

NEUTRONEFISIKA AS NAVORSINGSGBIED *

Alhoewel die Kernfisika in die populêre opvatting beskou word as 'n moderne ontwikkeling, gaan die geskiedenis daarvan reeds relatief ver terug in die verlede van die Fisika.

Rutherford het reeds in 1911 die atoomkern ontdek, en in 1913 het J. J. Thompson die massas van kerne begin bepaal.

Gedurende die volgende 2 dekades is egter min vordering gemaak met die verkryging van 'n goeie insig in die struktuur van die kern. Dit was, prakties beskou, 'n gelaaiete deeltjie in die middel van die atoom, alhoewel Rutherford in 1919 aangetoon het dat dit moontlik is om die kerne van sekere ligte atome te wysig deur hulle te beskiet met α -deeltjies, d.w.s. met snelbewegende kerne van heliumatome wat spontaan deur sommige radioaktiewe stowwe uitgeskiet word. Dit het ook uit die eksperimente geblyk dat groot hoeveelhede energie in die proses vrykom.

In hierdie dae van Rutherford en Thompson was slegs twee sub-atomiese deeltjies bekend, nl. die proton, 'n positief gelaaiete deeltjie, en elektron, byna twee duisend maal ligter as die proton, en negatief gelaai, en dit was natuurlik dat aanvaar is dat atoomkerne saamgestel is uit protone en elektrone. Die positiewe lading van die kern kon dan verklaar word deur die aanname dat daar meer van die positief gelaaiete protone en elektrone in die kern was.

Hierdie teorie het egter op moeilikhede gestuit. Reeds in 1931 het Ehrenfest en Oppenheimer daarop gewys dat die kern N^{14} , wat Bose-Einstein-statistiek gehoorsaam, onmoontlik kon bestaan uit 14 protone en 7 elektrone,

* Inouurele rede gelewer by die aanvaarding van 'n ere-professoraat in Fisika aan die Potchefstroomse Universiteit vir C.H.O., op 17 April 1964.

m.a.w. uit 'n onewe aantal Fermi-Dirac-deeltjies. Ook ander teoretiese besware teen die hipotese van 'n atoomkern bestaande uit protone en elektrone het gaandeweg opgehoop.

'n Oplossing vir hierdie probleem het uit laboratorium-eksperimente gekom. Soos dit soveel keer in die geskiedenis van die Fisika die geval was het die eksperimente wat in verskillende lande uitgevoer is, gelei tot 'n heel onverwagte ontdekking van die allergrootste belang.

In 1930 het Bothe en Becker in Duitsland die kunsmatige γ -straling uit kerne ontdek. Hulle het Li, Be en B en ander ligte elemente beskiet met α -deeltjies uit 'n poloniumpreparaat, en met 'n Geigerteller waargeneem dat γ -strale vrygestel word deur die kerne wat getref word. In die geval van Li en B het hulle γ -strale waargeneem wat in energie ongeveer ooreenstem met die γ -strale van natuurlike radioaktiewe stowwe. In die geval van Be het hulle egter 'n besondere deurdringende straling waargeneem.

Hierdie reaksie van α -deeltjies met Be is daarna deur Joliot en Curie in Parys baie deeglik ondersoek. Hulle het veral getrag om met behulp van 'n ionisasiekamer die energie van die straling te bepaal. Behalwe die gewone γ -straling, wat vinnige elektrone uit die wand van die ionisasiekamer vrygestel het, het hulle ook 'n ander tipe straling gevind wat in staat was om in die gasvulling van die ionisasiekamer vinnig bewegende ione vry te stel. Dit was maklik om aan te toon dat hierdie straling nie uit elektriese gelaaiete deeltjies bestaan het nie, maar terselfdertyd het die aanname dat dit uit elektromagnetiese golwe, m.a.w. γ -strale bestaan, gelei tot 'n onverstaanbare hoë energie vir hierdie strale.

Uit die waarnemings van Joliot en Curie, en uit 'n aantal eksperimente wat hyself gedoen het, het Chadwick in 1932 in Cambridge tot die gevolgtrekking gekom dat wanneer Be met α -deeltjies beskiet word daar behalwe die γ -straling wat Bothe en Becker waargeneem het, ook neutrale deeltjies met 'n massa ongeveer gelyk aan dié van die proton, vrygestel word. Aan hierdie nuwe deeltjies

het Chadwick die naam „neutrone” gegee. Kort daarna het Dee, met behulp van 'n Wilsonkamer, aangetoon dat indien die neutron 'n lading het, dit kleiner as 'n duisendste van die protonlading moet wees en dat gevolglik aangeneem kan word dat ons hier met 'n elektries neutrale deeltjie te doen het.

