

University of Groningen

40 jaar Kernfysisch Versneller Instituut

Woude, Adriaan van der

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2008

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Woude, A. V. D. (2008). 40 jaar Kernfysisch Versneller Instituut. s.n.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.



7

NIET ALLEEN KERNFYSICA

Medische toepassingen

Het Centraal Isotopen Laboratorium (CIL) op het KVI
Protontherapie in Groningen?

Radiobiologisch onderzoek

Atoomfysica op het KVI

Wat eraan vooraf ging
De overstap naar het KVI
Hoogleraar atoomfysica
Het atoomfysisch onderzoek

Toegepaste kernfysica

Radon-onderzoek
Zand-onderzoek
Tsjernobyl

Onderwijs

Onderzoek van kosmische straling samen met vwo-scholen
Onderzoekschool FANTOM

Computers en Informatietechnologie op het KVI

Niet alleen kernfysica

Inleiding

De motivatie voor wetenschappelijk onderzoek kan zowel voortkomen uit pure nieuwsgierigheid als uit de wens om iets nuttigs te ontwikkelen. Voor het KVI was de nieuwsgierigheid naar de eigenschappen van de atoomkern de voornaamste drijfveer. Weliswaar heeft bij de oprichting van het KVI de verwevenheid van kernenergie en kernfysica een rol gespeeld, maar later niet meer.

Dat wil niet zeggen dat er geen belangstelling was voor multidisciplinair en/of maatschappelijk nuttig onderzoek. Veel medewerkers zijn in de loop der jaren betrokken geweest bij een of andere vorm van nuttig onderzoek. En dat is goed. In feite zou iedere 'pure' onderzoeker zich voortdurend moeten afvragen of zijn werk ook van maatschappelijk nut kan zijn en zo ja of het zin heeft dat verder te ontwikkelen. In deze geest is het gebruik van de faciliteiten van het KVI voor niet-kernfysisch onderzoek ook ondersteund.

Het eerste niet-kernfysische gebruik van de KVI-faciliteit kwam voort uit een samenwerking van het Centraal Isotopen Laboratorium van de Medische Faculteit met het KVI voor de productie van kortlevende isotopen voor medisch gebruik. Een volgende uitbreiding van het onderzoekprogramma van het KVI was de komst in 1982 van de onderzoekgroep Oppervlaktefysica. Daaruit is de werkgroep Atoomfysica voortgekomen die naast de Kernfysica een onafhankelijk en succesvol onderzoekprogramma heeft ontwikkeld.

Het KVI is door de Nederlandse overheid en de EU ook ingeschakeld bij het opzetten en uitvoeren van een landelijk meetnet voor het vóórkomen van het radioactieve gas radon. Daaruit is een groep ontstaan die zich specifiek bezighoudt met het meten van lage-intensiteitradioactiviteit in de woonomgeving. De radioactieve neerslag tengevolge van het Tsjernobyl-ongeluk in 1986 in Nederland, voor het eerst op het KVI gemeten, is daar een voorbeeld van. Ook is er in samenwerking met de afdeling Radiotherapie van het Academisch Ziekenhuis Groningen (nu UMCG) serieus gekeken naar de mogelijkheden om een protonenbestralingsfaciliteit op te zetten met gebruikmaking van de 200MeV-protonenbundel van AGOR. Dat dit uiteindelijk niet is doorgegaan doet niets af aan de getoonde bereidheid van de staf om over de grenzen van de kernfysica heen te kijken.

In dit hoofdstuk zal verder worden ingegaan op deze onderzoekdisciplines.

Een vergelijking met de figuur op bladzijde 119 waarin de rol van de kernfysica ten opzichte van andere disciplines is gesymboliseerd, geeft aan dat wat voor de kernfysica als geheel geldt, zeker ook voor het KVI opgaat.

Medische toepassingen

Het Centraal Isotopen Laboratorium (CIL) op het KVI

Reeds in het in 1961 geschreven rapport 'Wetenschappelijke Verantwoording' is al gewezen op de mogelijkheid om met het 280 cm AVF-cyclotron radionucliden te produceren. Daarbij dacht men aan de mogelijkheid om de eigenschappen van niet-stabiele kernen te bestuderen door meting van de bij verval vrijkomende β - en γ -straling, zuiver kernfysisch onderzoek dus. Maar men realiseert zich ook dat radionucliden wel eens nuttig kunnen zijn in de geneeskunde. De farmaceut Professor M.G. Woldring, vanaf 1953 hoofd van het Centraal Isotopen Laboratorium (CIL) van het Academisch Ziekenhuis, krijgt de opdracht dat verder uit te zoeken.

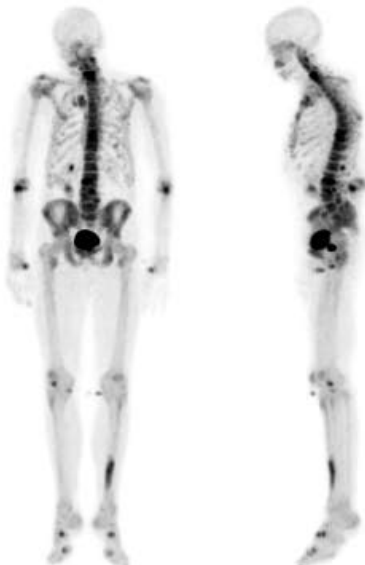
Daardoor raakt men vanuit het Academisch Ziekenhuis en speciaal bij CIL geïnteresseerd om het AVF-cyclotron te gebruiken voor de productie van (kortlevende) radionucliden. Deze ontwikkeling is ook al onderkend door de Commissie-Van Bueren (zie bladzijde 22) die in het in 1970 uitgebrachte rapport schrijft:

"Het cyclotron behoeft niet uitsluitend voor de kernfysica te worden benut. Op het Centraal Isotopen Laboratorium van het Academisch Ziekenhuis te Groningen wordt een plan voorbereid om, met behulp van het cyclotron in het KVI, kortlevende nucliden te produceren voor medisch onderzoek. Hiervoor is een investering nodig van minder dan 1 miljoen gulden, terwijl daarnaast een significante radiochemische inspanning (target en labeltechnieken) moet plaatsvinden, alvorens resultaten van dit plan kunnen worden voorzien."

Om dit alles op poten te zetten is in 1969 Dr. W. Vaalburg, een organisch chemicus, vanwege het Centraal Isotopen Laboratorium belast met het ontwikkelen van onderzoek met kortlevende radionucliden en de productie daarvan met gebruikmaking van het AVF-cyclotron.

Het idee van dit soort onderzoek is vrij eenvoudig (maar de uitvoering niet!). Sommige stoffen hebben na het inbrengen in het lichaam een voorkeur om zich in bepaalde organen of in een tumorgebied te nestelen. Het element fluor bijvoorbeeld is een botzoeker. Dat wil zeggen, het wordt met graagte in de botten opgenomen. Dat geldt dus ook voor het niet-stabiele isotoop fluor-18 dat met een halveringstijd van 1,8 uur vervalst naar het stabiele zuurstof-18 waarbij een positron (het anti-deeltje van een elektron) vrijkomt. Bij een botsing tussen een deeltje en zijn anti-deeltje verdwijnen beide en wordt hun energie-inhoud ($E=mc^2$) in straling omgezet. Zo zal ook het positron met één van de vele elektronen in de nabijheid van het fluoratoom botsen waarbij twee γ -stralen met een energie van 511 keV in tegenover elkaar gestelde richtingen worden uitgestuurd, de zogenoemde annihilatiestraling. Deze kan door tellers die buiten het lichaam staan opgesteld in coïncidentie worden gemeten waardoor het hele skelet 'zichtbaar' kan worden gemaakt en eventuele afwijkingen kunnen worden gelokaliseerd, zie de figuur.

Ten tijde van het gereedkomen van het cyclotron is er juist een nieuwe ontwikkeling gaande waarbij kortlevende, positronenstralende radionucliden zoals koolstof-11, stikstof-13, zuurstof-15 en fluor-18 in organische moleculen worden ingebouwd. Daardoor is het mogelijk om voor biologische processen belangrijke radiofarmaca te produceren en door meting van de uitgezonden straling het verloop van een proces van buiten af *in vivo* te volgen.



Een paar voordelen van het gebruik van kortlevende positron emitters met een halveringstijd van een paar minuten tot een uur ten opzichte van lang levende isotopen zijn dat de totale stralingsdosis die de patiënt ontvangt lager is en dat annihilatiestraling goed is te detecteren.

De geschikte radionucliden kunnen met een cyclotron worden gemaakt. Die moet wel in de nabijheid staan van de locatie waar het radiofarmacum wordt

PET-scan van skelet van patiënt

gemaakt omdat anders tijdens het transport teveel activiteit verloren gaat. Ook het inbouwen in een radiofarmacum moet snel gebeuren.

In 1973 zijn alle benodigheden voor dit bij uitstek multidisciplinaire onderzoek in Groningen aanwezig: een cyclotron voor de productie van de radionucliden, de kennis van snelle synthese van organische materialen in het Organisch Chemisch Laboratorium van de Universiteit en het CIL voor de radiofarmaca-productie. In 1973 stelt Woldring voor dat het CIL in nauwe samenwerking met KVI en Organische Scheikunde met dit type onderzoek begint. Daarvoor is een bedrag van ongeveer 1 miljoen gulden nodig, 2 personeelsplaatsen en 8 tot 12 uur cyclotrontijd per week. Ook moet er een B- en een C-laboratorium komen voor het werken met radioactieve nucliden.

