

Beeldspraak

Citation for published version (APA):

Hagedoorn, H. L. (1970). *Beeldspraak*. Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1970

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

BEELDSPRAAK

REDE

UITGESPROKEN BIJ HET AANVAARDEN VAN HET AMBT
VAN GEWOON HOGLERAAR
IN DE AFDELING DER TECHNISCHE NATUURKUNDE
AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL TE EINDHOVEN

OP VRIJDAG 20 MAART 1970

DOOR

DR. IR. H. L. HAGEDOORN

*Mijne heren curatoren,
Mijne heren leden van de senaat,
Dames en heren leden van de wetenschappelijke, technische en administratieve
staven,
Dames en heren studenten,
Voorts Gij allen die door Uw aanwezigheid deze bijeenkomst luister verleent,*

Zeer gewaardeerde toeboorders,

Mensen van alle tijden hebben zich vertrouwd willen maken met de verschijnselen in hun omgeving. Zij interesseren zich ervoor, ze proberen 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. Waarom zo'n beeld? Is het nieuwsgierigheid naar het onbekende of is het angst voor het onbekende, die ons drijft tot een mentale veroveringszucht?

Wat verstaan we eigenlijk onder herkennen? Is de mens zelf de maat voor alle dingen, zoals de sofist Protagoras zegt, die er dan nog wrang op laat volgen: En hij meet ze ook. Beschrijft de mens zijn omgeving alleen met begrippen die hij heeft? De 15e eeuwse Paracelsus bestudeerde slechts de toenmalige medische wetenschappen en meende daaruit tevens in één klap het totale heelal te kunnen begrijpen. Nu mag dit dan wel een grappe lijken, maar toch een dergelijke economie in denken is een belangrijk verschijnsel. Eenvoud van denkbeelden geeft aan wetenschapsbeoefenaren nog steeds een esthetisch genot. Deze ogenschijnlijke versimpeling geeft ons een ervaring van helderheid en kan daarom leiden tot een dieper inzicht in onbekende verschijnselen. Daarom mijn advies: Laat ons zoeken naar samenhangen, naar overeenkomsten, naar gelijkenissen van wat we reeds hebben. Analoge beschouwingen en benaderingswijzen bij fysische verschijnselen en bij ingewikkelde apparaten zullen het onderwerp van mijn betoog zijn.

Allen die belang stellen in de fysica hebben met elkaar gemeen dat zij de verschijnselen voorstelbaar willen maken, zo voorstelbaar zelfs dat uiterlijk andersoortige verschijnselen ook begrijpelijk d.w.z. berekenbaar en voorstelbaar worden. Zo maken wij ons een beeld van wat er zich bij een bepaald experiment precies afspeelt en bezitten daarmee de verklaring van de resultaten. In de optika kan een beeld slechts bestaan als er een voorwerp is. Dus analoog moeten we de experimentele resultaten zien als een beeld van een aantal fysische wetten op bepaalde wijze toegepast. Hoe die fysische wetten precies luiden, is niet altijd bekend.

De rol van de fundamentele fysicus is, gegeven het beeld, het oorspronkelijke voorwerp te vinden. Daartoe ontwerpt hij een werkmodel of een theorie bestaande uit bekende wetten en één of meer door hem toegevoegde wetten en toetst dit geheel aan experimentele resultaten. Elke keer dat een nieuw goed ingericht experiment onverklaarbare resultaten geeft, moet het model veranderd worden.

Zo dacht Empedocles van Acragas in de oudheid alles in het heelal te kunnen verklaren met vier grondelementen, die werden geactiveerd door liefde en strijd, maar Leucippus van Milete trachtte hetzelfde te doen m.b.v. een theorie van ondeelbare deeltjes: de atomen. In een jong gebied als de kernfysica heeft men verschillende modellen van de atoomkern, die elk voor zich van een aantal atoomkernen goede representaties geven, maar voor andere kernen weer niet.

In de 17e eeuw ontwikkelde Huygens zijn golftheorie van het licht, terwijl Newton een corpusculaire theorie gaf. Speciaal de voorkeur voor één van deze laatste twee theorieën is in de loop der tijden sterk afhankelijk geweest van de experimentele vondsten tot aan het moment dat de quantumtheorie opgebouwd werd.

Wanneer de wetten in een bepaald gebied bekend zijn en we passen ze toe in door ons voorgeschreven omstandigheden, dan zijn we in staat - althans in principe - uitkomsten van een experiment of de eigenschappen van een instrument nauwkeurig te voorspellen. De mate van nauwkeurigheid waarmee het experiment of het instrument beschreven wordt, hangt af van de kundigheid van de onderzoeker. In optische termen uitgedrukt: de onderzoeker heeft de beschikking over het voorwerp, maar van hem wordt een beeld verwacht. Deze situatie is juist het omgekeerde van die waarin de fundamentele fysicus verkeert en behoort ondergebracht te worden bij de toegepaste fysica. Onder de definitie van toegepaste fysica kan nu zeer

veel verstaan worden; b.v. het onderzoek aan instabiliteiten in plasma's, het ontwerpen en construeren van een massa-spectrometer met zeer hoog scheidend vermogen en hoge transmissie, het onderzoek van de eigenschappen van een glassoort, het ontwerpen en de constructie van een zeer snelle recorder etc. etc.