Die ontdekking van die neutron kan beskou word as die begin van Kernfisika as gesistematiseerde natuurwetenskaplike dissipline. Heisenberg het in 1932 gepostuleer dat die atoomkerne almal opgebou is uit slegs protone en neutrone, en daarmee het ook die teoretiese probleme in verband met kernstruktuur, waarvan reeds melding gemaak is, verdwyn.

Daar was egter nog een ernstige probleem in verband met die aanname van kerne wat opgebou is uit protone en neutrone, nl. dié van β -verval. Dit was naamlik reeds lank bekend dat sommige natuurlike radioaktiewe stowwe β -strale uitstraal. Hierdie β -strale kom uit die atoomkerne, en bestaan uit snelbewegende elektrone, en die vraag het ontstaan hoe 'n kern wat geen elektrone bevat nie, elektrone kon uitstraal. Hierdie probleem is in 1934 uit die weg geruim toe Fermi 'n elegante teorie vir β -verval opgestel het. Hierdie teorie het, uitgaande van 'n kern wat uit protone en neutrone bestaan, 'n verklaring gegee aan al die bekende verskynsels in verband met β -verval.

Tussen die jare 1932 en 1934 het Kernfisika dus in sy moderne vorm ontstaan, en na 1934 was die vordering snel. In hierdie vordering het navorsing in verband met neutrone, en navorsing gedoen met behulp van neutrone, 'n baie belangrike rol gespeel. Die ontdekking van die neutron kan beskou word as die beginpunt van die moderne Kernfisika.

In 1933 het Curie en Joliot die verskynsel van kunsmatige radioaktiwiteit ontdek. Kort daarna het Fermi en sy groep jong fisici in Rome aangetoon dat kunsmatige radioaktiwiteit ook deur neutrone veroorsaak word. Hulle het eksperimente gedoen om neutrone te verstadig deur hulle deur waterstofhoudende stowwe soos water

te stuur, en gevind dat die stadige neutrone baie meer effektief is om kunsmatige radioaktiwiteit te veroorsaak as die snelle neutrone wat ontstaan uit die bombardering van Be met α -deeltjies.

In teenstelling met gelaaide deeltjies waarmee kunsmatige radioaktiwiteit in die begin opgewek is, het die neutron die groot voordeel getoon dat dit ook kunsmatige radioaktiwiteit in swaar kerne kon opwek, aangesien dit nie elektries deur die kern afgestoot word nie. Ook die kerne van swaar atome kon nou bestudeer word, en Fermi en sy medewerkers het begin met 'n sistematiese ondersoek van alle elemente beginnende by die ligste elemente. Hulle het gevind dat haas alle elemente deur beskieting met stadige neutrone radioaktief gemaak kan word.

Indien 'n element met stadige neutrone bestraal word, dring die neutron die kern binne, en die nuwe kern wat so ontstaan is dan in baie gevalle radioaktief. Waar 'n element uit verskillende isotope bestaan, kan hy bestraling met neutrone verskillende radioaktiewe isotope in die proses ontstaan. Die aantal verskillende radioaktiwiteite wat so ontstaan is egter steeds by bestraling van 'n bepaalde element beperk.

In die loop van hulle eksperimente het Fermi en sy medewerkers in 1934 uiteindelik die swaarste element, uraan, met stadige neutrone bestraal. Die resultaat was totaal onverwags en moeilik te verklaar. In plaas van 'n beperkte aantal kunsmatige radioaktiwiteite waar te neem soos by alle ander elemente die geval was, het hulle 'n groot verskeidenheid van radioaktiwiteite waargeneem, en hoe deegliker die verskynsels nagevors is, hoe groter het die aantal waargenome radioaktiwiteite geword.

Om hierdie verskynsel te verklaar het Fermi aange neem dat die absorbering van 'n neutron deur 'n uraan-kern aanleiding gee tot die ontstaan van nuwe elemente, swaarder as uraan, wat dan met 'n reeks radioaktiewe vervalte tot stabiele elemente verval.

