

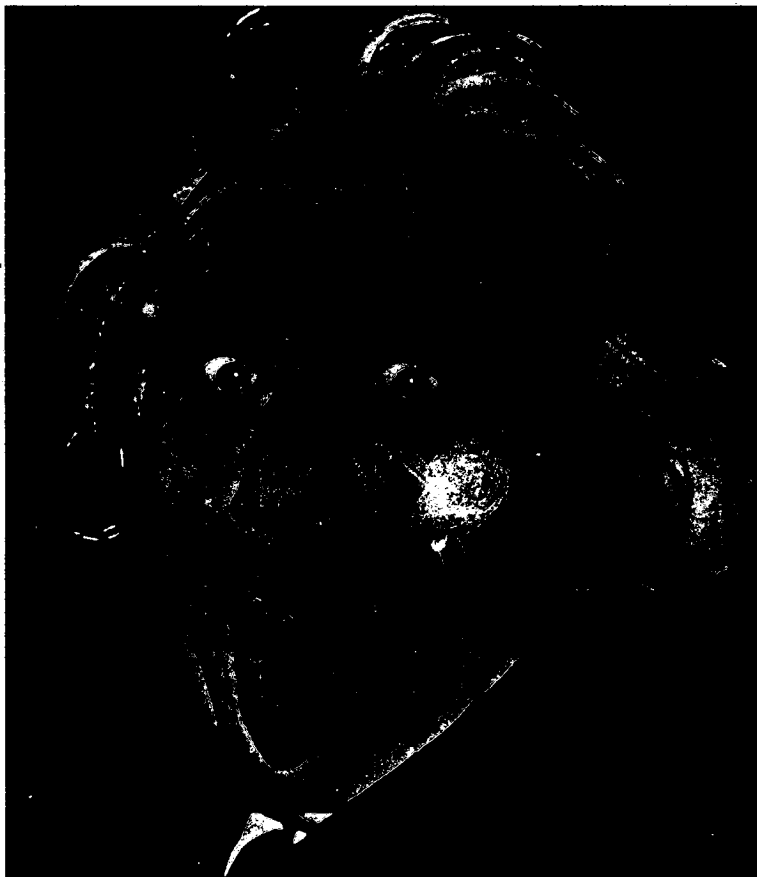
Materie

Een lessenserie waarin de leerlingen:

- kennis maken met de modellen die er in heden en verleden over materie ontwikkeld zijn.
- enig inzicht krijgen in de spiraal van wetenschap en technologie
- kennis maken met de invloed van de persoonlijkheid van de onderzoeker op de ontwikkeling van het onderzoek
- een indruk krijgen van de stand van zaken in de hoge-energiefysica
- nadenken over het al of niet beoefenen van kostbaar fundamenteel onderzoek.

„He who joyfully marches to music in rank and file has already earned my contempt. He has been given a large brain by mistake, since for him the spinal cord would fully suffice. This disgrace to civilization should be done away with at once. Heroism at command, senseless brutality, deplorable love-of-country stance, how violently I hate all this, how despicable and ignoble war is; I would rather be torn to shreds than be a part of so base an action! It is my conviction that killing under the cloak of war is nothing but an act of murder.“

Albert Einstein



„Wenn einer mit Vergnügen in Reih und Glied zu einer Musik marschieren kann, dann verachte ich ihn schon; er hat sein großes Gehirn nur aus Irrtum bekommen, da für ihn das Rückenmark schon völlig genügen würde. Diesen Schandfleck der Zivilisation sollte man so schnell wie möglich zum Verschwinden bringen. Heldentum auf Kommando, sinnlose Gewalttat und die leidige Vaterländerei, wie glühend hasse ich sie, wie gemein und verächtlich erscheint mir der Krieg; ich möchte mich lieber in Stücke schlagen lassen, als mich an einem so elenden Tun beteiligen! Töten im Krieg ist nach meiner Auffassung um nichts besser als gewöhnlicher Mord.“

Albert Einstein

Experimentele uitgave voor de vijfde klas HAVO



© 1984 Rijksuniversiteit Utrecht

Deze handleiding maakt deel uit van experimenteel lesmateriaal.

Overname of referentie uitsluitend met toestemming van de medewerkers van het PLON, Lab. Vaste Stof, Postbus 80.008, 3508 TA UTRECHT, tel. 030-532717.

INHOUD

Voorwoord	2
Plaats en karakter van het thema	3
1. De plaats van het thema in de cursus	3
2. Achtergronden en verantwoording van de themakeuze	3
3. Ervaringen met 'Materie'	4
4. Globale opzet	5
Leerstof, vaardigheden, beginsituatie	7
Lessenplan	9
Opmerkingen per hoofdstuk	10
1. Oriëntatie	10
2. Elementen en atomen: eeuwenoude ideeën	11
3. Van elektriciteit tot elektron	14
4. Vier natuurkundigen rond 1900	20
5. Van elektron tot neutron	25
6. Van neutron tot quark	31
7. Wie zal dat betalen?	43
 Bijlagen:	
D1 Samenvatting thema Materie	46
D2 Materie in het EPEP	52
D3 Toetsvragen	53
D4 Uitwerking van experimenten met de cirkelstraalbuis	56
D5 Uitwerking van de experimenten met de Thomson-buis	58
D6 Elektrolyse	61
D7 Een lessenschema voor de leerlingen	63
D8 Invultijdbalk	66
I1 Een Romeins dichter-fysicus	67
I2 Mendelejev - de Linnaeus van de scheikunde	69
I3 De bedenkingen van Schuster	70
I4 The new breed of accelerator	71
I5 Neutrino's, niet zonder massa	76
I6 Waarom hoge-energiefysica?	77
I7 Beeld van de natuurkunde	81
I8 Simon van der Meer	86
I9 Literatuur	89
I10 Aanvullingen	93
I11 Adressen	94
 Apparatuurgids	95

VOORWOORD

Het thema Materie is het zevende thema in het PLON-curriculum voor havo-bovenbouw. Het is bedoeld als startthema voor 5 HAVO. Ook dit thema is herschreven op grond van enkele jaren ervaring met een voorgaande versie.

Deze gebruikers handleiding is geschreven voor docenten die met het thema "Materie" werken. Hij bevat daartoe suggesties voor een lessenplan, voor experimenten en andere werkvormen. Ook de achtergronden van het thema komen ter sprake.

Het thema "Materie", in deze versie, is een jaar gebruikt in elf proefscholen. De eerste ervaringen zijn verwerkt in deze handleiding. De aanvullingen zijn vrij beperkt. Het thema 'loopt goed'. Het is pittig, maar, indien goed gebracht, ook spannend en aantrekkelijk.

De apparatuurgids, achter in de handleiding, is in dit thema kort uitgevallen. Opmerkingen en aanvullingen over zowel het thema als deze gebruikershandleiding blijven welkom.

Medewerkers van het PLON
Lab. Vaste Stof
Rijksuniversiteit Utrecht
Postbus 80.008
3508 TA Utrecht

maart 1985

PLAATS EN KARAKTER VAN HET THEMA

1. DE PLAATS VAN HET THEMA IN DE CURSUS.

De PLON-cursus voor 4 en 5 HAVO bestaat uit een tiental thema's. "Materie" is het eerste thema voor 5 HAVO. In dit leerjaar ligt het accent op kennis over de bouw van materie en de toepassingen van deze kennis in lichtbronnen, ioniserende stralingstoestellen en elektronica. Het thema "Materie" draagt bouwstenen hiertoe aan waarmee in de 3 volgende thema's wordt gewerkt.

PLON thema's 4 HAVO	PLON thema's 5 HAVO
● Vergelijken	● Materie
● Weersveranderingen	● Lichtbronnen
● Muziek	● Ioniserende Straling
● Verkeer	● Elektronica
● Elektrische Machines	● Examen Doen
● Energie en Kwaliteit	

2. ACHTERGRONDEN EN VERANTWOORDING VAN DE THEMAKEUZE.

In de vierde klas HAVO zijn de thema's gewijd aan toepassingen in het dagelijks leven van macro-natuurkunde. Kennis van de bouw van materie is hiervoor niet noodzakelijk. In de 5e klas heeft de micro-natuurkunde daarentegen de volle aandacht.

Aanvankelijk was het de bedoeling om het schooljaar te laten beginnen met een aantal toepassingsgebieden van de micro-fysica en het jaar te eindigen met een thema waarin een overzicht van die micro-fysica en de werkwijze van de beoefenaren van de natuurkunde centraal zouden staan. We hebben hiervan afgezien omdat veel leraren van mening waren dat een beschouwend thema aan het eind van de cursus parels voor de zwijnen zou zijn gezien de gebruikelijke gerichtheid van leerlingen rond de krokusvakantie op het eindexamen. Vandaar dat we beginnen met Materie en daarna uitwaaiëren naar de diverse toepassingsgebieden.

Bijkomende voordelen van deze opzet zijn:

- er is een duidelijke breuklijn met de 4e klas: nieuwe terreinen van de fysica worden aangeboord;
- in Materie kunnen onderwerpen aan bod komen waarmee in de volgende thema's verder kan worden gewerkt, zoals de bouw van atoom en kern en de invloed van elektrische en magnetisch velden op bewegende ladingen.

In hoofdstuk 1 wordt uitgebreid ingegaan op de bedoeling van het thema. Daarbij worden de volgende themavragen genoemd:

- Hoe heeft het denken over de bouw van materie zich in de loop der tijd ontwikkeld?
 - Welke rol speelde techniek bij de voortgang van natuurkundig onderzoek?
 - Welke persoonlijke stempel hebben enkele vooraanstaande natuurkundigen gedrukt op de ontwikkeling van hun vak?
 - Wat zijn de kernpunten van het huidige onderzoek naar de bouw van materie?
- Deze vragen hebben we gekozen omdat we het belangrijk vinden dat de HAVO-leerlingen ook in aanraking komen met:

PLAATS EN KARAKTER VAN HET THEMA

- a. *de historische aspecten van de natuurkunde* zoals natuurkunde als element van onze cultuur, de groei van de natuurkunde en de spiraal natuurkunde/technologie.
- b. *de wetenschaps-filosofische en maatschappelijke aspecten van het bedrijven van natuurkunde* zoals de drijfveren voor wetenschappelijk onderzoek en de natuurwetenschappelijke methoden (bijv. ordenen en verklaren met behulp van modellen).
- c. *natuurkunde als beroepsactiviteit* zowel met het oog op de eigen beroepskeuze als om op de hoogte te kunnen blijven van nieuwe ontwikkelingen in de natuurkunde.

Kortom we willen met dit thema een bijdrage leveren aan de beeldvorming over natuurkunde als wetenschap.

3. ERVARINGEN MET MATERIE

"Een erg goed, pittig thema. Dit is echte natuurkunde?" schrijft een leraar aan het eind van een vragenlijst. Misschien wat té pittig vinden enkele anderen, met name als het gaat om het beïnvloeden van deeltjesbanen met behulp van elektrische en magnetische velden. Een goede begeleiding door de leraar bij de uitwerking van meetresultaten van Thomson, Perrin, Schuster en Millikan is noodzakelijk.

Vrij veel leerlingen (75%, vooral ook meisjes) zijn enthousiast over het vierde hoofdstuk waarin leven en werk van vier natuurkundigen is beschreven. Ook het ordenen van elementaire deeltjes in het quark spel is een favoriete activiteit. Wel raken velen de draad een beetje kwijt in de opeenvolging van materie-modellen, zeker als de overstelpende hoeveelheid elementaire deeltjes die door recent onderzoek is aangetoond aan bod komt. Dit moge blijken uit de volgende uitspraken van leerlingen:

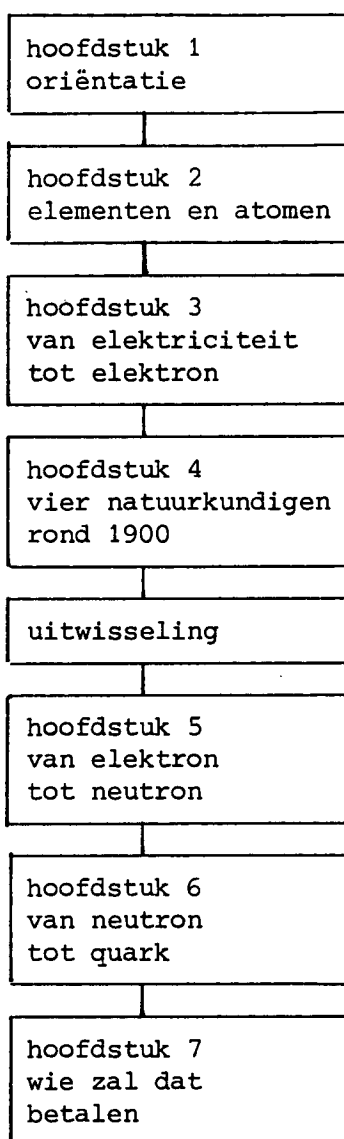
- "Waarom leer je over dingen die toch maar heel even bestaan?"
- "Dat PLON-boek is ook vaag: ze zeggen steeds weer dat een nieuw model niet precies klopt. Natuurkundigen moeten zeggen hoe het is!"

In relatie tot dit thema staat een onderzoek naar het beeld dat PLON-leerlingen in 5-HAVO hebben van natuurkunde. Een korte beschrijving van de resultaten is opgenomen in bijlage I7. Uit dit onderzoek blijken leerlingen een reëler beeld te hebben dan de voorgaande uitspraken doen vermoeden.

Tot slot verdient hoofdstuk 3, het onderzoek aan kathodestralen, speciale vermelding. De leraar kan het plezier bederven door aan het begin de uitkomst te verraden, namelijk dat kathodestralen uit elektronen bestaan. Dan kun je net zo goed de gegevens in het BINAS-boek opzoeken en zijn de aangegeven puzzles met formules niet interessant meer. Wie zich goed inleeft kan, samen met de leerlingen, iets moois van dit thema maken.

PLAATS EN KARAKTER VAN HET THEMA

4. GLOBALE OPZET.



Hoofdstuk 1 geeft een toelichting op de thema-vragen en schetst de opzet van het thema.

Hoofdstuk 2 begint met de eerste ideeën over elementen en atomen bij de Grieken. Vervolgens blijkt dat eeuwenlang een theorie domineert terwijl de ander als ketters idee blijft bestaan om dan rond 1600 weer tot nieuw leven te komen door een aantal veranderingen op andere terreinen. Daarna volgt de ontwikkeling in het denken over elementen en atomen in de 18e en 19e eeuw. Voor degenen die thuis zijn op dit gebied: aan bod komen Empedocles, Aristoteles, Democritus, Copernicus, Newton, Lavoisier, Dalton en Mendeleef.

Hoofdstuk 3 schetst de ontwikkelingen op het gebied van elektriciteit en magnetisme in de 19e eeuw. Aan het eind van die eeuw blijken de elektrische en magnetische vindingen goed bruikbaar te zijn voor verder onderzoek naar materie. Dit leidt tot de ontdekking van het elektron en meer inzicht in de eigenschappen van elektronenstraling.

Hoofdstuk 4 gaat over vier markante natuurkundigen die belangwekkend werk deden rond 1900. Niet alleen hun werk komt aan bod maar ook hun levensloop, vol geluk en tragedies, en sterk bepaald door de omstandigheden van die tijd en hun persoonlijk karakter. Bij de uitwisseling gaat het om de overeenkomsten en verschillen tussen Thomson, Rutherford, Röntgen en Madame Curie: in welke opzichten hebben ze elkaar beïnvloed in hun werk?

Hoofdstuk 5 behandelt de atoommodellen van Thomson en Rutherford. Ook het werk van Millikan komt ter sprake, niet alleen de resultaten maar ook zijn manier van werken. Het hoofdstuk eindigt met de ontdekking van het neutron door Chadwick en de gevolgen voor het meest gangbare beeld over de bouw van de kern.

Hoofdstuk 6 overbrugt de periode tussen de ontdekking van het neutron en het recente onderzoek naar elementaire deeltjes. Daarbij worden nieuwe onderwerpen geïntroduceerd zoals quarks en leptonen, het bellenvat enkele versnellers en de 4 fundamentele krachten. Via een kaartspel wordt aandacht besteed aan het ordeningsproces van elementaire deeltjes.

Hoofdstuk 7 houdt zich bezig met het belang van fundamenteel onderzoek: kosten, toepassingen (civiel en militair), internationale samenwerking, de culturele betekenis en werkgelegenheid passeren de revue. In enkele activiteiten wegen de leerlingen de diverse belangen tegen elkaar af.

PLAATS EN KARAKTER VAN HET THEMA

Tenslotte kort nog iets over de samenhang van de hoofdstukken. In elk van de hoofdstukken wordt aandacht besteed aan het zoeken van de mens naar een bevredigende verklaring van de aard van materie. Bij de Grieken waren het nog louter speculatieve theorieën die hiervoor werden gebruikt. In de loop van de tijd gaat het experiment een steeds belangrijker rol spelen.

De resultaten van deze experimenten geven soms een onoverzichtelijk beeld. Dan ontstaat behoefte aan ordening. In hoofdstuk 2,5 en 6 wordt hier nader op ingegaan aan de hand van ordening van elementen (periodiek systeem) van waarnemingen van Millikan; en van elementaire deeltjes (quark-concept). Bij de experimenten doet zich ook af en toe de situatie voor dat een nieuw verschijnsel wordt ontdekt (bijv. radioactiviteit, röntgenstraling). Al snel worden dan de eigenschappen bekend terwijl het veel langer duurt voor een goede verklaring voor het verschijnsel wordt gevonden.

LEERSTOF, VAARDIGHEDEN, BEGINSITUATIE

1. Leerstof

In het experimenteel PLON Examen Programma (EPEP) is de leerstof beschreven die in dit thema aan de orde komt. In bijlage D2 is het betreffende onderdeel van het gebied "Ioniserende Straling en Deeltjes" opgenomen. In vergelijking met de reguliere landelijke leerstoflijst komen de volgende nieuwe onderwerpen aan bod in dit thema:

- het onderscheid fundamenteel-toegepast onderzoek
- elementen en atomen in de oudheid
- oorzaken voor de herleving van de atoomtheorie na de Middeleeuwen
- factoren die het succes van een natuurwetenschapper bevorderen
- atoommodellen van Thomson en Rutherford
- ontdekking van röntgenstraling, radioactiviteit en elementaire deeltjes zoals het electron en het neutron
- onderzoeksmethoden voor deeltjes en straling: afbuiging in elektrisch en/of magnetisch veld, fluorescerend en fotografisch materiaal, bellenvat.
- versnellers (lineair, synchrotron) en kosmische straling
- mesonen, baryonen en leptonen
- quarks, anti-deeltjes
- krachten tussen deeltjes, wisselwerkingsdeeltjes
- het belang van fundamenteel onderzoek (o.a. spin-off).

Aan de hand van klasse-ervaringen hopen we ter zijner tijd voorstellen te kunnen doen voor een nieuw landelijk examenprogramma.

Dit hoofdstuk van de leerstoflijst vinden we zo belangrijk dat we slechts enkele onderdelen uit het huidige reguliere programma hebben geschrapt:

- verband tussen potentiaalverschil en veldsterkte in een homogeen veld; potentiaal in een homogeen veld; elektrometer
- massaspectrometer.

2. Vaardigheden.

Gezien de aard van dit thema zijn slechts in beperkte mate experimenten uit te voeren in de les. De nadruk ligt in dit thema dan ook op een aantal andere vaardigheden:

- atoommodellen kunnen hanteren
- getallen, atomen en elementaire deeltjes kunnen ordenen
- een tijdbalk kunnen maken en gebruiken
- uit twee formules kunnen afleiden wat het verband is tussen een van de grootheden uit de formules en de overige grootheden
- relevante informatie kunnen selecteren uit teksten
- onderscheid kunnen maken tussen feiten en meningen
- een dilemma kunnen onderscheiden en beschrijven (bijv. wel/geen fundamenteel onderzoek financieren)
- een afweging kunnen maken op basis van een beperkte hoeveelheid gegevens
- een gemaakte keuze kunnen beargumenteren.

LEERSTOF, VAARDIGHEDEN, BEGINSITUATIE

3. *Beginsituatie.*

We gaan er van uit dat de leerlingen het 4 HAVO-PLON curriculum hebben gevolgd. Meer in het bijzonder veronderstellen we als bekend:

- de begrippen stroomsterkte, kracht, spanning, druk, massa, kinetische energie, snelheid, lorentzkracht, magnetische veldsterkte
- magnetische krachtwerking op afstand
- de waarde van een grootte kunnen uitrekenen met behulp van een gegeven relatie
- gegevens die voor het oplossen van een probleem nodig zijn kunnen selecteren.

LESSENPLAN

Bij het samenstellen van het thema heeft ons een bepaalde lessenverdeling voor ogen gestaan. In de praktijk blijkt deze vrij goed te voldoen, al komen variaties op grond van persoonlijke voorkeur of onder tijdsdruk veel voor.