Ik wil U nu enige overeenkomsten en verschillen laten zien van de aanpak van het onderzoek in de plasmafysica en de ionenoptiek, beide gebieden van de toegepaste fysica.

De plasmafysica en de ionenoptiek vertonen naast vele andere dit grote verschil dat bij het ene gebied sterk rekening gehouden moet worden met de wisselwerking der aanwezige deeltjes en bij het andere gebied deze wisselwerking juist verwaarloosd mag worden, althans zoveel mogelijk vermeden dient te worden. Zo'n contrast beïnvloedt sterk de wijze waarop het onderzoek uitgevoerd wordt. Van de plasmafysica worden vaak de gasontladingen, die zeer zwak geïoniseerde plasma's hebben, afgesplitst. De gasontladingen hebben voor de samenleving een moeilijk te overschatten waarde. We hoeven maar aan verlichting te denken, waarbij de belangrijke eis dat zo veel mogelijk licht voor zo weinig mogelijk energie verkregen wordt, voorop staat, of aan belichting waarbij zoveel mogelijk licht in een zo klein mogelijk volume-element, tijdsinterval of golfengte-interval moet worden geproduceerd.

Tot op de dag van vandaag is het in verreweg de meeste gevallen ondoenlijk een precieze kwantitatieve berekening van de eigenschappen van gasontladingen te maken. Daarom gaat men vaak empirisch te werk en verandert vanuit een gegeven toestand een parameter en gaat de invloed daarvan na op de ontladings-eigenschappen. Op deze manier kan eveneens een samenhang tussen verschillende parameters gevonden worden. Zo'n werkwijze is mogelijk omdat ontladingsbuizen betrekkelijk goedkoop zijn zodat er vele van gemaakt kunnen worden met vele verschillende parameterwaarden en omdat de noodzakelijke metingen per buis ook betrekkelijk eenvoudig kunnen zijn.

We beschikken tegenwoordig over grote numerieke reken capaciteiten en nauwkeurige en betrouwbare technieken ter bepaling van atomaire constanten. Daarom kan nu een begin gemaakt worden met een kwantitatieve beschrijving van gasontladingen. Er kunnen sneller resultaten verkregen worden, er kunnen eerder onverwachte effecten

gevonden worden dan langs de empirische weg. Het stadium van een echte atomaire „engineering” van de ontlading zou dan aangebroken zijn. De weg hiervoor ligt open en al is hij lang en moeizaam, hij is het lopen waard.

De situatie bij de grote machines in de plasmafysica ligt anders. Hier gaan de kosten voor één enkel apparaat vaak vele miljoenen guldens te boven en moet zo min mogelijk empirisch te werk worden gegaan. Het gevolg is dat het kwantitatieve begrip van de voorkomende processen, gestoeld op zeer uitgebreide theoretische en numerieke onderzoeken, vaak tezamen met modelproeven, al groot is voordat met de experimenten begonnen wordt. Een tweede gevolg is dat de interpretatie van onverwachte experimentele resultaten door de grondige kennis van zaken snel en doeltreffend kan zijn.

Deze aanpak der problemen, waarbij een sterke koppeling bestaat tussen theoretisch en experimenteel gerichte mensen, vindt men overal waar werk van hoog niveau wordt gedaan en behoort niet alleen thuis bij grote projecten maar zeker ook bij kleinere projecten, al is daar de verleiding om empirisch werk te gaan doen groot. Empirisch onderzoek alleen kan echter het wetenschappelijk niveau sterk omlaag halen.

Bij de plasmafysica zijn momenteel nog talrijke mathematische moeilijkheden en nog veel atomaire gegevens zijn te weinig nauwkeurig bekend voor een exacte voorspelling. Bij de ionenoptiek vinden we een andere situatie doordat daar juist de wisselwerking der deeltjes verwaarloosbaar behoort te zijn. Een voldoende exacte voorspelling kan hier gegeven worden omdat de wetmatigheden ongestoord van toepassing zijn. Toch wordt ook hier niet met de bouw van de vaak kostbare instrumenten begonnen voordat uitgebreid theoretisch en numeriek onderzoek en modelonderzoek verricht zijn. Een voorbeeld van een instrument van deze categorie is het Philips prototype A.V.F.-cyclotron dat in het T.H.-cyclotrongebouw staat.

Een diepgaand inzicht in de banen der geladen deeltjes in gecompliceerde elektrische en magnetische velden van een A.V.F.-cyclotron laat ons algemene focusserings- en afbeeldingseigenschappen zien die ook van toepassing zijn bij ionenoptiek en lichtoptiek. Een beeld dus van wat we reeds hebben.

