwikkeling was in 1949 nog allesbehalve afgerond. Het was, nu de plannen van de separator concrete vormen aan begon te nemen, echter zaak op korte termijn een geschikte huisvesting te vinden. De separator zou namelijk niet in het gebouw van het Zeemanlaboratorium passen.

8 Plannen voor een nieuwe huisvesting

Zowel het uitdijende laboratorium als de plannen voor de grote isotopenseparator en alle bijkomende ontwikkelingen maakten dat het Zeemanlaboratorium niet meer de geschikte plek voor de werkzaamheden was. Bakker ging op zoek naar een andere locatie. Alhoewel er een paar jaar eerder nog sprake van was om Kistemakers project naar het IKO te verplaatsen, bleek dit in 1948 niet meer te

kunnen. Ook daar was niet genoeg ruimte. In de zomer van 1948 hoorde Bakker van het Gemeente-Energiebedrijf van Amsterdam (GEB) dat er een grote ruimte in de Elektrische Centrale aan de Hoogte Kadijk beschikbaar zou komen. Wellicht was dit een geschikte locatie voor de opbouw van de grote separator? De locatie had twee grote voordelen. Ten eerste was er genoeg ruimte beschikbaar voor de opbouw van de grote separator. Ten tweede was er ook hier zware gelijkstroom beschikbaar die nodig was om het grote apparaat aan te drijven.¹²⁶

De kosten van deze locatie waren echter niet mals. Het gebouw moest verbouwd worden voor een bedrag van 48.000 gulden. Van dit bedrag was de gemeente, als verhuurende partij, bereid 30.000 gulden te betalen. Voor de FOM bleef daarmee een bedrag van 18.000 gulden over, waarvan bij het begin van de verbouwing 6000 gulden aan het GEB betaald moest worden. Het overgebleven bedrag mocht in termijnen van 1200 gulden per jaar (exclusief rente) worden betaald.¹²⁷ De jaarlijkse huur die de gemeente in rekening bracht was 960 gulden.

Het voorstel van Bakker werd door de Raad van Bestuur van FOM in de vergadering van 19 juli 1948 besproken. Bakker zelf was er niet bij – hij bevond zich in de VS – maar hij had het bestuur schriftelijk ingelicht. Bij deze vergadering moest eerst wat onrust uit de lucht gehaald worden. Dorgelo, die zowel in de commissie voor Massaspectrografie als in de Raad van Bestuur zat, ergerde zich aan de gang van zaken rond de huisvesting aan de Hoogte Kadijk. Want in tegenstelling tot wat de procedure voorschreef was het voorstel van Bakker niet eerst door de commissie voor Massaspectrografie besproken voordat het naar het bestuur ging. Deze commissie was er niet aan toe gekomen, om een enigszins verrassende reden: Kistemaker was ‘zonder voorkennis der commissie met Casimir in overleg [...] getreden om een door Philips te betalen medewerker te betrekken bij het werk van de isotopenscheiding’. Het ging om M.E. Reinders, die vanaf 1 juni, inderdaad betaald door Philips, bij Kistemaker op het laboratorium aan de slag kon. Reinders moest eens in de twee maanden een kort verslag aan Philips uitbrengen over de voortgang van zijn werk.¹²⁸ Hierover had Kistemaker de commissie

voor Massaspectrografie niet ingelicht, waarmee hij had verhinderd dat Reinders eventueel bij de Utrechtse groep aan massaspectrometrie kon gaan werken.¹²⁹ Aangezien interesse van Philips belangrijke gevolgen kon hebben voor het vervolg van het onderzoek, waren Dorgelo en Milatz hier gepikeerd over. Ze besloten om hun werkzaamheden voor de commissie stop te zetten totdat er opheldering kwam over Kistemakers ondoordachte gedrag.¹³⁰ En dat was vervolgens de reden dat het voorstel van Bakker nog niet door de commissie was behandeld.

Clay nam het voor Kistemaker op. Volgens hem was Kistemaker 'volkomen bereid' om zijn excuses aan te bieden en waren er twee redenen voor het voorval: Bakker zat rond die tijd al in Amerika en Kistemaker was niet op de hoogte van 'de juiste gang van zaken'. Hij voegde eraan toe dat het belangrijk was om deze 'zeldzame kans' voor huisvesting zo snel mogelijk te grijpen.¹³¹ Desalniettemin besloot de raad toch om éérst de commissie hierover te laten vergaderen. Later zou het bestuur zich nogmaals over dit, in de woorden van Sizoo, 'project van verre strekking' kunnen buigen.¹³²