Onze lessenverdeling is als volgt:

	lessuren	variatie
hoofdstuk 1 (oriëntatie)	1	-½
hoofdstuk 2 (elementen en atomen)	2	-½ à -1½
hoofdstuk 3 (elektriciteit tot elektron)	7	+½ à +2
hoofdstuk 4 (4 natuurkundigen)	2	-½ à -2
hoofdstuk 5 (elektron tot neutron)	3	
hoofdstuk 6 (neutron tot quark)	6	-3 tot +1
hoofdstuk 7 (betalen?)	2	-½ tot -2
Toets	1	
totaal	24	-1 tot -5

De hoofdstukken 3, 5 en 6 bevatten vooral de 'harde' natuurkunde. Hiervoor is de meeste tijd uitgetrokken. De andere hoofdstukken zijn vooral van belang voor de beeldvorming van de ontwikkeling van natuurkunde. Vooral op hoofdstuk 3 en 5 kan niet worden bekibbeld. Weliswaar kan worden bespaard op de kaderteksten. In hoofdstuk 3 zou par. 3 kunnen vervallen, maar dit leidt in het algemeen niet tot tijdwinst. In enkele scholen werd tot 2 lessen extra besteed aan hoofdstuk 3 of aan een samenvatting en een serie oefenopgaven aan het eind van het thema. Onder tijdsdruk wordt vooral lestijd bespaard op de hoofdstukken 1, 2, 4 en 6. Onder andere door veel 'lezen' als huiswerk op te geven. In hoofdstuk 6 kunnen eventueel de par. 4, 6 en 10 vervallen. Aan hoofdstuk 7 wordt meestal maar 1 lesuur besteed, na een voorbereiding thuis.

Bijlage D7 geeft het lessenschema dat in een der proefscholen aan de leerlingen werd uitgereikt.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

HOOFDSTUK 1: ORIËNTATIE.

Uitwerking lessenplan

lesnr.	onderdeel
1	oriëntatie op de 5 HAVO-cursus oriëntatie op het thema "Materie"

Bedoeling

- terugblik op de 4 HAVO-cursus en vooruitblik op het werken in 5 HAVO.
- kennismaking met het begrip "fundamenteel onderzoek"
- oriënteren op het werk van natuurkundigen
- oriënteren op de opbouw van het thema en de manier van werken.

Leerlingactiviteiten

- luisteren naar de docent
- lezen en praten over de themavragen
- bestuderen van een tijdbalk

Didaktische aanwijzingen

- In de terugblik op de 4 HAVO-cursus kan aan de orde gesteld worden dat het daar ging om uiteenlopende toepassingen in het dagelijks leven. Kennis en vaardigheden uit het vak natuurkunde blijken bruikbaar te zijn op velerlei terrein. Je zou met de klas kunnen brainstormen over de onderwerpsgebieden uit de 4e klas thema's waar natuurkundigen werkzaam zijn, bijvoorbeeld bij vergelijkend warenonderzoek, bij het KNMI, bij de ontwikkeling van nieuwe muziekinstrumenten, bij onderzoek naar het gehoor, bij acoustisch onderzoek, bij het ontwikkelen van nieuwe geluidsapparatuur bij een TNO-instituut voor weg- of watertransport, bij een veiligheids-instituut, of bij de ontwikkeling van nieuwe elektromotoren of alternatieve energiebronnen.
- Daarna kan aan bod komen dat er ook natuurkundigen aan zogenaamde fundamenteel onderzoek werken. Hebben leerlingen enig idee waar dit wordt gedaan? NB: niet alleen in universitair of para-universitaire laboratoria, ook bij concerns als Philips, Unilever. Misschien kent een van de leerlingen iemand die dat soort werk doet.
- Ter ondersteuning of in plaats van de klassediscussie zouden de leerlingen ook in groepjes aan activiteit 1 kunnen werken.
- Laat de leerlingen de tijdbalk over vervoer bestuderen. In volgende hoofdstukken wordt met zo'n balk voor "Materie" gewerkt. Een 'invulbalk' is opgenomen als bijlage D8.
- In een toelichting bij de opzet van het thema kan de leraar wijzen op:
 - het geringe aantal proeven in dit thema en de redenen hiervoor;
 - de differentiële periode
 - de historische lijn in het thema (zie "plaats en karakter van het thema!")

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

HOOFDSTUK 2: ELEMENTEN EN ATOMEN: EEUWENOUDSE IDEEËN

<i>Uitwerking lessenplan</i>	
lesnr.	onderdeel
2	2.1 t/m 2.4
3	2.5 en 2.6

Bedoeling

- Kennismaken met oude ideeën over atomen en elementen
- inzicht krijgen in factoren die van belang zijn voor het succes van bepaalde theorieën
- reflectie over de betekenis van theorieën, modellen en systemen
- inzicht krijgen in de ontwikkeling van het denken over de bouw en de veranderlijkheid van materie
- een basis leggen om de betekenis van de ontwikkelingen in de natuurkunde rond 1900 te kunnen begrijpen.

Leerlingactiviteiten

- bestuderen van informatieve teksten
- vragen beantwoorden ter verwerking van deze teksten
- werken met een tijdbalk
- klassediscussie aan de hand van enkele opdrachten

Didaktische aanwijzingen

- 2.1 Uiteenzetting van de bedoeling van dit hoofdstuk. Het gaat er hier om dat de leerlingen inzien dat mensen al heel lang fundamentele vragen over de natuur om ons heen stellen. Er is niet alleen verwantschap met het heden in de vraagstellingen, maar zelfs in veel van de antwoorden.
- 2.2 Leerlingen moeten weten wat de 4 oerstoffen/elementen zijn en beseffen dat in de astrologie en anthroposofie nog veel van dit denken is terug te vinden. Het woord element heeft hier een bepaalde betekenis die anders is dan we er nu aan toekennen.
Verder wordt aandacht besteed aan de eigenschappen van de oerelementen en een eerste ordening van deze elementen op basis van deze eigenschappen. Aan de hand van de eigenschappen komt ook de veranderlijkheid van materie aan bod.
De vragen zijn ter verwerking van de tekst en hoeven niet alle gedaan te worden. De vragen 2 en 4 zijn het minst belangrijk.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

- 2.3 Bedoeld als kennismaking met de eerste atoomtheorie die een heel andere manier van kijken naar materie als basis heeft. Er vindt ook een eerste reflectie plaats over de aard van de Griekse theorieën: hun fantastische karakter, het wel-orderende, niet-bewijsbare ervan. Verder wordt verteld langs welke indirecte weg wij weten hoe de Griekse atomisten over materie dachten (uit de kritieken en lofzangen). (Zie ook bijlage I1.)
Vraag 1 is weer als verwerkingsvraag bedoeld.
- 2.4 Deze paragraaf laat de botsing zien tussen de twee theorieën. Diverse factoren speelden bij die botsing van ideeën een rol: aansluiting bij de belevingswereld, invloed van de kerk en het experimenteel niet in staat zijn een vacuüm te maken.
Desondanks bleef de atoomtheorie bestaan, overgedragen in geschriften van Arabieren en monniken zonder dat er veel aan werd veranderd. Leerlingen die geïnteresseerd zijn in dit wonderlijk voortbestaan van een weinig populair idee kunnen naar de literatuurlijst in deze AVOL worden verwezen (bijlage I7).
Door het "proefwerk uit het jaar nul" kunnen de leerlingen zich beter het conflict tussen de gangbare leer en de ketterij voorstellen. Ook wordt op deze wijze par. 2.2 t/m 2.4 gerecapituleerd.
- 2.5 Belangrijk in dit hoofdstuk is de invloed van nieuwe theorieën over mechanica en heelal op veranderingen in het denken over materie. Er is dus een samenhang tussen theorieën uit diverse deelterreinen van de natuurkunde. Ook ontwikkelingen in de scheikunde zijn van invloed, met name het toenemend belang van het experiment. Resultaat hiervan is het werk van Dalton. Leerlingen moeten nu ook leren wat het verschil is tussen een *element* en een *verbinding* en weten wat bedoeld wordt met *relatieve atoommassa*.
Opgaven 1 en 2 zijn bedoeld om te laten zien hoe de betekenis van de begrippen atoom en element is veranderd. Opgave 3 kan gebruikt worden voor een klassediscussie.
Opgave 4 recapituleert in proefwerkvorm het geleerde tot dan toe in het hoofdstuk.
- 2.6 Na het model van materie van Aristoteles is dit de volgende keer dat we stilstaan bij het proces van ordenen in de natuurkunde. Het zal niet de laatste keer zijn (zie bijlage I2).
Ditmaal gaat het over het tot stand komen van het periodiek systeem van elementen. We bevelen in de aandacht aan:
- de mogelijkheid die het bood elementen te voorspellen
- het "kloppen" van het systeem wat betreft de eigenschappen zonder dat duidelijk was waarom het "klopte".
De opgaven 1 en 2 zijn bedoeld als verwerking van deze paragraaf; 3 t/m 5 hebben betrekking op het gehele hoofdstuk.
In opgave 6 wordt voor het eerst met de tijdbalk gewerkt. Aan het eind van de hoofdstukken 3, 5 en 6 wordt deze activiteit voortgezet. (Zie ook bijlage D8.)

Antwoorden bij enkele opgaven

- 2.2 1. Het idee van het bestaan van oerstoffen is niet nieuw. Empedocles kiest voor 4 oerstoffen en combineert daarmee ideeën van voorgangers. Aristoteles legt de verbanden tussen deze oerstoffen in een model van het wereldbeeld en via de eigenschappen.
2. Vuur en water leveren lucht. Het koude van water verdwijnt door het vuur. De vochtige eigenschap blijft.
3. Bij de groei van een boom is vuur (zonlicht), water, aarde en lucht nodig. Bij de verbranding zorgt het vuur voor waterdamp, as (aarde) en rook (lucht).
4. Koud/vochtig versus warm/droog
5. Een aantal natuurverschijnselen waarbij combinaties van de 4 oerstoffen een rol spelen maken ook nu nog diepe indruk op mensen, bijv. ondergaande zon aan zee, onweer. We spreken over moeder aarde, een woedende zee, stille wateren, vurige tongen. Een mooie is ook Perk's uitspraak: "ik ben geboren uit zonnegloren en een zucht van de ziedende zee". In astrologie en anthroposofie spelen de 4 oude elementen nog steeds een belangrijke rol.
- 2.3 1. Verschillen in dichtheid kunnen samenhangen met verschillen in aantal en grootte van de atomen. Bij faseveranderingen verandert de beweging van de atomen waardoor ze zich van elkaar kunnen losmaken.
- 2.4 1. a t/m c volgens Aristoteles' ideeën
d volgens Democritus
e als bezwaar van Aristoteles tegen atoomtheorie.
- 2.5 1. Beide gaan uit van onveranderlijke en ondeelbare deeltjes (atomen). Dalton vond niet alleen verschillen van vorm en grootte maar ook qua aard van de deeltjes. Hij kon ook soorten onderscheiden. Volgens hem vinden atomen zich volgens combinaties in vaste verhoudingen.
2. Dalton legt verband tussen atomen en elementen. Elementen zijn een bepaald soort atomen en niet gekoppeld aan direkt waarneembare fenomenen als aarde, lucht etc.
4. e. in hoofdstuk 6 blijkt dat het ene element over kan gaan in het andere onder uitzending van radioactieve straling. Toen Rutherford dat ontdekte vreesde hij, evenals de alchemisten, te worden weggehoond. Splitsing en fusie zijn andere voorbeelden van processen waarbij elementen veranderen. Overigens hadden de alchemisten niet het idee dat het zó kon.
- 2.6 1. Helium, neon en argon: edelgassen. Deze reageren nauwelijks met atomen van andere elementen.
2. Vanwege het periodiek terugkeren van elementen met bepaalde eigenschappen in zijn systeem.
3. Zie 1 en 2 van par. 2.5
4. a. - elementen volgens Aristoteles
- elementen volgens Mendelejev (periodiek systeem)
b. overzicht en samenhang.
5. Grieken waren filosofen die in hun fantasieën over materie het hele wereldbeeld betrokken. De 19e eeuwers beperkten zich tot de "materiële" kant van materie en gebruikten veel experimenten om hun inzicht te vergroten.
6. a. bijv. atoom, element
b. Keuze uit werk van Empedocles, Aristoteles, Democritus, (Newton), (Copernicus), Dalton en Mendelejev.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

HOOFDSTUK 3. VAN ELEKTRICITEIT TOT ELEKTRON

Uitwerking lessenplan.

lesnr	onderdeel
	hw: lees par. 3.1
4	inleiding en demonstratie elektrostatika uitleg en studie "wet van Coulomb" demonstratie elektrisch veld hw: opgaven 2 en 3 van par. 3.2 maken
5	bespreking opgaven par. 3.3 eventueel demonstratie elektrolyse bespreking Q/m bepaling met elektrolyse hw: opg. par. 3.3, 1+2 maken
6	bespreking opgaven par. 3.4 demonstratie proeven 1, 2 en 3 en 5 hw: studie par. 3.4 en vraag 4 maken
7	par. 3.5 afleiding elektrische kracht op geladen deeltje par. 3.6 afleiding lorentzkracht op geladen deeltje demonstratie cirkelbaan; uitleg centripetale kracht
8	practicum par. 3.7 of par. 3.8 of vervangende activiteiten hw: uitwerking van de vragen in de aangewezen par.
9	rapportage, vergelijking en nabespreking hw: opgaven par. 3.10 maken
10	par. 3.9 bespreken nabespreking opgaven

Bedoeling

- Laten zien welke rol theorie en wiskundige verwerking ook honderd jaar geleden al speelden in het onderzoek naar de aard der materie.
- Aanreiken van de benodigde natuurkundige kennis voor het zelf kunnen uitvoeren van de proeven van Schuster en Thomson.
- De aard van kathodestralen opsporen.
- Uitvoeren en uitwerken van voornoemde proeven.
- Doen realiseren welke opschudding het elektron teweegbracht.

Leerlingactiviteiten

- Bestuderen en verwerken van de klassikale uitleg.
- Proef van Schuster of proef van Thomson mogelijk zelf doen, maar in ieder geval zelf uitwerken.
- Resultaten van proef, uitwerking en conclusie, rapporteren.

VEILIGHEID: Alle kathodestraalbuizen met koude kathode zijn verboden wegens het tijdens gebruik uitzenden van röntgenstraling!!!

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

Didaktische aanwijzingen.

- 3.1 Korte inleiding op de rol van elektrische verschijnselen op de kennis van en het onderzoek naar materie. Leesstuk.
De tabel "elektriciteit tot 1900" toont de verwevenheid van technische en theoretische vooruitgang.
- 3.2 De elektrostatika wordt in deze paragraaf summier aangestipt en wel alleen datgene dat functioneel is binnen dit thema. Het eerste deel, tot en met demonstratie 1, dient alleen om het bestaan van positieve en negatieve lading en hun onderlinge krachtwerking aan te tonen. De daarop volgende Wet van Coulomb geeft een berekening van die kracht voor één geval. Samen met het radiale elektrische veld wordt hier het voorwerk gedaan voor verstrooiingsproeven en voor elektronenbanen om kernen. De elektrische potentiaal blijft buiten beschouwing. Dit begrip is te moeilijk om binnen het gegeven tijdsbestek zinvol aan de orde te brengen en binnen de themavragen is dat ook niet nodig. Tenslotte wordt het homogene veld tussen twee platen gedemonstreerd ter voorbereiding op de proef van Thomson.
- Antwoorden op de opgaven:
- 1a. wordt kleiner - nul - en dan weer groter
 - b. als ongelijke ladingen samen worden gebracht kan het resultaat nul zijn. (althans minder dan elk afzonderlijk). Je kunt ze dus voorstellen als positief en negatief omdat het optellen van een positief en een negatief getal 0 op kan leveren.
 - 2a. Van A naar B, omdat een positief geladen bolletje door A wordt afgestoten en door B aangetrokken.
 - b. Tussen de platen, waar de veldlijnen evenwijdig lopen
 - 3a. afstotende kracht
 - b.
$$F_{el} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-8} \cdot 1,8 \cdot 10^{-9}}{0,12^2} = \frac{8,1 \cdot 10^{-7}}{0,12^2} = 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$
 - c. radiaal
 - d. naar A toe
- 3.3 Een korte kennismaking met elektrolyse. Functie: de bepaling van Q/m van ionen als voorbereiding op de resultaten van Schuster en Thomson rond het elektron. Daardoor blijkt later dat kathodestralen geen ionen kunnen zijn. Elektrolyse van een koperhoudende oplossing zou hier uitgevoerd kunnen worden. Aanwijzingen daarvoor staan in bijlage D6. Een werkelijke Q/m bepaling vraagt een nauwkeurige en tijdrovende meting. De kathode zou voor en na de proef droog moeten worden gemeten, of een correctie voor de Archimedes-kracht is noodzakelijk. Een eventuele demonstratie zou, ons inziens, het proces alleen kwalitatief moeten illustreren.
- Antwoorden op de opgaven:
- 2a. $I \cdot 3600 = 1,07 \cdot 10^7 \Rightarrow I = 2972 \text{ A}$.
 - 2b. Elektrolyse is slechts lonend als veel elektrische energie voor een lage prijs voorhanden is. Eind 19e eeuw was dagstroom goedkoper dan nachstroom omdat in het begin elektriciteit voornamelijk voor verlichting werd gebruikt.
 - 1a. - zolang de kathode in de vloeistof hangt werkt de Archimedeskracht, wat massabepaling bemoeilijkt.
 - de kathode moet droog zijn; de massa van een restje kopersulfaat verstoort de meting

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

- spoelen vóór drogen, omdat de opgeloste stoffen bij verdamping van het water achter zouden blijven.

b. $5 \times 60 \times 0,4 = 120\text{C}$

c. $120 : (40,5 \cdot 10^{-6}) = 2,96 \cdot 10^6 \text{ C/kg}$

3.4 In het kort worden enkele verschijnselen gedemonstreerd die optreden als "stroom" door gas of vacuum gaat (demonstraties 1, 2 en 3). Uit deze proeven en uit de beschrijvingen van proeven van Hittorf en Crookes volgt de term kathodestralen. Tenslotte wordt het "straalkanon" gedemonstreerd welke een nauwe, beter te onderzoeken, bundel levert. Variatie op de aangegeven proeven is mogelijk, afhankelijk van de beschikbare apparatuur. Hier start het speurwerk naar de aard van kathodestralen. Hou de spanning er in. Dat bleek in de klas veel beter te werken. Let op de huidige veiligheidseisen wat betreft toegestane voedingen en buizen.

Antwoorden:

- 4a. - de gloeikathode: bij lage buisspanning gaat er alleen stroom door de buis (in de stroomkring + pool $\rightarrow$ anode $\rightarrow$ kathode $\rightarrow$ -pool) als de kathode verhit wordt.
- de plaatsen waar het glas oplicht in de proeven van Hittorf en Crookes. In beide gevallen wordt het glas getroffen door "iets" dat van de kathode komt.
- b. kathodestralen maken transport van lading tussen anode en kathode mogelijk.
- c. negatief geladen deeltjes die door de kathode (-) worden afgestoten en door de anode (+) worden aangetrokken.
- 3.5 en 3.6 Bij de afleiding van de elektrische kracht en de lorentzkracht op (bewegende) geladen deeltjes wordt zoveel mogelijk aangesloten op relaties die bekend zijn bij elektrische stromen. Ook hier is de behandeling niet principiële van karakter (geen theoretisch fundament voor het begrip "potentiaal") maar puur gericht op toepassing in elektronenbuizen en later in versnellers. Aanbeveling: wijs hier steeds op terug. Wij hopen dat de koppeling met bekende relaties een snelle verankering van deze nieuwe relaties mogelijk maakt. Een klassikale presentatie met gebruik van enkele overheadsheets maar zonder een verdere theoretische uitwijding lijkt ons aan te bevelen. Het verwerkingsproces start hier kort en vindt verder plaats in de toepassingen en vragen van de paragrafen 3.7, 3.8 en 3.10 en in de hoofdstukken 5 en 6.
- 3.7 De cirkelstraalbuis wordt ook wel e/m-buis genoemd. Ons inziens foutief omdat de resultaten van Schuster en anderen met deze buis in het laatste kwart der negentiende eeuw juist NIET als bewijs voor het bestaan van elektronen werden aanvaard. Alleen daardoor is het begrijpelijk dat Thomson (naast Zeeman en Becquerel) vrij algemeen als ontdekker van het elektron te boek staat. (zie bijlage I3).
Leerlingen kunnen de experimenten zelf doen en aan de hand van de vragen uitwerken. Ook kunnen zij, uitgaande van de meetgegevens en vragen in bijlage D4, een uitwerking maken. Tenslotte is het mogelijk een computersimulatie van dit experiment te maken waar leerlingen meetresultaten uit kunnen halen en zelf verder verwerken (ons is nog geen geschikt programma bekend).
Na de uitwerking zal de leerling aan de hand van het slot van par. 3.7 (vanaf vraag 3) het resultaat in historisch perspectief moeten zetten.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

Rapportage-opdracht:

- presenteer en leg uit hoe de opstelling werkt en wat je hebt gemeten; (stel bijv. een overheadsheet met het schema van de opstelling ter beschikking);
- welke vergelijkingen heb je gebruikt in de uitwerking der resultaten;
- welke waarde van q/m heb je gevonden;
- leg uit waarom Schuster verbaasd was over deze resultaten en welke bezwaren hij tegen de meetmethode aanvoerde.