Hierdie verskynsels het die belangstelling gewek van ander kernfisici, en veral twee ander groepe het begin

met intensiewe navorsing in hierdie verband. In Parys het Curie, Von Halban, Preiswerk en Savitch gewerk en in Berlyn Hahn, Maitner en Strassmann. Die groep in Parys het hulle werk hoofsaaklik op thorium toegespits. Daar is naamlik gevind dat ook in thorium 'n hele reeks radioaktiwiteit deur bestraling met neutrone veroorsaak kan word. Die groep in Berlyn het 'n intensiewe studie van die verskynsels in uraan gemaak.

Vier jaar lank is hierdie werk voortgesit. Namate meer en meer gegewens ingesamel is, het die prentjie steeds onduideliker geword. Teen die begin van 1938 is reeds 16 verskillende radioaktiewe kerne, wat hulle ontstaan het uit die bombardering van uraan met neutrone, ontdek. Dit het steeds moeiliker geword om hierdie radioisotope in 'n sisteem van transurane in te pas. Gedurende hierdie tyd was die Paryse groep telkens op die drumpel van die waarheid, maar uit die publikasies van hulle werk wil dit voorkom asof hulle deur die groot outoriteit Van Hahn, wat 'n oortuigde voorstander van die transuraanhipotese was, daarvan teruggehou is om die korrekte afleidings uit hulle eksperimentele gegewens te maak.

Teen die einde van 1938 het Hahn en Strassmann besluit om al hulle eksperimente weereens met die grootste sorgvuldigheid te herhaal. Al hulle skeikundige metodes, wat aangewend is om die verskillende radioaktiwiteit te identifiseer, is opnuut krities beproef. 'n Aantal verdere proefnemings is ook deurgevoer en die resultate en gevolgtrekkings aangekondig in die eerste eksemplaar van *Naturwissenschaften* van 1939. In hierdie publikasie verskyn die volgende sinne (vertaald): „Nou moet ons berig oor 'n aantal nuwere ondersoeke. Weens die eienaardige verskynsels wat dit opgelewer het doen ons dit met huiwering”.

Wat hulle bo twyfel vasgestel het was dat 'n groep radioisotope wat uit die bestraling van uraan met stadige neutrone ontstaan nie slegs chemies aan Ba verwant is nie, maar chemies met Ba identies is, m.a.w. Ba is. Verder het hulle in die produkte van uraan ook radioisotope van lantaan gevind. As daaraan gedink word dat

die massagetal van Ba 138 is en dié van uraan 238, kan besef word wat hierdie resultate beteken het. Daar was net een moontlike verklaring. As 'n neutron 'n uraankern tref, breek die uraankern op in twee min of meer ewe groot brokstukke. So iets is vantevore nooit in die kernfisika waargeneem nie. Dit was so ongewoon, dat Hahn en Strassmann selfs op hierdie stadium nog gehuiwer het om die logiese gevolgtrekking uit hulle waarnemings te maak. Hulle skryf: „As kernskeikundiges, verwant aan die fisici, kan ons nog nie besluit om die sprong te waag nie, want dit sou alle vorige ervaring in die kernfisika weerspreek. Dit kan tog nog wees dat 'n reeks onwaarskynlike toevallighede hierdie resultate te voorskyn geroep het”.

Hahn en Strassmann het nog getwyfel, maar hierdie publikasie was soos 'n sneller wat afgetrek is, en het aanleiding gegee tot 'n koorsagtige wetenskaplike navorsingsaktiwiteit in baie sentra. As een produk van uraanklowing Ba was met 'n kernlading 56, dan moes die ander kripton wees met 'n kernlading 36, om saam die kernlading 92 van uraan te gee. Selfs as aanvaar is dat die radio-isotope van Ba en Kr wat ontstaan, die swaarste moontlikes was, kon uit die massaverskil van die produkte en uraan bereken word dat in die proses 'n reuse-energie van die orde 200 Mev. vrygestel moes word. Ook berekenings uit die kernstraal en elektrostatiese potensiaal van uraan het 'n energie van hierdie orde gelewer. Daar is deur verskeie navorsers besef dat 'n proses waarin soveel energie vrygestel word in direkte fisiese eksperimente waarneembaar behoort te wees. Joliot, wie se vrou, Irene Curie, ten nouste by hierdie werk betrokke was, het hom herinner dat hy reeds in 1930 'n onverklaarbare verskynsel op 'n Wilsonkamerfoto waargeneem het wat ongetwyfeld niks anders was as die klowing van 'n uraankern deur 'n neutron nie.

