Hendrik Laurens Hagedoorn

15 juni 1934 - 24 september 2015

Met dank aan het fotoarchief van de Technische Universiteit Eindhoven

Levensbericht door D.C. Schram

Henk Hagedoorn, emeritus hoogleraar aan de Technische Universiteit Eindhoven, overleed na een ziekbed op 81-jarige leeftijd op 24 september 2015. Hij was sinds 1992 lid van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW).

Hagedoorn was een veelzijdig mens, toegewijd, zeer geïnteresseerd in nieuwe ontwikkelingen op het gebied van wetenschap en techniek, en betrokken bij de ontwikkeling van studenten en promovendi. Hij was allereerst een fysicus, die al vroeg geïnteresseerd raakte in de kinetiek van deeltjes in elektrische en magnetische velden, en die zich specialiseerde in de beschrijving van de deeltjeskinetiek en het realiseren van deeltjesversnellers. Zijn geschiedenis maakte dat hij ook zocht naar nieuwe toepassingen. Het betekende een nieuw denken over de inhoud van de technische fysica met, vanaf het begin, aandacht voor gebruik van wetenschap.

Henk Hagedoorn werd op 15 juni 1934 geboren in Haarlem. Zijn eerste jaren, in een gezin met een oudere broer en zus, heeft hij deels doorgebracht in voormalig Nederlands Indië. In 1938 keerde de familie terug en ging wonen in Heemstede. Later, op het gymnasium in Haarlem, bleek hij reeds een begaafde leerling te zijn. Na afronding van het gymnasium studeerde hij natuurkunde aan de technische universiteit in Delft. Daar verrichtte hij zijn promotieonderzoek op een kernfysisch onderwerp bij Aaldert Wapstra. In 1958 promoveerde Hagedoorn bij hem op een proefschrift met als titel *Metingen met een proportionele teller bij bèta-desintegratie*.

In hetzelfde jaar werd Hagedoorn medewerker van het Philips Natuurkundig Laboratorium. Daar, in een speciaal projectcentrum in Geldrop, werd hij betrokken bij de ontwikkeling van cyclotrons, versnellers voor ionen met relatief lage energie, mede met het oog op toepassing van isotopen voor medische diagnostiek. Hij werkte daar samen met Piet Kramer en Jaap Verster, later hoogleraar in Eindhoven Het onderzoek paste goed in de opzet van dit projectcentrum: projecten van belangrijke ontwikkelingen die

wetenschappelijk een uitdaging waren. Daarvan was de eerste Nederlandse Satelliet (ANS) een ander voorbeeld.

Een belangrijk deel van de inspanning van Hagedoorn daar was gericht op de ontwikkeling van een nieuwe beschrijving van deeltjesbeweging. Deze was zo geformuleerd dat die eenvoudig kon worden gebruikt. Al vroeg in deze periode zijn er publicaties verschenen over dit onderwerp, waaronder een geavanceerde behandeling van baantheorie; deze zijn medebepalend geweest bij de verdere ontwikkeling van Hagedoorns onderzoek aan deeltjesversnellers. Berekeningen op basis van de nieuw ontworpen vergelijkingen waren essentieel voor verder ontwerp; er was een voor die tijd geavanceerde rekenmachine aanwezig: Pascal. Hagedoorn werd snel expert op het gebied van versnellers; hij was toen al bekend als specialist op dit gebied.