Antwoorden op de vragen:

3. (aangenomen dat q/m waarde redelijk is). q/m van het kathodestraal deeltje is veel groter (faktor 1000) dan van het waterstofion. Andere ionen hebben meer massa dan het H^+ ion en moeten dus een kleinere waarde van q/m hebben. Het kathodestraal-deeltje kan geen ion zijn.
- 4a. het kathodestraaldeeltje ontstaat op de kathode zonder beginsnelheid
- b. het deeltje zou langzamer gaan (omdat de door de elektrische kracht verrichte arbeid kleiner is over de resterende kortere weg).
- c. bij botsing zullen zowel de richting (anders) als de grootte (kleiner, omdat energie af is gegeven) van de snelheid van het kathodestraaldeeltje veranderen.
- d. $\frac{q}{m} = \frac{v^2}{2V_p}$ of $\frac{q}{m} = \frac{v}{B \cdot r}$. Als v kleiner is zou ook $\frac{q}{m}$ kleiner zijn. Als v erg veel kleiner is zou $\frac{q}{m}$ in de buurt van de waarden voor ionen komen.

N.B. Zie bijlage I-3 over Schusters' bedenkingen en hun weerlegging.

- 3.8 De hier gebruikte Thomson-buis afleiding is niet gebruikelijk maar wel historisch (zie ook par. 3.7).

Leerlingen kunnen de experimenten zelf uitvoeren en daaruit een waarde voor q/m afleiden met behulp van de vragen. In bijlage D5 staan meetgegevens en aanwijzingen voor eenzelfde afleiding. Ook hier is ons geen geschikte computersimulatie bekend, maar dat kan nog komen.

Rapportage opdracht:

- presenteer en leg uit hoe de opstelling werkt en wat je hebt gemeten; (Ook hier komt een overheadsheet met het schema van de opstelling goed van pas.)
- welke vergelijkingen heb je gebruikt in de uitwerking van de resultaten;
- welke waarde van q/m heb je gevonden;
- geef aan wat er zo bijzonder is aan Thomson's proef waardoor juist hij als ontdekker van het elektron te boek staat.

Het bepalen van de straal van de baan in de Thomsonbuis:

1. grafisch: - kopiëer het schermbeeld op ware grootte;
 - gebruik hoekmeting en goniometrische afleiding om r te bepalen: $\sin \phi = \frac{\frac{1}{2}AB}{r} \rightarrow r = \frac{AB}{2 \sin \phi}$;
 - gebruik transparanten van NIKHEF of CERN om straal te bepalen; deze transparanten worden o.a. gebruikt bij het analyseren van bellenvatfoto's (bijlage I9, I10).

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

2. wiskundig: (volgens G.R. Young in "Physics notes" dec. '82).

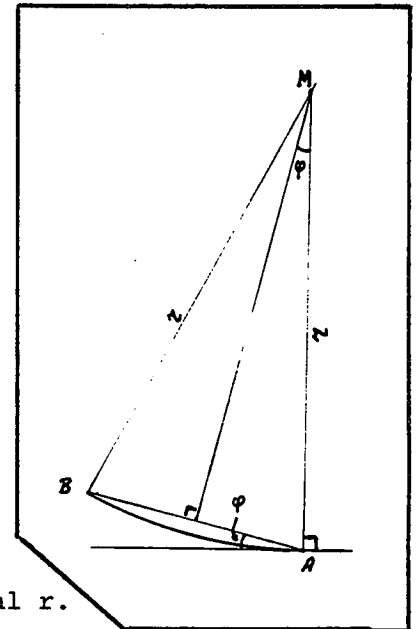
I then realized that three coordinates from the scale defines the equation of a circle and so the radius can be found. A typical set of results is shown as follows:

Coordinates (0,0); (3,1); (7,2)
 General equation $x^2 + y^2 + 2gx + 2fy + C = 0$
 All three coordinates satisfy equation
 From (0,0) we find that $C = 0$
 From (3,1) $9 + 1 + 6g + f = 0$ (1)
 From (7,2) $49 + 4 + 14g + 4f = 0$ (2)
 Multiplying (1) by 4 and subtracting we have

$$\begin{aligned} 12g &= 33 \\ g &= 5/16 = 0.31 \end{aligned}$$

Substituting in (1) we obtain $f = -11/4 = 11.1$
 Radius $R = \sqrt{g^2 + f^2 - C} = \sqrt{(0.31)^2 + (11.1)^2}$
 $= 11.1 \text{ cm.}$

Since the scale divisions are in cm
 $R \approx 0.11 \text{ m}$ (coordinates are measured to 2 significant figures only)



Toelichting: algemene cirkelvergelijking is

$$(x + g)^2 + (y + f)^2 = r^2$$

Voor een cirkel met middelpunt $(-g, -f)$ en straal r .

$$\Rightarrow x^2 + 2gx + y^2 + 2fy + g^2 + f^2 = r^2.$$

Young stelt $g^2 + f^2 - r^2 = C$ en dus $r = \sqrt{g^2 + f^2 - C}$.

3.9 Een kort overzicht van de bijzondere eigenschappen en mogelijkheden van het elektron, bedoeld als leesstuk. Eventueel kan dit aangehaald worden bij nabespreking en discussie van de rapportages.

3.10 Antwoorden:

1a. 1830 Faraday 1860 Plücker 1875 Hittorf and Crookes 1884 Edison 1886 Goldstein 1895 Perrin 1896 Wien

b. Zo gauw de elektronen voldoende kinetische energie hebben gekregen zijn zij in staat gasatomen in de ruimte tussen anode en kathode te ioniseren. De atomen waaruit negatieve elektronen zijn weggeslagen blijven als positieve ionen achter. Deze ionen worden naar de negatieve kathode getrokken. Sommige ionen zullen door het gat in de kathode gaan en zijn als "anodestralen" waar te nemen.

c. - wat zijn de andere basisbestanddelen van materie?
 - hoe is een atoom opgebouwd.

2. De buis is niet voorzien van gloeiende kathoden. Alleen met behulp van een hoge spanning (V_1) is het mogelijk elektronen los te maken en te versnellen van K_1 naar A_1 . Onderweg zullen sommige elektronen tegen gasatomen botsen en deze kunnen ioniseren. De daarbij ontstane positieve ionen zullen ook een kracht in de richting van K_2 ondervinden. De oorspronkelijke en de vrijgemaakte elektroneën, die na de botsing in allerlei richtingen kunnen bewegen, zullen voor een deel naar A_2 worden getrokken. Al met al ontstaat er zodoende ook ladingtransport tussen K_2 en A_2 .

3a.

b. de kinetische energie van de elektronen wordt omgezet in warmte.

$$c. E = N \cdot \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$d. \frac{E}{Q} = \frac{N \cdot \frac{1}{2} m \cdot v^2}{N \cdot q} = \frac{mv^2}{2q} = \frac{3,6 \cdot 10^{-1}}{1,1 \cdot 10^{-2}} = 3,27 \cdot 10^3 \text{ J/C} \quad \frac{mv^2}{q} = 6,54 \cdot 10^3$$

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

$$e. \frac{mv^2}{r} = B \cdot q \cdot v \Rightarrow \frac{mv^2}{0,20} = 1,17 \cdot 10^{-3} \cdot q \cdot v$$

$$f. v = \frac{mv^2}{q} \cdot \frac{1}{0,20 \cdot 1,17 \cdot 10^{-3}} = \frac{6,54 \cdot 10^3}{0,20 \cdot 1,17 \cdot 10^{-3}} = 2,8 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

$$g. \text{ uit de eerste vergelijking (d): } \frac{m \cdot (2,8 \cdot 10^7)^2}{q} = 6,54 \cdot 10^3$$

$$\frac{m}{q} = 8,34 \cdot 10^{-12} \Rightarrow \frac{q}{m} = 1,2 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$$

4a. de bovenste plaat positief

$$b. \frac{e \cdot V_a}{d} = m \cdot g \Rightarrow V_a = \frac{d \cdot m \cdot g}{e} = \frac{0,02 \cdot 9,81}{1,76 \cdot 10^{11}} = 1,1 \cdot 10^{-12} \text{ V.}$$

c. de werkelijk gebruikte afbuigspanning in de proef van Thomson is in de orde van 100V, dat wil zeggen 10^{14} keer zo groot; in de proef van Thomson zijn de optredende elektrische kracht en de lorentzkracht globaal 10^{14} x zo groot als de zwaartekracht op het elektron.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

HOOFDSTUK 4: VIER NATUURKUNDIGEN ROND 1900.

<i>Uitwerking lessenplan.</i>	
lesnummer	onderdeel
11	- bedoeling uitleggen - in groepjes/paragraaf lezen - vragen uit 4.1 beantwoorden
12	- rapportage van de groepjes aan de hand van de vragen - klasediscussie

Bedoeling.

- Kennismaking met leven en werk van vier toonaangevende natuurkundigen rond 1900
- inzicht verwerven in de menselijke kant van het bedrijven van natuurkunde.
- inzicht verwerven in de rol van samenwerking met anderen bij natuurkundig onderzoek
- voorbeelden leren kennen van de manier waarop een bepaalde tak van de natuurkunde zich heeft ontwikkeld door bijdragen van verschillende onderzoekers.

Leerlingactiviteiten.

- leren van een biografische paragraaf
- beantwoorden van vragen
- bijdrage leveren aan klasediscussie

Didaktische aanwijzingen.

- Het verdient aanbeveling de uitleg van de bedoeling van het hoofdstuk aan het eind van een voorafgaande les te geven. Dan kunnen groepjes worden gevormd en de paragrafen worden verdeeld. Eerste lezing kan dan thuis geschieden.
Elke groepje kan dan in de volgende les de vragen beantwoorden en de rapportage aldus voorbereiden. Laatste les als gepland.
- Het gaat er bij dit hoofdstuk uiteraard niet om biografieën uit het hoofd te leren, wel om een keer stil te staan bij de manier waarop natuurkundige kennis tot stand komt. Bij de toetsing van dit hoofdstuk zou meer gelet moeten worden op de kwaliteit van het werk van de diverse groepjes dan op het afvragen in een toets van feitelijke kennis.
- De literatuurlijst (bijlage I9 in deze handleiding) verwijst naar boeken waarin meer biografische informatie is te vinden over elk van de onderzoekers. Er blijkt relatief het meest geschreven te zijn over Madame Curie en Rutherford. Soms zijn de boeken geschreven door adepten die ze als heiligen afschilderen. We hebben geprobeerd dat te voorkomen in de diverse paragrafen alhoewel we afhankelijk waren van een beperkt aantal bronnen.

- Een voorbeeld van de romantisering rond Madame Curie is te vinden in onderstaande aankondiging van een schooluitzending over Madame Curie op 16 oktober 1939.

3029

OMROEPGIDS

MADAME CURIE¹⁸⁶⁷₁₉₃₄

Schooluitzending op Maandag
16 October te 2 uur n.m.

Een leven, rijk aan groote gebeurtenissen, ontroft zich aan ons oog. Marie Sklodowska, zoo is haar eigen Poolsche naam, werd als dochter van een bekwaam leeraar aan het Warschausch gymnasium en van een teringachtige, vrome moeder in Warschau geboren. Deze stad behoorde toen aan Rusland. Op 24-jarigen leeftijd ging ze naar Parijs, om daar wis- en natuurkunde te gaan studeeren. In Frankrijk is ze gehuwd, heeft ze gewerkt, is er beroemd geworden en ook gestorven en begraven.

In het ouderlijk huis ondervond ze veel liefde van haar moeder, die vroeg stierf en van haar vader, die haar met zijn beste zorgen omringde. Op school muntte zij uit door vlug begrip en trouw geheugen. Maar over haar jeugd hangt als een donkere wolk het feit, dat het Poolsche volk door het Russische onderdrukt werd. In haar tweede vaderland, Frankrijk, heeft zij veel geluk gevonden, doch de smart is haar niet gespaard gebleven.

Het groote feit uit haar leven is de ontdekking van het metaal radium. Radium is een zeldzaam metaal, veel en veel zeldzamer dan

goud of platina. Maar de eigenschap, dat dit metaal stralen kan uitzenden, zoo maar, zonder dat men er aanvankelijk een oorzaak voor aangeven kon, dat bracht de geleerde menschen uit die dagen in verwarring.

Warme lichamen kunnen ook stralen uitzenden, denk maar aan een warme kachel. Op een kleinen afstand voelt men die straling duidelijk. De zon zendt lichtstralen uit, die ons oog treffen en die wij kunnen waarnemen, zelfs op den grooten afstand, dien wij van de zon verwijderd zijn.

Onder zeer bijzondere omstandigheden kan een lichaam Röntgenstralen uitzenden. Deze hebben een groot doordringingsvermogen. Een dun stuk zwart papier kan lichtstralen tegenhouden, doch Röntgenstralen gaan door zwart papier heen, door hout en zelfs door ons lichaam. Onze beenderen zijn minder doorlaatbaar dan de weke deelen van ons lichaam en geven daardoor bij bestraling op een foto duidelijke schaduwen. Radium zendt stralen uit, die nog grooter doordringingsvermogen hebben dan Röntgenstralen. Bovendien hebben ze, voorzichtig toegepast, geneeskrachtige werking. Kanker, die nog in het beginstadium is, kan er door genezen worden.

Dit feit vooral heeft Madame



Madame Curie op hoogen leeftijd.

Curie, de ontdekker van het radium, wereldberoemd gemaakt.

Over haar jeugd en haar studie, over haar taaië volharding bij het zoeken naar de geheimzinnige stof radium, over het energiek nasporen van de eigenschappen dezer stof, over het tragisch sterfgeval van haar man, over den roem, die haar meer verdriet dan vreugde gaf, over haar werk in oorlog en vrede, over haar armoede en rijkdom hoop ik te spreken. Ik zal alle geleerde dingen uiteraard vermijden en hoop, dat de kinderen, evenals wij, ouderen, onder den indruk komen van dit rijke leven, dat opging in den dienst der wetenschap, tot heil der menschheid.

H. SCHILP.

Leiden, September 1939.

- Waarom is de keus gevallen op deze onderzoeken:
 - Thomson: zijn werk komt al aan bod in de hoofdstukken 3 en 5 (ontdekking van het elektron; atoommodel); hij heeft op allerlei momenten een rol gespeeld in het werk van Rutherford.
 - Röntgen: de ontdekking van röntgenstraling is interessant vanwege de manier waarop die tot stand kwam en door de snelle maatschappelijke en wetenschappelijke reactie er op; de andere 3 onderzoekers zijn in de

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

richting van hun onderzoek hierdoor beïnvloed; werkte betrekkelijk geïsoleerd van anderen.

- Rutherford: een reus in de natuurkunde zowel door zijn eigen onderzoek als door zijn vermogen anderen te begeleiden; onderhield veel contacten met andere onderzoekers.
- Madame Curie: de eerste vrouw die in de natuurkunde een belangrijke rol speelde; interessanter door persoonlijk karakter dan Becquerel; er is veel over haar geschreven.

Andere overwegingen die bij alle 4 een rol spelen:

- ze houden zich met onderzoek naar materie bezig
 - ze hebben minstens één belangrijke ontdekking gedaan die aan leerlingen is uit te leggen
 - ze vertegenwoordigen werk uit diverse landen.
- In het hoofdstuk zijn geen aanwijzingen opgenomen over de manier waarop met de teksten wordt gewerkt. Het is niet perse noodzakelijk elke groep slechts één tekst te laten lezen. Een andere mogelijkheid is om elk groepje 2 teksten te laten bestuderen zodat ze zelf al een vergelijking kunnen maken. Wanneer voldoende tijd beschikbaar is zouden de leerlingen ook alle teksten kunnen lezen. Bezwaar is dat dan het differentiërende karakter van dit hoofdstuk verloren gaat.

Aanwijzingen bij de activiteiten.

- 1 en 4. De 4 paragrafen zijn te beknopt om een zeer grondige vergelijking mogelijk te maken. Wel bieden ze de mogelijkheid op een aantal punten overeenkomsten en verschillen te signaleren. Onderstaande tabel vergelijkt de 4 hoofdpersonen op een aantal punten.

	<u>Thomson</u>	<u>Röntgen</u>	<u>Rutherford</u>	<u>Madame Curie</u>
● geboren	1856	1845	1871	1867
● overleden	1940	1923	1937	1934
● land van vestiging	Engeland	Duitsland	Engeland + Canada	Frankrijk
● geboorteland	Engeland	Duitsland	N. Zeeland	Polen
● kinderen	1 zoon (fysicus)	geen	1 dochter	2 dochters (1 fysicus)
● karakter	- bescheiden - veel contact met anderen - goed geheugen - inspirerend	- streng - imposant - niet sociaal - niet vrolijk - nauwgezet	- zelfbewust - ambitieus - inspirerend - luidruchtig	- sober - wars van alle publiciteit - eigennuttig - moeilijk in de omgang
● persoonlijke tragedies	- ?	- WO-I bankroet - overlijden vrouw	- overlijden dochter	- overlijden echtgenoot - gezondheid - laster

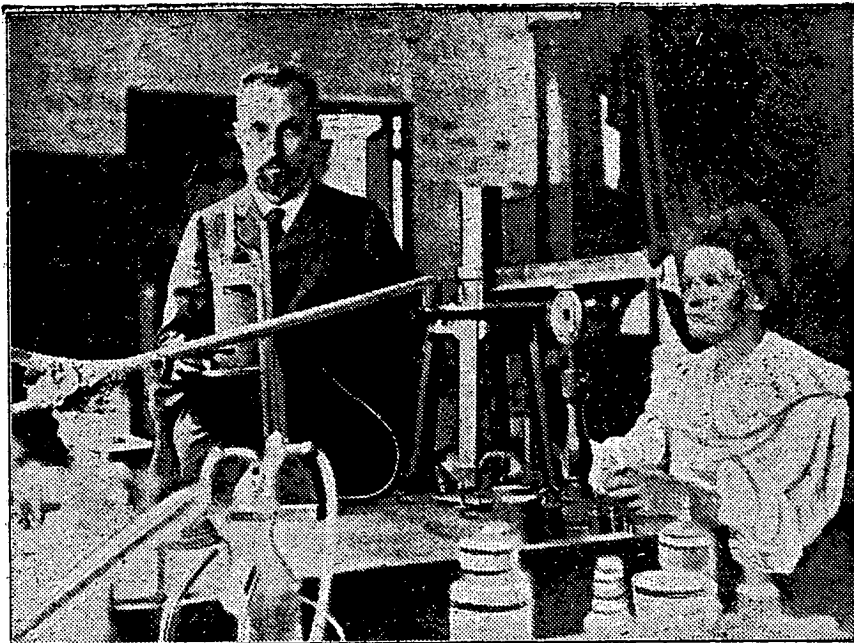
OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

	Thomson	Röntgen	Rutherford	Mad.Curie
• soort lab.	Cavendish (goed lab.)	voldoende uitgerust lab. Wuerzburg	goed lab. in Montreal Manchester Cambridge	schuur als werkruimte, pas laat eigen lab.
• gebruikte apparatuur	eenvoudig	eenvoudig	eenvoudig	eenvoudig
• rol van toe- val	neen	grotendeels	neen	neen
• rol van intuïtie	?	nauwelijks	groot	nauwelijks
• samenwer- king met anderen	veel	weinig	veel	met enkelen
• tijdens WO-I	overheids- adviseur onderwijs- zaken	- pro mili- tarisme - bankroet	defensie- onderzoek	medische ver- zorging oorlogs- slachtoffers
• Nobelprijs	1904	1901	1908	1903, 1911

2. Een definitie van een goed natuurkundige is natuurlijk niet te geven.
Uit de biografieën is te concluderen dat het volgende helpt:
 - hard en nauwgezet werken
 - geloven in een idee
 - samenwerken met anderen
 - scherp inzicht in wat nieuw is
 - een goed laboratorium verwerven en goede medewerkers aantrekken.
3. Wederzijdse beïnvloeding op de volgende punten:
 - Ontdekking van Röntgen is van invloed op de richting van het onderzoek van de 3 anderen.
 - Thomson is leermeester van Rutherford.
 - Thomson beveelt Rutherford aan in Canada.
 - Rutherford en Madame Curie spreken elkaar regelmatig en hun onderzoeken naar de radioactiviteit vullen elkaar aan.
 - Rutherford volgt Thomson op als directeur van Cavendish.
 - Madame Curie richt rijdende röntgencentra in tijdens WO I.
 - Rutherford's onderzoek geeft Thomson's atoommodel de doodsteek.
5. Voorbeelden van "transpiratie":
 - het zuiveren van radium is zwaar en tijdrovend werk
 - de ontdekking van een nieuw soort straling wordt pas opzienbarend na maanden hard werk om de eigenschappen vast te stellen.
 - het veronderstelde neutron wordt pas na 12 jaar zoeken gevonden.
6. - Röntgen bouwde voort op het vele werk aan kathodestralen van anderen in de 2e helft van de 19e eeuw.
 - Thomson maakte gebruik van vacuümtechnieken en van de resultaten van onderzoek naar magnetische afbuiging van kathodestralen.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

- Curie bouwde voort op het werk van Becquerel, die zelf weer gebruik maakte van Röntgen's werk.
- Rutherford baseerde zich ook op de ontdekking van radioactieve straling door Becquerel en maakte gebruik van de resultaten van de Curies (hij leende bijv. wat radium van hen voor zijn onderzoek).