Enige dagen na de vergadering van de Raad vond bij Bakker thuis (hij was blijkbaar weer terug) een vergadering van de commissie plaats. Kramers was ook aanwezig. Op 23 juli stuurde Milatz, die naast lid van de commissie ook penningmeester van FOM was, een uitgeschreven plan naar de Raad.¹³³ De commissie stelde voor om in elk geval alvast de huur aan het GEB over te maken, maar om een besluit over de (kostbare) verbouwing nog wat uit te stellen. Dit was nodig omdat ZWO in oprichting, toen al de geldschietster van FOM, nog over de begroting van 1949 moest beslissen.¹³⁴ Op deze manier zou, mochten FOM of ZWO tegen de plannen beslissen, alleen de betaalde huur verloren gaan, terwijl het 'mooie aanbod' van de gemeente zou blijven staan.¹³⁵ Op 9 september was er een tweede bijeenkomst van de commissie, deze keer op het Zeemanlaboratorium. Hierbij was ook de secretaris van FOM, H.R. Woltjer, aanwezig en mocht Kistemaker een demonstratie van zijn ionenbron geven.

Pas op 9 oktober vergaderde de Raad van Bestuur weer over het voorstel. Omdat niet alle bestuursleden even positief waren over de grootse plannen van Kistemaker en Bakker, hield Kramers, als

voorzitter, een betoog voor het belang van het project. Als argument haalde hij aan 'dat in Amerika honderden miljoenen dollars zijn uitgegeven voor de installaties, die met magnetische separatie van uranium werkten. [...] Nu is het waar, dat in Amerika de magnetische separatie van uranium is opgegeven, maar als universele methode die in staat stelt niet óf van de lichte, óf van de zware elementen, maar van alle elementen zuivere isotopen te leveren, ten einde hun werkingsdoorsnede te kunnen bestuderen, acht [Kramers] het project zeer belangrijk.'¹³⁶ Zijn betoog wist de rest van de Raad van het toch vrij kostbare plan te overtuigen.

Kramers schetste vervolgens een ontwikkelingsplan voor de isotopenseparator. Verschillende kapitaaluitgaven waren noodzakelijk. Enerzijds ging het hierbij om een uitbreiding van het instrumentarium van het laboratorium, waarbij vooral de aanschaf van een grote elektromagneet kostbaar zou zijn. Anderzijds was het inderdaad zaak om een werkruimte plus werkplaats buiten het Zeemanlaboratorium te vinden. De ruimte die door het GEB werd opgesteld was daarom 'een prachtoplossing'.¹³⁷ De Raad van Bestuur besloot om Kramers hierin te volgen en het aanbod van de gemeente nu te aanvaarden. Ook met de verbouwing werd ingestemd. Op de begroting van 1949 werden extra posten opgenomen om het instrumentarium uit te breiden en om de verbouwing mogelijk te maken. Voor het jaar 1949 werd een totaalbedrag van 46.000 gulden op de begroting opgenomen voor de werkgroep van Bakker. Hiervan was 16.500 gulden specifiek voor de verbouwing.¹³⁸ Dit werd vervolgens aan zwo in oprichting voorgelegd. Daar zwo eind 1948 'niet ruim in zijn geld z[a]t', aldus haar eerste directeur, Jan Hendrik Bannier, zou extra steun aan één project ten koste gaan van steun aan een ander.¹³⁹ Daarom besloot FOM de kosten voor het nieuwe laboratorium zoveel mogelijk in de hand te houden. Was het bijvoorbeeld wel nodig om een volledige werkplaats in te richten op de Hoogte Kadijk? Zat er geen werkplaats in de buurt en was het echt nodig dat alle wetenschappelijke laboratoria in Amsterdam – in dit verband werd bedoeld op IKO, VU, Zeemanlaboratorium – een eigen kleine werkplaats hadden? Dorgelo pleitte bijvoorbeeld voor een centrale FOM-werkplaats in de stad. Dit bleek in Delft ook goed

te werken. Kruyt en Clay wezen Dorgelo er echter op dat de topografische toestand van Amsterdam zóveel verschilt van die van Delft dat centralisatie in Amsterdam onmogelijk is. Besloten werd om op de Hoogte Kadijk een 'eenvoudige werkplaats, zoals benodigd is voor het gaande houden der onderzoekingen' in te richten.¹⁴⁰ Bezuinigd werd bijvoorbeeld op een freesbank, die niet werd aangeschaft. Daarnaast verzocht Bakker, ook als bezuiniging, om in plaats van één afgestudeerd instrumentmaker, twee leerling-instrumentmakers op het lab in dienst te nemen. ZWO keurde de aangepaste bedragen uiteindelijk goed.¹⁴¹ Er ging 42.500 gulden naar de werkgroep van Bakker, ruim het grootste bedrag voor één van de werkgroepen. Het was ongeveer 15 procent van de gehele begroting van FOM, die voor dit jaar op 291.011 gulden was vastgesteld. Alleen de subsidie van FOM aan de Stichting IKO was meer, namelijk 89.293 gulden.

Op 22 augustus 1949 was de verbouwing van het nieuwe laboratorium klaar en kon de verhuizing vanuit het Zeemanlaboratorium naar de Hoogte Kadijk beginnen.