In 1966 werd Hagendoorn bij het Natuurkundig Laboratorium groepsleider van de groep Gasontladingen. Daar werd plasma-fysisch onderzoek gedaan, mede vanwege studie van lichtbronnen. Onderzoek aan plasma's nam in die tijd sterk toe vanwege mogelijke toepassingen, voor lampen en lichtbronnen, en plasmachemie was in opkomst. In speciale instituten werd ook intensief onderzoek gedaan vanwege de belofte van thermonucleaire fusie.
In 1968 werd hij aangesteld als buitengewoon hoogleraar bij de Technische Universiteit Eindhoven in de faculteit Technische Natuurkunde. Daar werd hij in 1969 benoemd tot gewoon hoogleraar met als leeropdracht 'Instrumentatie van de lage energie kernfysica'. Al eerder had hij zich verdiept in de theoretische beschrijving van complexe deeltjesbanen en het gebruik daarvan voor het ontwerpen en optimaliseren van versnellers. Dit werk werd voortgezet en uitgebreid. Daarnaast was er vanaf het begin aandacht voor de toepassing van deze compacte complexe instrumenten. Het inzetten van isotopen voor medische diagnostiek was een belangrijk voorbeeld daarvan. De versneller, het cyclotron, was nu geplaatst bij de universiteit; het was een gift van Philips ter gelegenheid van het tienjarig bestaan van de Technische Universiteit Eindhoven.

Ik heb Hagedoorn leren kennen in 1973. Hij was daar een jonge hoogleraar met een voorgeschiedenis bij Philips en een nieuwe opdracht: de vraag om bij te dragen tot het verkrijgen van meer kennis op verschillende

toepassingsgebieden. Hagedoorn besefte vroeg dat naast wetenschappelijke uitdaging, het gebruik van wetenschap eveneens een volwaardig doel is van universitair onderzoek. Die twee polen van zijn werk zijn terug te vinden in de inleiding van zijn intreerede met titel *Beeldspraak:* 'Mensen van alle tijden hebben zich vertrouwd willen maken met de verschijnselen in hun omgeving. Zij interesseerden zich ervoor er iets in te herkennen, er een beeld van iets bekends in terug te zien. Als in het stadje Oegarit 3400 jaar geleden de sterren aan de hemel verschenen, morste de godin Anat met haar waswater. De volgende morgen vroeg lagen bij heldere hemel de druppels op de velden'.

Het zich vertrouwd maken met wat men waarneemt en dit een beeld geven zag Hagedoorn als eerste essentie van zijn toekomstige werk. Hij zag ook het gebruik van fysica en de ontwikkeling van instrumenten als een even grote uitdaging.

Aandacht voor versnellers

Zijn aandacht in zijn nieuwe universitaire omgeving betrof allereerst de voortzetting van onderzoek naar deeltjesbeweging in elektrische en magnetische velden in het kader van versnellersonderzoek. De verdere uitbreiding van de eerder ontworpen algemene beschrijving en het nagaan van verdere mogelijkheden van numerieke berekeningen, waren belangrijke programmapunten. Praktische vragen als optimalisatie van injectie van ionen in het cyclotron, invloed van de longitudinale en transversale oscillaties en de efficiëntie en kwaliteit van extractie waren daarbij van groot belang. Die verdere uitbreiding van de beschrijving van de deeltjeskinetiek gebeurde in een aantal promotieonderzoeken; het was de kern van Hagedoorns zorg in de jaren die volgden. Daarbij was eerst aandacht voor het compacte cyclotron, dat ook gebruikt werd voor de ontwikkeling van toepassingen. Het cyclotron was hiervoor ook ontworpen, met de juiste energie en met voldoende fluxversnelde deeltjes.

Daarnaast werd Hagedoorn bij vele instituten in Nederland en daarbuiten gevraagd om advies en was hij betrokken bij evaluaties van projecten. Hij was daar een zeer welkome gast. Hier kunnen genoemd worden het Kernfysisch Versneller Instituut, KVI, van de universiteit van Groningen, de Kern-Forschungs Anlage KFA in Jülich, en het Hahn-Meitner Institut in Berlijn. In

de latere jaren werd ook gezamenlijk onderzoek gedaan, dat tot een promotie leidde.

Hagedoorn was actief betrokken bij onderwijs, ook in Eindhoeven, onder andere in CERN-verband, door het geven van presentaties en het mede organiseren van conferenties.