BIJ DEN DOOD VAN MADAME CURIE. — Een foto uit de dagen toen Madame Curie, de pasgestorven eminente Fransche geleerde, nog assistente was van haar man, Pierre Curie (links).

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

HOOFDSTUK 5: VAN ELEKTRON TOT NEUTRON.

<i>Uitwerking lessenplan</i>	
lesnr.	onderdeel
13	hw 5.1 inleiding noodzaak atoommodellen Thomson model-proef en vraag 2 5.2 inleiding verstrooiingsproeven bespreking verwachting met puddingmodel bespreking Geiger en Marsden experiment modelproef verstrooiing
14	hw vraag 3 maken en 5.2 bestuderen huiswerk bespreken 5.3 proef van Millikan: studie en vragen maken
15	nabespreking vragen: invoering e en eV 5.4 inleiding kernsamenstelling vragen 1 en 2 maken proef van Joliot Curie/Chadwick hw vragen 3, 4 en 5 maken. Begin volgende les nabespreken

Bedoeling.

- Laten zien hoe betrekkelijk een (atoom-)model is, aan de hand van enkele van de modellen en verfijningen tussen 1897 en 1932.
- Laten zien hoe de bruikbaarheid van een model gekoppeld is aan de te beschrijven theorie of toepassing (zie ook "Lichtbronnen" en Bohr's noodzakelijke verfijning).
- De toenemende rol van theorie en wiskunde (statistische verwerking van Millikan) illustreren.

Leerlingactiviteiten.

- Bestuderen en verwerken van tekst en klassikale uitleg
- Statistische methoden toepassen binnen een natuurkundige context.

5.1 Wat betreft de modelproef: tot en met 5 magneetjes zal er een cirkelvorm ontstaan mits de wrijving met het schaalpje gering is, de onderlinge afstanden klein en magnetische krachten groot genoeg zijn. Een 6e magneetje kan, stabiel, in het midden worden geplaatst.

Antwoorden op vraag 2:

- 2a. Uit elektronen en op positief geladen massa.
- 2b. Aantallen elektronen en de overeenkomstige positieve ladingen én in de totale atoommassa.
- 2c. Nee. In dat geval zou de positieve atoommassa van een element deelbaar moeten zijn en daarvoor zijn nooit aanwijzingen gevonden.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

Wel kon een atoom een of enkele elektronen afstaan of opnemen en zodoende een ion vormen.

5.2 Deze paragraaf geeft een goed voorbeeld van het nut en het belang van de huidige automatische gegevensverwerking. Stel je voor, 1932, Marsden, student-assistent of misschien jong wetenschappelijk ambtenaar, zit daar weken achtereen door een microscoop naar flitsjes te turen; 1 op de 8000 buigt 90° of meer af. Hoe lang moeten zijn turflijsten niet geweest zijn om met enige nauwkeurigheid zo'n stelling te poneren? Hoe lang kan iemand door een microscoop turen zonder in slaap te vallen, zonder te zien wat er niet is of niet te zien wat er wel is? Nu zet je de zaak vol tellers of zet het trefplaatje midden in een dradenkamer; je gaat zelf koffie drinken en na één of twee dagen lees je de computer uit.

Geen wonder dat Geiger zo'n teller uitvond.

Kortom: een smeuge aankleding is nooit weg bij hoofdstukken die zo weinig variatie in werkvormen kennen.

Modelproef verstrooiing: wij zijn er niet in geslaagd het kegelmodel (potentiaalheuvel waarvoor $y = \frac{1}{x}$) goedkoop in massa te produceren. (Zie ook de apparatuurgids.) Eventueel kun je ook het alternatief uit de eerste versie van het thema gebruiken.

Verstrooiingsexperiment:

Probleem: "Hoe en hoeveel informatie kan ik via een verstrooiingsexperiment krijgen over iets wat ik niet kan zien".

"Opstelling": Neem een groot vel wit papier. Laat iemand in het midden een zwaar onbekend voorwerp neerzetten, dat zodanig afgedekt is dat je het niet kunt zien, maar dat je nog wel over het papier kunt "beschieten".
Neem als projectiel een "wonderballetje" of ping-pong balletje.

Uitvoering: Beschiet met dat balletje het onbekende voorwerp. Noteer daarbij steeds volgens welke baan het balletje in komt en hoe het wegvliegt. (Bijvoorbeeld door het met een kleurvloeistof te bevochtigen).

Gevraagd: Wat - vorm en eigenschappen - is het onbekende voorwerp?

Hoe zeker weet je dat?

Hoe kun je die zekerheid vergroten?

Hoe "werkt" een verstrooiings-experiment?

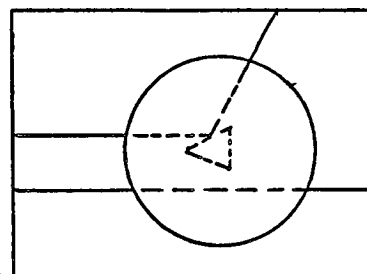


fig. 1.1 een voorbeeld van een verstrooiingsexperiment

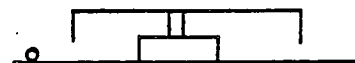


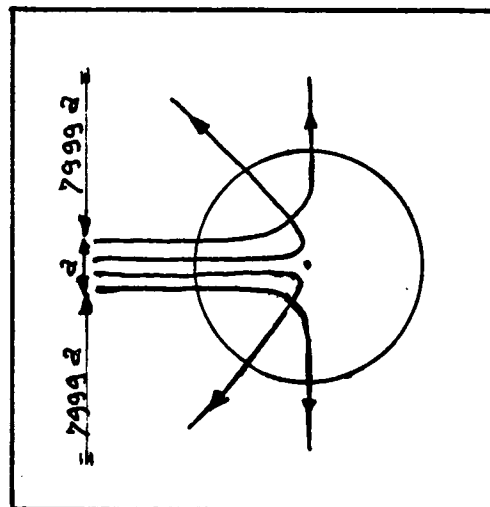
fig. 1.2

Antwoorden op de vragen:

2b. Per kegel zullen slechts die projectielen die door de corridor met breedte a . komen over 90° of meer worden afgebogen. De afstand tot de meest nabije corridors aan weerszijden moet $7999a$ zijn om aan

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

1:8000 eis te voldoen. Van de honderd corridors eindigt er maar één bij een kern op de voorste rij (aan de kant waar de projectielen vandaan komen). Bekijken we alleen de voorste rij dan moeten twee buurkernen 800.000 a uit elkaar liggen. Indien $a = 2 \text{ cm}$, dan ligt de volgende kegel 16 km ver weg. Het totale trefplaatje zou 1600 km dik zijn indien het door dit soort kegels weergegeven werd.



3a. Coulombkracht $F_{el} = \frac{1}{r^2}$

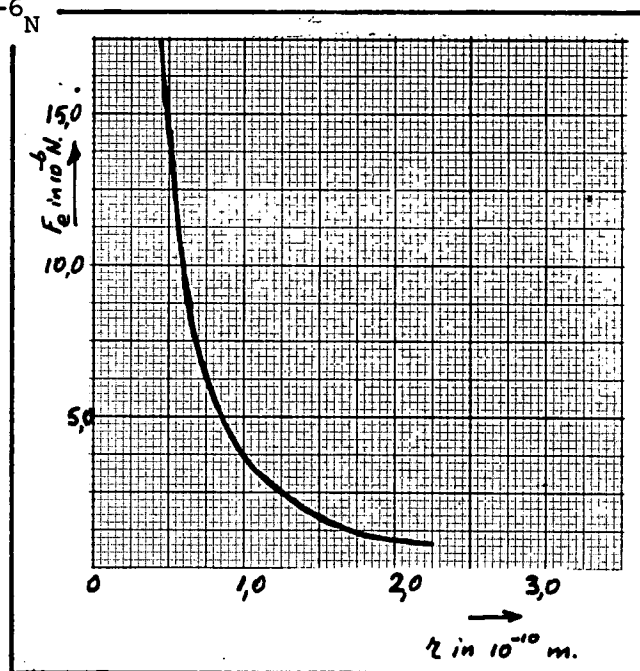
$$r = 1,0 \cdot 10^{-10} \text{ m} \rightarrow F = 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ N}$$

$$r = 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ m} \rightarrow F = 14,4 \cdot 10^{-6} \text{ N}$$

$$r = 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ m} \rightarrow F = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ N}$$

$$r = 2,0 \cdot 10^{-10} \text{ m} \rightarrow F = 0,9 \cdot 10^{-6} \text{ N}$$

- b. De snelheid verandert alleen van grootte en niet van richting, omdat de kracht precies tegengesteld aan de oorspronkelijke bewegingsrichting is gericht. De snelheid neemt af tot nul, waarna het deeltje zich weer zal verwijderen (evt. kun je hier zeggen dat kinetische energie overgaat in potentiële energie en later weer in kinetische energie - op het begrip elektrische potentiaal zouden we echter niet in gaan).



5.3 Millikan vooraf: in deze paragraaf is de statische versie van Millikan's proef beschreven, waarbij de spanning wordt gevarieerd tot het geladen druppeltje stil staat.

Millikan's uiteindelijke bepaling van e is gedaan met een dynamische variant. Daarbij gebruikte hij een vaste spanning die aan en uitgeschakeld werd, waarbij het druppeltje respectievelijk omhoog en omlaag bewoog. Uit de valbeweging met constante snelheid volgde de massa van het druppeltje. Na inschakeling van de spanning werd de constante stijgsnelheid gemeten, waarbij de elektrische kracht werd gecompenseerd door zwaartekracht en wrijvingskracht.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

Ter inleiding kan een modelproef vertoond worden zoals hieronder weergegeven (Natuurkunde..... doen, deel 4, blz. 12).

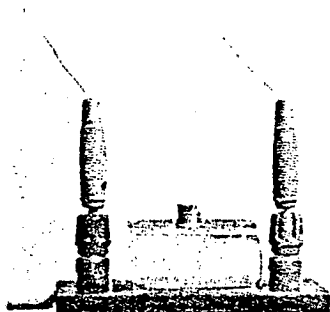
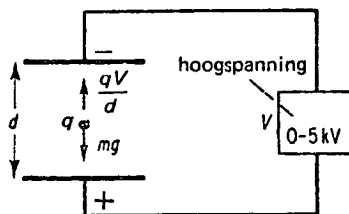


Fig. 12



Demonstratie 1.6. Voor dit model heb je een klein doorzichtig plastic doosje nodig. Bevestig op de bodem een plaatje messing en vervang het deksel door een soortgelijk plaatje. Maak in het deksel een opening met een opstaande rand, zodat het doosje met vloeibare paraffine gevuld kan worden (Fig. 12). Voeg daarna enkele tientallen korrels fijn zand toe en bestudeer hun bewegingen met behulp van een 35 mm projector.

(1) Zet een hoge spanning (ongeveer 5000 V) op de platen tot de zandkorrels vrij in de cel bewegen. Schakel de spanningsbron uit. Wat gebeurt er? Bewegen alle korrels in dezelfde richting? Verklaar dit. Hebben ze allemaal dezelfde snelheid? Is de snelheid van elk korreltje bij benadering constant?

(2) Schakel de hoogspanning weer in. Bewegen alle korrels in dezelfde richting? Zijn ze geladen? Welke aanwijzingen heb je voor de juistheid van je antwoord? Als ze geladen zijn, waardoor is dat dan gekomen? Bewegen ze met verschillende snelheden? Waardoor? Wat gebeurt er als je het potentiaalverschil tussen de platen verandert? Hoe komt dat?

(3) Houd één bepaald korreltje in het oog en probeer het halverwege tussen de platen te laten stilstaan. Hoe kun je dit doen? Hoe groot is de gravitatiekracht op het korreltje? Welke omhooggerichte krachten werken erop? Zijn deze krachten gecompenseerd als de korrel stilstaat? Wat zou er met zo'n stilstaande korrel gebeuren als de lading ervan plotseling veranderd werd?

(4) Als er korrels in beide richtingen bewegen, keer dan de richting van het spanningsverschil om. Wat gebeurt er? Wat maak je hieruit op?

Als modelproef kan ook een computer-simulatie dienen, waaraan de valsnelheid kan worden gemeten en waarbij de spanning voor stilstand met een paddle kan worden ingesteld (Commodore 64 programma beschikbaar bij PLON; zie ook de apparatuurgids).

Uitwerking - leerlingen kunnen in groepjes of individueel de proef uitwerken aan de hand van tekst en vragen in het boek.

Antwoorden op de vragen:

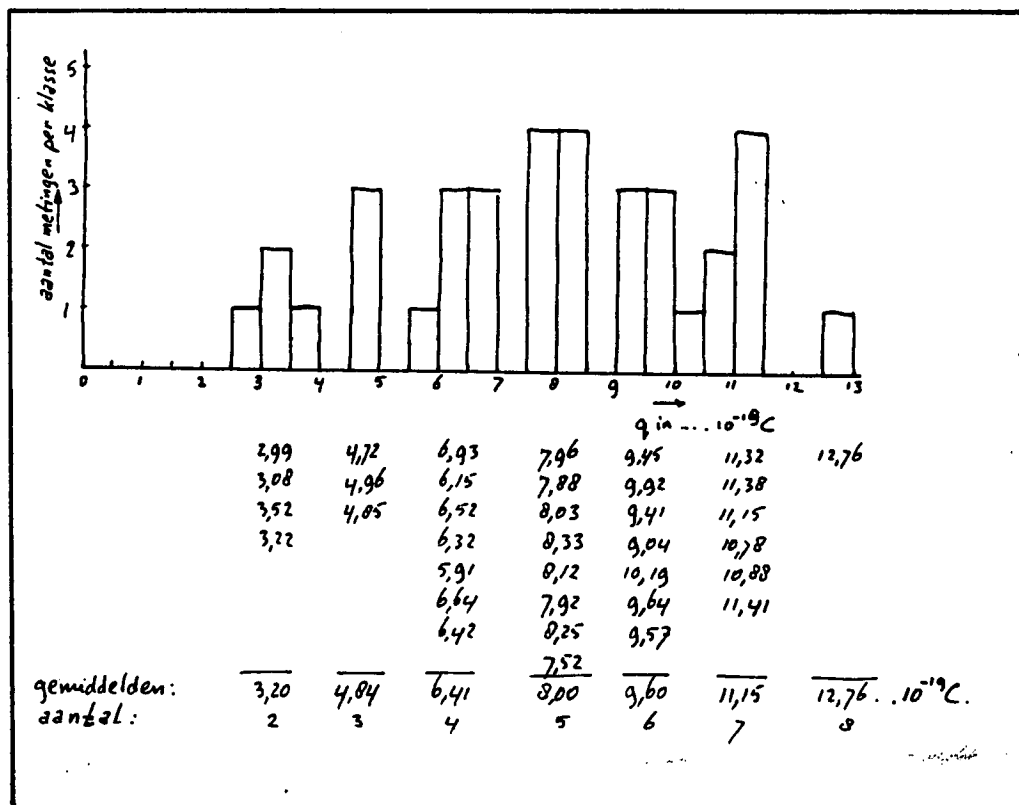
1a. Uit de valbeweging volgt F_z (functie van v)

Bij stilstand is $F_z = \frac{q \cdot V}{d}$, waarvan F_z , V en d bekend zijn.

$$b. q = \frac{d \cdot m \cdot g}{V} = \frac{16,0 \cdot 10^{-3} \cdot 9,42 \cdot 10^{-15} \cdot 9,81}{1,54 \cdot 10^3} = 9,6 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

2a.



- 2b. gemiddelde = $6,41 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ voor n elektronen.
 c. uit de grafiek volgen ruwweg gemiddelden van $3^{1/4}$, $4^{3/4}$, $6^{1/4}$, 8, $9^{1/2}$, $11^{1/4}$ en $12^{3/4}$. De verschillen zijn steeds $1^{1/2}$ à $1^{3/4}$.
 Precieze gemiddelden zijn achtereenvolgens uitgerekend en vermeld onder de grafiek.
 d. n = 4 voor de serie van vraag 2b.
 c. e = $1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

3a. $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$

$$m = \frac{1,60 \cdot 10^{-19}}{1,76 \cdot 10^{11}} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg.}$$

b. Volgens de wet van Coulomb moet $\frac{mv^2}{r} = 9 \cdot 10^9 \frac{e \cdot q_{\text{kern}}}{r^2}$

Daaruit volgt $v^2 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{e \cdot q_{\text{kern}}}{r \cdot m}$

$$v = \sqrt{9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{0,5 \cdot 10^{-10}} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 2,25 \cdot 10^6 \text{ m/s.}$$

- 4a. Uit een positief geladen kern waar negatieve elektronen (als planeten om de zon) omheen draaien.
 b. De kern is een zeer klein en compact deeltje met hoge massa en met een grote, positieve lading.
 c. Elektronen (alle gelijk) en atoomkernen (zoveel soorten als er elementen bestaan).
 NB Paragraaf 4.4 geeft aan dat protonen zijn vrijgemaakt uit stikstof-

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

kernen en dat Rutherford in 1920 het bestaan van neutronen opperde.

Eventueel zou het antwoord op b. en c. kunnen zijn:

- b. de kern bestaat uit protonen, mogelijk in combinatie met elektronen, zodanig dat de totale kern evenveel positieve lading bevat als de elektronenwolk negatieve lading.
- c. protonen en elektronen (dus twee).

5.4 Voornamelijk lees- en doewerk. Eventueel klassikaal in te leiden en via discussie tot hypothesen over de kernsamenstelling zien te komen.

Antwoorden op de vragen:

1a. Natrium $Z=11$, $A=23$

b. Nee, want dan zou zowel de kernmassa als de kernlading eenzelfde aantal keren proton-massa en -lading moeten zijn.

c. 23 protonen + 12 elektronen in de kern $\rightarrow$ lading $+ 23e - 12e = +11e$
 11 elektronen in cirkelbanen $\rightarrow$ lading $-11e$
 lading totale Na - atoom $\frac{-11e}{0} +$

2a. Fluorescerende schermen, fotografisch materiaal

b. geen

c. geen coulombkracht. Andere?

Een neutron zal gemakkelijker tegen een kern botsen en er eventueel binnendringen.

3a. 4 protonen en 5 neutronen in de kern. Daaromheen 4 elektronen.

b. 6 protonen en 6 neutronen? Ofwel koolstof $^{12}_6\text{C}$

c. "Licht" botst tegen "zwaar" $\rightarrow$ invloed op "zwaar" is klein; "licht" heeft de neiging terug te kaatsen of wordt geabsorbeerd.

Botsing van neutronen tegen koolstofkernen heeft geen duidelijk effect. (Vergelijk pingpongbal tegen biljartbal.)

"Licht" botst tegen "even licht" $\rightarrow$ bij een centrale botsing, die bovendien elastisch is, stopt het neutron en vliegt het proton verder met zelfde vaart en richting. (Vergelijk biljarten.)

NB: Puur op grond van ervaring is hier voldoende, geen uitwerking met impuls- en energiebeschouwingen.

4a. J.J. Thomson in 1904.

b. Na de proef van Geiger en Marsden door Rutherford in 1911. Millikan, 1910. Overigens niets. Door scheikundigen en o.a. door Niels Bohr (zie lichtbronnen) is het ATOOM-model verder verbeterd.

c. Evt. Rutherford en Royds in 1909, anders 1919: vrijmaken van H-kern uit andere kernen.

d. Rutherford en Heisenberg, 1920, voorspelling neutron.

Joliot Curie en Chadwick, 1932, ontdekking neutron.

e. Onderzoek naar radio-activiteit (en naar licht - Bohr e.d.; en naar röntgenstraling - Mosely 1914).

5a. Neutronen en protonen.

b. Drie

c. Bestraling van trefplaatjes met allerlei soorten radio-actieve stralen, met röntgenstralen, met elektronenstralen of met andere, kunstmatig opgewekte straling.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

HOOFDSTUK 6: VAN NEUTRON TOT QUARK.

<i>Uitwerking lessenplan</i>	
Lesnr.	onderdeel
16	Introductie onderwerp, nagaan voorkennis, inleiding en kosmische straling (6-1, 6-2)
17	Eerste deel videoband (9 min.) lineaire versneller en synchrotron (6-3)
18	De werking van het bellenvat (6-4) Equivalentie van massa en energie, materie/antimaterie (6-5)
19	De vier basiskrachten (6-6) Eigenschappen van deeltjes (6-7) Een begin maken met het quarkspel (6-8)
20	Quarkspel afmaken en uitbreiding van model bespreken Tweede stuk van de videoband (15 min.)
21	Quarktheorie (6-9). Huidige stand van zaken met betrekking tot elementaire deeltjes (6-10)

Bij dit lessenschema zijn we ervan uit gegaan dat de leerlingen een paragraaf thuis al gelezen hebben, alvorens die in de les ter sprake komt.

De bedoeling van dit hoofdstuk.