Dit voorstel werd sterk ondersteund door zowel het KVI als het Organisch Chemisch Laboratorium. Zo schrijft Prof. Dr. H Wijnberg, hoogleraar-directeur van dit laboratorium:

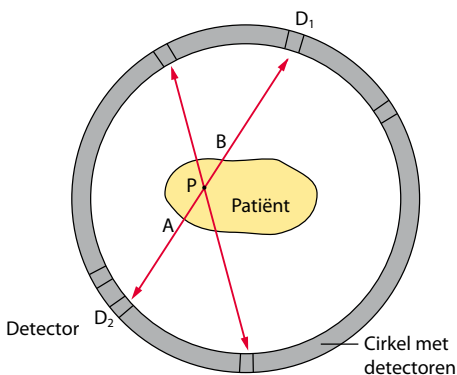
"... betuig ik mijn grote instemming met en steun aan het gebruik van het cyclotron voor medische doeleinden."

En verder: "Daar ons Laboratorium bij uitstek geschikt is voor synthese en de interesse in organische stoffen voor heilzame toepassing zeer hoog is, is dit interdisciplinaire project voor ons laboratorium uiterst belangrijk". En ook: "... de interesse in dit interdisciplinaire project van de kant van de chemische studenten opmerkelijk hoog is".

Wat de formele kant betreft sluiten CIL en KVI in 1977 een overeenkomst met als hoofdpunten dat het KVI acht uur per week bundeltijd ter beschikking stelt voor de productie van kortlevende radionucliden en het CIL een radiochemicus, een radiochemisch analist en een cyclotronoperateur levert. Voor de inrichting en bouw van het B-Laboratorium geeft het ministerie van O&W 1,7 miljoen gulden. In 1981 is deze nieuwe faciliteit met alle toeters en bellen voor productie van kortlevende isotopen gereed.

Ver daarvoor, in 1974 is op bescheiden schaal een begin gemaakt met het produceren van kortlevende radionucliden voor medisch gebruik. Het onderzoek beperkt zich tot twee onderwerpen: 'Carbon-11 labeled amino acids' en 'Nitrogen-13 labeled ammonia'. Naast Vaalburg zijn nog vier andere medewerkers daarbij betrokken. In 1975 komt de fysicus A.M.J. Paans, die zijn opleiding had genoten op het KVI, de groep verder versterken, het begin van een 30-jarige succesvolle samenwerking tussen Vaalburg en Paans.

In de jaren daarna zijn veel organische verbindingen voorzien van het C-11 label gemaakt en beproefd op hun toepasbaarheid als tumorzoeker of als indicator voor de werking van specifieke organen. De kunst is om een veilige, snelle en doeltreffende methode te ontwikkelen om het C-11 na bestraling zo snel mogelijk in een organische stof in te bouwen en deze klaar te maken voor toediening aan patiënt of proefdier. In de meeste gevallen lukt het om ongeveer een uur na de bestraling de gelabelde stof voor gebruik gereed te hebben.



Principe detectie annihilatiestraling

Buiten het te onderzoeken lichaam staan twee detectoren tegenover elkaar opgesteld. Het gelijktijdig detecteren van de twee γ -stralen van 511 keV in de twee detectoren is een teken dat de bron van positronenemissie op de verbindinglijn van die twee detectoren ligt. Ditzelfde wordt ook gedaan met andere paren detectoren die straling, uitgezonden in een andere richting, meten. De bron ligt op het snijpunt van de verbindingslijnen.

Daarnaast komt er een tweede activiteit op gang, namelijk het ontwikkelen van apparatuur voor de detectie van de annihilatiestraaling die bij positronemissie ontstaat. Met deze gegevens kan de locatie van de bron in het lichaam worden gereconstrueerd. Het principe van deze methode is op de pagina hiernaast weergegeven.

In 1976 begint Paans met het samenstellen van een positronencamera. De eerste bestaat uit een bestaand type gamma-camera met als partner een commercieel verkrijgbare detector. De twee detectoren worden tegenover elkaar opgesteld, een boven en de andere onder het lichaam waarin de positron emitter zich bevindt. Positronenvalf kenmerkt zich doordat in die twee detectoren gelijktijdig een signaal wordt waargenomen, hetgeen met standaard elektronica kan worden vastgesteld. In het jaar daarop is het systeem zover ontwikkeld dat de eerste resultaten van de PET (Positron Emission Tomography)-methode worden verkregen.

In 1979 wordt met gelden van RUG en KWF (Koningin Wilhelmina Fonds) een stationaire dubbelkops-gammacamera met bijbehorend computersysteem aangeschaft. De elektronica en software om dit tot een PET-scanner om te vormen wordt in eigen beheer gedaan.

Dit was het begin van een 30-jarige periode waarin de PET-techniek in toenemende mate gebruikt wordt als diagnostisch instrument in de geneeskunde. Het Groningse werk waarin de productie van talloze stoffen met kortlevende radionucliden is ontwikkeld (Vaalburg) in combinatie met het PET-systeem voor de verwerking en interpretatie van de gegevens (Paans) heeft daarbij een pioniersrol gespeeld. Dat is nog eens onderstreept doordat in 2007 een internationaal congres in Groningen is gehouden onder de titel '30 jaar PET'!

In de periode daarna zijn steeds betere detectoren gebruikt waarmee de locatie van de positron emitter met een nauwkeurigheid van 5,5 mm is vast te stellen. Een grote stap vooruit wordt in 1982 gezet als een door de N.V. Siemens geconstrueerd systeem beschikbaar komt waarmee een detectorenpaar rondom het lichaam wordt gedraaid zodat de in alle richtingen uitgestuurde stra-



PET-scan-systeem van Siemens

ling wordt gemeten, zie foto vorige pagina. In principe kan dan niet alleen de plaats maar ook de relatieve hoeveelheid van de opgenomen stof worden bepaald.

PET heeft dus de unieke eigenschap dat het de biochemie in het menselijk lichaam kan afbeelden en kwantificeren.

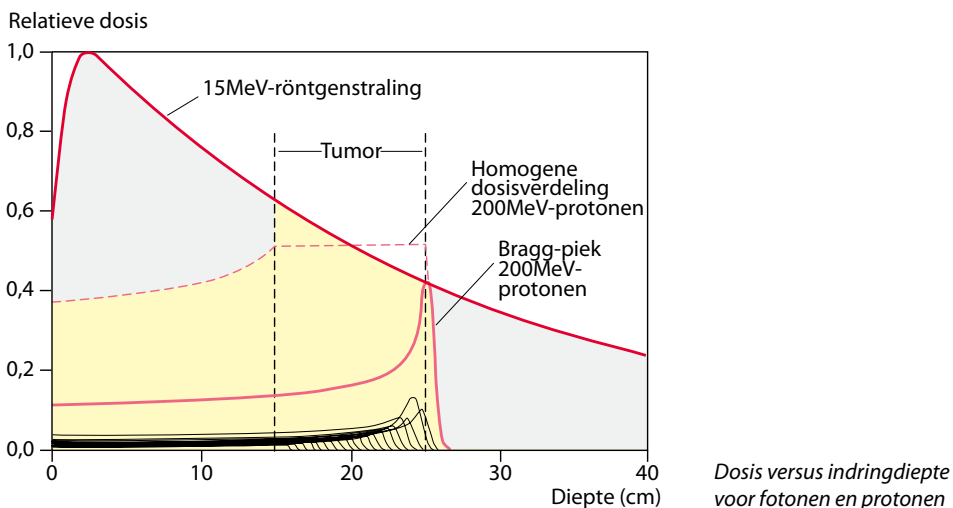
Deze nu complete faciliteit heeft vooral de interesse van specialisten uit de neurologie, neurochirurgie, chirurgie, en biologische psychiatrie. Specifieke onderzoeksprojecten worden gefinancierd door organisaties als het KWF en Medigon, een stichting voor medisch onderzoek.

Het aantal patiënten dat op het KVI wordt onderzocht stijgt zover dat er behoefte is aan meer dan 8 uur bundeltijd per week en een flexibel tijdschema voor isotopenproductie. Dat is moeilijk te combineren met de wensen van de kernfysici. Het probleem wordt opgelost als in 1988 de regering besluit tot oprichting van het Nederlandse Nationale PET-Centrum in Groningen. Voor de productie van de kortlevende radionucliden wordt een speciaal daarvoor ontworpen cyclotron van de firma Skanditronix in Zweden gekocht. In 1991 neemt dit cyclotron geleidelijk aan de productie van kortlevende radionucliden over. Ook het radiochemisch laboratorium wordt dan van het KVI overgeheveld naar het PET-centrum. De onderzoeksprojecten die op het KVI zijn begonnen worden nu voortgezet in het nieuwe PET-centrum. Aan de 18-jarige samenwerking tussen KVI en CIL is een einde gekomen.

Protonetherapie in Groningen?

Voor de bestrijding van tumoren door bestraling is de gangbare methode om hiervoor fotonen te gebruiken. Maar in de jaren 1980–1990 wordt duidelijk dat voor bepaalde tumoren een bestraling met protonen van 150–200 MeV grote voordelen kan hebben in vergelijking met fotonenbestraling. Dat hangt samen met de heel verschillende wijze waarop een foton en een proton hun energie afstaan aan het weefsel dat wordt bestraald. In de onderstaande figuur is de dosis (= afgegeven energie per volume-eenheid) uitgezet tegen de indringdiepte van het projectiel.