Aandacht voor opslagringen voor straling

In het begin van de jaren zeventig kreeg Hagedoorn aandacht voor nieuwe mogelijkheden binnen zijn vakgebied, zoals de potentie van opslagringen voor elektronen, en dan specifiek als stralingsbron. Het gebruik van aanwezige grote versnellers voor straling, naast het reguliere programma, had bezwaren en Hagedoorn voorzag al vroeg de noodzaak van specifieke instrumenten voor dit doel. Hij nam het initiatief voor het maken van een ontwerp voor een mogelijke Nederlandse faciliteit. Dit instrument met de naam Pampus zou worden gesitueerd in Amsterdam in de directe nabijheid van de betrokken instituten: NIKEF, voor kern- en hoge energiefysica en AMOLF, het instituut voor atoom en molecuulfysica. Het zou een grote opslagring zijn voor elektronen, met 1.5 GeV energie, met een omtrek van 90 m en met een groot aantal uitgangen voor experimenten met de uitgezonden straling.

Het uitgewerkte ontwerp werd aan het eind van de jaren zeventig gepresenteerd en werd zeer positief ontvangen. Het is uiteindelijk echter anders gegaan. Een argument daarbij was, dat directe deelname van de industrie werd gemist. Het project was echter primair gericht op wetenschappelijk onderzoek, vooral bij instituten en universiteiten. Het zou echter indirect juist van grote waarde geweest zijn voor industriële ontwikkeling. In de jaren tachtig kwamen een drietal synchrotrons in Europa beschikbaar en in de jaren negentig kwam er een veel grotere Europese faciliteit, de European Synchrotron Radiation Facility, ESRF in Grenoble.

Terugziende was het niet realiseren van de stralingsbron in de vroege jaren tachtig jammer. Velen waren zeer positief over dit initiatief en nieuwe ontwikkelingen zouden het gevolg geweest zijn. Het liet Hagedoorn zien dat het wenselijk kan zijn om, naast grote instrumenten met een groot bereik en vele gebruikers, ook kleinere instrumenten te ontwikkelen voor bepaalde

doeleinden met aparte daarop toegesneden vragen. Het zou een nieuw perspectief kunnen zijn.

Aandacht voor toepassing van deeltjesversnellers
Hagedoorn had als opdracht onderzoek naar fysica en optimalisatie van versnellers, het cyclotron dat in 1969 ter beschikking was gekomen. Er was nog een tweede, zeker zo grote uitdaging: het *gebruik* van deeltjesbundels van dit instrument voor nieuwe toepassingen, ook buiten de fysica. In de vroege jaren zeventig werden twee nieuwe onderzoekslijnen uitgezet door Hagedoorn, waarbij kortlevende isotopen werden gebruikt voor nieuwe diagnostiek en analyse van fysische en medische processen.

Een eerste toepassing van nucleaire deeltjes, plasma's voor straling
Een interesse van Hagedoorn betrof plasma's, geïoniseerde gassen, in het verlengde van zijn eerdere groepsleiderschap bij Philips. Er was in die tijd nieuwe aandacht voor stralende en voor chemische plasma's, mede in verband met lichtbronnen en met plasma-chemie en oppervlakteprocessen.

Het betrof een studie van deeltjestransport in neonontladingen, met hulp van kortlevende Natrium 20 isotopen en later ook met laser-fluorescentie. Dit onderzoek was van belang voor de ontwikkeling van stralingsbronnen, zoals lampen. Het waren plasma's bij relatief hoge druk en het was een eerste voorbeeld om nucleaire deeltjesstraling te gebruiken om meer duidelijkheid te krijgen over transportprocessen en consequenties voor lichtemissie. De radioactieve tracers in de vorm van kortlevende Natrium 20 isotopen werden in het gas geproduceerd door bestraling van het neongas met protonen van de versneller. Het was daarmee een uniek experiment en modern van vorm, vanwege het gebruik van isotopen en van laser geïnduceerde fluorescentie, om zowel natrium tracer als metastabiele neonatomen te volgen in tijd en ruimte. Het gaf daarbij de mogelijkheid om het belangrijke ambipolaire veld te meten. Een van de uitkomsten van de experimenten was het samentrekken van de ontlading bij relatief hoge druk. Dit verschijnsel wijst op het vermogen van plasma's om zelf haar vorm te bepalen: door samentrekking is een hogere vermogensdichtheid mogelijk en is het plasma efficiënter. Dit onderwerp is nog steeds zeer interessant: structuur is een belangrijk facet van plasma's.