Het is tot nu toe niet gebruikelijk in het natuurkunde-onderwijs in te gaan op de ideeën over de bouw van de materie, zoals die zich sinds de Tweede Wereldoorlog hebben ontwikkeld. Het atoom wordt traditioneel behandeld volgens de theorie van Bohr (vlak voor WO I), de kern volgens de theorie van de jaren dertig (neutronen en protonen), mogelijkheden van splijting en fusie. Dit hoofdstuk wil de leerlingen enig inzicht geven in:

- recente ideeën over deeltjes en krachten: quarks, leptonen, wisselwerkingsdeeltjes en de relatie tussen de vier basiskrachten;
- het werken met modellen;
- de relatie tussen energie en materie;
- de wijze waarop natuurkundigen onderzoek verrichten, bijv. schaal van het onderzoek, apparatuur, kosten.

ad a. Via de media wordt regelmatig gerapporteerd over de voortgang van het onderzoek naar materie. Het is de bedoeling dat de leerlingen na dit hoofdstuk beter in staat zijn om deze informatie te begrijpen en te waarderen. Verder hopen we dat ze inzien dat natuurkunde een dynamisch vak is, waarin nog steeds gezocht wordt naar de oplossing van fundamentele vragen. Daarmee relativeren we het vrij stabiele beeld dat via de gewone leerboeken meestal wordt overgedragen. Daarbij was het wel nodig veel vereenvoudigingen toe te passen en veel theorieën weg te laten. Zo gaan we niet in op een aantal eigenschappen van deeltjes (spin, impulsmoment, pariteit e.d.) en ook niet op ijktheorieën en het kleurbegrip van quarks.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

ad b. Natuurkundigen streven ernaar ordening te brengen in de vele informatie van de soms als chaotisch op ons afkomende natuur. Met behulp van een kaartspel laten we zien dat fraaie ordeningen in de veelheid van elementaire deeltjes aan te brengen zijn op basis van enkele eigenschappen. De symmetrische modellen die zo ontstaan hebben een soort schoonheid waarvan we hopen dat leerlingen daar ook iets van zullen proeven. Dat geldt ook voor de pogingen de modellen zo eenvoudig mogelijk te maken, zoals het treven naar een geunificeerde krachtentheorie en een zo klein mogelijk aantal elementaire deeltjes. We proberen de leerlingen enig inzicht te geven in de functie van ordenen en het werken met modellen in het proces van kennisverwerving.

ad c. Om te kunnen begrijpen waarom steeds grotere versnellers worden gebouwd is het noodzakelijk iets te weten over de relatie tussen energie en massa ($E = mc^2$). Het doel van de gigantische energie, die de versnellers aan de protonen en electronen geven, is immers om het mogelijk te maken dat nieuwe deeltjes worden gevormd uit dit surplus aan energie (en niet om de Coulombkracht te kunnen overwinnen). Zoals gebruikelijk in de hoge-energie-fysica drukken we de massa van deeltjes uit in MeV. Dat vergroot de vanzelfsprekendheid van de massa-energie relatie en maakt een vergelijking mogelijk met de maximum-energie die versnellers kunnen leveren.

ad d. De aard van het fysisch onderzoek is in de loop van deze eeuw aanzienlijk veranderd: van tamelijk kleinschalig onderzoek tot wat men wel geïndustrialiseerde wetenschap noemt (grote instituten, hoge kosten, zeer verfijnde apparatuur). Het lijkt ons goed dat leerlingen zich daarvan bewust worden. In hoofdstuk 7 gaan we daar nader op in.

Leerlingactiviteiten.

- het bestuderen van een tekst met klassikale uitleg of in groepjes
- de verwerking ervan in opgaven
- het oefenen van ordenen o.a. in het quarkspel
- het maken van een tijdbalk en er mee werken
- het bekijken van een videoband.

Didactische aanwijzingen.

1. Grote lijn.

Het aantal voor de leerling nieuwe begrippen in dit hoofdstuk is vrij hoog. Het risico dat de leerling door de bomen het bos niet meer ziet is dan ook vrij groot. Tijdens het werken aan het hoofdstuk moet de grote lijn, het zoeken naar nieuwe deeltjes en hun eigenschappen en het begrijpen van hun gedrag, dan ook benadrukt worden. Sommige paragrafen behandelen het onderzoek (versnellers, detectie) andere de theorie (quarks, $E = mc^2$), weer andere het proces van kennisverwerving (quarkspel, modelbegrip). Het lijkt verstandig de behandeling van de ontwikkeling in het onderzoek pas in de laatste paragraaf aan de orde te laten komen.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

2. Uitbreidingen.

- Oefening in het lezen van bellenvatfoto. Aan te vragen bij het NIKHEF te Amsterdam. Het stelt vrij hoge wiskundige eisen aan de leerlingen. Wel aardig als demonstratiemateriaal (bijlage I10).
- Bouwen van een driedimensionaal quarkmodel voor baryonen. Dat is ook een hulpmiddel voor leerlingen met slecht ruimtelijk inzicht (bijlage I10 punt 3).
- Aan de Universiteiten van Utrecht, Amsterdam en Groningen staan versnellers. Misschien kunnen die bezocht worden. In het Evoluon staat een groot Wilsonvat (wordt niet behandeld). De TH in Eindhoven en het ECN in Petten bezitten elk een cyclotron.
- Om informatie schrijven naar buitenlandse instituten (bijlage I11).
- Er is een aardig stripboek over elementaire deeltjes, bewerkt en uitgegeven door het NIKHEF (bijlage I10).
- De lerarenopleidingen hebben voor hun leerlingen lesteksten over elementaire deeltjes geschreven (bijlage I10).

3. Videoband.

Indertijd is bij de eerste versie van het thema "Materie" een videoband samengesteld uit gedeelten van TV-programma's. Deze band vormt een goede illustratie bij hoofdstuk 6, de ontwikkelingen sinds + 1960. Helaas is de kwaliteit van de band, technisch gezien, matig. Ons is, bij het ter perse gaan van deze AVOL, geen recenter of beter beeldmateriaal bekend. Wij hopen in de toekomst een alternatief voor de huidige band te produceren. Korte inhoud van de bestaande band:

- Overzicht van Fermilab-versneller en bellenvat; 4 min.
- CERN: kort interview van Hove; internationaal aspect; opslagringen p en $\bar{p}$; manier van werken en leven huidige onderzoekers 5 min.
- Introductie quarks, vreemde deeltjes en ordening; interview met Gell-Mann; ontdekking ϕ ; 5 min.
- Ting te Bookhaven en Richter te Stanford ontdekken het tover-deeltje J/ψ 10 min.
- Fermilab - eigen centrale - futuristische bouwstijl - dak van bierblikjes (leeg) - opvoeren van de versneller tot boven zijn grenzen; 3 min.
- CERN-SPS-degelijkheid
Korte flitsen nieuwe ontwikkelingen bij Fermilab, DESY, PEP en Isabelle 3 min.

Naar onze ervaring bevat de band een aantal storende impressies waardoor leerlingen niet alles even serieus nemen en afgeleid worden:

- Gell-Mann's uitleg over de herkomst van de term "quark" (naar James Joyce);
- bouwstijl en bierblikjes dak van Fermilab;
- de te korte flitsen aan het eind;
- het vlaamse commentaar;
- de kleuren zijn slecht (zwart-wit beeldscherm is aan te raden).

Met zou kunnen overwegen de laatste zes minuten weg te laten.

Meest aangewezen tijdstip voor gebruik: direct na de quark sorteeropdracht.

4. Aanwijzingen per paragraaf.

- 6-1 Inventariseer wat leerlingen al weten. Leerlingen hebben waarschijnlijk misschien foutieve, noties over de onderwerpen van dit hoofdstuk, bijv. omtrent quarks, $E = mc^2$.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

- 6-2 Het gaat er niet om dat de leerlingen het model van Rutherford als overbodig gaan beschouwen. Het gebruik van de verschillende modellen komt in de tijdbalk in par. 6-10 verder aan de orde.
- De bouw van de kern wordt in dit thema verder niet behandeld. Dat komt in het thema Ioniserende Straling aan de orde.
 - De fotografische plaat wordt in dit thema niet behandeld. Toch speelt deze een belangrijke rol in de studie van de kosmische straling.
Anecdote: In 1956 beklom Sir Edmund Hillary de Mount Everest. In zijn bagage vervoerde hij enkele fotografische platen, die op de top aan de kosmische straling blootgesteld moesten worden. Dat werd ook keurig gedaan, maar in de opwindende van het moment vergat hij ze later weer mee naar beneden te nemen.
 - De sterke (de soms zeer hoge energie) en de zwakke kanten (niet manipuleerbaar, vele soorten deeltjes) van kosmische straling als hulpmiddel moeten benadrukt worden. Zo wordt duidelijk waarom de grote versnellers gebouwd werden.
- 6-3
- We behandelen alleen de lineaire versneller en het protonsynchrotron, en niet het cyclotron (zie bijlage I4). Redenen hiervoor zijn:
 - a. cyclotrons spelen geen grote rol meer bij het onderzoek naar elementaire deeltjes (nog wel een bescheiden rol bij het kernfysisch onderzoek en bij medische toepassingen).
 - b. de lineaire versneller en het protonsynchrotron liggen als het ware in elkaars verlengde.
 - Laat de verschillende rol van elektrische en magnetische velden in een protonsynchrotron goed uit de verf komen.
 - De rol van de opslagringen bij de CERN is in het thema niet toegelicht (bijlage , LIT 17). Dat zou het geheel nog ingewikkelder gemaakt hebben. Documentatie over versnellers kan aangevraagd worden via NIKHEF, CERN of andere buitenlandse versnellers (bijlage I11).
- 6-4
- We hebben gekozen voor behandeling van het bellenvat, en niet voor het Wilsonvat, de fotografische plaat en de vonkenkamer (bijlage , Lit 18, 19). De beperkte tijdsruimte maakt een dergelijke keuze noodzakelijk. Op de volgende pag. is een foto uit een vonkenkamer afgedrukt.
 - Eventueel kan, als er een Wilsonvat in de school aanwezig is, het Wilsonvat na het bellenvat behandeld worden, zodat het experiment toch gedaan kan worden. Dat kan alleen als er meer dan zes lessen voor het hoofdstuk uitgetrokken worden.
 - Het uitmeten van foto's hebben we niet opgenomen als leerlingactiviteit in deze paragraaf. Dat zou meer tijd vragen dan naar ons idee gerechtvaardigd is. Wel lijkt ons belangrijk dat de leerlingen inzien welke soort informatie over deeltjes uit de foto's kan worden afgeleid. Leidende gedachte moet naar ons idee zijn dat informatie over iets dat niet direct valt waar te nemen, toch kan worden verkregen door sporen te laten ontstaan en dan achteraf na te gaan wat er gebeurd is.
- 6-5
- Bij de bedoeling van dit thema is al aangegeven waarom kennis omtrent equivalentie van massa en energie nodig is om de werking van de grote versnellers te begrijpen. Met name de vraag waarom er een steeds toenemende energie nodig is komt daarbij aan de orde.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

- De energie van een deeltje in een versneller kan relativistisch worden beschreven met

$$E = m_0 c^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

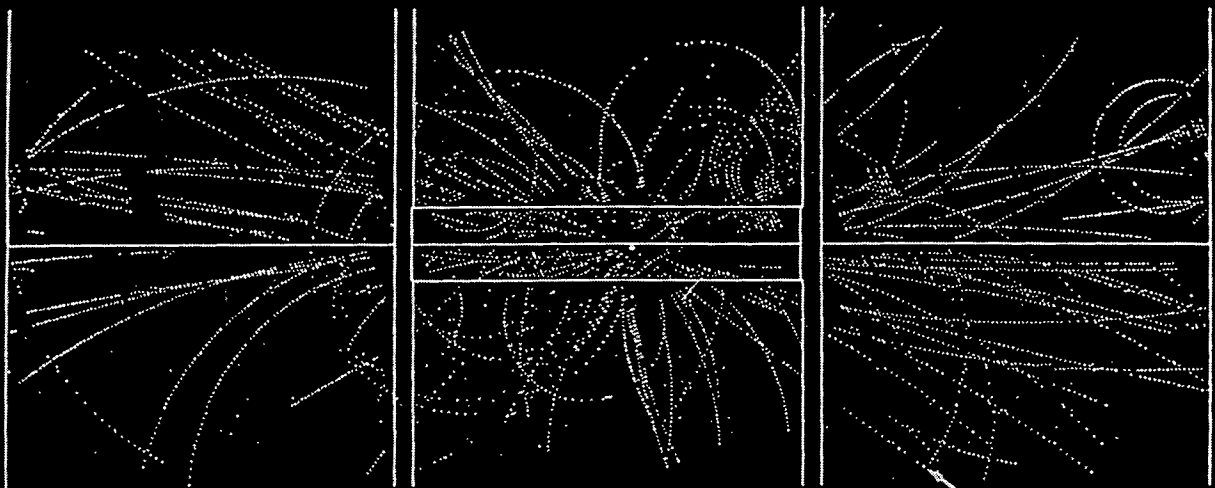
Als dat uitgeschreven wordt in een benaderingsreeks levert dat

$$E = m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2 + \dots$$

De energie van zo'n deeltje wordt dus niet beschreven met

$$E = mc^2 + \frac{1}{2} mv^2.$$

EVENT 2958. 1279.



- 6-6 - Benadruk dat er in het dagelijks leven een zeer groot aantal krachten te vinden zijn en dat die eigenlijk alle terug te voeren zijn tot de zwaartekracht en de electromagnetische kracht. Het is aardig om in de klas eens uit te proberen of die herleiding lukt. Daarbij moet wel eerst aandacht besteed worden aan de vereniging van de elektrische en de magnetische kracht. Dat is nog niet eerder in een thema gebeurd (bijlage , Lit 22).
- 6-7 - De bedoeling van deze paragraaf is te laten zien dat met de komst van energierijke versnellers in de jaren vijftig veel nieuwe deeltjes gevonden werden. Van elk deeltje waren wel eigenschappen bekend maar een patroon waarbinnen deze eigenschappen pasten, ontbrak.
- We behandelen alleen enkele eigenschappen van deeltjes: massa, lading, gemiddelde levensduur en invloed van krachten. Vreemdheid komt in de volgende paragraaf ter sprake. Andere eigenschappen laten we weg omdat

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

ze niet direct nodig zijn voor het globale beeld dat wij willen schetsen en omdat die nogal abstract van aard (bijlage , Lit 21) zijn.

- Met elementaire deeltjes wordt bedoeld: deeltjes die zo eenvoudig mogelijk zijn en niet uit andere deeltjes zijn opgebouwd. Merk op dat deeltjes die eerst als elementair werden beschouwd bij nader inzien toch weer uit andere deeltjes blijken te zijn samengesteld. Op de vraag wat een echt elementair deeltje is, weet men nog geen antwoord.
- In een kader beschrijven we het Griekse alfabet. Op dit overzicht kunnen de leerlingen terugvallen, als ze niet meer weten hoe een Griekse letter wordt geschreven of uitgesproken.
- De baryonen, mesonen en leptonen zijn met een ezelsbruggetje gemakkelijk te onthouden:

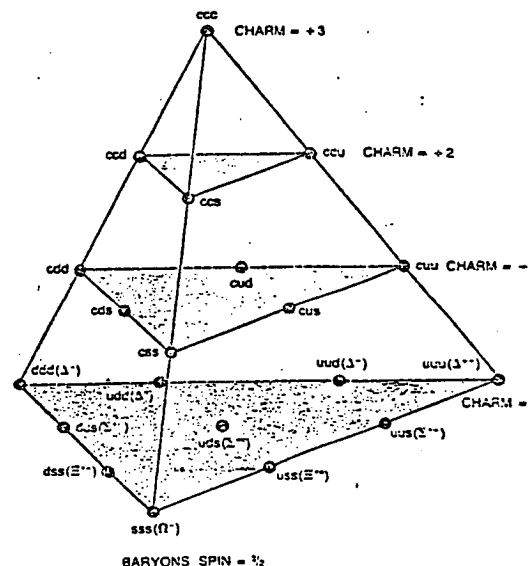
<u>l</u> eptonen	- <u>l</u> ichte deeltjes
<u>m</u> esonen	- <u>m</u> iddelzware deeltjes
<u>b</u> aryonen	- <u>k</u> linkt ook <u>z</u> waar

6-8 Het begrip "ordenen" is voor leerlingen niet zonder meer duidelijk, daar moet eerst aandacht aan besteed worden met een aantal voorbeelden van al bekende ordeningen.

Het kaartspel is in dit thema opgenomen.

- a. om leerlingen meer vertrouwd te maken met de verschillende deeltjes,
- b. om leerlingen zelf te laten ervaren dat het mogelijk is de deeltjes te ordenen middels symmetrische patronen;
- c. om te laten zien dat de quarktheorie een aannemelijke hypothese is in het licht van de ordening van deeltjes.

Ervaringen met proefpersonen hebben aangetoond dat mensen op uiteenlopende manieren de diverse orderingsopdrachten uitvoeren. Sommigen kijken alleen maar, net zo lang tot ze een patroon bedacht hebben. Anderen beginnen terstond te schuiven met de kaartjes. De tijd waarbinnen de opdrachten vervuld worden, loopt sterk uiteen. Af en toe een aanwijzing geven kan de tijdsduur aanmerkelijk bekorten.



OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

Opdracht 2 levert een driehoek op. Die kan er bijvoorbeeld als volgt uit zien.

$$\begin{array}{ccccccc} \overline{\Sigma}^- & \overline{\Sigma}^0 & & & & & \\ \Sigma^- & \Sigma^0 & \Sigma^+ & & & & \\ \Delta^- & \Delta^0 & \Delta^+ & \Delta^{++} & & & \end{array} \quad \begin{array}{l} (s = -2) \\ (s = -1) \\ (s = 0) \end{array}$$

Het Ω -deeltje werd met deze ordening voorspeld en in 1962 gevonden. Het zit dan ook bij de blauwe kaartjes.

Opdracht 3.

Door het ontdekken van een nieuwe quark werd de driehoek een piramide. Wijs erop dat er in die piramide vlakken aangewezen kunnen worden van gelijke lading of gelijke vreemdheid.

Opdracht 4.

Ondanks de opmerking "het hoeft geen driehoek te zijn" kan het nog voorkomen dat het veel moeite kost de driehoek te verlaten. Een enkele hint zal dan wel voldoende zijn om op het goede pad te geraken.

Een mooie ordening is bijvoorbeeld:

$u\bar{u}$	$d\bar{d}$	$s\bar{s}$	.	.	
$u\bar{d}$	$d\bar{d}$	$s\bar{s}$	.	.	
$u\bar{s}$	$d\bar{s}$	$s\bar{s}$	.	.	
.	.	.	$c\bar{c}$	.	
.	.	.	.	$b\bar{b}$	

De nieuwe quarks kunnen gemakkelijk in het model gepast worden. Als extra opdracht kan het voorspellen van de eigenschappen van nog onbekende deeltjes gegeven worden. Laat ze voor zo'n deeltje een eigen naam verzinnen.

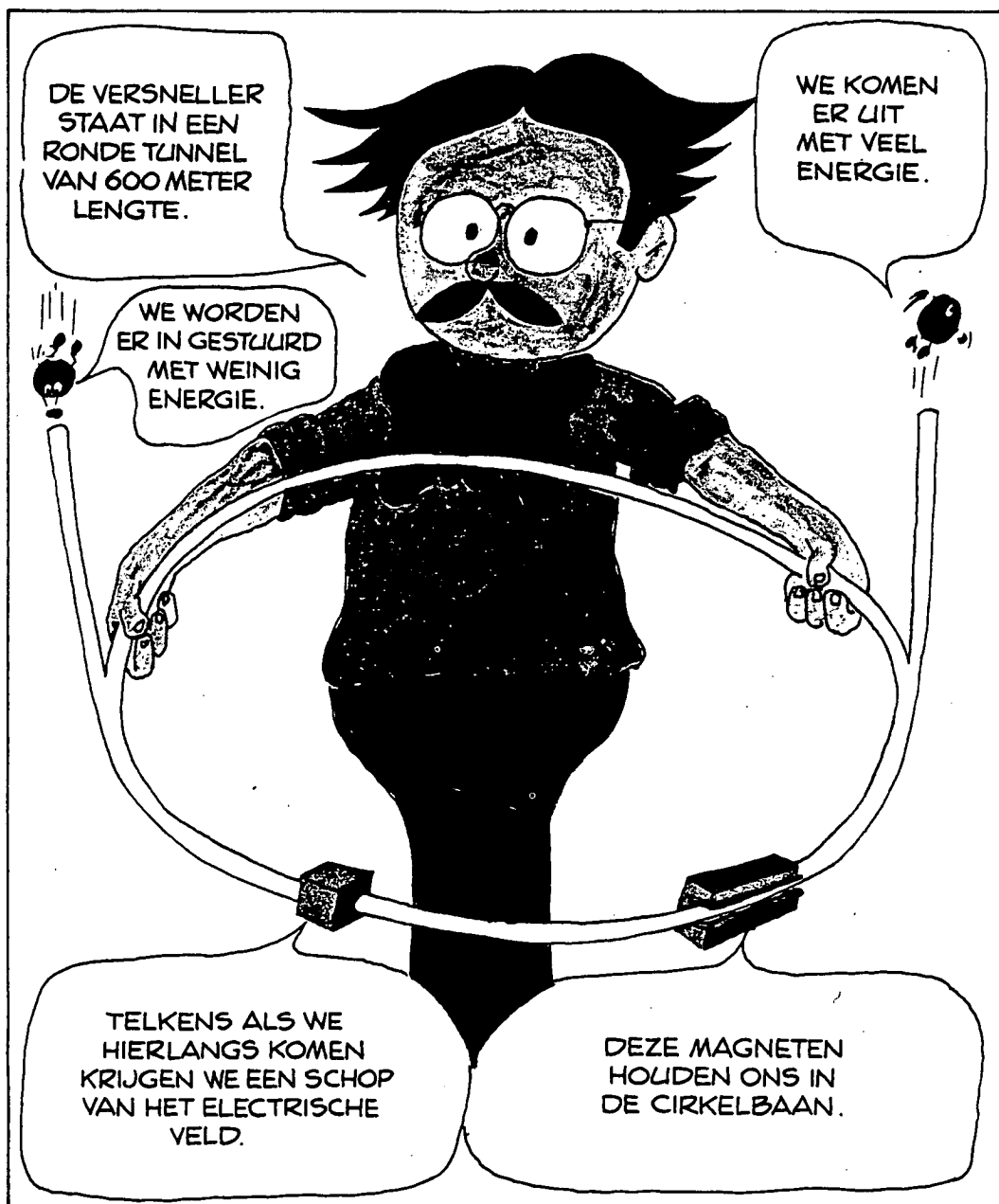
Het spelen van het quarkspel past niet binnen een lesuur. Dat kan wel met de eerste drie opdrachten. Overigens hangt het tempo van het spel ook sterk af van de voorbereiding, zodat de leerlingen duidelijk weten wat de functie van het spel is. Het geven van kleine aanwijzingen kan het tempo ook aanzienlijk opvoeren.