Voor fotonen is de dosis niet goed gelokaliseerd en loopt niet alleen de tumor maar ook het om de tumor liggende gezonde weefsel aanzienlijke stralingsbeschadiging op. Dit beperkt de energieafgifte aan de tumor zelf zodat deze niet genoeg dosis krijgt om te verdwijnen. Vooral voor tumoren die vlak bij een gevoelig gebied liggen is dat een ernstige belemmering. Met protonen-



bestraling is het gebied van maximale dosis wel goed gelokaliseerd en kan bij gelijke tumordosis de dosis aan de omgeving een factor 2 tot 5 minder zijn. Daarom lijkt deze methode bij uitstek geschikt voor de behandeling van inoperabele en relatief radioresistente tumoren, die nabij weefsels en/of organen liggen die slechts een beperkte stralingsdosis kunnen verdragen.

Al tijdens zijn directeurschap is Siemssen op deze mogelijke toepassing van AGOR-bundels geweest door H. Vermeij, het toenmalige hoofd van de afdeling Radiotherapie van het Academisch Ziekenhuis Groningen (AZG). Onder hun opvolgers, Malfliet respectievelijk Szabo, is deze mogelijkheid serieus bekeken.

In oktober 1992 doet Malfliet, samen met Szabo, een projectbeschrijving 'proton-therapie' de deur uitgaan. Het doel van het project is drieledig:

- het tot stand brengen van een faciliteit annex het KVI voor het uitvoeren van protonenbestraling
- een bijdrage leveren aan de ontwikkeling van nieuwe bestralingsmethoden bij de behandeling van kanker
- geselecteerde patiënten daadwerkelijk behandelen met protonenbestraling om daarmee hun kans op genezing te vergroten.

Om dit project te realiseren is een stuurgroep gevormd van enkele KVI-medewerkers en medewerkers van de vakgroep Radiotherapie/Radiodiagnostiek van het AZG. Daarnaast is Professor Barendsen hoofd van de afdeling Radiobiologie van het Amsterdams Medisch Centrum bereid gevonden om als adviseur op te treden. Ook de afdelingen Radiotherapie van het Academisch Ziekenhuis te Utrecht en van de Daniël de Hoed kliniek in Rotterdam zijn geïnteresseerd. Vanuit het AZG tonen de vakgroepen Kinderoncologie, Nucleaire geneeskunde en Neurochirurgie interesse. Dit project kan ook rekenen op de sympathie van het College van Bestuur en van het UB van FOM. Ook de Gemeente Groningen steunt dit project. Deze gaf in 1994 opdracht aan een adviesbureau in Den Haag om een studie naar de 'Haalbaarheid van een faciliteit voor protonen-therapie in Groningen' te verrichten. De conclusies van dit rapport zijn positief, ook ten aanzien van de economische voordelen in de regio.

Dit bemoedigende begin vindt zijn voortzetting in het opstellen van een stappenplan waarin alle werkzaamheden staan beschreven die tot de realisering van een bestralingsfaciliteit met AGOR moet leiden.

Daarnaast is er ook naar de financiële kant van dit project gekeken. De kosten zijn niet gering. De investeringskosten worden op Mfl 16 geschat en de totale exploitatiekosten in 5 jaar op Mfl 11. De kosten per behandeling komen uit op 10.000 tot 25.000 gulden, nogal wat hoger dan de traditionele fotonenbestralingsmethode. Er zal dus stevig gelobbyd moeten worden bij de ministeries en ziekenfondsen om dit bedrag bij elkaar te krijgen. Het AZG zal daarvoor het voortouw moeten nemen.

Er is echter nog wel een moeilijkheid. De Medische Faculteit en speciaal de specialisten in de oncologie hebben zich nog niet enthousiast getoond, terwijl zij dat juist moeten zijn. Het College van Bestuur van de Universiteit wil meer inzicht hebben in hun mening wat betreft dit project voordat ze zich er volledig aan committeert. Daartoe wordt Siemssen gevraagd om de mening van de meest betrokken groepen te peilen. Deze komt tot de conclusie dat er nogal wat twijfel bestaat over het nut van een dergelijke faciliteit. Men ziet meer heil in het verder ontwikkelen van medicijnen tegen kanker. Ook is de Faculteit bang dat zij en niet het AZG voor de kosten van dit project zou opdraaien omdat het als een onderzoekproject wordt opgevat en niet als patiëntenzorg.

Dat betekent het einde van dit protonentherapieproject. Zonder steun van de volledige Medische Faculteit is doorgaan ondenkbaar. Voor diegenen die er veel tijd en enthousiasme in hadden gestoken een sneue zaak. Maar een ander besluit dan stoppen was toen niet mogelijk.

Het is ironisch dat goed 10 jaar later er weer plannen bestaan voor een protonenbestralingsfa-

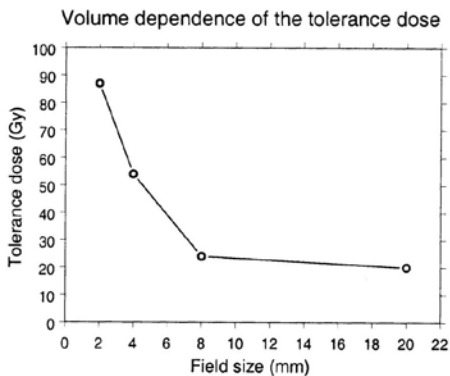
ciliteit, nu op het terrein van het ziekenhuis en geïntegreerd met de radiotherapie-afdeling. Het geplande cyclotron is van een bestaand type en eenvoudiger dan de AGOR-machine. Dit is voor een bestralingsfaciliteit een betere oplossing dan de AGOR-faciliteit die er niet in de eerste plaats voor was gebouwd.

Radiobiologisch onderzoek

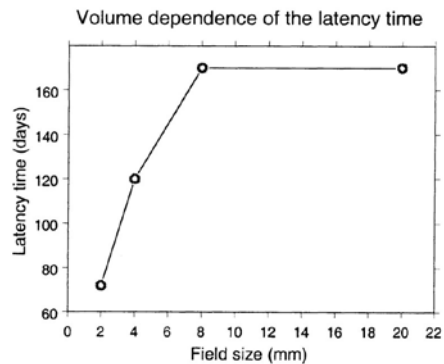
Ondanks het niet doorgaan van het protonentherapie-project besloot het Bestuur van de Universiteit echter wel om het radiobiologisch onderzoek dat daarvan een onderdeel zou zijn voort te zetten, zij het op een bescheidener schaal. Professor A.W.T. Konings van de Afdeling Radiobiologie van de Medische Wetenschappen was bereid om daarvan de leiding op zich te nemen. Dit project was een samenwerking tussen de Radiobiologie-groep van de Medische Faculteit in Groningen, de Radiobiologie-groep in Nijmegen onder leiding van Prof. A.J. van der Kogel, en het KVI. Het werd ook gesteund door de Radio Oncologie groep van het huidige UMCG, het vroegere AZG.

Het doel van dit onderzoek was om na te gaan hoe voor gezond weefsel de tolerantie tegen bestraling afhangt van het bestraalde volume. Dit is een belangrijk probleem bij de behandeling van niet-uitgezaaide tumoren door bestraling. In het ideale geval wordt alleen het tumorgebied bestraald en het daaromheen liggende gezonde weefsel niet. In de praktijk is dat niet mogelijk: weliswaar kan men met moderne bestralingsfaciliteiten de dosisverdeling wel concentreren op het tumorgebied maar toch zal ook het omliggende gezonde weefsel nog een niet te verwaarlozen dosis ontvangen. Hoe hoger de dosis in het tumorgebied des te hoger is de kans op genezing. Maar de kans dat het omliggende gezonde weefsel daarbij zoveel straling ontvangt dat het kapot gaat wordt dan eveneens groter en dat kan als het om gevoelige organen gaat, fataal zijn. In de klinische praktijk is het belangrijk om te weten wat de tolerantiedosis van gezond weefsel is en hoe deze dosis afhangt van het volume van het bestraalde gebied.

Voor γ -bestraling was dit al bekend maar voor protonenbestraling waren hierover nog geen gegevens. Het eerste dat werd onderzocht was de stralingstolerantie van het zenuwstelsel als functie van het bestraalde volume. Om te beginnen werd het onderzoek gericht op het ruggenmerg van ratten. Daartoe werd een protonenbundel met goed gedefinieerde afmetingen op een stukje



Resultaten van experimenten (1)



Resultaten van experimenten (2)

van het ruggenmerg geschoten. De breedte van het beschoten stuk varieerde van 2 tot 20 mm en bij iedere breedte werd bepaald bij welke dosis 50% van de beschoten ratten na verloop van tijd verlamingsverschijnselen vertoonden. Deze experimenten vereisten nieuwe instrumentele ontwikkelingen zoals het nauwkeurig meten van de dosisverdeling in het bestraalde gebied en het prepareren van de protonenbundel. Wat het KVI betreft gebeurde dat door Dr. J. M. Schippers en medewerkers.

Enkele resultaten van deze experimenten zijn weergegeven in de figuren hiernaast. De tolerantiedosis verandert niet tussen 8 en 20 mm breedte maar neemt snel toe voor 2 en 4 mm breedte. Later werd ook het effect van bestraling op de speekselklieren en longen bestudeerd.

Atoomfysica op het KVI

Gezien de naam van het 'Kernfysisch Versneller Instituut' is het misschien niet te verwachten dat er ook veel atoomfysisch onderzoek gaande is. Maar toch is dat zo! In de afgelopen 25 jaren werd vooral de wisselwerking van hooggeladen ionen met neutrale materie onderzocht, waarbij met 'neutrale materie' een breed spectrum bedoeld is: van atomair waterstof via kleine en grote (bio)moleculen en clusters tot vaste-stofoppervlakken. Vanuit een fundamenteel oogpunt is het interessant deze wisselwerkingen te bestuderen omdat een situatie ver van evenwicht gecreëerd wordt als hooggeladen ionen in contact komen met neutrale materie. Alle energie die in eerste instantie nodig was om de hooggeladen ionen te produceren, d.w.z. de elektronen van hun atoomkern te verwijderen, komt in één klap beschikbaar. Dit geeft aanleiding tot een breed spectrum van dynamische processen zoals elektronenoverdracht gevolgd door emissie van elektronen of fotonen, fragmentatie van moleculen of sputteren van materie aan oppervlakken. Daarnaast zijn er belangrijke toepassingen op allerlei gebieden zoals plasmadiagnostiek, kankertherapie of oppervlaktelithografie.