Met 'n verskeidenheid metodes is die bestaan van uraanklowing binne 'n paar weke eksperimenteel bevestig deur talle ander groepe in Denemarke, die V.S.A., Frankryk en Duitsland. Daar is duidelik aangetoon dat

die klowingsproses op 'n groot verskeidenheid maniere kon plaasvind, en dat die proses in verskeie swaar kerne behalwe dié van Th en U kon plaasvind. Slegs uraan was egter kloofbaar deur sowel vinnige as stadige neutrone.

Green en Alvarez kon deur gebruik te maak van 'n gepulseerde neutronebundel aantoon dat die proses van klowing in minder as 3 duisendstes van 'n sekonde plaasvind, en feitlik gelyktydig het Feather hierdie resultaat verbeter deur aan te toon dat nadat 'n vinnige neutron 'n uraankern getref het, klowing plaasvind nog voordat die uraankern sy terugstootsnelheid as gevolg van die botsing met die neutron verloor het. Aangesien die uraankern onder die omstandighede van sy eksperiment sy terugstootspoed in 2×10^{-13} sek. verloor het, kon hy 5×10^{-13} sek. vasstel as boonste grens vir die duur van die klowingsproses.

Nou het daar 'n verdere belangrike ontdekking gevolg. Die klowingsprodukte van die swaar kerne is middelswaarkerne, en die aantal neutrone wat hulle gesamentlik bevat is aansienlik kleiner as dié wat in die oorspronklike swaar kern teenwoordig was. Hierdie onbalans word reggestel deurdat die brokstukke oorspronklik radioaktief is, en neutrone in hulle kerne in protone verander deur die uitstraling van negatiewe β -deeltjies. Verskeie navorsers het egter die idee gekry dat neutrone moontlik ook direk in die klowingsproses, of kort daarna, as sodanig vrygestel mag word. Dit het dan ook spoedig vir Von Halban, Joliot en Kowarski in Parys geluk om ondubbelsinnig vas te stel dat dit wel gebeur. Hulle syfer van 3.5 neutrone vrygestel per klowing in uraan was wel te hoog — dit is later bepaal dat gemiddeld 2.5 neutrone by die klowing van uraan vrykom — maar was noukeurig genoeg om tot belangrike gevolgtrekkings te lei. Die resultaat is ook in die V.S.A. bevestig deur Anderson, Fermi en Hanstein, wat 'n waarde van 2 vir die aantal neutrone wat per klowing vrykom, gevind het. Ook Szilard en Zinn het 'n waarde van ongeveer 2 gekry, en in latere werk 2.3 neutrone per klowing.

Deur gebruik te maak van neutronimpulse verkry

van 'n versneller het Gibbs en Thomson in Engeland aangetoon dat die neutrone wat in die klowingsproses ontstaan in minder as 'n duisendste van 'n sekonde vrygestel word, maar dat daar ook 'n klein persentasie na aansienlike vertraging vrykom. Roberts, Hafstad, Meyer en Wang het die vertraagde neutrone verder bestudeer en 'n groep gevind met 'n halveringstyd so lank as 12.5 sekonde.

Die implikasies hiervan was van die allergrootste belang, en dit het duidelik geword dat die ontdekking van kernklowing een van die grootste ontdekkings van alle tye was. As daar naamlik in elke klowing meer as twee nuwe neutrone vrygestel word, was dit in beginsel moontlik vir hierdie neutrone om verdere swaar kerne binne te dring, hulle te kloof en nog meer neutrone voort te bring. Onder geskikte omstandighede kon die proses dus grootskaals plaasvind, aangesien ons dan 'n ware kettingreaksie het. Verder het die feit dat sommige van die neutrone met aansienlike vertraging vrygestel word, die moontlikheid ingehou dat die proses wel beheer sou kon word.

Die feit dat die energie wat per klowing vrygestel word miljoene male groter was as dié wat per atoom in chemiese reaksies vrykom, het daarop gedui dat die swaar elemente potensieel brandstowwe was met 'n ontsaglike energie-inhoud. 'n Pond uraan sou die werk kon doen van 3000 ton steenkool of van duisende tonne dinamiet.