- 6-9 In deze paragraaf blijkt dat het aantal quarks weer toeneemt. Eigenlijk bedraagt het aantal geen zes, maar 18 als de kleurtheorie in aanmerking genomen wordt (bijlage , Lit 21). Deze kleurtheorie en ook een aantal andere eigenschappen van quarks blijven ook hier buiten beschouwing.
- Het J/ψ deeltje wordt zo genoemd omdat de ontdekking ervan door twee verschillende onderzoekers in hetzelfde tijdschrift op dezelfde datum gepubliceerd werd. Ze konden het niet eens worden over de naam. Een anecdote verhaalt hoe de een, Samuel Ting, niet echt zeker was over zijn ontdekking en daarom met een ander, Burton Richter van de Stanford Universiteit, wedde dat deze geen deeltje zou ontdekken in het 3100 MeV gebied. Deze ging op de weddenschap in en ontdekte er dus wel een deeltje. Beide publiceerden dat toen tegelijkertijd en er ontstond een forse ruzie over de vraag wie nu de eerste geweest was. Uiteindelijk werd het deeltje toen maar J/ψ genoemd. Het uitspreken van deze naam in het Engels maakt duidelijk waarom het "gipsy" (zigeuner) genoemd werd. In 1976 deelden ze broederlijk de Nobelprijs.
- Het laatste deel van de videoband kan hier gebruikt worden.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

6-10 In deze paragraaf proberen we iets te laten zien van de "grote ideeën", die er achter het werk van vele natuurkundigen zitten. We proberen iets over te brengen van het esthetische karakter van het werken aan de unificatie van krachten en de leerlingen te laten begrijpen waarom mensen zo bezield aan iets dergelijks kunnen werken. Het werken aan de tijdbalk op de laatste pagina is voorbereid in vragen in voorgaande hoofdstukken. In deze tijdbalk moet duidelijk worden dat:

- de ontwikkelingen steeds sneller verlopen
- de overlevingstijd van theorieën steeds korter wordt
- veel atoommodellen naast elkaar gebruikt worden. Het Daltonmodel in de kinetische gastheorie, het Bohrmodel bij lichtbronnen, de samengestelde kern in de kernfysica en de quarks bij de elementaire deeltjes-fysica. Eigenlijk is het quark model buiten dit laatste onderzoeksveld nauwelijks van belang.



OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

5. Antwoorden op de vragen:

- 6-1 1. De militaire mogelijkheden van de kernsplijting werden al vroeg onderkend en het onderzoek werd sterk gericht op de produktie van een splijtingsbom. Bij het elementaire deeltjes onderzoek was een militaire toepassing niet bekend.
- 2a. De alchemisten probeerden gewone metalen te veranderen in goud e.d.
b. Daarvoor zijn twee redenen aan te wijzen. Dalton had verondersteld dat de elementen onveranderbaar waren. In de periode daarna was dat uitgegroeid tot een van de hoekstenen van de natuurkunde. Zo was er niets in het atoommodel van die tijd dat wees op een mogelijkheid van kernsplijting. De andere reden was een meer emotionele. De verandering van het ene element naar het andere werd geassocieerd met de alchemisten. De wetenschapsbeoefening bij de alchemisten was doordrenkt met religie en mystiek en het had veel moeite en tijd gekost om toe te groeien naar een rationelere werkwijze. Nu diende men opeens een bewering uit die oude 'duistere' tijden opnieuw onder ogen te zien en dat riep bij velen weerstand op.
- 6-2 1a. Door de intensiteit op verschillende hoogten te meten. De intensiteit zou dan af moeten nemen als je hoger komt.
b. Dat de straling vanuit het heelal komt.
c. Door te meten of er verschil bestaat tussen de intensiteit overdag en 's nachts.
- 2a. Het deeltje beweegt zich van beneden naar boven want door de plaat wordt het vertraagd waardoor het sterker door het magnetische veld afgebogen wordt.
b. Met de rechterhandregel.
- 6-3 1. De energie van het proton, omgerekend in Joule, bedraagt:

$$10 \text{ MeV} = 10 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-17} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ J.}$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2$$

$$1,6 \cdot 10^{-12} = \frac{1}{2} \cdot 1,7 \cdot 10^{-27} \cdot v^2 \rightarrow v = 4,3 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$
2. Nee, want het neutron heeft geen lading.
3. Het elektronenkanon in de buizen van hoofdstuk 3 is ook een versneller; zo'n kanon is ongeveer 0,5 cm lang en werkt met een snelspanning van ongeveer 200 V.
4. Als er geen vacuum zou zijn, zouden de deeltjes uit de bundel al hun energie verliezen bij botsingen. Er zou ook geen bundel kunnen ontstaan door de richtingsveranderingen bij die botsingen.
5. Bij alle buisjes verandert de spanning op hetzelfde moment van teken. Om nu voor alle deeltjes in de versneller een versnelling te krijgen moet de tijd waarin een deeltje het buisje doorloopt voor alle buisjes even groot zijn. De buisjes moeten daardoor steeds langer worden, omdat de snelheid van de deeltjes toeneemt.
6. De energie van de deeltjes bedraagt 32 GeV, en de versnellsnelling is dus $32 \text{ GV} = 32 \cdot 10^9 \text{ V}$. Er zijn 82560 buisjes. De versnellsnelling per buisje is dan $\frac{32 \cdot 10^9}{82560} = 3,9 \cdot 10^5 \text{ V}$.
7. Door bij de splitsing een sterk magnetisch veld aan te leggen, zal de elektronenbundel naar de ene kant en de positronenbundel naar de andere kant afgebogen worden.
8. Door op de juiste plaats en het juiste moment de afbuigspoelen even uit te schakelen.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

9. De maximale deeltjesenergie, en daardoor ook de omvang van de apparatuur en de kosten ervan, zijn sterk toegenomen. Het onderzoek met behulp van versnellers wordt dan ook alleen nog maar door grote landen of groepen van landen uitgevoerd.
- b. Bij een grote botsingsenergie ontstaan er andere deeltjes dan bij een lage energie. Het completeren van de groep elementaire deeltjes en het verbeteren van de theorieën daarover vereist dan ook een hogere versnelspanning. Soms wordt er ook theoretisch een deeltje voorspeld dat een zeer hoge energie heeft. Om dat deeltje te maken is er ook een zeer hoge botsingsenergie nodig.
- 10a. Als een deeltje met een stilstaand deeltje botst hebben ze, volgens de Wet van Behoud van Impuls, na de botsing beide een snelheid en dus ook een bepaalde hoeveelheid kinetische energie. Daardoor is niet alle energie van het versnelde deeltje beschikbaar voor de botsingsprocessen.
- b. De effectieve energie bedraagt 7,4 GeV, de totale 28 GeV. Er is dus maar 26% van de energie beschikbaar voor het vormen van nieuwe deeltjes.
- 11a. Twee even zware deeltjes die met gelijke snelheid op elkaar botsen liggen na de botsing stil. Alle energie is dan beschikbaar voor het botsingsproces.
- b. Volgens de tabel op pag. 65 is dat $2 \times 22 = 44$ GeV. Volgens de tekst op pag. 63 is de maximale energie van de SLAC nu 32 GeV, en dan is de effectieve energie dus 64 GeV.
- 6-4 1a. De deeltjes moeten op een of andere manier zichtbaar gemaakt worden en hun eigenschappen moeten worden gemeten.
- b. Als de energie van de deeltjes toeneemt wordt ook hun weglengte in het vat groter, waardoor er een groter bellenvat nodig is.
2. In een bellenvat ontstaan bellen om de door het deeltje gevormde ionen heen. Een niet ioniserend deeltje is dan ook niet zichtbaar.
3. weglengte = snelheid x tijd = $1,5 \cdot 10^8 \cdot 10^{-10} = 1,5 \cdot 10^{-2}$ m ofwel 1,5 cm.
- 6-5 1. De Wet van Ohm is handig om te gebruiken maar is verder geheel opgenomen in het dagelijks leven. Met $E = mc^2$ is er meer aan de hand. Die formule houdt sterk verband met kernwapens en kernenergie, beide sterk emotioneel geladen onderwerpen. Ook weten veel mensen dat de formule deel uitmaakt van een veel omvattender theorie, waarbinnen mysterieuze zaken als 'terug gaan in de tijd' voorkomen. Men weet ook dat in de natuurkunde van deze tijd, waarvan de resultaten in het dagelijks leven overal zichtbaar zijn, deze theorieën zeer serieus genomen worden. De sterk tot de verbeelding sprekende persoon van Einstein is een andere reden voor de beroemdheid van zijn formule.
2. De totale massa bedraagt $2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} = 18,2 \cdot 10^{-31}$ kg. Dat komt overeen met een energie van $E = mc^2 = 18,2 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 1,6 \cdot 10^{-13}$ J.
- b. Het positron en het elektron hebben beide kinetische energie, de beschikbare energie was dus groter dan de bij a. berekende.
- c. Het linkerspoor is het positron (rechterhandregel).
- d. Het positron, want diens straal is groter.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

- 3a. Massa proton + antiproton bedraagt $3,4 \cdot 10^{-27}$ kg
 Dat komt overeen met een energie van
 $E = mc^2 = 3,4 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 3,1 \cdot 10^{-10}$ J.
 omgerekend in eV is dat $\frac{3,1 \cdot 10^{-10}}{1,6 \cdot 10^{-16}} = 1,9 \cdot 10^9$ eV = 1,9 GeV.
- b. $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,7 \cdot 10^{-27} \cdot (1 \cdot 10^8)^2 = 0,85 \cdot 10^{-17}$ J
- c. Ja, als de snelheid tenminste niet veel groter is dan de snelheid bij b.
- 4a. Als de snelheid v steeds groter wordt, nadert $\frac{v}{c}$ steeds meer naar 1, daardoor wordt $1 - \frac{v^2}{c^2}$ steeds kleiner en de massa steeds groter.
- b. De massa nadert dan naar oneindig.
- c. Een voorwerp met een oneindige massa, als dat al zou kunnen bestaan, kan niet versneld worden. De snelheid wordt daardoor nooit groter dan de lichtsnelheid.
- 5a. $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1,7 \cdot 10^{-27}}{\sqrt{1 - \frac{(0,9c)^2}{c^2}}} = \frac{1,7 \cdot 10^{-27}}{\sqrt{1 - (0,9)^2}} = 3,9 \cdot 10^{-27}$ kg.
- b. $E = mc^2 = 3,9 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 3,5 \cdot 10^{-10}$ J.
- c. Om die vergelijking te kunnen maken moeten we deze energie eerst omrekenen in eV. $3,5 \cdot 10^{-10}$ J = $\frac{3,5 \cdot 10^{-10}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 2,2 \cdot 10^9$ eV = 2,2 GeV.
- In de meeste versnellers is de maximale energie aanzienlijk groter. De snelheid van de protonen in die versnellers ligt dan ook aanzienlijk boven de 90% van de lichtsnelheid.
- 6-7 1a. Massa en energie zijn niet twee geheel verschillende dingen waarbij de een omgezet kan worden in de ander. Je moet ze eerder zien als twee vormen van hetzelfde, soms beschrijf je een verschijnsel met behulp van energie, dan weer met behulp van massa. De massa van een deeltje kan daardoor, met $E = mc^2$, ook als energie gegeven worden.
- b. Door de massa als energie op te geven wordt meteen duidelijk hoeveel energie er in een versneller nodig zal zijn om het deeltje te vormen en kun je berekenen wat de maximale energie van een versneller zal moeten zijn.
- c. $938 \text{ MeV} = 938 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 1,5 \cdot 10^{-10}$ J.
 $E = mc^2 \Rightarrow 1,5 \cdot 10^{-10} = m \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \Rightarrow m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg.
 De massa van het J/ψ deeltje:
 $3100 \text{ MeV} = 3100 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 4,96 \cdot 10^{-10}$ J.
 $E = mc^2 \Rightarrow 4,96 \cdot 10^{-10} = m \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \Rightarrow m = 5,5 \cdot 10^{-27}$ kg.
 Ofwel op een andere manier:
 Het J/ψ deeltje is $\frac{3100}{938} = 3,3$ x zo zwaar als het proton
 $m = 3,3 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} = 5,5 \cdot 10^{-27}$
2. Het is bekend dat een Li-kern bestaat uit een aantal kleinere deeltjes; de Li-kern kan daardoor nooit een elementair deeltje zijn.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

- 6-10 1. Natuurkundigen zijn vaak erg geboeid door de 'schoonheid' van een theorie. Een theorie wordt mooi gevonden als hij in wezen eenvoudig is en bruikbaar is bij de beschrijving van een groot aantal verschijnselen. Daardoor wordt er bij de theorie over krachtwerking naar gestreefd het aantal krachten zo klein mogelijk te houden. Het mooiste is toch wel één kracht waarmee alle krachtwerkingen beschreven kunnen worden.
- 2a. Vóór Newton was er een theorie over de bewegingen van hemellichamen en een theorie over de beweging van lichamen op de aarde. Newton bracht die beide theorieën onder één dak door de introductie van de zwaartekracht.
- b. Maxwell zag in dat het magnetisme en de elektriciteit, toen als twee aparte theorieën gezien, twee verschijningsvormen waren van dezelfde kracht nl. de elektromagnetische kracht.
- 4a. Er zijn zes quarks en zes antiquarks. Daarnaast zijn er ook nog zes leptonen en zes antileptonen. In totaal zijn er 12 wisselwerkingsdeeltjes (het graviton niet meegerekend).
- b. De elektromagnetische kracht, de zwaartekracht, de sterke wisselwerking en de zwakke wisselwerking.
- c. De sterke wisselwerking, de zwakke wisselwerking, de elektromagnetische kracht en de zwaartekracht. De elektromagnetische en de zwakke wisselwerking zijn al in één theorie samengevoegd, de zgn. elektrozwakke kracht. Er wordt hard gewerkt aan het samenvoegen van alle krachten in één theorie.

HOOFDSTUK 7: WIE ZAL DAT BETALEN?

Uitwerking lessenplan

lesnr.	onderdeel
	thuis: lezen 7-1 en 7-2. Vragen daarvan maken.
22	bespreken van vragen, in groepjes en/of klassikaal.
23	par. 7-3. Een van de spelen doen en nabespreken met de klas.

Bedoeling.

In dit hoofdstuk kijken we, aan de hand van de tijdbalk van hoofdstuk 6, terug naar de ontwikkelingen van het onderzoek naar de materie. We proberen dan te komen tot een waardering van het huidige onderzoek. Om dat te kunnen doen is kennis nodig omtrent het verschil tussen toegepast en fundamenteel onderzoek, ervaringen met fundamenteel onderzoek in het verleden, spin-off enz. Met twee discussieoefeningen laten we de leerlingen nadenken over hun eigen standpunt ten aanzien van investeren in fundamenteel onderzoek naar de materie.

Leerlingactiviteiten.

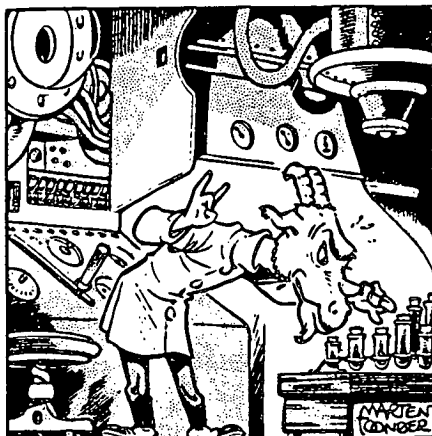
- Tekst bestuderen.
- Verwerken daarvan aan de hand van vragen.
- Discussieren met elkaar.
- Een dilemma ervaren en eventueel een mening vormen.

Didactische aanwijzingen.

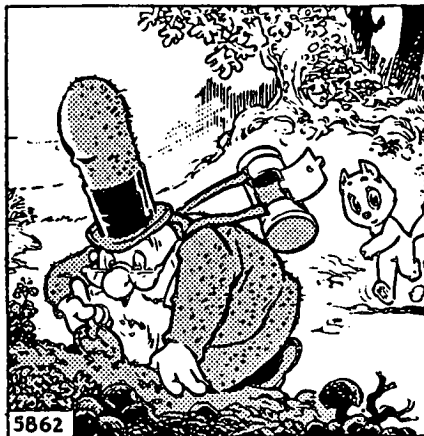
- 7-1 In deze paragraaf staan we even stil bij het thema in zijn geheel, om zo de historische ontwikkeling van het onderzoek op het spoor te komen. Uiteraard beperkt zich dat tot enkele grote lijnen. De sterk stijgende kosten en de rol van het teamwork springen daarbij sterk in het oog. Hierbij kan ook de keuze voor groepswork in de klas aan de orde komen.
- 7-2 Hier komen enkele argumenten voor en tegen fundamenteel onderzoek op grote schaal aan de orde (zie ook bijlage I6). Sommige aspecten, zoals het hoge energiegebruik, blijken overduidelijk uit de videoband en zijn niet in de paragraaf opgenomen. Benadruk dat de toepassingen van fundamenteel onderzoek niet voorspelbaar zijn, en dat elk fundamenteel onderzoek potentieel militaire toepassingen in zich draagt. De (eventuele) verantwoordelijkheid van de wetenschapper voor dergelijke toepassingen kan hier ook aan de orde komen.
- 7-3 Fundamenteel onderzoek kan leiden tot gruwelijke militaire toepassingen, maar kan ook oplossingen bieden voor vele problemen waarmee de mensheid nu en in de toekomst geconfronteerd wordt. Daartussen ligt een groot gebied van toepassingen, waarvan de maatschappelijke consequenties niet te overzien zijn. De mogelijkheid van ouders om het geslacht van hun kinderen te bepalen is daarvan een voorbeeld.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

Binnen zo'n dilemma is meningsvorming lastig. Het is dan ook van belang dat de leerlingen het dilemma zien, en onderkennen dat hun mening daarover op een afweging berust en bovendien niet gebaseerd is op een overvloed aan feitenmateriaal.



'Prof. Sickbock, een bekend stripfiguur van Marten Toonder is een goed voorbeeld van een populair beeld van de wetenschapsbeoefenaar: de magiër, meestal voor slechte en soms ook goede doeleinden; de beheerser van natuurkrachten.



Professor Priwytzkovski ook bekend uit het werk van Marten Toonder geeft een ander bekend beeld van de wetenschapper; de niets en niemand, vooral zich zelf niet onttende waarheidszoeker'.

Er zijn twee oefeningen opgenomen om de meningsvorming te bevorderen.

a. de adviescommissie.

Deze oefening kan het best gedaan worden in groepjes van vijf tot zeven leerlingen. Als er tijd is kunnen de argumenten nog klassikaal besproken worden, zodat er een completer overzicht ontstaat.

We verwachten dat de volgende argumenten naar voren zullen komen:

VOOR:

1. Het ligt in de aard van de mens om steeds beter inzicht te zoeken in de bouwstenen van de materie. Waarom zouden wij dan die historische lijn afbreken?
2. Bij zuiver wetenschappelijk onderzoek weet men nooit welke toepassingen dit onderzoek kan hebben. Wie weet wat voor geweldige toepassingen dit soort onderzoek nog oplevert.
3. Alle hoogontwikkelde landen houden zich met dergelijk onderzoek bezig. Ons land zou geïsoleerd en achterop raken als we ons uit CERN zouden terugtrekken.
4. Dergelijk onderzoek is internationaal, bindt mensen uit vele landen en kan zo een voorbode zijn van een vreedzame wereld.