Wat eraan vooraf ging

In Groningen werd in 1967 een afdeling Technische Fysica als onderdeel van de Subfaculteit Natuurkunde opgericht, natuurlijk mede op initiatief van Brinkman. Als hoogleraar-directeur van deze afdeling werd Dr. Ir. Francken benoemd, afkomstig van het Natuurkundig Laboratorium van Philips. Naast Francken werd ook nog Dr. Wegener Sleswijk aangetrokken. Iets later voegde Dr. Ab Boers zich daarbij, eerst als lector later als hoogleraar.

Boers en zijn medewerker Suurmeijer waren gespecialiseerd in het onderzoek van de structuur van metaaloppervlakken en het effect van adsorptie en vervuiling daarvan. Ze deden dat door zo'n oppervlak met waterstofionen van lage energie te beschieten en de energie en hoekverdeling van de verstrooide ionen te meten. Dit onderzoek wordt gekenmerkt door botsingsfysica, een onderzoekmethode die ook uitgebreid in de kernfysica wordt gebruikt. Er is dus een zekere intellectuele overlap tussen deze beide disciplines, zowel in methode als in concept. Dit sprak Boers meer aan dan het soort onderzoek dat door zijn collega's bij de Technische Fysica werd gedaan. Ook in het persoonlijke vlak boterde het niet tussen hem en sommige van zijn directe collega's.

De overstap naar het KVI

Boers en Van der Woude hadden al enige tijd contact met elkaar wat in 1979 resulteerde in het gezamenlijk indienen van een beleidsruimteproject bij FOM. Dit project waarin een zuivere kernfysische techniek is gebruikt voor het meten van een puur atoomfysische grootheid, werd gehonoreerd. Dit was al een aanwijzing dat samenwerking tussen de beide disciplines wel eens positief zou kunnen werken. Al spoedig kwam de gedachte dan ook op dat het goed zou zijn om ook

fysiek dicht bij elkaar te komen: de 1 km afstand tussen KVI en Natuurkunde is te groot voor een vruchtbare uitwisseling van ideeën. Een overgang van de groep Boers van de Technische Fysica naar het KVI zou dat bezwaar opheffen.

Een andere reden om dat serieus te overwegen was de installatie van de ECRIS-bron op het KVI (zie hoofdstuk 2) waarmee bundels van hoog geladen laag-energetische ionen voor atoomfysische experimenten beschikbaar komen. De reacties van de atoomfysische gemeenschap in Nederland op dit voornemen zijn zeer positief, evenals die van diverse Europese centra voor atoomfysica. Ook het KVI verwelkomt dit idee, het verbreedt de onderzoeksmogelijkheden en is goed voor het intellectuele klimaat op het instituut.

Deze door Boers c.s. en het KVI gewenste overgang moest nog wel in het bestuurlijke vlak worden gerealiseerd. Na het nodige overleg sluiten de subfaculteit Natuurkunde, de Technische Natuurkunde en het KVI begin 1982 een overeenkomst die voor de groep-Boers de weg vrijmaakt om naar het KVI over te stappen. Het College van Bestuur gaat daarmee akkoord. De overgang gebeurt in de zomer van 1982, waarmee de groep-Boers, die buiten Boers zelf bestond uit drie technici en drie promovendi, een nieuw onderdak heeft en het KVI-onderzoeksterrein is verrijkt met oppervlakte- en atoomfysisch onderzoek.

Hoogleraar Atoomfysica

Een onverwacht probleem duikt op als Boers om persoonlijke redenen per 1 september 1984 met vervroegd emeritaat gaat en daarmee de atoomfysica onthoofd achterlaat. Zowel Siemssen alsook de directeur J. Los van AMOLF, het vooraanstaande FOM-Instituut voor Atoom- en Molecuulfysica in Amsterdam, vinden het van groot belang om in deze lacune te voorzien. Zij stellen voor dat op korte termijn een senior-atoomfysicus bij het KVI wordt aangesteld gecombineerd met een buitengewoon hoogleraarschap. Het Beleidscollege van het KVI en het CvB van de Universiteit stemmen hiermee in en ook op het Ministerie van O&W staat men hier welwillend tegenover. Althans dat is wat het CvB meent te mogen concluderen uit informele contacten met top-ambtenaren.

De procedure voor de aanstelling van een kroondocent kon daarmee van start gaan. De benoemingscommissie draagt R. Morgenstern, werkzaam bij de atoomfysicagroep in Utrecht, als kandidaat nummer één voor. Dit voorstel wordt overgenomen door het CvB die het doorstuurt naar het Ministerie voor de Koninklijke handtekening. Maar daar loopt het vast; men maakt, ondanks de eerdere informele toestemming, bezwaar tegen de combinatie van UHD (universitair hoofddocent) en buitengewoon hoogleraar. Het CvB hakt dan de knoop door en besluit om Morgenstern direct tot gewoon hoogleraar te benoemen. En zo geschiedde: in september 1986 wordt Morgenstern benoemd, net op tijd om de 'International Conference on the Physics of Multiply Charged Ions' te leiden, die – gezien de vele activiteiten hier – aan Groningen was toegewezen.

Het atoomfysisch onderzoek *

De atoomfysische onderzoekactiviteiten zijn begonnen in 1982, met de aanschaf van een 'Electron Cyclotron Resonance' (ECR)-bron. In eerste instantie was die bedoeld voor gebruik met het cyclotron maar de directeur R. Siemssen en zijn collega A. van der Woude realiseerden zich al snel, dat een dergelijke bron unieke mogelijkheden kon bieden voor atoomfysisch onderzoek. Bovendien was men zich ervan bewust dat een snelle start van dergelijke atoomfysische experimenten een enorm voordeel kon zijn. In de voorafgaande jaren had zich de atoomfysica met hooggeladen ionen tot een 'hot topic' ontwikkeld, en het eerste 'International Symposium on Production and Physics of Highly Charged Ions' had net in Stockholm plaatsgevonden.

* Deze tekst is grotendeels afkomstig van Professor R. Morgenstern

Omdat het KVI maar over beperkte atoomfysische expertise beschikte, werd een seminarium georganiseerd om onderzoekers van buiten het KVI attent te maken op de nieuwe mogelijkheden. Dit heeft geleid tot de installatie van drie experimenten. In één, geleid door F.J. de Heer van AMOLF/Amsterdam werd één-elektronvangst tijdens ion-atoombotsingen bestudeerd door de botsinggeïnduceerde licht-emissie te analyseren. In een tweede, geleid door A. Niehaus in Utrecht, werd meer-elektronvangst bestudeerd door analyse van de elektronen die tijdens ion-atoombotsingen worden geëmitteerd. Een derde experiment werd opgezet door A. Boers die spectroscopie van verstrooide ionen en geëmitteerde elektronen gebruikte om ion-oppervlaktebotsingen te bestuderen.

Bij al deze experimenten is A. Drentje van het KVI nauw betrokken. Hij is dé man die zorgt dat de benodigde faciliteiten zoals bron en bundellijnen voor de onderzoekers beschikbaar zijn. Zonder zo iemand is het voor een buiten-gebruiker haast ondoenlijk om van een 'vreemde' faciliteit gebruik te maken. In zoverre was Drentje een sleutelfiguur: hij is dan ook volkomen terecht mede-auteur van de vele publicaties.

In de volgende jaren verliepen de activiteiten heel voorspoedig. Het onderzoek van meer-elektron transfer resulteerde in de formulering van een geavanceerd 'Classical over the Barrier'-model door A. Niehaus, waarmee de verwarrende hoeveelheid van structuren in de elektronen-energiespectra geordend en semi-kwantitatief beschreven kon worden.