Om 'n idee te gee van hoe Hahn en Strassmann se publikasie in Januarie 1939 die fisiese navorsing gestimuleer het, kan slegs genoem word dat daar in 1937 alles tesaam 5 publikasies en in 1938 alles tesaam 8 publikasies oor die onderwerp verskyn het, daar in 1939 ver oor 'n honderd stukke oor die onderwerp gepubliseer is. Toe breek die tweede wêreldoorlog in September 1939 uit, en aangesien dit duidelik was dat kernklowing militêre moontlikhede inhou, sak daar 'n gordyn van geheimhouding oor hierdie navorsingswerk. Waar die navorsing eers gepaard gegaan het met 'n vrye uitruiling van inligting, en idees vrylik oor nasionale grense beweeg

het — ons het die geskiedenis van die neutron gevolg van Bothe en Becker in Duitsland na Curie en Joliot in Parys, na Chadwick in Cambridge, Fermi in Rome, dan terug na Parys en Berlyn — het die navorsers nou in afgesonderde groepe en onder die strengste geheimhouding gewerk. Die resultate van hulle werk sou eers na die oorlog bekend word.

Die vrystelling van kernenergie uit klowing het geblyk 'n heelwat moeiliker probleem te wees as wat oorspronklik vermoed is. Eksperimente het getoon dat net die een isotoop van uraan, U^{235} , wat maar slegs 0.7% van uraan uitmaak, deur stadige neutrone kloofbaar is. Aangesien U^{235} skeikundig identies is met die meer volop U^{238} , was dit 'n uiters moeilike probleem om die twee isotope te skei. Onder die druk van die oorlog het die V.S.A. die reuse-bedrag van R700,000,000 bestee aan 'n aanleg om dit te doen, en was dit na die oorlog die enigste land wat oor fasiliteite beskik het om kloofbare isotope op nywerheidskaal te skei. 'n Ander weg was om kloofbare Pu^{239} uit U^{238} te berei deur reaktore te bou waarin U^{239} , 'n kunsmatige isotoop wat nie in die natuur voorkom nie, deur neutronevangs uit U^{238} ontstaan en dan oor neptunium verval tot Pu^{239} wat ook die eienskap van kloofbaarheid deur stadige neutrone toon. Aangesien Pu nie in die natuur voorkom nie, en atoom vir atoom vervaardig moes word, was dit nodig om die hele skeikunde van hierdie element met behulp van mikrogramhoeveelhede te bepaal voordat die industriële installasies vir die skeiding daarvan gebou kon word. Van die twee atoombomme wat die V.S.A. gedurende die tweede wêreldoorlog oor Japan gebruik het, was die een 'n plutoniumbom en die ander 'n U^{235} -bom.

Na die tweede wêreldoorlog het die aandag weer teruggekeer tot die vredesgebruike van kernenergie. Om 'n kettingreaksie onder beheerde omstandighede te laat plaasvind met behulp van natuurlike uraan was dit nodig om reaktore te bou, waarvan die eerste geslaagde een in 1942 deur Fermi in Chicago voltooi is. So 'n reaktor is 'n samestelling van uraan en 'n sogenaamde remstof, be-

staande uit ligte atome soos gevind in water, swaarwater of grafiet. Die doel van die remstof is om die vinnige neutrone wat in klowing ontstaan doeltreffend te verstadig sodat hulle weer klowings in U^{235} kan veroorsaak om die kettingreaksie voort te plant. Dit help hulle om absorpsie deur die U^{238} vry te spring, want soos Fermi dit uitgedruk het: „ U^{238} vermoor die neutrone in 'n reaktor”. Reaktore is groot installasies, want waar die kans op ontsnapping van 'n neutron uit die reaktor (en gevolglik verlies van daardie neutron) toeneem met die kwadraat van die afmetings, neem die kans vir die neutron om 'n uraankern te tref en klowing te veroorsaak toe met die derde mag van die afmetings. 'n Sekere minimum grootte is dus nodig om te verseker dat die persentasie neutrone wat deur ontsnapping verlore gaan nie te groot is nie. Dan moet die hele reaktorhart omring word deur 'n skerm om personeel en instrumente teen die intense straling wat ontstaan te beskerm. Hierdie skerm kan so dik as 10 vt soliede beton wees.

Die energie vrygestel in die kettingreaksie, wat oorspronklik bestaan uit die kinetiese energie van die brokstukke en uit kernstraling, neem uiteindelik die vorm aan van hitte wat dan gebruik kan word om stoom en uiteindelik elektrisiteit op te wek. Hoewel die beginsel eenvoudig is, het die praktiese deurvoering daarvan enorme probleme opgelewer van fisiese, teoretiese, skeikundige, metaalkundige en ingenieursaard. Daarom word dan ook verteenwoordigers van haas alle suiwer en toegepaste natuurwetenskaplike dissiplines in kernenergie-organisasies aangetref. Die probleme word egter een na die ander opgelos, en die gebruik van kernenergie vir die opwekking van elektrisiteit is vandag reeds 'n praktiese werklikheid. Kernenergiesentrales is reeds in verskeie lande in werking, en meer word teen 'n stygende tempo aan gebou.