TEGEN:

1. Het onderzoek kost veel geld. Dat geld kan in deze tijd vol economische problemen beter worden besteed.
2. Relatief weinig mensen hebben profijt van dergelijk onderzoek: het is een dure hobby voor enkelen. Het geld kan beter besteed worden aan een goedkope hobby voor velen.
3. Wie weet ontdekt men op den duur gevaarlijke toepassingen die de wereldvrede nog meer kunnen bedreigen. Het is beter daarom tijdig met dit onderzoek te stoppen.
4. Versnellers zouden wel eens stralingsgevaar kunnen opleveren voor personeel en omwonenden. Alle onderzoek waarbij (zelfs geringe) straling vrijkomt dient gestaakt te worden.

OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

b. de stellingen:

Deze kunnen op allerlei manieren gebruikt worden.

- enkele stellingen op groot papier zetten. Elke leerling krijgt een velletje met daarop drie rode en drie groene stickers (te koop bij de kantoorboekhandel). De leerling plakt een of meer rode stickers bij de stelling waarmee hij of zij het niet eens is en groene als dat wel het geval is.

Aan de hand daarvan kan dan toelichting gevraagd worden en kan er een discussie op gang komen.

- de jury.

Er wordt een controversiële stelling uitgezocht. Na een korte toelichting wordt er gestemd over de stelling. Onthouding is niet toegestaan. Er ontstaat dan een groep verdedigers en een groep aanvallers. Beide groepen benoemen een woordvoerder en drie getuigen. Gedurende 10 minuten praten ze in subgroepen de stelling door en versterken hun argumentatie.

Het spel begint.

De aanklager en de verdediger geven hun argumentatie (3 minuten elk hoogstens). Ze roepen dan na elkaar hun getuigen op om hun argumentatie te versterken. Omdat de voorbereiding in aparte subgroepen heeft plaatsgevonden kunnen de getuigen nieuwe argumenten aandragen. Elk heeft het recht één vraag te stellen aan de getuige van de ander. Na afloop kunnen aanklager en verdediger nog een kort pleidooi houden en wordt er gestemd. De uitslag kan dan verschoven zijn ten opzichte van de eerste stemming.

Bij dit spel is het van belang dat de docent of een daartoe aangestelde leerling de tijd bewaakt. Een flinke bel of toeter is daarbij zeer nuttig. Dat tijd bewaken dient zeer streng te gebeuren. Als stelling is de eerste of de op een na laatste prima geschikt.

CERN

Binnen de Engelse onderzoekswereld is een heftige discussie ontstaan over een mogelijke terugtrekking uit CERN (Europees centrum voor deeltjesfysica) in Genève. In het centrum wordt door onderzoekers uit alle Europese landen fundamenteel onderzoek verricht op het gebied van de hoge energie fysica. De onderzoekers hebben in Genève de beschikking over verschillende versnellers waarmee studie naar fundamentele deeltjes wordt uitgevoerd.

Deze maand is door de minister van Onderwijs en Wetenschappen een commissie benoemd die binnen een jaar advies moet uitbrengen aan de regering over de eventuele terugtrekking uit CERN. Om

contractuele redenen kan terugtrekking pas na 31 december 1986 effectief worden.

Budgetproblemen worden als belangrijkste argument opgegeven voor een eventuele terugtrekking uit dit gerenomeerde onderzoekcentrum. De kosten voor CERN worden een steeds zwaardere last voor Engeland in verhouding tot al het andere onderzoek. De jaarlijkse bijdrage aan het centrum bedragen op dit moment 51 miljoen dollar, 20 procent van het totale budget dat de Engelse overheid ter beschikking stelt voor fundamenteel onderzoek.

Het CERN-geld moet worden overgemaakt in Zwitserse francs, en dat kost geld. De pond is sterk in waarde gedaald ten opzichte van de franc. Vorig jaar nog moest de Engelse regering voor de komende drie jaar extra 30 miljoen dollar voor CERN beschikbaar stellen om voor deze

koersproblematiek te compenseren.

Er ligt een voorstel van de overkoepelende raad, die de Engelse regering adviseert over de besteding van alle onderzoeksgelden, bij gebrek aan geld zich dan maar helemaal uit één van de fundamentele onderzoeksgebieden terug te trekken. Hoge energie fysica gooit daarbij hoge ogen omdat „er weinig toepassing van te verwachten is”. Er zijn genoeg gebieden waarin fundamenteel onderzoek nodig is en waarvan wel een toepassing op lange termijn is te verwachten. Met name worden satelliettechnologie en biotechnologie genoemd.

De raad heeft de verzekering gekregen dat een terugtrekking uit CERN niet betekent dat het totale onderzoeksbudget omlaag gaat. Terugtrekking biedt de mogelijkheid meer geld aan andere gebieden te besteden.

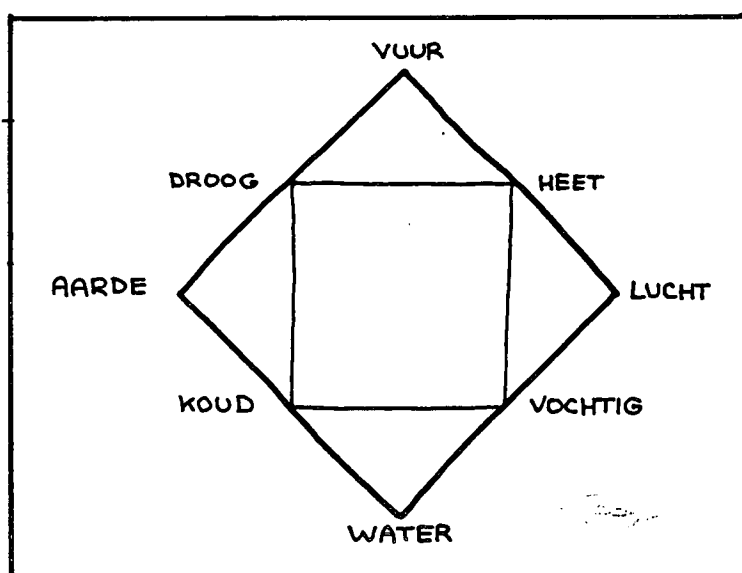
BIJLAGE D1

SAMENVATTING THEMA MATERIE

In dit thema hebben we ons beziggehouden met de kennis die natuurwetenschappelijk onderzoek naar de bouw van de stof heeft opgeleverd en met de methoden die de onderzoekers daarbij hebben gebruikt. Dit onderzoek heeft achtereenvolgende modellen opgeleverd, waarmee werd verbeeld hoe men zich de bouwstenen van de materie voorstelde.

Modellen

+ 400 v. Chr. vier elemententheorie. Empedocles (450 v. Chr.) en Aristoteles (350 v. Chr.). Alle stoffen zijn gemaakt uit aarde, lucht, vuur en water. Deze elementen worden gekoppeld aan vier eigenschappen zoals in het schema hiernaast weergegeven. Elementen kunnen in elkaar overgaan als een of beide eigenschap(en) in het tegengestelde verander(en) (t).



Dit gedachtenbeeld sluit aan op de scheppingsverhalen in diverse culturen. Experimenten spelen in dit beeld geen of een geringe rol. Je kunt drie elementen vergelijken met de drie fasen van een stof (vast, vloeibaar en gasvormig) terwijl de vierde, vuur (warmte) de hoofdrol speelt bij fase-overgangen.

+ 400 v. Chr. de eerste atoomtheorie; Democritus. Alle stoffen bestaan uit kleine, ontelbare, ondeelbare en onveranderlijke atomen welke verschillen van vorm en grootte, maar niet van inhoud. Ze bewegen continu in vacuüm. Ze kunnen bijeenkomen en samen de stoffen vormen die waarneembaar zijn. Het vormen en uiteenvallen van stoffen staat niet onder invloed van goden of bovennatuurlijke krachten. Deze theorie werd als atheïstisch opgevat en was moeilijk voorstelbaar. Bijna 2000 jaar sluimerde daarna het atoomidee.

+ 1810 de atoomtheorie van Dalton. Copernicus en Newton lanceerden in de 17e eeuw hun ideeën over bewegingen en krachten. In de 18e eeuw werd de scheikunde meer kwantitatief. Lavoisier concludeerde tot de "wet van behoud van massa" uit verbrandingsexperimenten. Ook werd het steeds aannemelijker dat gassen bestaan uit grote aantallen bewegende deeltjes. De atoomtheorie kon herleven. Scheikundigen maakten onderscheid tussen elementen (niet verder te ontbinden stoffen) en verbindingen (bestaande uit elementen).

BIJLAGE D1

Dalton formuleerde een nieuwe atoomtheorie:

- materie bestaat uit ondeelbare atomen;
- per element bestaat er één atoomsoort;
- atomen zijn onveranderlijk;
- in een verbinding bestaat elk deeltje (molecuul) uit een vaste combinatie van atomen;
- bij chemische reacties vormen atomen nieuwe combinaties.

Bovendien zag Dalton kans de onderlinge verhouding van de verschillende atoommassa's te bepalen. In 1872 rangschikte Mendelejev de atomen van opvolgende massa in het periodiek systeem der elementen. Daarmee kon hij het bestaan van toen nog onbekende elementen (met name edelgassen) voorspellen.

1904. Het atoommodel van Thomson.

Al in 1830 kon Faraday uit elektrolyseproeven de lading-massa-verhouding van geladen atomen (zgn. ionen) bepalen. In 1897 ontdekte Thomson de lading-massa-verhouding van het elektron, het eerst bekende elementaire deeltje. Zijn "pudding met krenten"-model was een eerste poging de experimentele resultaten in een model van materie te verwerken.

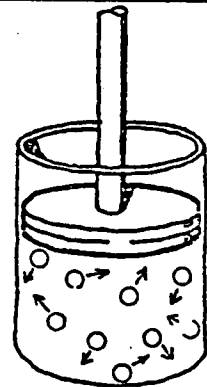
1911. Het atoommodel van Rutherford.

De verstrooiingsproef van Geiger en Marsden (α -deeltjes tegen goudfolie) toonde aan dat een atoom grotendeels uit lege ruimte bestaat met ergens een geconcentreerde massa.

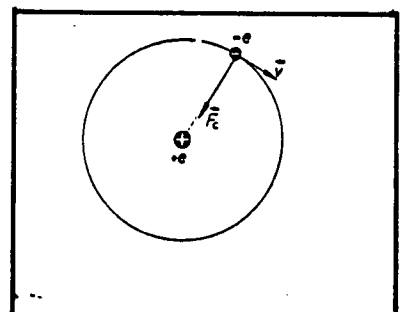
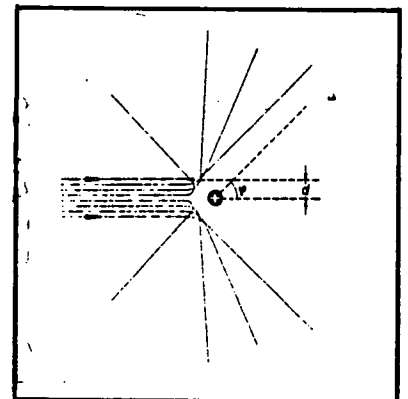
Rutherford bouwde hierop zijn atoommodel:

- atomen bestaan uit een kern met zeer kleine straal (ca. 10^{-15}m) die positief geladen is en waarin bijna de hele atoommassa is verzameld;
- om de kern cirkelen lichtere elektronen baanstraal (ca. 10^{-10}m), welke negatief geladen zijn en samen de lading van de kern neutraliseren;
- de coulombkracht tussen kern en elektron dient als centripetale kracht en houdt het elektron in zijn cirkelbaan.

Tezelfdertijd zag Millikan kans de lading van het elektron te bepalen: $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$.



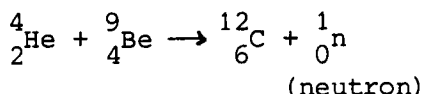
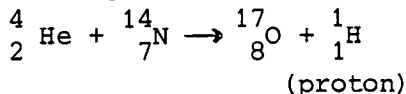
De atmosfeer is een "zee van lucht", waarin bewegende deeltjes vele malen per seconde tegen elkaar botsen. We nemen aan dat die botsingen "volkomen elastisch" zijn.



BIJLAGE D1

1932. De samengestelde kern.

In 1919 ontdekte men dat bij beschieting van sommige atomen met energierijke α -deeltjes waterstof-kernen (= protonen) vrijkomen. In 1931 bleek bij een soortgelijke beschieting van beryllium nog een andere soort straling vrij te komen. Het volgend jaar werd deze door Chadwick geïdentificeerd als neutronen-straling. (neutron = ongeladen deeltje met vrijwel gelijke massa als het proton).



De kern van een atoom met atoomnummer Z en atoommassa A bestaat uit Z protonen en A-Z neutronen. In een neutraal atoom cirkelen Z elektronen om de kern. Het bijeenblijven van de protonen (gelijke lading dus afstotende coulombkracht) in de kern is mogelijk dankzij een op korte afstand sterke kernkracht.

1932-heden: Steeds meer elementaire deeltjes.

Proeven met kosmische straling, met snelle α -deeltjes en met kunstmatig versnelde deeltjes hebben een stroom van nieuwe elementaire deeltjes aan het licht gebracht. Zij worden o.a. van elkaar onderscheiden door verschil in lading, massa, gemiddelde levensduur en gevoeligheid voor krachten.

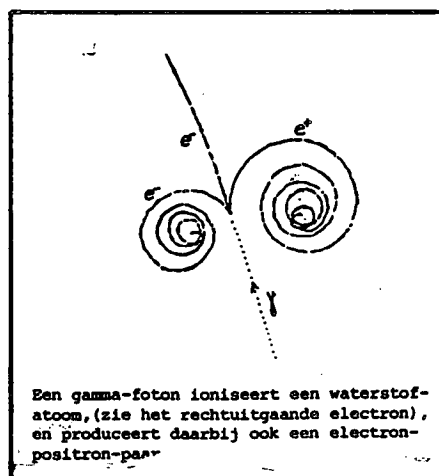
Zij zijn te verdelen in:

- leptonen: deze worden niet door de sterke kernkracht beïnvloed; bijv. elektron, muon en neutrino.
- hadronen: deze worden wel door de sterke kernkracht beïnvloed; bijv. proton en neutron.

De hadronen worden onderverdeeld in twee families:

- mesonen, die lichter zijn dan protonen;
- baryonen, die even zwaar of zwaarder zijn dan protonen.

Opmerkelijk in deze "hoge-energie-fysica" is het inwisselbaar zijn van massa en energie volgens Einstein's wisselkoersregel $E = \Delta m \cdot c^2$. Dit leidt tevens tot de wet van behoud van massa en energie als verbetering van de massabehoudswet van Lavoisier enerzijds en de 1e hoofdwet van de warmteleer anderzijds. Een overtuigende demonstratie van dit inwisselbaar zijn van massa en energie wordt geleverd in de paarvorming van materie en antimaterie (bijv. elektron en positron) uit energierijke γ -straling (radio-actieve straling, niet bestaande uit deeltjes). Het positron heeft dezelfde massa, maar ondermeer tegengestelde lading als het elektron. In 1955 werd het anti-proton gesignaleerd.



1964: De quark-theorie.

De grote verzameling hadronen kan worden geordend door er van uit te gaan dat elk baryon bestaat uit 3 quarks. (Elk meson bestaat uit een quark en een antiquark.) De som van massa's, ladingen en andere eigenschappen van de afzonderlijke quarks zijn gelijk aan de massa, lading enz. van het deeltje dat zij samen vormen. Men vermoedt dat er totaal 6 quarks en 6 anti-quarks bestaan. Tot nu toe zijn alle voorspellingen gebaseerd op het bestaan van quarks aardig uitgekomen.

BIJLAGE D1

Naast de deeltjes die zijn opgebouwd uit quarks zijn er ook nog de leptonen en de wisselwerkingsdeeltjes. Er zijn zes verschillende leptonen, elk met een antideeltje. Een voorbeeld van zo'n lepton is het electron. In de modernste theorieën stelt men zich voor dat twee deeltjes die een kracht op elkaar uitoefenen dat doen door een deeltje uit te wisselen. Een positieve en een negatieve lading wisselen fotonen uit en oefenen daarvoor een kracht op elkaar uit. Meestal onderscheidt men vier verschillende krachten: de electromagnetische kracht, de zwaartekracht, de sterke kernkracht en de zwakke kracht. Elke krachtwerking heeft een of meer wisselwerkingdeeltjes. In onderstaande tabel vind je een overzicht van al die deeltjes.

quarks		anti-quarks	leptonen		anti-leptonen	wisselwerkingsdeeltjes
up	u	$\bar{u}$	elektron	e^-	e^+	gluon (8soorten) g
down	d	$\bar{d}$	neutrino	ν_e	$\bar{\nu}_e$	boson W^+
strange	s	$\bar{s}$	muon	μ^-	μ^+	boson W^-
charm	c	$\bar{c}$	neutrino	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	boson Z
bottom	b	$\bar{b}$	tau	τ^-	τ^+	foton γ
top*	t	$\bar{t}$	neutrino*	ν_τ	$\bar{\nu}_\tau$	graviton*

* nog niet aangetoond, wel theoretisch voorspeld

Onderzoeksmethoden.

In het thema wordt met name het gebruik van elektrische kracht en lorentzkracht voor het beïnvloeden van de baan van geladen deeltjes belicht.

• Elektrische kracht rond een geladen bol.

Op een geladen bol A (lading: Q_A) en een geladen bol B (lading Q_B) in vacuüm, waarvan de middelpunten zich op onderlinge afstand r bevinden, werkt wederzijds een coulombkracht of elektrische kracht:

$$F_e = 9 \cdot 10^9 \frac{Q_A \cdot Q_B}{r^2}$$

Bij gelijke lading stoten de bollen elkaar af. Bij ongelijke lading trekken ze elkaar aan.

Toepassingen: - de kracht op het projectiel bij verstrooiingsproeven;
- de kracht op het elektron in zijn cirkelbaan om een kern.

• Elektrische kracht in een versneller.

In een kathodestraalbuis ondervindt een elektron een elektrische kracht van de negatieve kathode naar de positieve anode.

Als een lading q, een spanningsverschil V doorloopt is de energie die het elektrisch veld aan het deeltje geeft $E_e = q \cdot V$. Indien de buis nagenoeg vacuüm is en het elektron niet wordt gehinderd door gasatomen, wordt de elektrische energie omgezet in (een toename van) kinetische energie,

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2.$$

$$qV = \Delta(\frac{1}{2} m v^2).$$

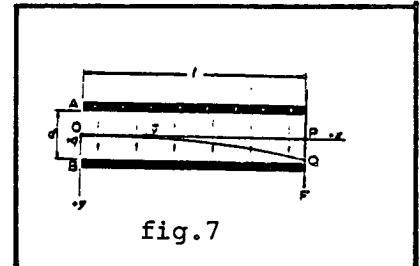
BIJLAGE D1

Toepassingen: - elektronenkanon in een kathodestraalbuis;
- meervoudige versnellers (met name lineaire versneller en synchrotron) waarin deze energie-omzetting tussen elk tweetal versnelbuisjes plaats vindt.

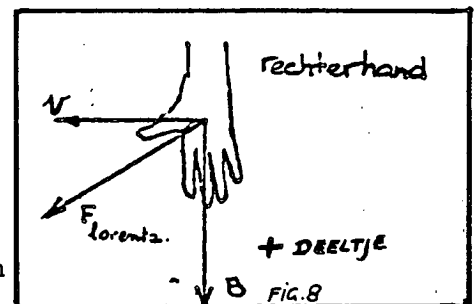
- Elektrische kracht tussen twee geladen platen.
Het elektrisch veld tussen twee geladen platen is homogeen. In het hele gebied is de elektrische kracht constant van grootte en richting.
De elektrische kracht die een lading q ondervindt tussen twee platen op onderlinge afstand d , waarop een spanning V staat, is

$$F_e = \frac{q \cdot V}{d}$$

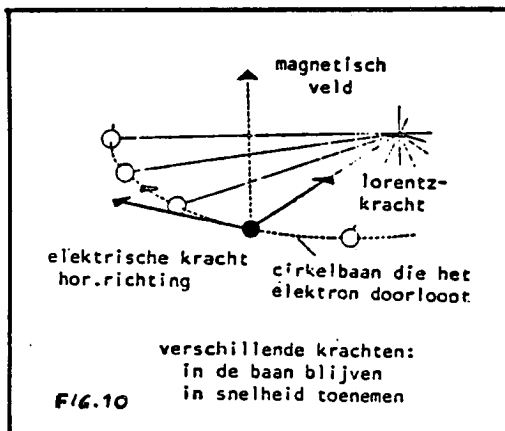
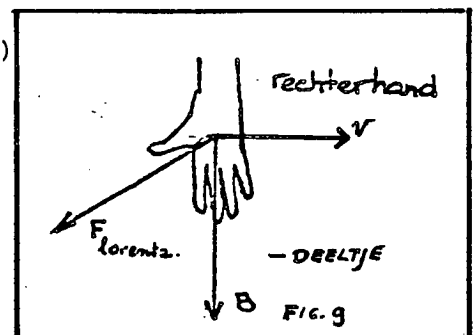
Toepassingen: - afbuiging kathodestraal in Thomsonbuis;
- stil zetten van geladen oliedruppeltjes in Millikan's experiment.