De in de regeltheorie gedefinieerde overdrachtsfunctie kan gebruikt

worden om afbeeldingen in de lichtoptiek te construeren, kan tevens gebruikt worden om de invloed van het energiespectrum op de afbeelding bij ionenoptiek te beschrijven. Zie hier weer voorbeelden van vruchtbare denkeconomie.

Het scheidend vermogen kan met een overdrachtsfunctie van het instrument in verschillende gevallen gedefinieerd worden: voor het waarnemen van twee snel in de tijd elkaar opvolgende gebeurtenissen met een elektronische detector, voor het onderscheiden van twee objecten van kleine omvang en op kleine afstand van elkaar met een microscoop, voor het meten van twee dicht bij elkaar liggende moleculaire massa's met een massa-spectrometer, of van twee dicht bij elkaar liggende lijnen in een optisch spectrum etc. Deze gelijke benadering op verschillende gebieden wil ik nu wat nader verklaren.

De banen van geladen deeltjes in elektrische en magnetische velden kunnen met hoge graad van nauwkeurigheid numeriek berekend worden mits de velden met voldoende precisie in kaart gebracht zijn. Wanneer de velden tijdsonafhankelijk zijn en de kinetische energie der deeltjes door de elektrische velden verwaarloosbaar weinig verandert, worden de optische eigenschappen van de banen vaak bepaald door lineaire variaties in de richtingen, die loodrecht op de baan staan. De optische as wordt bepaald door de waarden van de veldsterkten zelf langs de baan. Voor de berekening van niet-lineaire aberraties zijn hogere afgeleiden nodig.

Afgeleiden kunnen uit meetgegevens met een matige nauwkeurigheid bepaald worden, daar zij ontstaan uit het verschil van twee grote getallen, die de waarden van de veldsterkten in twee achtereenvolgende punten weergeven. Om de focuserende eigenschappen en de niet-lineaire aberraties goed te kunnen berekenen worden b.v. de magnetische veldsterkten gemeten met een nauwkeurigheid van 1:20000 en worden de posities der meetpunten op 1/100 mm gedefinieerd, vaak over afstanden van meer dan één meter. Het aantal meetpunten kan vele duizenden soms zelfs vele honderdduizenden bedragen. De metingen en berekeningen gaan gepaard met veelal uitgebreide en kostbare voorbereidingen.

Bij beschouwingen over banen van geladen deeltjes in tijdsonafhankelijke magnetische velden kan soms met vrucht gebruik gemaakt worden van het model van de zwevende draad, waardoor stroom gevoerd wordt en waarin een mechanische spanning onderhouden wordt door een gewicht dat aan één der uiteinden is bevestigd; het andere

uiteinde is aan een vast punt verbonden. Voor ons gevoel zal zo'n draad dezelfde vorm in het magneetveld aannemen als de baan van een geladen deeltje, m.a.w. er een getrouw beeld van zijn, daar immers dezelfde krachten erop werken. Een nadere beschouwing leert dat dit zo is, indien het quotient van de kracht waarmee de draad gespannen wordt, en de stroom gelijk is aan het quotient van het kinetisch moment en de elektrische lading van het deeltje. Opmeting van positie en richting van de draad op enkele punten levert nu gegevens over de baan. Bij deze modelmeting zijn twee stadia van voorbereiding overgeslagen, nl. de veldmetingen en de numerieke berekeningen. We moeten in dit geval wel erkennen dat onderzoek naar focuserende eigenschappen neerkomt op het vergelijken van twee onderling weinig in positie verschillende banen, zodat de bepaling van positie en richting van de draad zeer nauwkeurig moet wezen en vaak onoverkomelijke moeilijkheden geeft. We zouden nu zelfs de conclusie moeten trekken dat deze methode weliswaar zeer eenvoudig en snel uitvoerbaar is, maar dat de meetresultaten weinig precies zullen zijn, ware het niet dat een algemene focuserings-eigenschap ons uitweg kan bieden. Deze eigenschap is door Fermat in de 17e eeuw voor licht als volgt geformuleerd: De weg die een lichtstraal volgt is daardoor gekarakteriseerd dat de tijd nodig voor de lichtstraal om van één punt af een tweede punt te bereiken minimaal is. Protagoras en Paracelsus zullen zich er niet voor omdraaien in hun graf. Deze lichteigenschap kan ook uitgedrukt worden als: de optische weglengte tussen twee punten is minimaal. Daarbij moet de optische weglengte gedefinieerd worden als de som van alle geometrische weglengte-elementjes elk vermenigvuldigd met de plaatselijke brekingsindex. Fermat's principe blijft gelden zolang geen afbeelding van één der baanuiteinden in het beschouwde interval aanwezig is. Indien de uiteinden elkaars beeldpunten zijn, zijn vele wegen mogelijk met dezelfde optische weglengte. Indien de uiteinden een beeldpunt hebben in het baaninterval is Fermat's minimum-principe niet meer van toepassing. Voor geladen deeltjes in magnetische velden wordt de optische weglengte op gelijke manier als voor lichtstralen gedefinieerd. De brekingsindex is niet-isotroop en hij wordt bepaald door de magnetische vectorpotentiala en het kinetische moment van de geladen deeltjes.