Daar word op die oomblik reeds in die wêreld 2200 Megawatt elektrisiteit uit uraan geproduseer en sentrales met 'n vermoë van 5600 Megawatt is reeds in aanbou. Hierdie syfers kan vergelyk word met 3500 Megawatt wat

tans die opwekkingsvermoë in die Republiek is. Die prys van elektrisiteit opgewek deur middel van kernenergie daal met elke nuwe sentrale wat voltooi word, as gevolg van tegniese verbeteringe en namate ervaring met vorige sentrales ophoop. Dit word algemeen verwag dat gedurende die volgende dekade kernkrag sal kan meeding met konvensionele krag in meeste dele van die wêreld.

Waar vantevore die enigste bronne van neutrone die sekondêre neutrone uit die bestraling van ligte elemente met gelaaiete deeltjies afkomstig van radioaktiewe stowwe of versnellers was, was daar in die reaktore nou vir die natuurwetenskaplike ongehoorde hoeveelhede neutrone beskikbaar vir navorsing. In die hart van die reaktor wat tans by Pelindaba in aanbou is sal 10^{14} neutrone uiteindelik per sekonde deur elke oppervlak van 1 cm^2 beweeg. Spesiale navorsingsreaktore is gebou met die doel om hierdie intense vloede van neutrone so bruikbaar moontlik vir eksperimentele doeleindes beskikbaar te maak. Radio-isotope kon vervaardig word in hoeveelhede wat vroeër ondenkbaar was, en het onder andere baie bygedra tot die ontwikkeling van kernspektroskopie in fisiese laboratoria, waar waardevolle gegewens ingewin is in verband met die gedrag van die β -onstabiele atoomkern en die aangeslane toestande wat in die produkkern voorkom na β -verval.

Die vraag mag by u ontstaan of daar na soveel jare van intensiewe navorsing op die gebied van Neutronefisika nog enigiets te doen is wat die moeite werd is. Die antwoord hierop is 'n ondubbelsinnige ja. Die Neutronefisika is en bly 'n integrale deel van Kernfisika. Die Kernfisika het nog verreweg nie die stadium van afgerondheid bereik wat bv. die Atoomfisika bereik het nie. Ons sou graag 'n omvattende fundamentele teorie wou hê waarvolgens voorspel kan word hoe enige atoomkern hom sal gedra onder enige gegewe stel omstandighede, 'n teorie wat 'n bevredigende verklaring gee van alle waargenome eksperimentele gegewens oor die kern.

So 'n teorie het ons nog nie. Ons het nog geen matematiese uitdrukking wat die kernkrag tussen twee kern-

deeltjies as funksie van die afstand tussen hulle gee, soos wat ons dit het vir die gravitasiekrag of die elektromagnetiese wisselwerking nie. Ons het teorieë wat die gedrag van sekere kerne onder sekere omstandighede redelik goed verklaar, maar wat dan weer minder suksesvol is vir ander kerne onder ander omstandighede. Intussen moet die eksperimentele werk voortgesit word en die noukeurigheid van waarneming verbeter word om aan die teoretiese fisici steeds beter fundamente te gee om op te bou.

Nou is dit so dat dit in die verlede by die bestudering van kernreaksies altyd makliker was om die gelaaiete deeltjies wat optree waar te neem as die neutrone, te wyte aan die feit dat die gelaaiete deeltjie weens sy elektriese lading, direk waargeneem kan word, terwyl die neutron, wat elektries neutraal is, nie die gewone waarnemingsinstrumente laat aanspreek nie en gevolglik indirek waargeneem moet word. Dit het as gevolg gehad dat meeste kernfisici verkies het om daardie kernreaksies te bestudeer waarin gelaaiete deeltjies optree. Die afgelope jare het die neutronwaarnemingstechnieke egter so verbeter dat neutronreaksies en reaksies waarin neutrone geproduseer word met groot noukeurigheid waargeneem kan word, en kan 'n groot gebied, wat in die verlede verwaarloos is, met vrug ondersoek word.