Ook het onderzoek van botsingsgeïnduceerde lichtemissie verliep buitengewoon succesvol. R. Hoekstra slaagde erin absolute werkzame doorsneden voor lichtemissie te meten, o.a. als functie van de botsingsenergie, en wel met een nauwkeurigheid beter dan 20%. Deze gegevens zijn essentieel voor de diagnostiek van fusieplasma's, en vormden de basis voor een langdurige



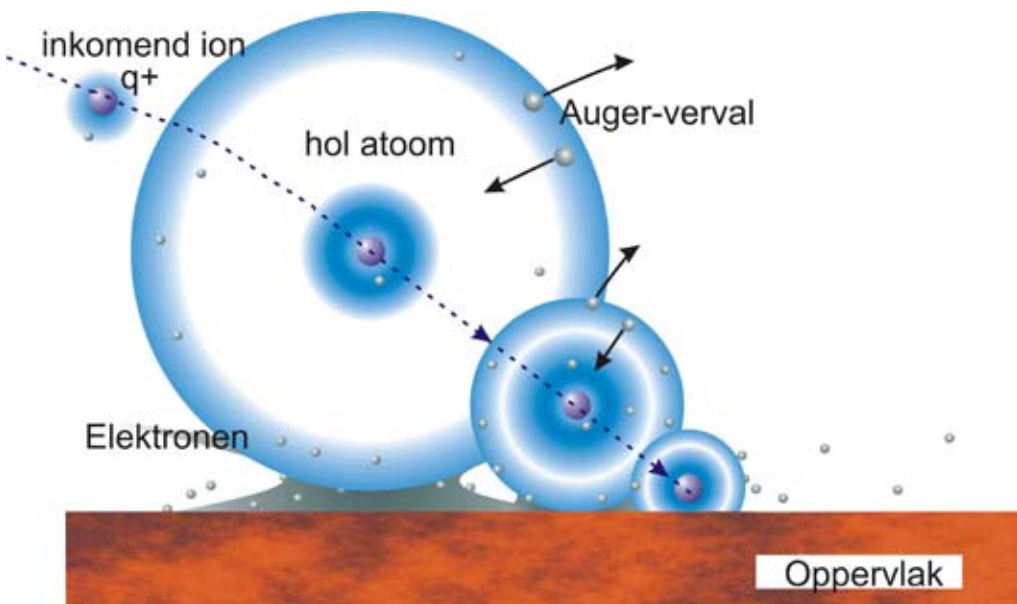
Prof. Dr. Reinhard Morgenstern

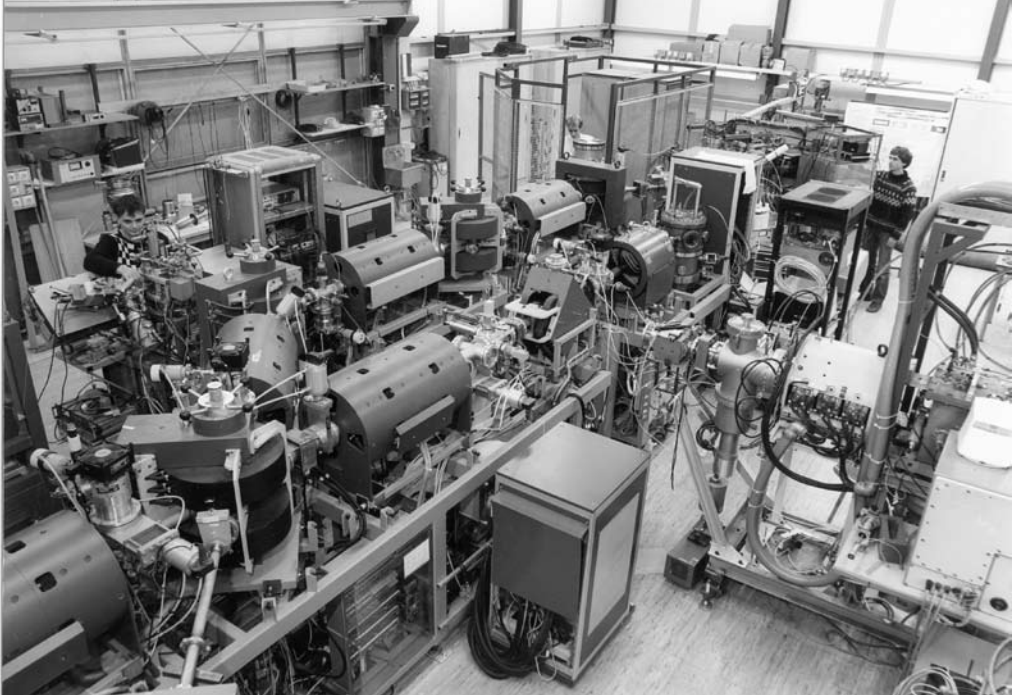
samenwerking met JET (Joint European Torus), de tot nu toe grootste fusieplasma-reactor ter wereld. Dankzij de Groningse data kon onder meer worden aangetoond dat de bereikte plasma-temperaturen al significant hoger waren dan op dat moment werd geschat. Recentelijk kwam nog een andere interessante toepassing van deze data naar voren toen astronomen – in eerste instantie heel verrassend – röntgenstraling van kometen waarnamen. Het blijkt dat deze straling tot stand komt als gevolg van ladingsuitwisseling tussen de zonnwind – die naast protonen ook kleine hoeveelheden van bijvoorbeeld He^{2+} , C^{6+} , N^{7+} and O^{8+} bevat – en neutrale atomen en moleculen van de kometenatmosfeer.

Het vermoedelijk meest aansprekende onderzoek van de Atoomfysica-groep is de waarneming van zogenaemde 'holle atomen'. Als een ion dat praktisch al zijn elektronen mist op een oppervlak botst, worden deze gevormd – zelfs boven het oppervlak – doordat vele elektronen worden ingevangen in de buitenste banen van het ion tijdens zijn nadering naar een metallisch of zelfs een isolerend oppervlak, terwijl de binnenschillen in eerste instantie onbezet blijven. Hoge-energie-elektronen worden geëmitteerd als de binnenschillen uiteindelijk via Auger-processen worden gevuld, en door een analyse van de energiespectra van de resulterende elektronen kunnen de dynamische processen die hieraan ten grondslag liggen worden bestudeerd. Onderstaande figuur laat in een 'artist's view' zien welke processen tijdens de nadering van een ion naar een oppervlak plaatsvinden.

Momenteel wordt het verworven inzicht in deze processen gebruikt om oppervlakte-magnetisme te bestuderen, waarbij gebruik gemaakt wordt van de extreme oppervlakte-gevoeligheid van de wisselwerking, mits de energie en de invalshoek van de ionen geschikt gekozen worden. Het blijkt, dat inderdaad een ferromagnetische elektronspin-ordening aan het oppervlak voornamelijk leidt tot de formatie van hoge spintoestanden, en dat deze informatie gebruikt kan worden voor een kwantitatieve bepaling van de spinpolarisatie in de bovenste atoomlaag van een oppervlak. Dankzij een collaboratie met de 'Gesellschaft für Schwerionenforschung' (GSI) in Darmstadt

Artist view Auger-proces





De experimenteerimte van de Atoomfysicagroep

komen nieuwe mogelijkheden in zicht voor onderzoek van ion-oppervlaktewisselwerking: er zijn experimenten gepland met ionen van extreem hoge lading (tot U^{92+}) en extreem lage energie (< 1 eV).

In de jaren '90 werden twee nieuwe lijnen van onderzoek opgezet. Eén betreft de fragmentatie van moleculen, geïnduceerd door ionenbotsingen. Terwijl in eerste instantie kleine moleculen zoals CO , CO_2 of H_2 bestudeerd werden, staan momenteel grote (bio)moleculen en vooral DNA-bouwstenen in de belangstelling. Een van de doelen is om na te gaan of de fragmentatie doelgericht gestuurd kan worden door een geschikte keuze van ionensoort, primaire lading en botsingsenergie. Voor het geval van C_{60} (bucky ball)-fragmentatie werd inderdaad gevonden dat een variatie van deze parameters een sterke invloed heeft op het fragmentatiepatroon. Bovendien wordt bestudeerd in hoeverre de fragmentatie wordt beïnvloed door een inbedding van de moleculen in een bepaalde chemische omgeving, zoals water dat verrijkt is met zogeheten 'radiosensitizers'. Het is de hoop dat op basis van deze studies kankertherapie door bestraling met ionen aanzienlijk verbeterd kan worden.

In de tweede nieuwe lijn van onderzoek wordt laserstraling toegepast, bijvoorbeeld om atomen af te remmen en in een magneto-optische val vast te zetten, om ze in aangeslagen elektronische toestanden te prepareren, of ze te polariseren, d.w.z. uit te lijnen of te oriënteren in een bepaalde ruimterichting. Hierdoor werd het mogelijk, theoretische voorspellingen betreffende de uitkomst van dynamische processen zoals botsing-geïnduceerde elektronvangst in detail te toetsen. Onderzoek met behulp van georiënteerde atomen in een val zal in de nabije toekomst een grote rol spelen bij het programma TRIMUP (Trapped Radioactive Ions, microlaboratories for fundamental Physics), dat de ambitie heeft fysica voorbij het standaardmodel te bestuderen (pagina 85 en volgende). Het is de bedoeling elektron-neutrinohoekcorrelaties tijdens radioactief verval van

atomen te meten. In feite zal de hoekcorrelatie van geëmitteerde elektronen en terugstootkernen worden geanalyseerd. De hiervoor benodigde techniek van 'recoil spectroscopy' en de kunst om kleinste hoeveelheden van atomen in te vangen (zelfs enkele atomen!) is in de afgelopen jaren ontwikkeld. We kijken dan ook met spanning uit naar de resultaten die de gezamenlijke inspanningen van de Atoomfysica- en de TRlμP-groep zullen opleveren.

Toegepaste kernfysica*

Een andere toepassing van kernfysische methoden begint tegen het einde van de jaren zeventig van de vorige eeuw als het Ministerie van VROM de KVI-medewerker De Meijer benadert om deel te nemen aan een commissie die de blootstelling van de Nederlandse bevolking aan natuurlijke straling in kaart moet brengen. De Meijer heeft al enige ervaring met het meten van concentraties van natuurlijke radionucliden en is dus vertrouwd met de problematiek.

Radon-onderzoek

In de commissie blijkt dat er in Nederland geen inzicht bestaat in de blootstelling aan het radioactieve gas radon. In de VS is een boel commotie ontstaan over dit gas nadat een medewerker van een in aanbouw zijnde kerncentrale steeds de stralingsmonitoren deed afgaan als hij op het werk verscheen. Nader onderzoek wees uit dat dit kwam omdat zijn huis een zeer hoge concentratie radongas bevat. Op voorstel van De Meijer gaat het KVI de situatie in Nederland in kaart brengen. Vanuit het KVI wordt L.W. Put bereid gevonden dit onderzoek uit te voeren.