Voor de zwevende draad is het equivalent van de optische weglengte de potentiële energie van de stroomvoerende draad, gespannen door een gewicht en geplaatst in een magneetveld. Hieraan zien we tegelijk

het verschil en de overeenkomst tussen het draadsysteem en de deeltjesbaan. Immers, als het draadsysteem voor zekere variaties in de baanvorm een potentiaalmaximum heeft, verkeert het in labiel evenwicht en zal het zich verwijderen van de positie van de deeltjesbaan. De deeltjes volgen de baan waarvoor het minimumprincipe gewijzigd wordt in de geringere eis dat de optische weglengte slechts stationair is voor variaties in de baan. De instabiliteit van de draad is eenvoudig waar te nemen.

Om de lenssterkte te bepalen die hoort bij een gegeven magneetveld kunnen we het beschouwde baaninterval steeds langer maken totdat de instabiliteit van de draad waargenomen wordt. Dan zijn de beide eindpunten van de draad elkaars beeldpunten en na een eenvoudige lengtemeting van de posities der eindpunten t.o.v. het magneetveld is de lenssterkte met grote nauwkeurigheid te berekenen volgens de klassieke afbeeldingsformules.

Een nadere bestudering van de eigenschappen van de zwevende draad leert ook hoe sommige niet-lineaire aberraties kunnen worden bepaald uit betrekkelijk eenvoudige metingen.

Aan een analogonmethode van dit type waarbij direct de resultaten aan het model gemeten kunnen worden, kleven ernstige gevaren, want de methode zegt nauwelijks iets over de invloed van de gedetailleerde vorm van het magneetveld op de baaneigenschappen. Wel kunnen we kleine variaties op het magneetveld aanbrengen en de uitwerking daarvan via een uitgebreid meetprogramma nagaan. Nauwkeurige numerieke methoden zijn dan de enige praktische weg om een duidelijk inzicht in de baanoptiek te krijgen. Het model fungeert hierbij als een controle op de berekeningen.

Vergelijking van ionenoptische elementen en lichtoptische elementen laat vele overeenkomsten en verschillen zien. Zo vertoont een magnetische lens in de twee richtingen die loodrecht op de voortbewegingsrichting van de baan staan i.h.a. onderling verschillende optische eigenschappen, maar zo is een lichtoptische lens i.h.a. cilindrischsymmetrisch. Verder verschillen magnetische prisma's van lichtoptische prisma's in zoverre dat de eerste altijd vergezeld worden door een lens die werkt in het vlak waarin de dispersie optreedt. De verschillen zijn niet van principiële aard, zodat voor beide gebieden dezelfde theoretische methoden toegepast kunnen worden. Bij ionenoptische beschouwingen worden vier stralengangen meegenomen ter

vastlegging van het probleem, terwijl bij lichtoptische elementen slechts twee stralengangen meegenomen behoeven te worden. Ik heb U enkele overeenkomstige beschouwingen voor ionenoptische en lichtoptische elementen laten zien. Nu wil ik U enkele gelijksoortige benaderingswijzen tonen voor elektrische en optische systemen.

Bij lineaire elektrische systemen kan het uitgangssignaal t.o.v. van het ingangssignaal vervormd zijn. Evenzo kan bij paraxiale optische systemen de afbeeldingen t.o.v. het voorwerp vervormd zijn. In beide gevallen kan dit verschijnsel beschreven worden met een overdrachtsfunctie. Tijdsafhankelijke signalen kunnen voorgesteld worden door een frequentiespectrum. Bij niet periodieke signalen is de intensiteitsverdeling in dit spectrum continu. Verder kan een maximale frequentie aangegeven worden waarboven de intensiteitsverdeling gelijk aan nul is. De overdrachtsfunctie van een systeem nu beschrijft de versterkingsfactor als functie van de frequentie en kan dus als een spectrale doorlaatbaarheid beschouwd worden. De overdrachtsfunctie van een aantal systemen achter elkaar wordt gevonden door vermenigvuldiging der afzonderlijke overdrachtsfuncties. Het spectrum van het uitgangssignaal wordt gegeven door vermenigvuldiging van het spectrum van het ingangssignaal met de overdrachtsfunctie. Het uitgangssignaal wordt dan gevormd door transformatie van het uitgangsspectrum, hetgeen Fourier-synthese wordt genoemd.