Uit die ontwikkeling op tegniese gebied ontstaan ook dringende behoeftes na gegewens van 'n fundamentele aard wat bevredig moet word. Die neutron is die belangrikste entiteit in die hele kernenergiebedryf. In 'n reaktor is daar neutrone met energieë wat wissel van etlike miljoen elektronvolt tot by 'n geringe breuk van 'n elektronvolt. Om reaktors te ontwerp is dit nodig om te weet wat gebeur met hierdie neutrone as hulle in wisselwerking tree met die kerne van die atome van alle stowwe in die reaktor, m.a.w. die brandstof, die remstof, die beheerstawe, (die verkoelingsmedium, die strukturele elemente, die radioaktiewe as wat in die brandstof opbou, die afskermingsmateriaal, ens. Daar is haas geen atoomkern wat nie op een of ander tyd in oënskou kom nie.

Hierdie gegewens is van groot ekonomiese belang. Is

dit nie met voldoende noukeurigheid beskikbaar nie, bly daar net een weg oop en dit is om langs empiriese weg 'n proefreaktor te bou om proefondervindelik die dinge wat weens ongenoegsame gegewens nie bereken kan word nie, te meet. So 'n reaktoreksperiment kos maklik 'n 30—40 miljoen rand.

Die fundamentele gegewens benodig is so uiteenlopend en omvangryk dat dit baie jare sal duur om in te samel, en dan sal dit steeds nodig wees om reeds bepaalde gegewens weer te bepaal met groter noukeurigheid. In dié verband is dit interessant om die volgende voorbeeld te noem. Een van die belangrikste en oudste gegewens in verband met kernklowing is die aantal neutrone wat gemiddeld vrykom wanneer stadige neutrone die kerne van U^{235} kloof. Daar word tans 'n baie omvangryke eksperiment deur De Volpi en Porges by Argonne deurgevoer om hierdie getal met 'n noukeurigheid van 1% te bepaal.

As bronne van neutrone word gebruik gemaak van beide reaktore en versnellers. Die reaktor lewer 'n intense vloed van neutrone, oorwegend van termiese energie. Ongelukkig het reaktorneutrone nie 'n enkele energie nie, maar bestaan dit uit 'n hele spektrum van energieë. Versnellers lewer weer sogenaamde vinnige neutrone maar wel teen 'n bepaalde goedgedefinieerde energie. As die versneller se energie kontinu verstelbaar is, kan ook die energie van die neutrone verstel word en metings by bepaalde energieë deurgevoer word.

Deur 'n geskikte keuse van eksperimente kan die beste gebruik gemaak word van die voordele wat eie is aan beide tipes neutronebronne. By die reaktor kan bv. kernfisiese eksperimente van groot belang gedoen word, sonder dat die energieverspreiding van die neutrone 'n nadeel is. So kan die leeftye van aangeslane toestande in kerne wat deur neutronevangs aangeslaan word, bestudeer word. Om die resultate te interpreteer moet van spesifieke kernmodelle gebruik gemaak word, en tot dusver was daar sommige resultate wat met 'n faktor van 100 van die teoretiese voorspellings verskil het. Talle aangeslane toestande wat nie met gelaaide deeltjies aange-

slaan kan word nie, kan wel met neutronevangs bereik word, en hulle is ook van dié wat van groot teoretiese belang is. Hier is dus 'n baie interessante navorsingsgebied wat ook in Suid-Afrika betree kan word sodra die reaktor by Pelindaba in werking kom.

Die gebruik van versnellers vir neutronewerk het baie in belangrikheid toegeneem. Namate die reaktortegniek ontwikkel moet ook die rol van vinnige neutrone in berekening gebring word, aangesien dit 'n groot rol speel in die ekonomiese bedryf van die reaktor. Die aandag word ook steeds meer toegespits op meer gevorderde reaktortipes waarin die kettingreaksie deur vinnige neutrone voortgeplant word. Dit is dus nodig om die wisselwerking van vinnige neutrone met kerne intensief te bestudeer.

'n Geweldige voorwaartse stap op hierdie gebied was die ontwikkeling van vinnige vlugtydmetodes. Die versneller word gepulseer om slegs vir een duisend miljoenste van 'n sekonde 'n bundel te lewer, en neutrone word dan, wat hulle energie betref, onderskei deur die verskil in tyd wat hulle neem om afstande van 'n meter of twee af te lê. Met moderne vinnige elektronika kan tans tydintervalle van een duisend miljoenste sekonde sonder te veel moeite onderskei word, en kernreaksies waarin neutrone voortgebring word, of wat deur neutrone te weeg gebring word, kan tans net so deeglik bestudeer word as die reaksies met gelaaiete deeltjies. Met die verskeie versnellers wat tans in die Republiek beskikbaar is, kan ook hierdie groot gebied deur ons navorsers betree word.