Een verrassend resultaat van dit landelijke onderzoek is dat in Nederland niet de bodem de belangrijkste bron voor radon binnenshuis is maar dat het de bouwmaterialen zijn. Nader onderzoek door het RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu) enige jaren later bevestigt dit.

Het onderzoek naar het ontstaan van radon in bouwmaterialen en het transport uit deze materialen naar de woonomgeving is een goed onderwerp voor promotieonderzoek. Dat gebeurt in zowel Groningen als in Eindhoven waar Rob de Meijer in 1992 deeltijdhoogleraar is geworden. De verspreiding van radon in de Nederlandse buitenlucht wordt verder onderzocht door het RIVM. Op dit werk promoveren twee RIVM-medewerkers met als promotoren De Meijer en A. van der Woude. De figuur hiernaast toont een resultaat van hun onderzoek.

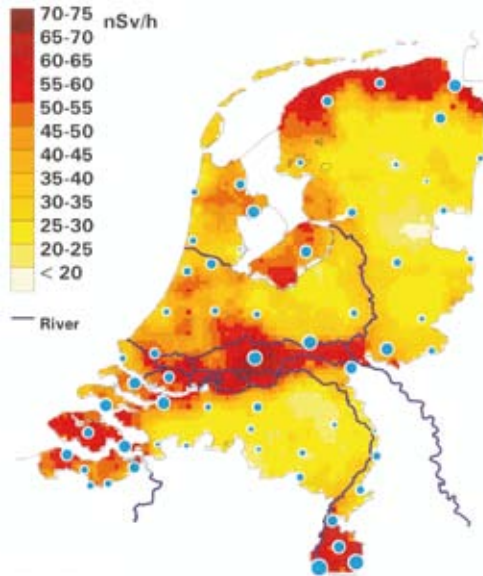
Zand-onderzoek

Het zand-onderzoek bij het KVI is een gevolg van de Brede Maatschappelijke Discussie Kernenergie. In het kader van die discussie werd samen met Kees Wiese, wetenschapsjournalist van het Nieuwsblad van het Noorden, op een aantal plaatsen de telsnelheid van een stralingsmeter gemeten. Uit die metingen kwam naar voren dat de plek met de hoogste radioactiviteit de Grote Markt van Groningen is, veroorzaakt door de granieten steentjes afkomstig uit Italië.

Een nog hogere concentratie van natuurlijke radionucliden werd per toeval op het strand van Ameland gevonden waar een paar plekken donker zand liggen met een relatieve hoge hoeveelheid van de radioactieve elementen uraan en thorium. Geraadpleegde geologen concludeerden al snel dat de verhoogde U- en Th-concentraties verband houden met zware mineralen die uit de zee komen.

Het systematische zand-onderzoek begon met het in kaart brengen van de radioactiviteit in de duinen en op de stranden langs de Nederlandse kust. Dat onderzoek leidde tot een aantal opmerkelijke zaken:

* Deze tekst is grotendeels afkomstig van Professor R.J. de Meijer.



Overzicht resultaten SAWORA-onderzoek

De grootte van de blauwe stippen geeft de relatieve lokale intensiteit van de gemeten radioactiviteit.

- In de duinen van Ameland werd de meest radioactieve plek langs de kust gevonden, aanzienlijk radioactiever dan de Grote Markt in Groningen.
- Het radioactieve karakter (de verhouding tussen de hoeveelheden thorium en uraan) van de zware-mineraalzanden ten noorden en ten zuiden van het Marsdiep verschilt sterk. Het leidde tot de radiometrische karakterisering van zware mineralen; een methode die later ook op allerlei grondsoorten zal worden toegepast. De verschillen zijn veelal te herleiden tot verschillende gebieden van herkomst en dus van de gebergten waaruit het materiaal is aangevoerd.

De afzetting van zware mineralen op het strand van Ameland maakte duidelijk dat het interessant zou zijn als ook de zeebodem in kaart gebracht kon worden. Daartoe werd het MEDUSA-systeem (Multi-Element Detector for Underwater Sediment Activity) ontworpen dat een orde van grootte gevoeliger was dan de bestaande meetsystemen en daardoor nieuwe mogelijkheden voor onderzoek en toepassing met zich meebracht.

Drie patenten zijn op diverse toepassingen van dit systeem verkregen en twee bedrijven zijn op grond van deze technologie gestart (Medusa Exploration B.V. en The Soil Company B.V.). De toepassingen zijn legio en voeren allemaal terug naar het feit dat de natuurlijke radioactiviteit een boodschapper is van grondeigenschappen. Ook buiten Nederland wordt de vinding gebruikt. Zo is in 2007 een luchtk kaart van de uraanvoorkomens op Madagaskar gemaakt en worden in Zuid-Afrika de radiometrische grondeigenschappen in verband gebracht met de opbrengst van de wijnstokken die erop groeien en de kwaliteit van de wijn.

MEDUSA kreeg een opvolger in een groter volume detector PANDORA (Precision Agriculture Needed Detector Of RadioActivity), oorspronkelijk bedoeld voor toepassing in de precisielandbouw, maar al snel een zeer bruikbaar instrument voor het meten van laagdikten van asfalt in wegconstructies. Samen met Heijmans B.V. is de technologie ontwikkeld en toegepast op de in aanbouw zijnde A50 bij Veghel.

Een rijke verscheidenheid aan onderzoeken heeft met MEDUSA-technieken vanuit de lucht, op het land en onder water plaatsgevonden.

Tsjernobyl

Op zondag 27 april 1986 meldt het NOS Journaal dat in Zweden een sterk verhoogde concentratie radioactiviteit is gemeten, die wijst op een kernreactorongeluk vermoedelijk in de Sovjet-Unie. Al gauw wordt bekend dat in de Oekraïne een reactor in brand staat. Een KVI-groep bestaande uit de stafleden De Meijer, Put en Jansen besluiten een opstelling op het dak van het KVI te plaatsen waarmee de luchtactiviteit wordt gemeten door lucht met een pomp door een filter aan te zuigen en de op het filter verzamelde radioactiviteit met een gammaspectrometer te analyseren.

De eerste dagen valt er weinig te meten behalve de natuurlijke radioactiviteit. Tot donderdagavond is er nog niets bijzonders gemeten en men vraagt zich af hoe lang men nog met de metingen moet doorgaan. Echter bij de analyse op vrijdagmorgen van het gammaspectrum van het monster van die nacht daarvoor, valt een kleine piek op die niet in het natuurlijke-radioactiviteit-spectrum aanwezig is. De analyse wijst op radioactief jood.

De Meijer stelt eerst het Ministerie van VROM op de hoogte dat de vondst bevestigt doordat uit metingen van het RIVM eenzelfde conclusie is getrokken. De Meijer licht nu ook de pers in en ontketent daarmee een storm van telefoontjes, persberichten en TV-uitzendingen. Het KVI staat even in het centrum van de belangstelling.

Een tweede vondst laat niet lang op zich wachten en komt voort uit een samenwerking met het Centrum voor Isotopenonderzoek (CIO) van de Universiteit van Groningen. Een van de medewerkers, A. van Wijk, voegt zich bij het KVI-team om mee te helpen bij het meten van de eventuele radioactieve besmetting van een groot aantal stoffen zoals gras, melk, groente en Beaujolais.

De meest opvallende metingen worden gedaan aan kledingstukken: een broek van iemand die zich ten tijde van het ongeluk in Kiev bevond en een gymnastiekschoen van een meisje dat op vakantie was in Minsk, 150 respectievelijk 400 km van Tsjernobyl. Beide kledingstukken vertoonden een zeer hoge activiteit op een heel klein oppervlak, bij de broek zelfs op één enkele draad

zoals met een microscoop was te zien. Uit de analyse van de gymschoenactiviteit blijkt dat het daar om een schilfertje splijtstof van plutonium gaat. Dit ontzenuwt de bewering van de Sovjet-autoriteiten dat de uitstoot van splijtstofsplinters was beperkt tot een gebied van 30 km rondom Tsjernobyl. Ook deze vondst trekt weer veel belangstelling van pers, radio en TV en wordt gepubliceerd in het prestigieuze tijdschrift Nature.



De aandacht die het KVI met het radon-onderzoek en het ongeluk in Tsjernobyl kreeg, zijn voor de toenmalige directeur Siemssen aanleiding om De Meijer te vragen een nieuwe groep 'Environmental Radioactivity Group' (ERG) te gaan leiden. Op grond van de tot dan binnengehaalde subsidies denkt Siemssen dat de groep met een KVI-ondersteuning van 1/3 van De Meijers salaris zelfstandig kan draaien. Dat

Prof. Dr. Rob de Meijer

Voor zijn werk aan o.a. de MEDUSA-techniek krijgt

De Meijer in 2000 de Wubbo Ockels Prijs van de Stad Groningen.

lukt inderdaad, een niet geringe prestatie. Deze situatie blijft gehandhaafd tot het emeritaat op 1 augustus 2005 van De Meijer. De naam van de groep is dan al veranderd in 'Nuclear Geophysics Division' (NGD) en NGD wordt korte tijd later opgeheven.

Onderwijs

Alhoewel het KVI primair een onderzoeksinstituut is en de wetenschappelijke medewerkers als zodanig geen onderwijstaak hebben, heeft het toch door de jaren heen een niet onaanzienlijke bijdrage aan het onderwijs in de natuurkunde geleverd. De informele afspraak was dat een wetenschappelijke medewerker van het KVI 10% van zijn tijd aan het geven van onderwijs zou besteden. Dit gold niet voor iedere individuele medewerker, het was een gemiddelde genomen over de hele wetenschappelijke staf.