Deze vroege studies, neergelegd in een aantal promoties, droegen bij tot de verdere ontwikkeling van plasmafysisch onderzoek op het gebied van straling en oppervlaktechemie. Het was na enige jaren een van de aanleidingen tot de vorming van de onderzoeksschool Plasmafysica en Stralingstechnologie.

Radioactieve isotopen voor medische diagnostiek

Een tweede en zeer belangrijke toepassing, die van het begin Hagedoorns aandacht had, was het gebruik van speciale kortlevende radioactieve isotopen voor medische diagnostiek, geproduceerd met in het cyclotron versnelde ionen. In 1974 werd een programma gestart samen met Jeroen de Goeij, hoogleraar in de radiochemie in Delft en Eindhoven, om de productiemethoden van radioactieve isotopen voor medische toepassingen te onderzoeken.

Een eerste voorbeeld was vorming van jodiumisotopen; deze ontstaan in kernreacties tussen xenondeeltjes met in het cyclotron versnelde protonen. Dit onderzoek leidde snel tot eerste successen. De productie van het isotoop Jodium 123, dat werd gebruikt voor schildklier onderzoek was een eerste belangrijke stap, mede omdat het een betere keus bleek te zijn dan Jodium 131. De halfwaardetijd was korter en waarneming van het isotoop kon gebeuren met gammastraling van lagere energie. Dit onderzoek, mede vastgelegd in een promotie, leidde in 1981 tot de oprichting van de Stichting CYGNE. Deze verzorgde de productie van isotopen, het maken van radiofarmaca en het gebruik daarvan voor medische diagnostiek. Bij de stichting waren vijf geïnteresseerde studenten betrokken, in die tijd een nieuwe manier van werken.

De stichting ontmoette een toenemende belangstelling en groeide uit tot een onderneming, die deze toegepaste wetenschap verder bewerkte. Het is nu een grote onderneming, GE Healthcare, met een nieuw cyclotron en met 200 werknemers, van belang voor beschikbaarheid van isotopen in Europa. Hiermee ging Hagedoorn een latere ontwikkeling voor, in een tijd dat principe en theorie meer in het zicht stond dan realisatie.

Analyse van materialen

Een derde toepassingsgebied dat Hagedoorn koos betrof het gebruik van in het cyclotron versnelde ionen voor analyse van dunne lagen op het

voorkomen van specifieke elementen. Bij deze studies werd de uitgezonden straling met karakteristieke lijnen en continuüm in het Röntgengebied geanalyseerd, vandaar de aanduiding PIXE, proton geïnduceerde Röntgenemissie. Zeer kleine fracties van elementen kunnen op deze wijze worden bepaald. Dit is van belang om te komen tot conclusies over de onderzochte objecten.

Een goede ruimtelijke resolutie werd behaald door het gebruik van goed geconcentreerde bundels, mede mogelijk gemaakt door toepassing van een speciaal nieuw cyclotron. Deze analysemethode is onder andere gebruikt voor medische analyse en bij onderzoek aan kunstobjecten. De grote gevoeligheid en daarmee het vermogen om objecten op aanwezigheid van bepaalde elementen te testen was essentieel. Voor beide was ook het vrijwel afwezig zijn van schade aan de objecten zeer belangrijk.