Vervangen we nu in onze gedachten de tijd door een plaatscoördinaat, dan kunnen we een optisch beeld door een ruimtelijk frequentiespectrum voorstellen en kunnen we optische elementen zoals lenzen, driftafstanden en diafragma's beschrijven met overdrachtsfuncties voor ruimtelijke frequenties – een nog te weinig bekende analogie die ik U gaarne laat aanschouwen. De constructie van het beeld dat ontstaat na een aantal optische elementen komt op dezelfde manier tot stand als het uitgangssignaal na de reeks van elektrische systemen. Ook een voorwerp dat afgebeeld gaat worden, heeft een maximale ruimtelijke frequentie waarboven de intensiteitsverdeling in het spectrum gelijk aan nul wordt, terwijl de optische overdrachtsfunctie weer als spectrale doorlaatbaarheid beschouwd mag worden. De maximale frequentie in een tijdsafhankelijk signaal heeft te maken met de snelste aanwezige veranderingen of met de kleinste duur van gebeurtenissen. De maximale ruimtelijke frequentie bij voorwerpen heeft te maken met de steilste veranderingen of met de kleinste afmetingen der details. De overdrachtsfuncties bepalen in het ene

geval of twee achtereenvolgende gebeurtenissen gescheiden geregistreerd kunnen worden, in het andere geval of twee kleine voorwerpen afzonderlijk gezien kunnen worden; zij geven dus het scheidend vermogen van een systeem aan. Deze gelijksoortige behandeling van de lichtoptiek heeft juist nu een grote populariteit door het beschikbaar zijn van sterke coherente lichtbronnen: de lasers.

Bij ionenoptische elementen zoals die voorkomen bij versnellers, kan het golfgedrag ten gevolge waarvan de bovenstaande beschouwing zo mooi opgaat, verwaarloosd worden. Deze elementen volgen geheel de wetten van de geometrische optica. De beschouwingen bij het elektronenmicroscop hebben in dit opzicht een duidelijk hybride karakter.

Ionenbundels komende uit versnellers of gebruikt bij massaspectrometers of analysemagneten hebben eigenschappen die het weer mogelijk maken de gegeven beschouwingen over het licht toe te passen. De energie der geladen deeltjes n.l. is niet constant en kan b.v. in het energiespectrum door een Gauss-kromme worden weergegeven. Wanneer dispersieve elementen gebruikt worden dan kan weer een overdrachtsfunctie gedefinieerd worden waarmee het paraxiale beeld of de vorm van het massa- of energiespectrum gecorrigeerd kan worden. Ook hier weer kan een scheidend vermogen gedefinieerd worden, maar nu als het kleinste waarneembare verschil in massa of energie, dat bepaald wordt door de overdrachtsfunctie van de massaspectrometer of de analysemagneet.

Wanneer we een intensiteitsverdeling willen weten op andere plaatsen dan voorgeschreven voor paraxiale afbeeldingen, moeten we enerzijds de vorm van het golffront voor lichtgolven kennen en anderzijds de in de ionenbundel aanwezige richtingen, die in feite voorgesteld kunnen worden als vectoren loodrecht op de golffronten. Het is dan raadzaam gebruik te maken van de faseruimte van Liouville. De beweging van de bundel in deze faseruimte levert dan een stromingspatroon op van een niet-samendrukbare vloeistof en vormt een voorstelling met zeer vele voordelen waarop ik nu niet verder wil ingaan.

Een beeld hangt op eenduidige, duidelijk beschrijfbare maar dikwijls zeer gecompliceerde wijze samen met zijn voorwerp. Elk punt van het voorwerp geeft een voorgeschreven intensiteitsverdeling in een aantal punten van het beeld. Voorwerp en beeld kunnen we dus door een matrix met elkaar in verband brengen. De orde van de matrix is

gegeven door het aantal punten waarmee voorwerp en beeld voorgesteld worden. Bij paraxiale afbeeldingen waarbij een punt in een punt wordt afgebeeld, is het voldoende de beeldoverdracht met een 4×4 matrix te beschrijven.

We kunnen de punten van het voorwerp ingangsvARIABLEN noemen en de punten van het beeld uitgangsvARIABLEN. Optische systemen kunnen we dan weergeven door een aantal ingangsvARIABLEN waarop een operator werkt ten gevolge waarvan een gelijk aantal uitgangsvARIABLEN wordt bepaald. Maar evenzo zouden we een ingewikkeld proces, voorkomend in de industrie of bij uitgebreide fysische of chemische experimenten kunnen zien. De kennis van de operator is nodig om het proces automatisch te kunnen regelen. Welnu, zo'n gecompliceerd proces kunnen we zien in het Philips prototype A.V.F.-cyclotron dat wij op de T.H.E. hebben.

De probleemstelling is hier omgekeerd in die zin dat door de gebruikers van het apparaat een aantal eigenschappen wordt voorgeschreven, waarbij dan de ingangsparameters van de machine gezocht moeten worden. Dus vergeleken met de optische beschouwingen: het beeld is gegeven en gevraagd wordt het voorwerp – een fundamenteel werkje dus

Met lange ervaring kan een menselijke operator intuïtief heel wat bereiken en de machine betrekkelijk goed optimaliseren. Maar vergissingen blijven daarbij mogelijk en kunnen veel tijd kosten, evenals de keuze van de optimale instelling. Het is daarom raadzaam een computer het werk te laten doen. Zelf bepalen wij via een experimenteel meetprogramma en numeriek-theoretische beschouwingen hoe de uitgangsvARIABLEN veranderen tengevolge van variaties in de ingangsvARIABLEN. Aldus wordt de overdrachtsmatrix van het cyclotron gevonden. De computer moet in staat zijn deze overdrachtsmatrix om te keren teneinde vanuit het gegeven beeld het voorwerp te construeren, en zal verder regelend moeten optreden. Het moge duidelijk zijn dat deze wijze van werken niet specifiek is voor het A.V.F.-cyclotron, maar ook bij andere machines toegepast kan worden. Het ingewikkelde proces dat zich binnen het cyclotron afspeelt vormt een opwindende uitdaging.