De senior-stafleden verzorgden meestal een hoorcollege terwijl de promovendi vaak werden ingeschakeld bij het geven van werkcolleges. Het was de gewoonte dat de colleges over subatomaire natuurkunde werden verzorgd door KVI-medewerkers. Maar ook werden andere colleges gegeven die niet direct verband hielden met de specifieke kennis van KVI-medewerkers.

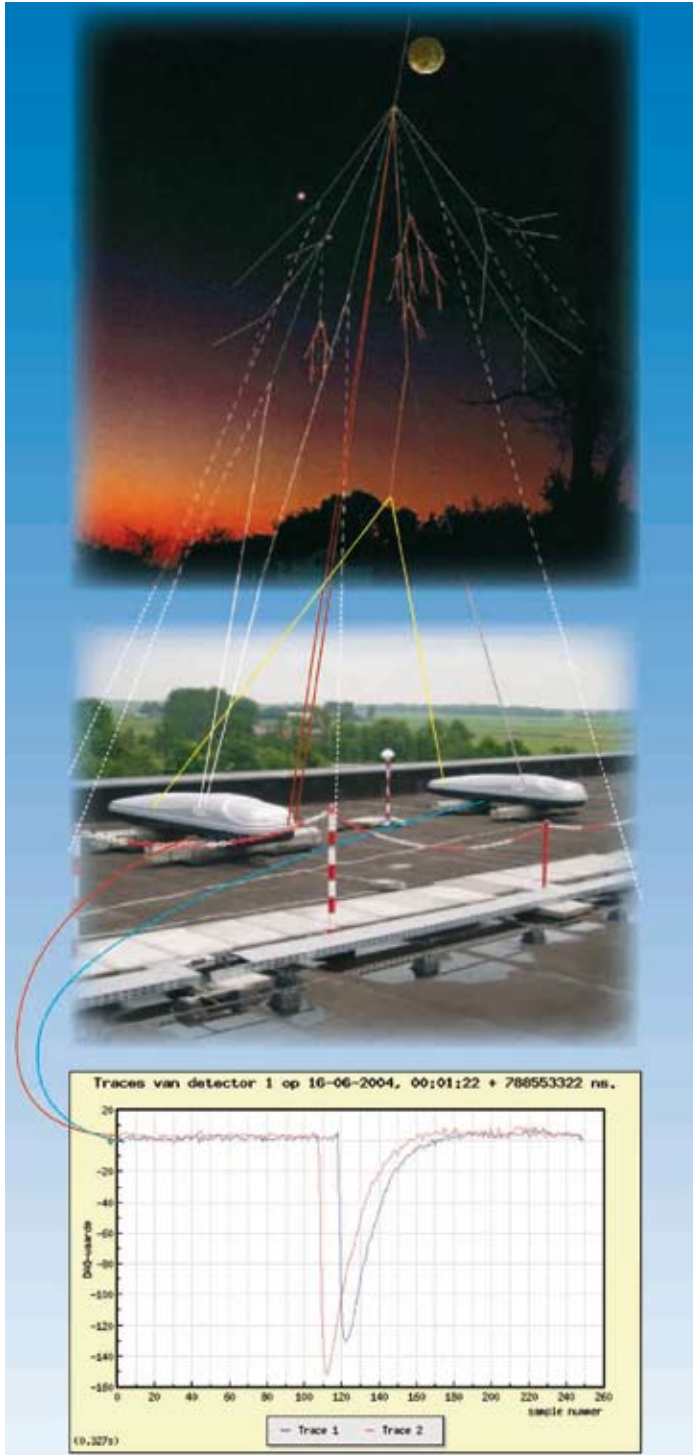
Het geven van colleges werd niet als een last beschouwd, alhoewel de voorbereidingen soms wel veel tijd vergden. Kennis overdragen aan een jongere generatie wordt vaak als uitdagend en bevredigend ervaren. Verscheidene KVI-ers waren er erg goed in getuige het feit dat ze als 'docent van het jaar' werden verkozen. Ook in het bestuurlijke vlak droeg het KVI zijn steentje bij: Morgenstern werd lid van het Faculteitsbestuur met in zijn takenpakket o.a. de onderwijsopleiding (later werd dat onderzoek), terwijl Löhner op 1 september 2004 voor een periode van drie jaar werd benoemd tot directeur van het natuurkundeonderwijs. In deze kwaliteit mocht hij soms



Koningin Beatrix bezoekt de Slingervan Foucault, die in het kader van het World Year of Physics in de Groningse Martinikerk bewijst dat de aarde draait. Prof. dr. Herbert Löhner vertelt het gezelschap, waaronder ook premier Balkenende, mevrouw Timmerman-Buck (voorzitter Eerste Kamer) en de heer Kuipers (voorzitter College van Bestuur Rijksuniversiteit Groningen) over de achtergronden van dit klassieke experiment.

Fotografie Theo Jurriëns, 29 september 2005





Principe HiSparc
Opstelling op dak van school

ook aan niet-studenten de fascinerende resultaten van natuurkundig onderzoek demonstreren. Een bijkomend voordeel van deze onderwijsactiviteiten was dat het contact met studenten ertoe kon leiden dat deze hun stagewerk op het KVI wilden doen en daarmee naast de promovendi en post-doc's voor jong enthousiasme zorgden.

Onderzoek van kosmische straling samen met vwo-scholen

De bedoeling van dit in 2003 opgezette project is om enthousiasme voor het vak natuurkunde op te wekken bij leerlingen van vwo-scholen. Daartoe worden leraren en leerlingen uitgenodigd om deel te nemen in een groots opgezet project voor de bestudering van kosmische straling.

Het principe van deze studie is te zien op pagina 169. Deeltjes met een energie tot 10^{20} eV veroorzaken als ze in de dampkring komen een regen van andere deeltjes, vooral elektronen en μ -mesonen. Door de dichtheid van deze secundaire deeltjes te meten kan de energie en richting van de oorspronkelijke kosmische straal worden gereconstrueerd. Daartoe wordt op het dak van de deelnemende scholen een detectorsysteem geïnstalleerd dat uit twee plastic scintillatoren met bijbehorende elektronica bestaat. De leerlingen zijn nauw betrokken bij de constructie en het testen en ijken van deze detectoren. De verkregen gegevens worden naar een centraal punt gezonden voor verdere analyse.

Deze KVI-activiteit is onderdeel van een nationaal programma HISPARC (High-School Project on Astrophysics Research with Cosmics) dat wordt gecoördineerd door het NIKHEF in Amsterdam. Vanuit het KVI is J.G. Messchendorp de stimulator van dit project waarin hij samenwerkt met leraren van de verschillende vwo-scholen.

Onderzoekschool FANTOM*

In de jaren tachtig van de vorige eeuw werd de twee-fasenstructuur ingevoerd in het wetenschappelijk onderwijs. Het promotieonderzoek werd de tweede fase van de opleiding tot onderzoeker, het doctoraaltraject de eerste fase. De promovendi-oude-stijl verdwenen en daarvoor in de plaats kwamen OIO's (onderzoekers in opleiding, promovendi in dienst van FOM) en AIO's (assistenten in opleiding, in dienst van de universiteiten). Omdat het promotieonderzoek meer het karakter van een voortgezette opleiding zou krijgen, gingen de salarissen van de promovendi omlaag en werd er een opleidingscomponent aan het promotieonderzoek toegevoegd. Het idee was dat een beperkt aantal onderzoekscholen zou fungeren als 'centra van excellent onderzoek', waarin het wetenschappelijk onderzoek geconcentreerd en de opleiding van onderzoekers georganiseerd zou worden. Het gevolg is dat ieder zichzelf respecterend onderzoeksinstituut aansluiting zoekt bij een onderzoekschool of er zelf een opzet. Bestaande onderzoeksinstituten die groot genoeg zijn, worden uitgebouwd tot onderzoekscholen. Kleinere instituten zoeken samenwerking met zusterinstituten, soms lokaal binnen een faculteit, soms tussen verschillende faculteiten maar ook worden er nationale samenwerkingsverbanden gesmeed.

Omdat met het opheffen van NIKHEF-K in Amsterdam het experimentele kernfysisch onderzoek in Nederland vrijwel volledig is geconcentreerd in Groningen, is het voor het KVI moeilijk om een nationaal samenwerkingsverband op te starten. De toenmalige directeur Malfliet krijgt dan het lumineuze idee om over de grenzen te kijken. Hij vindt in het Institut de Physique Nucléaire in Orsay (waarmee in verband met AGOR toch al nauw mee werd samengewerkt), het Gentse Instituut voor Nucleaire Wetenschappen en het Institut für Kernphysik in Münster natuurlijke partners om een onderzoekschool mee op te richten. Binnen Nederland participeren verder de kleine PIXE-groep van de Vrije Universiteit in Amsterdam, het Centrum voor Isotopen Onderzoek (CIO) en een deel van de afdeling Theoretische Natuurkunde van de RUG. Deze onderzoekschool

* Deze tekst is grotendeels afkomstig van Dr. Marjan Koopmans.

krijgt de naam FANTOM (Fundamenteel Atomair, Nucleair en Toegepast Onderzoek der Materie). In juni 1994 wordt de onderzoeksschool FANTOM officieel erkend en daarmee is het de eerste internationale onderzoeksschool in Nederland. De Rijksuniversiteit Groningen wordt penvoerder van de school en het KVI het organisatorische centrum, met als directeur Rudi Malfliet en als coördinator Marjan Koopmans.

Er wordt besloten om ieder half jaar, in mei en november, een studieweek te organiseren, waarin algemene kennis op het gebied van de vakgebieden van FANTOM gedoceerd zal worden en de promovendi van de verschillende instituten elkaar zullen ontmoeten. De eerste FANTOM-studieweek vindt plaats in 1994.