Hooggeagte here Lede van die Raad en Senaat van die Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys, ek maak graag van hierdie geleentheid gebruik om my opregte dank aan u uit te spreek vir die eer my aangedoen deur die benoeming tot ere-hoogleraar in die Fisika aan hierdie inrigting. Hierdie universiteit het aan my meer gegee as wat ek ooit kan terugbetaal, want behalwe deeglike basiese vakkennis, het dit aan my iets gegee wat nog waardevoller is, naamlik 'n positiewe, in die Skrif gefundeerde, lewens- en wêreldbeskouing en

vaste rigting in die lewe. Deur hierdie benoeming ste. u my in staat om tot 'n geringe mate terug te gee van wat ek ontvang het. Ek dank u daarvoor.

Hooggeleerde Rektor, Dame en Here Professore, Dames en Here Lektore, my opregte dank vir die welwillendheid en vriendskap wat ek nog steeds by elke besoek aan Potchefstroom van u ondervind het. Ek bied u my hartlike samewerking aan waar dit ook al moontlik mag wees.

Hooggeleerde Professore D. J. van Rooy en (in sy afwesigheid) G. van Wageningen, u het in my vormingsjare aan my prinsipiële en vakkundige leiding gegee, my liefde vir my vak opgewek en bowenal aan my getoon dat hy wat die Fisika beoefen in die lig van Gods Woord oneindig ryker is as die ongelowige fisikus. My opregte dank vir alles wat u vir my beteken het as student, dosent en daarna.

Dames en Here Studente, u is bevoorreg om aan hierdie inrigting te studeer. Ons snel ontwikkelende land bied aan u groot moontlikhede, maar u leef ook in 'n tyd van geestelike verwarring en insinking. Indien ek daarin sou slaag om 'n bydrae te lewer om u voor te berei om die beste gebruik van hierdie moontlikhede te maak, en terselfdertyd beginselvas te bly, sou ek myself gelukkig ag.

Geagte Dames en Here, ek dank u vir u welwillende gehoor.

S. J. du Toit.

Pretoria.

ALGEMENE VERWYSINGS:

1. W. Bothe en H. Becker: Zeits. für Physik 66, 289 (1930).
2. I. Curie en F. Joliot: J. Phys. Radium 4, 21 (1932).
3. I. Curie en F. Joliot: Comptes Rendus 194, 273 (1932), 194 708 (1932).
4. J. Chadwick: Proc. Roy. Soc. A 136, 692 (1932).
5. P. I. Dee: Proc. Roy. Soc. A 136, 727 (1932).
6. D. Hahn, L. Meitner en Strassmann: Annalen der Physik 29 246 (1937).
Zeits. für Physik 106, 249 (1937).

- Naturwiss. 26, 475 (1938), 26, 755 (1938).
Zeits. für Physik 109, 538 (1938).
7. Curie en Savitch: J. Phys. Radium 9, 355 (1938).
Comptes Rendus 206, 906, 1643 (1938).
J. Phys. Radium. 9, 440 (1938).
 8. Hahn en Strassmann: Naturwiss. 27, 11 (1939).
 9. F. Joliot: Comptes Rendus 208, 341 (1939).
 10. Frisch: Nature 143, 276 (1939).
 11. Von Halban, Joliot en Kowarski: Nature 143, 470 en 680, (1939).
 12. Anderson, Fermi en Hanstein: Phys. Rev. 55, 797 (1939).
 13. Dodé, Von Halban, Joliot en Kowarski: Comptes Rendus 208, 995 (1939).
 14. Szilard en Zinn: Phys. Rev. 55, 799 (1939), 56, 619 (1939).
 15. Halban, Joliot en Kowarski: Nature 143, 939 (1939).
 16. Gibbs en Thomson: Nature 144, 202 (1939).
 17. Roberts, Hafstad, Meyer en Wang: Phys. Rev. 55, 510, 664 (1939).
 18. N. A. Wlassow: Neutronen, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin (1959).
 19. M. L. Yeater: Neutron Physics, Academic Press, New York (1962).
 20. K. Wirtz en K. H. Beckurts: Elementare Neutronenphysik, Springer, Berlin (1958).
 21. J. B. Marion en J. L. Fowler: Fast Neutron Physics, Interscience, New York, Band I (1960), Band II (1963).