Het cyclotron is dus een interessant object voor de regeltechniek, maar ook op andere terreinen van de wetenschap kan het nuttig gebruikt worden. Het verband met de kernfysica is iedereen wel duidelijk en ik zal hierop niet verder ingaan. In toenemende mate zien we chemici, medici en biologen, fysici van andere origine dan de

kernfysici versnellers voor hun experimenten gebruiken.

Medici gebruiken de directe straling van het cyclotron niet alleen om kwaadaardige gezwellen te vernietigen maar ook om diagnostiek te bedrijven m.b.v. de door chemici al zeer snel toegepaste radioactiveringsmethode. Voor diagnostisch onderzoek is de produktie van kortlevende isotopen eveneens van groot belang. Hoe korter de levensduur van de radioactieve isotopen des te hoger mag de intensiteit van de radioactieve straling zijn bij gelijkblijvende schadelijke nawerking. Voor de meetapparatuur betekent een hogere stralingsintensiteit een duidelijk voordeel daar de statistiek van de metingen verhoogd wordt; en dit betekent weer voor de medici dat zij moeilijk waarneembare verschijnselen beter kunnen onderkennen.

Hoe lang de benodigde levensduur van de atomen is hangt ten nauwste samen met de aard van het experiment. Voor het onderzoek naar het verloop van zeestromingen of naar aanslibbingseffecten in havens zullen levensduren van dagen tot weken nodig zijn. Radioactieve isotopen gebruikt voor processen om planten te bestuderen zullen een levensduur van uren tot dagen nodig hebben terwijl de isotopen voor medische doeleinden enkele minuten tot uren levensduur mogen hebben. Het is duidelijk dat bij korte en zeer korte levensduren de afstand tussen cyclotron en plaats van toepassing minimaal moet zijn; het cyclotron moet practisch naast de deur van het medisch instituut staan. In het Hammersmith ziekenhuis te Londen wordt nu al zo'n tien jaar een cyclotron gebruikt voor medische doeleinden. Het diagnostisch onderzoek hier heeft zoveel vrucht afgeworpen dat enkele Amerikaanse medische instituten eveneens tot aanschaf van een cyclotron zijn overgegaan. Verwacht mag worden dat deze nieuwe technieken een grotere verbreiding zullen vinden.

Radioactieve atomen met halveringstijden van enkele milliseconden tot seconden kunnen dienen voor bestudering van snelle stromingsverschijnselen zoals die voorkomen in de plasma's van gasontladingen. Zo'n korte levensduur sluit transport uit. Welnu dan wordt het atoom ook gemaakt in de experimentele opstelling ter plaatse van het cyclotron: gedurende een kort tijdsbestek wordt in een klein volume van de gasontlading een hoeveelheid radioactiviteit gemaakt. De radioactieve ionen in dit kleine volume worden in de gasontlading met een snelheid van enkele tientallen meters tot enkele honderden meters per seconde getransporteerd naar de kathode. De positie van dit volume-elementje als functie van de tijd kan gemeten worden door

stralingsdetectoren op verschillende plaatsen in axiale richting langs de ontlading te plaatsen en de tijden van passering te meten. Tegelijkertijd wordt zichtbaar gemaakt de verandering in grootte van het beschouwde volume-element ten gevolge van de diffusie van ionen in het plasma. Op deze wijze kunnen verschillende belangrijke parameters voor plasmafysisch onderzoek bepaald worden in afhankelijkheid van de omgevingstoestand. De zeer korte levensduur van de geproduceerde radioactieve atomen maakt dat het experiment vele malen herhaald kan worden zodat de statistiek verbeterd wordt.

Bij stromingsproblemen die in de gasontlading optreden, blijft het totaal aantal deeltjes behouden. Onze metingen echter betreffen alleen radioactieve deeltjes die tijdens hun transport kunnen vervallen, zodat stromingsverschijnselen als het ware beschreven worden met een voortdurend verlies aan deeltjes. De vermindering in radioactiviteit gedurende het transport in de gasontlading moet gedeeltelijk aan dit radioactieve verval worden toegeschreven, gedeeltelijk ook aan diffusie van radioactieve ionen naar de wanden van de ontladingsbuis. Daar recombineren de ionen en worden radioactieve atomen, die niet meer aan het ionentransport meedoen. Uit radioactiviteitsmetingen kunnen weer gegevens gevonden worden over diffusie in radiale richting: hier de ambipolaire diffusie.