De tweede studieweek wordt gecombineerd met de officiële inauguratie van FANTOM op 18 mei 1995. Met een knipoog naar het acroniem FANTOM wordt als symbolische openingsact de geest uit de fles gelaten.

De studieweken worden afwisselend bij de partner-universiteiten georganiseerd: na Groningen komen Gent, Münster, Orsay en Egmond aan Zee (Amsterdam). Al gauw worden verschillende, inmiddels traditioneel geworden, elementen van de FANTOM-studieweken geïntroduceerd, zoals de 'student presentations', een spreker uit de industrie en een avondlezing. Vanaf de derde studieweek wordt het programma opgehangen aan een thema, als eerste 'Astrophysics'. Vooral promovendi van het KVI hadden sterk geijverd voor een centraal thema.

In de loop van de jaren organiseert FANTOM voor KVI-promovendi ook andere studieonderdelen zoals studieweken over instrumentatie en, vanaf 2004, de FANTOM-presentatietrainingen. Deze activiteiten worden ingepast in een studieprogramma voor KVI-promovendi van in totaal ongeveer een half jaar. Het volgen van minimaal vier algemene FANTOM-studieweken, en later de FANTOM-presentatietraining, worden daarvan verplichte onderdelen. De rest kan ingevuld worden met doctoraal/mastercursussen, conferentiebezoek en een stage in een buitenlands laboratorium. Vanaf 1997 wordt het met goed gevolg afronden van het studieprogramma beloond met het FANTOM-diploma, dat uitgereikt wordt na het behalen van de doctorstitel.

Een van de doelen van onderzoekscholen is altijd geweest om te komen tot coherente onderzoeksprogramma's van de partnerinstituten. FANTOM is in dit opzicht als internationale school een buitenbeentje omdat het niet de middelen heeft invloed uit te oefenen op de onderzoeksprogramma's van de buitenlandse partners. Hoewel FANTOM krediet heeft vanwege zijn voortrekkersrol als internationale school, was dit altijd een lastig punt bij volgende erkenningsaanvragen. Om toch 'bottom-up' enige sturing te geven en samenwerkingsverbanden te stimuleren, is in 1999 het eerste FANTOM-onderzoekssymposium georganiseerd dat sindsdien tweejaarlijks wordt herhaald. De wetenschappelijke-stafleden van de partnerinstituten komen hier bij elkaar om hun plannen voor de komende jaren te presenteren en mogelijke samenwerking te bespreken.

In 1998 wordt de eerste vervolgerkenningsaanvraag voorbereid. Het CIO trekt zich op dat moment terug, omdat het voornamelijk aardwetenschappelijke onderzoek van dat instituut toch te ver af staat van het zwaartepunt van het FANTOM-onderzoek. Daarentegen sluiten het Instituut voor Kern- en Stralingsfysica van de Katholieke Universiteit Leuven en de pas opgerichte Graduate School voor Advanced Instrumentation and Measurements (AIM), gelieerd aan de Universiteit van Uppsala, Zweden zich aan bij FANTOM.

De tweede vervolgerkenningsaanvraag wordt ingediend in 2003. Onderdeel van deze beoordelingsprocedure is een evaluatie door een externe commissie, die daartoe de studieweek in Leuven in juni 2003 bezoekt. Ook deze erkenningsaanvraag krijgt een positieve evaluatie en daarmee wordt de erkenning verlengd tot en met 2009.

Tijdens de derde vijfjarige periode van FANTOM begint het politieke landschap te veranderen. In Groningen worden, net als in de rest van Nederland, plannen gemaakt voor het opzetten van 'Graduate Schools', die zowel de master- als de promotieopleiding gaan omvatten. Hiermee verandert de positie van de Groninger onderzoeksschool drastisch. Deze moet verdere erkenningsaanvragen achterwege laten en zal uiteindelijk opgaan in Graduate Schools. Het KVI besluit daarop aansluiting te zoeken bij de Graduate School van de Faculteit Wiskunde en Natuurwetenschappen, die in 2008 vorm krijgt, echter met behoud van de eigen identiteit. De netwerken binnen FANTOM en de traditie van de halfjaarlijkse gemeenschappelijke studieweken zullen blijven bestaan. Wat de toekomst brengen zal is nog ongewis, maar de geest van FANTOM is uit de fles en zal zeker voortleven!

Computers en Informatietechnologie op het KVI

Vanaf het eerste begin tot aan de dag van vandaag hebben computers en andere producten van de Informatie Technologie een grote rol gespeeld in het reilen en zeilen van het KVI. In de eerste jaren was de aandacht vooral gericht op het opnemen, verwerken, opslaan en analyseren van experimentele data, waarvoor veel programmeerwerk moest worden verricht. Later werd ook de automatisering van het cyclotron, de bundellijnen en andere grote apparaten een belangrijke taak voor de computergroep.

Voor deze taken beschikte het KVI in 1973 over twee identieke PDP-15 computers, ieder met een geheugencapaciteit van 16k woorden van 18-bit, later uitgebreid tot 32k. Eén van deze computers werd gebruikt voor data-acquisitie en de tweede voor data-analyse, het opzetten van een nieuw experiment en algemeen gebruik waaronder softwareontwikkeling.

Met deze opzet kon een storing in de data-acquisitiecomputer snel worden opgevangen door de tweede in te schakelen, zodat weinig tijd voor het experimenteel onderzoek verloren ging. Al spoedig bleek dat dit systeem te klein was. In 1976 werd een derde PDP-15 gekocht bestemd voor algemeen gebruik, terwijl in 1978 een afgedankte PDP-15 van het FOM-Instituut AMOLF werd overgenomen. Deze laatste werd ontmanteld en de onderdelen werden opgeslagen als reserve voor de andere drie PDP-15 computers. Data werd opgeslagen op kleine DEC tapes. Voor de communicatie tussen computer en randapparatuur werd CAMAC (Computer Automated Measurement And Control) gebruikt, waarvoor in eigen beheer hardware en software werd ontwikkeld.

In 1976 verliet L.M. Taff het KVI. Tot die tijd was hij samen met F. Sporrel verantwoordelijk voor de computersystemen. Hij werd vervangen door P.A. Kroon. Er werd door deze groep veel programmeerwerk verzet, vooral om aan de wensen van de fysici voor data-acquisitie en -analyse te voldoen, gebruiksvriendelijkheid was daarbij een belangrijk criterium. Ook waren promovendi actief betrokken bij het schrijven van specifieke softwareprogramma's voor data-analyse zoals PEAKFIT en VIZFIT.

In 1978 werd een PDP11/34 aangeschaft waarmee Schreuder een begin maakte met de automatisering van het cyclotron. In eerste instantie betrof het de besturing van de talrijke voedingen maar later werden ook andere onderdelen van de machine via de computer bestuurd. Voor de communicatie tussen computer en cyclotron werd ook weer CAMAC gebruikt. Dit systeem is tot aan de sloop van het cyclotron in 1992 in gebruik geweest.

In 1979 werden plannen ontwikkeld om twee van de drie PDP's 15 te vervangen door een VAX11/780-computersysteem. Deze computer, geïnstalleerd in 1980, is speciaal aangeschaft voor data-analyse. Voor data-acquisitie werd nog steeds de oude PDP-15 computer gebruikt. Een

groot voordeel van de nieuwe computer is dat meerdere gebruikers er gelijktijdig gebruik van konden maken. Ook de PDP-15 voor data-acquisitie werd eindelijk in 1984 vervangen door een VAX-11/750 acquisitiesysteem dat buitengewoon betrouwbaar was.

Net zoals de samenstelling van het computerpark veranderde in de jaren '80 ook de samenstelling van de computergroep. Met de komst van de Atoomfysica-groep van Boers in 1982 naar het KVI kwam ook de technicus Alkema mee die in die groep verantwoordelijk was voor de databehandeling. Hij vond een onderdak bij de bestaande KVI-computergroep die daarmee met 50% in omvang toenam. Ook de bouw van het AGOR-cyclotron had consequenties: Kroon kreeg de leiding over de subgroep 'Contrôle et Commandes' die verder nog bestond uit 5 Franse technici. Hij moest daaraan praktisch al zijn tijd besteden en was bovendien vaak in Orsay. Om de ontstane leegte bij het KVI op te vullen werd de fysisch Zwarts, een oud-promovendus van het KVI, aangevraagd die zich vooral bezig ging houden met data-acquisitie en -analyse op het KVI. Later, met de opkomst van de microcomputers, werd het meer en meer gebruikelijk om iedere opstelling of apparaat te voorzien van een afzonderlijk specifiek besturingssysteem. De koppeling daarvan aan het centrale computersysteem werd dan door Zwarts verzorgd.

De oorspronkelijk besturing van AGOR zoals ontworpen door de 'Contrôle et Commandes'-groep was een Frans systeem. Alhoewel dat goed werkte, werd het later samen met de bundellijnen geleidelijk omgebouwd. Hiervoor is het software VISTA pakket gekozen dat in een LINUX-omgeving wordt gebruikt wat het voordeel heeft dat het sneller, goedkoper en flexibeler is. Het computergebruik op het KVI door de jaren heen kan worden samengevat als een overgang van een centrale computer waarin alle 'intelligentie' is samengeballd tot een verdeelde intelligentie waarbij ieder apparaat zijn eigen microcomputer heeft. Een ontwikkeling die op talrijke andere gebieden eveneens plaatsvond.

*De toenmalige promovendus Wubbo Ockels bezig met de data-acquisitiecomputer.
Op de achtergrond Rob de Meijer met de tweede computer.*