Dit toepassingsgebied werd eind jaren tachtig bij Hagedoorns komst naar Eindhoven verder bewerkt door hoogleraar Martien de Voigt, die het onderzoek uitbreidde met verschillende andere analysemethoden. Het onderzoek werd een onderdeel van de activiteiten van de inmiddels gevormde verbanden rondom materiaalonderzoek en droeg op deze wijze bij aan een nieuwe vormgeving van het facultaire onderzoek.

De latere jaren

Een belangrijke lijn in Hagedoorns werk was vanaf het begin diepgaand theoretisch onderzoek naar de fysica van deeltjesbeweging en van deeltjesversnelling. Ook in de latere jaren wordt de theoretische beschrijving verder uitgediept. Een onderwerp was de inbouw van mogelijke invloed van ruimtelading. Dit kwam voort uit een algemene vraag naar grotere deeltjesstromen en hogere dichtheden.

Een directe aanleiding was daarbij de noodzaak van een zeer compact tweede cyclotron, vooral voor toepassing voor onderzoek aan materialen. Met dit nieuwe cyclotron werd ook een betere ruimtelijke resolutie mogelijk bij de analyse, hetgeen zeer belangrijk was voor deze toepassing.

Daarnaast werden studies gedaan aan andere versnellers, vaak in samenwerking met andere universiteiten en instituten. Een voorbeeld daarvan was het ontwerpen van microtron, een versneller voor elektronen voor het vrije elektronen laserproject van de Universiteit Twente, voor straling in het infrarode golflengtegebied. Microtrons waren ook van belang voor het bereiken van de nodige elektronenenergie voor synchrotron-stralingsbronnen.

Als laatste is het goed om terug te komen op de ontwikkeling ten aanzien van synchrotrons, als stralingsbron voor röntgenstraling. Bij het ontwerp voor een algemene faciliteit Pampus was de discussie ontstaan of ook een meer beperkte opzet mogelijk was voor meer toegesneden toepassing. In die opzet is men geslaagd: in de jaren negentig kwam een nieuw ontwerp gereed, Euterpe, met een kleinere omvang en lagere energie 400MeV. Het had goede stralingseigenschappen, die in intensiteit vergelijkbaar waren met andere lagere energie synchrotrons. Ook in deze ontwikkeling was de bijdrage van Jan Botman belangrijk.

Hagedoorn heeft met zijn groep in dit onderzoek laten zien, dat ook die tweede lijn mogelijk is: de ontwikkeling van specifieke instrumenten voor geselecteerde doeleinden. Als voorbeeld van nu kan dienen een nieuwe stap in behandeling van tumoren: hadron-therapie, bestraling met versnelde ionen als protonen of koolstof ionen. Hagedoorns werk was het begin van een nieuwe toepassingsmogelijkheid.

De ontwikkeling is vergelijkbaar met die van de eerder besproken isotopendiagnostiek voor medische analyse. Dat leidde uiteindelijk tot een onderneming, die met een nieuw cyclotron de productie van isotopen voor vele patiënten op zich nam. Hagedoorn heeft, hoewel in wezen wellicht een meer theoretisch fysicus, een grote bijdrage gegeven aan het vormgeven van technische fysica en het nodig zijn van het aangeven van gebruik van wetenschap. Het kwam voort uit zijn geschiedenis; ook in dit opzicht was hij zijn tijd vooruit.

Hij heeft ook als lid van het uitvoerend bestuur van de Stichting FOM bijgedragen aan de ontwikkeling van het denken over wetenschap en samenleving. Hij is decaan van de faculteit Natuurkunde van de Technische

Universiteit Eindhoven geweest in een tijd dat de verandering in denken gaande was over dit onderwerp. Voor zijn bijdrage heeft hij bij zijn emeritaat de erepenning van deze universiteit gekregen.

Henk Hagedoorn was een goede collega, die veel over had voor de studenten, promovendi en staf, die veel van het onderzoek droegen. Dit was wellicht zijn mooiste kwaliteit, stimuleren en begeleiden van jonge mensen. Terugkomend op zijn intreerede: dit was het waardevolle gevolg van het neerdalen van het waswater van de goden.