De detectie van de radioactieve deeltjes, waarmee een afbeelding van de beweging van een elementair volumetje in het plasma gemaakt kan worden, is een apart probleem. Een grote detectiegevoeligheid kan verkregen worden met typisch kernfysische methoden. Minimale hoeveelheden atomen kunnen ook gemeten worden met methoden uit de atoomfysica die berusten op resonantieabsorptie en resonantiefluorescentie. Bij narekening blijkt vooral de laatste een gevoelige meetprocedure op te leveren voor de bepaling van een hoeveelheid atomen in gasvormige targets, al of niet radioactief. Het is interessant dat op deze wijze de kernfysica op haar beurt leentjebuurt kan spelen bij de gasontladingsfysica, waar de laatste jaren juist vele kernfysische technieken zijn toegepast. De toepassing van radioactieve deeltjes als gemerkte deeltjes bij de snelle transportverschijnselen in de gasontlading heeft nu de technieken van verschillende takken van de fysica nodig. Kernfysische, atoomfysische, lichtoptische en ionenoptische technieken kunnen gebruikt worden ter bestudering van de mechanismen in gasontladings.

Hier ook is een gebied waar het interessant is de ondergrenzen van de detectiemethoden zover mogelijk naar kleinere concentraties op te

schuiven. Misschien kan dit in de toekomst tot nut zijn voor de analytische chemie. Het is aldus duidelijk dat deze benadering van gasontladingsonderzoek aan de ene kant van vele kennisgebieden gebruik maakt, aan de andere kant een weg naar nieuwe gebieden opent.

Samenhangen, overeenkomsten en gelijkenissen van wat we reeds hebben, beïnvloeden in belangrijke mate de voortgang van het onderzoek. Dit heb ik U reeds getoond aan een aantal voorbeelden uit de fysica. Deze voorbeelden laten ook zien dat het onderzoek met het cyclotron geen specialistische arbeid is. Dit moderne instrument laat zich aldus vergelijken met een groot project. Aan de voordelen van een groot project wil ik nu enkele woorden wijden. Een groot project bestaat doorgaans uit een aantal deelonderwerpen. Hun afzonderlijke resultaten moeten vaak op voorgeschreven tijden beschikbaar zijn om te passen in het grote geheel. Een onderzoek heeft dan steeds een duidelijk einde. Dit behoedt ons tegen inslapen en vredig doorsukkelen met oude spullen. Verder zal bij grote projecten meer aandacht worden besteed aan de voorbereidingen dan bij kleine projecten, in het bijzonder éénmansprojecten. Een gevolg is dat speciale technologieën, meetmethoden en nieuwe instrumenten een betere bestudering krijgen. Dit alles is dan zeer tot voordeel van de bekwaamheden van de wetenschappelijke onderzoeker in het grote project, die bovendien ook langs natuurlijke weg gedwongen wordt zich van de gedachten en plannen van zijn collega's nauwkeurig op de hoogte te stellen. Opmerkelijk bij grote projecten is ook het verschijnsel dat de wetenschappelijke medewerkers zich gemakkelijk vele en goede internationale contacten kunnen verwerven.

Zeer gewaardeerde toeboorders

Uit mijn woorden blijken U de vele voordelen van grote projecten. De onderwerpen die hierbij aan de orde worden gesteld, beslaan een uitgebreid gebied van de fysica en maken het mogelijk vergelijkingen te trekken tussen schijnbaar verschillende problemen; tevens zien we hoe dezelfde technieken en meetprocedures toegepast kunnen worden bij ver uiteénlopende onderzoeken. Het is zelfs denkbaar, dat fysische beschouwingen kunnen helpen bij het opsporen van nieuwe effecten of het begrijpelijk maken van bekende effecten in andere takken van de wetenschap zoals b.v. in de sociale en economische wetenschappen. Een voorbeeld wil ik U geven. Ik zal daarbij alleen de gedachtengang

bij het fysische effect beschrijven. Elektronen in een gasontlading beïnvloeden elkaar door hun onderlinge wisselwerking via botsingen. Zij ontmoeten elkaar voortdurend. Sommige van deze elektronen verkrijgen bij een aantal achtereenvolgende ontmoetingen steeds meer energie, sommige verliezen elke keer wat, totdat zij niet veel energie meer overhebben; de meeste verliezen nu eens en winnen dan weer en behouden hun energie ongeveer. Dit alles geschiedt geheel volgens toevalswetten. Het resultaat is een elektronenenergieverdeling, die vaak een verdeling van Maxwell kan zijn, waarin enkele elektronen met weinig energie voorkomen, zeer vele met een middelmatige energie en weinige met hoge energie. Een gasontlading kan onderhouden worden door weinig elektronen, elk met gemiddeld een hoge energie. Men zegt dat bij die energieverdeling een hoge temperatuur hoort. In dit geval hebben alle elektronen een reële kans om met één botsing een gasatoom in de grondtoestand te ioniseren. Wanneer de gasontlading door vele elektronen onderhouden moet worden, dan - helaas het is waar - zijn relatief veel minder elektronen in staat om zelf bij één botsing een gasatoom in de grondtoestand te ioniseren. Deze elektronen kunnen nu nog alleen maar bij botsing ionisaties opleveren wanneer door andere het grondwerk is verricht. Met andere woorden: andere elektronen moeten de gasatomen eerst tot excitatie gebracht hebben; dan pas kunnen ionisaties volgen. Dit effect noemt men cumulatieve ionisatie en geeft aanleiding tot een minder efficiënte energiehuishouding in de gasontlading. Andere situaties kunnen optreden waarbij de verdelingsfuncties zodanig veranderen dat elektronenenergieën boven een bepaald niveau niet meer voorkomen. Dan kunnen hoge atoomniveaus niet meer aangeslagen worden, omdat de „kwaliteit” van de elektronen niet meer toereikend is; zelfs niet via cumulatieve effecten.

Zeer Geachte Dames en Heren,

Bij de officiële aanvaarding van mijn ambt wil ik in de eerste plaats Hare Majesteit de Koningin danken voor mijn benoeming tot hoogleraar aan deze Technische Hogeschool.

Mijne Heren Curatoren,

Uit het feit dat U mij hebt willen voordragen voor deze benoeming spreekt het grote vertrouwen dat U in mij gesteld hebt. Ik ben U

hiervoor zeer erkentelijk. Ik zal mijn werk steeds zo inrichten dat de hoge eisen die aan dit ambt gesteld worden optimaal vervuld zullen worden.

Mijne Heren leden van de Senaat,

Geen wetenschapsbeoefenaar kan tegenwoordig buiten de kennis op andere gebieden. Ik reken het dan ook tot een voorrecht in Uw midden te worden opgenomen en waar nodig op Uw kennis en inzicht een beroep te kunnen doen.

Mijne Heren Leden van de afdeling der Technische Natuurkunde,

De mogelijkheden die voor een groot deel door Uw toedoen op de afdeling der Technische Natuurkunde zijn geschapen, zijn zeer groot. Ik reken het tot een voorrecht hier wetenschappelijk onderzoek te kunnen verrichten. Ik hoop in de toekomst mede te kunnen bijdragen tot de verdere ontwikkeling van de afdeling.

De samenwerking met U, *hooggeleerde Poppema* stel ik zeer op prijs. Juist omdat onze onderzoekingen slechts nuances verschillen moeten zij katalyserend werken op het verkrijgen van resultaten.

Hooggeleerde Wapstra,

Door de grote toewijding die U aan mijn promotiewerk in Delft hebt besteed, ben ik ingeleid in de geheimen van de kernfysica, die ik nu bij de voorgenomen experimenten weer nuttig zal kunnen gebruiken.

Mijne Heren Directieleden en Medewerkers van het Natuurkundig Laboratorium van de N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken,

De tijd die ik op het laboratorium heb doorgebracht heeft mij een voortdurende toename van kennis en mogelijkheden gegeven op verschillende terreinen. Het heeft nauwelijks betoog hoe waardevol dit is. Ik ben mij bewust dat dit alleen mogelijk is geweest dankzij vele contacten en dankzij uiterst plezierige samenwerking met mijn oud-medewerkers.

Hooggeleerde Verster,

Toen ik vele jaren geleden in de groep van ir. A. C. van Dorsten op het

Philips' natuurkundig laboratorium kwam, waren er nog te vele zaken mij onbekend. U hebt mij door Uw grote kennis en bedrevenheid in de fysica veel geleerd.

Hetgeen iemand bereiken kan hangt voor een groot gedeelte af van de wijze van opvangen aan het begin van zijn loopbaan. Ik hoop evenveel te kunnen betekenen voor de medewerkers en studenten in mijn groep als U voor mij hebt betekend.

Waarde Van Dorsten,

Uw wijze van leiden van een wetenschappelijke groep is zeer bewonderenswaardig. U hebt altijd achter onze ideeën gestaan, daarbij zorg dragend dat de koude stormen van buiten af de wetenschappelijke gloed niet zouden doen doven. Zeker als iemand zich in de moeilijke periode van het starten van, of het inwerken in een nieuw onderzoek bevindt, werpt deze tactiek vruchten af. Ik wil hiermede mijn dank uitspreken voor de vele jaren die ik onder Uw leiding heb kunnen werken.

Dames en Heren studenten,

Uw natuurkundestudie is een basis van waaruit U vele kanten op kunt, en zij brengt U later in een positie met veel verantwoordelijkheden. Eén van Uw verantwoordelijkheden zal zijn Uw kennis steeds uit te breiden. Het gaat daarbij niet alleen om feitelijke kennis, maar ook om beschouwingwijzen van anderen. Daarbij is het vaak nuttig de ander te nemen zoals hij is en met geduld te trachten hem te verstaan. U zult dan veelal met meer beloond worden dan U verwachtte.

Ik dank U voor Uw aandacht.