- Lorentzkracht op een bewegend geladen deeltje.
Een deeltje met lading q dat met snelheid v beweegt in een richting loodrecht op het magnetisch veld met sterkte B , ondervindt een Lorentzkracht $F_l = B \cdot q \cdot v$.
Deze Lorentzkracht heeft een richting loodrecht op zowel B als v . De richting van F_l is te vinden met de rechter handregel:



- vingers wijzen in de richting van het magnetisch veld;
 - uitgestoken duim wijst - in de richting waarin een positief geladen deeltje beweegt. (fig.8)
 - bij een negatief geladen deeltje (fig.9) tegengesteld aan de bewegingsrichting
 - de handpalm duwt in de richting van de kracht.
- Als snelheid v en veldsterkte B onderling niet loodrecht gericht zijn is de Lorentzkracht kleiner dan Bqv . F_l is 0 als B en v evenwijdig of tegengesteld gericht zijn.



De Lorentzkracht beïnvloedt de grootte van de snelheid niet, omdat hij altijd loodrecht op de snelheid staat. Als ook door andere oorzaken de grootte van v niet verandert, voert het deeltje een eenparige cirkelbeweging uit met straal r . De Lorentzkracht fungeert daarbij als centripetale kracht:

$$Bqv = \frac{mv^2}{r}$$

Toepassingen: - afbuiging kathodestraal in diverse buizen;
- afbuiging van geladen deeltjesstraling in bijv. bellenvat of andere detectie-opstellingen;
- afbuiging van projectieldeeltjes bijv. in synchrotron

Het belang van hoge energie fysica.

- Met behulp van een goed model kunnen verschijnselen beschreven worden; daardoor kan het inzicht in natuurkundige processen groter worden; uit het verleden blijkt dat een verbeterd model vroeger of later geleid heeft tot nieuwe technieken en toepassingen of tot een doelmatiger gebruik van een proces of techniek. Ook de quark-theorie kan zijn vruchten in praktische zin af gaan werpen.
- Het onderzoek naar materie is in de laatste 200 jaar veranderd van werken door enkelingen in kleine laboratoria tot samenwerking in uitgebreide teams binnen grote nationale en internationale instituten. Dit onderzoek brengt zulke hoge kosten met zich mee dat het afwegen van verdere investeringen een politieke en daarmee publieke zaak is geworden.
- Wetenschap en techniek hebben een overheersende rol gekregen in de wereld. Het economisch perspectief wordt geacht sterk afhankelijk te zijn van wetenschappelijke en technische innovatie in een land. In de afloop van de tweede wereldoorlog hebben wetenschappers een doorslaggevende rol gespeeld. Sindsdien hebben zij die rol in het machtsevenwicht tussen Oost en West behouden. Door sommigen wordt de hoge energiefysica wel als grootste uitdaging gezien voor onze cultuur en daardoor stimulerend voor diverse andere takken van wetenschap en techniek. Anderen wijzen deze race naar meer kennis en meer macht juist af op grond van humanitaire overwegingen.

BIJLAGE D2

MATERIE IN HET EPEP.

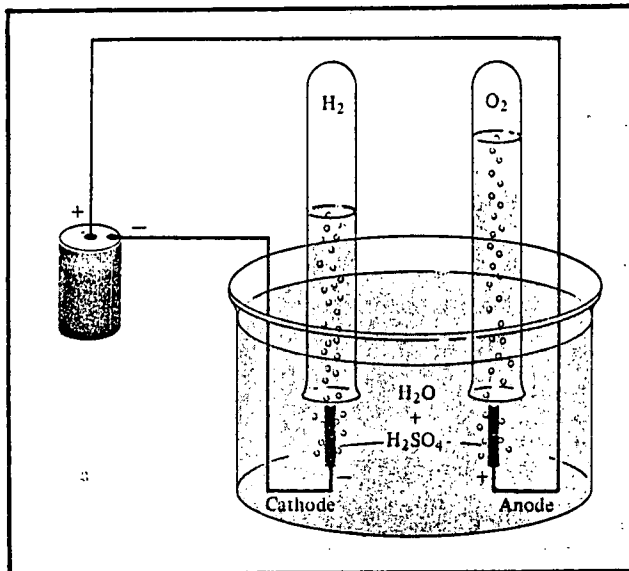
	ongewijzigd	gewijzigde interpretatie	vervallen	nieuw
elektrische veld, kernfysica				
- Krachten tussen elektrisch geladen voorwerpen; wet van Coulomb.	x			
- Elektrische influentie.	x			
- Elektrisch veld; veldlijnen; veldsterkte.		x ¹⁾		
- Veldsterkte in een homogeen veld.		x ¹⁾		
- Veldvrije ruimte binnen een geladen geleider.	x			
- Energieverandering van een proeflading bij verplaatsing in een homogeen elektrisch veld.		x ²⁾		
- Verband tussen potentiaalverschil en veldsterkte in een homogeen veld; potentiaal in een homogeen veld; elektrometer.			x	
- Afbuiging van elektronen in een elektrisch en magnetisch veld.		x ³⁾		
- Samenstelling van een atoomkern; proton en neutron; atoom- en massanummer.	x			
- $E = \Delta mc^2$	x			
- Lineaire versneller, synchrotron.				x ⁹⁾
- Leptonen, mesonen, baryonen.				x ⁹⁾
- Kernkrachten. (kwalitatief).				x ⁹⁾
- Karakter en betekenis van HEF-onderzoek (hogere energie fysica)				x ⁹⁾
- Bepaling van de lading van het elektron door middel van de proef van Millikan.	x			
- Verstrooiingsproef van Rutherford (kwalitatief).	x			
- Eenparige cirkelbeweging; centripetale kracht.		x ¹⁰⁾		

c. Toelichting.

- 1) Elektrische veldsterkte kwalitatief in het verband van de krachtwerking op een elektrische lading tussen evenwijdige geladen platen.
- 2) Gewijzigd in energieverandering bij het doorlopen van een potentiaalverschil.
- 3) Uitbreiding van elektronen tot geladen deeltjes in het algemeen (in verband met versnellers); geen berekeningen aan afbuiging in elektrisch veld.
- 9) Aandacht voor de hoofdlijnen van HEF-onderzoek: functie van het quark-model, klassificatie van elementaire deeltjes, bindingskrachten tussen deze deeltjes, hulpmiddelen bij dit onderzoek, samenhang tussen fysica, techniek en samenleving.
- 10) Beperkt tot de context van cirkelvormige elektronenbanen.

TOETSVRAGEN

1. Electrolyse.



Bij elektrolyse van aangezuurd water ontstaat waterstof in de vorm van belletjes aan de kathode. De figuur hiernaast toont hoe deze waterstof opgevangen kan worden. Aan het begin van de proef is de linker buis geheel gevuld met water. Tijdens de proef wordt de vloeistof verdrongen door het gevormde gas.

Men wil met deze proef de lading-massa-verhouding van waterstofionen bepalen.

a. Welke metingen zijn nodig om de getransporteerde lading te kunnen bepalen?

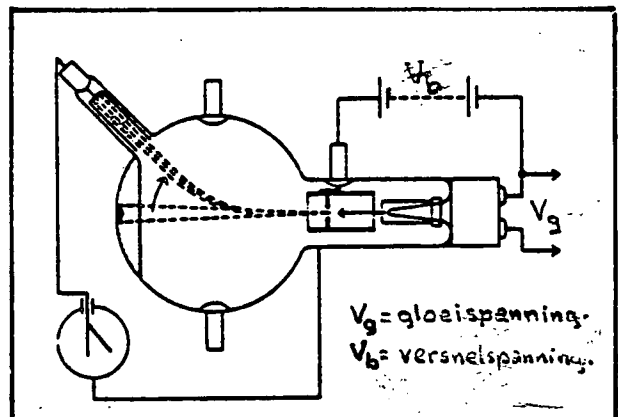
Na enige tijd is $1,61 \cdot 10^2 \text{ C}$ lading getransporteerd. In die tijd is 20 cm^3 waterstofgas van atmosferische druk gevormd. De temperatuur is 20°C . Onder deze omstandigheden is de dichtheid van waterstof gelijk aan $0,0839 \text{ kg/m}^3$.

b. Bepaal de massa van het gevormde waterstofgas.

c. Bepaal de lading - massa-verhouding van waterstofionen.

2. De Perrin Buis.

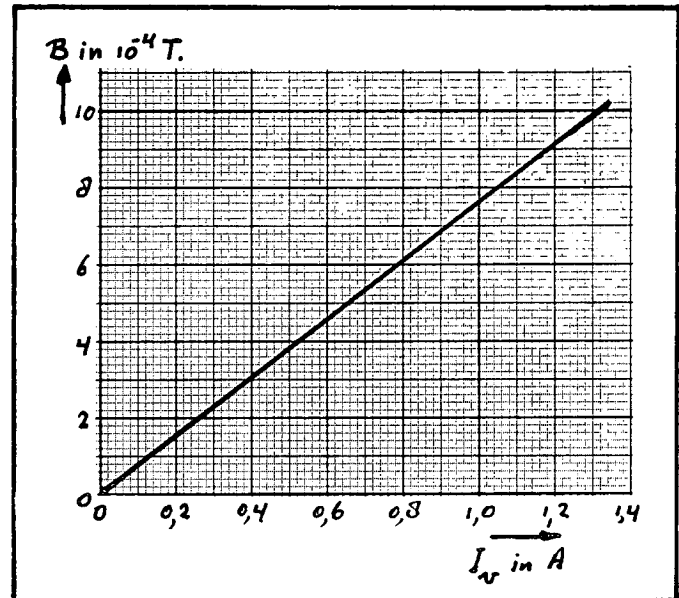
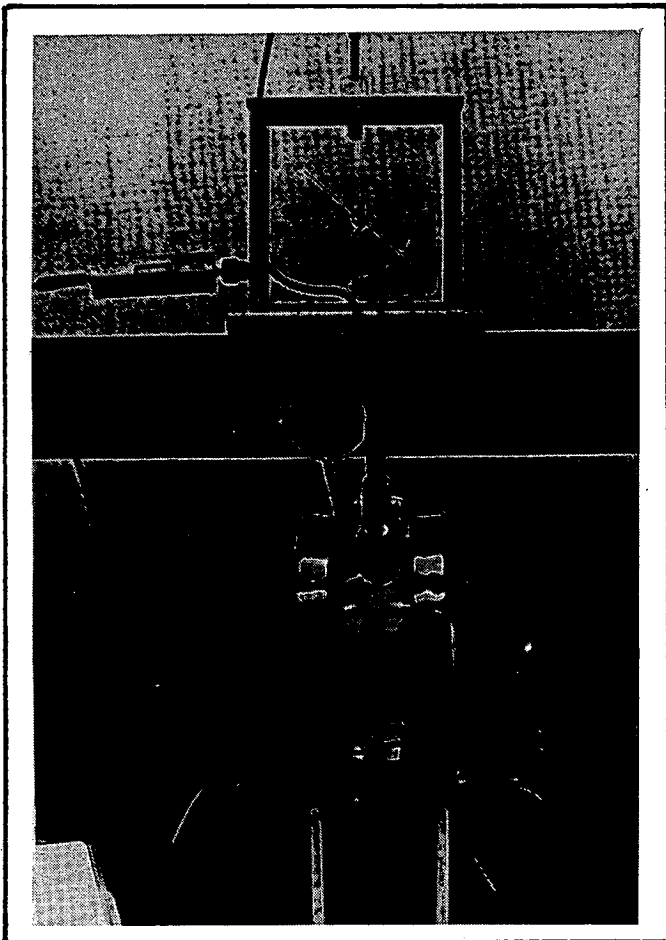
Met de hiernaast geschetste buis toonde Perrin in 1895 aan dat kathode stralen een negatieve lading met zich mee dragen. Een kathodestraal wordt afgebogen met behulp van een magnetisch veld en wordt in zijn geheel opgevangen in een metalen cilinder. Deze cilinder is verbonden met een elektroscop. Bij herhaling van deze proef, onder andere door J.J. Thomson, bleek dat Perrin geluk had gehad. Het resultaat bleek afhankelijk te zijn van het soort metaal van de opvangcilinder.



a. Beschrijf het proces dat aan het metaaloppervlak van de cilinder onder invloed van het elektronenbombardement kan plaatsvinden, waardoor de elektroscop helemaal niet uitslaat.

b. Met de Perrinbuis is de lading - massa-verhouding van elektronen te vinden. Benader daartoe uit de tekening (schaal 1:6) de straal van boog die de kathodestraal beschrijft.

BIJLAGE D3



- c. De veldspoelstroom tijdens de proef $I_v = 1,16$ A. Bepaal met de hierboven weergegeven ijkgrafiek de magnetische veldsterkte.
- d. Geef aan hoe de lading-massa-verhouding van de elektronen nu bepaald kan worden en welke gegevens je daarvoor nodig hebt naast de in vragen b. en c. bepaalde r en B .

Uit schoolonderzoeken in één school waarin deze vraag was verwerkt bleek:

- vraag a. nauwelijks te worden beantwoord;
- vraag b. voor velen toch te moeilijk (of onbekend) is;
- vraag c. vrij gemakkelijk is;
- vraag d. vergelijkingen opstellen met de versnelspanning redelijk gaat, over de cirkelbeweging al veel moeilijker is, waarna nog minder leerlingen tot een uitwerking komen als de benodigde spanningen gegeven worden.

BIJLAGE D3

3. Atoommodellen.

- Materie is opgebouwd uit atomen. Noem drie opeenvolgende atoommodellen met een korte omschrijving
- Elektronen zijn ontdekt door Thomson. Beschrijf kort de experimenten waaruit hij het bestaan van elektronen en hun eigenschappen afleidde.
- Quarks zijn volgens de nieuwste theorieën de bouwstenen van de materie. Hoe is volgens deze theorie de materie opgebouwd?
- Wat is het nut van versnellers bij het onderzoek naar de bouw van de materie.

commentaar

redelijk

beschrijvingen
vaak

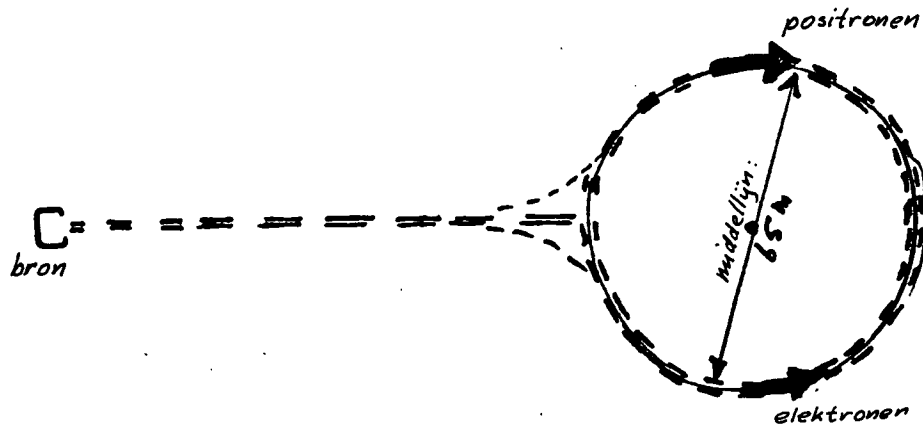
onvolledig

vaak

onvolledig

redelijk

4. De Stanford versneller.



In de lineaire versneller van de Stanford University in Amerika kunnen elektronen en positronen versneld worden tot een energie van 22 GeV. Aan het eind van de versneller worden de elektronen en positronen in tegengestelde richting door een synchrotron geleid en zo versneld met een extra energie van 4,8 GeV.

Hierna laat men de deeltjes op elkaar botsen.

- Noem twee kenmerkende verschillen tussen de lineaire versneller en het synchrotron.
 - Bepaal de richting van het magneetveld in het synchrotron, met een duidelijke tekening toelichten.
 - Uit hoeveel buisjes zal de lineaire versneller opgebouwd zijn wanneer de gemiddelde spanning tussen de buisjes 300 kV bedraagt.
- d1 - Bereken de snelheid van de elektronen en de positronen aan het eind van de hele versneller.
- 2 - Bereken hoe sterk het magneetveld moet zijn om de deeltjes in de ring te houden.

goed gedaan

veel
slordigheden
redelijk

moeilijk

moeilijk

Bij een geschikte botsing van een elektron-positron paar vernietigen de deeltjes elkaar en wordt er ondermeer het J/ψ -deeltje gevormd.

- Leg uit dat uit de botsing van lichte deeltjes als elektronen en positronen een zwaar J/ψ -deeltje ($m = 3100$ MeV) gevormd kan worden.
- Bereken de snelheid die de elektronen en positronen tenminste moet hebben om uit hun botsing een J/ψ -deeltje te vormen.

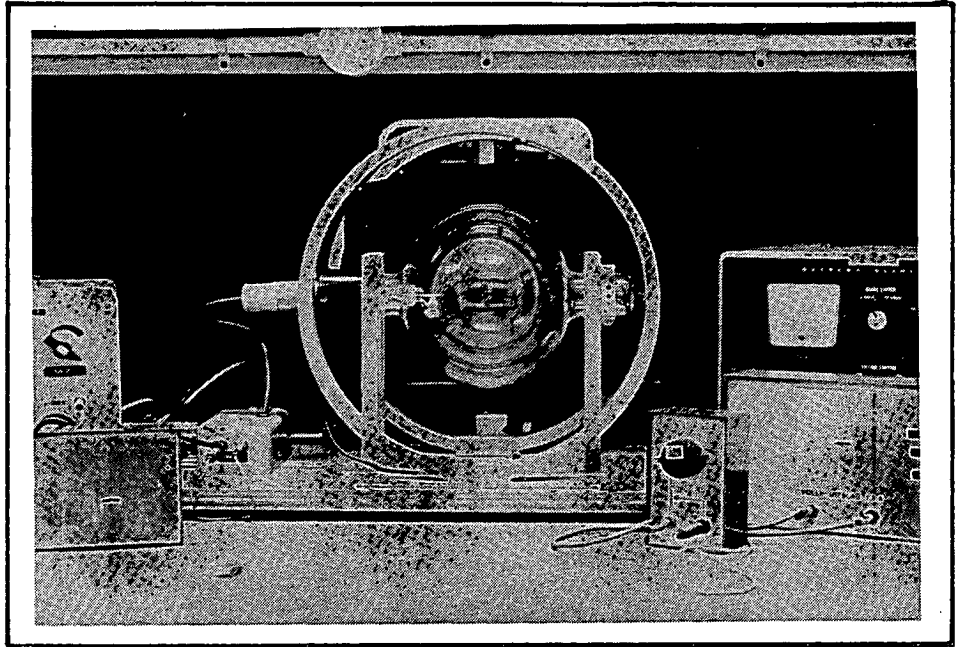
alles of
niets vraag

meestal
niets vraag

BIJLAGE D4

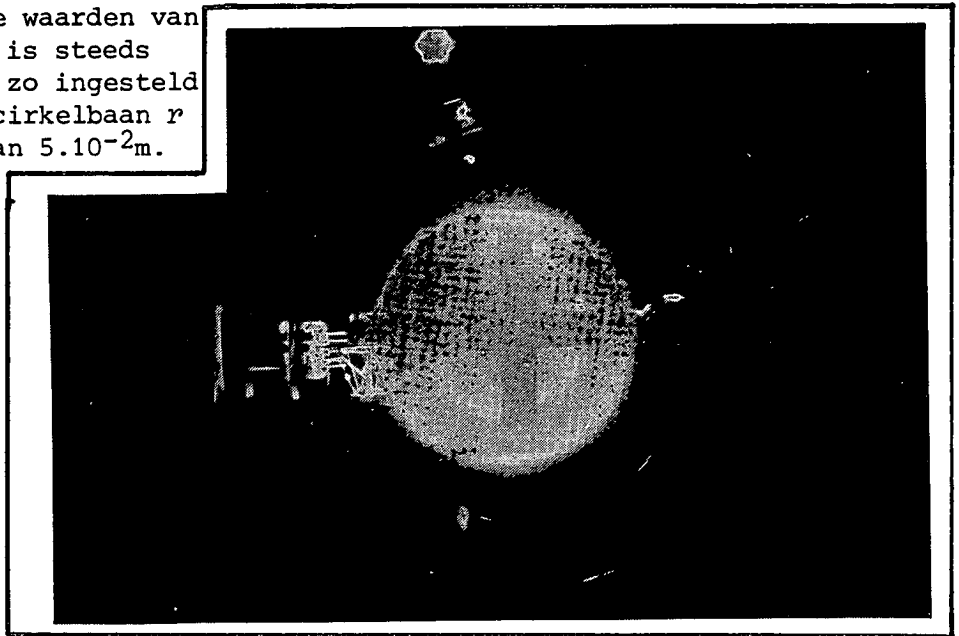
UITWERKING VAN EXPERIMENTEN MET DE CIRKELSTRAALBUIS.

De cirkelstraalbuis bestaat uit een kanon in een met waterstof gevulde bol. Dankzij dit gas licht de kathodestraal zwak blauw op. Buiten de bol zijn twee veldspoelen aangebracht om een magnetisch veld te produceren. Zoals uit de tweede illustratie blijkt vormt de kathodestraal een cirkel loodrecht op het magnetisch veld B .



Meetmethode:

Bij vijf verschillende waarden van de veldspoelstroom I_v is steeds de versnelspanning V_b zo ingesteld dat de straal van de cirkelbaan r steeds gelijk bleef aan $5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$.



Meetresultaten

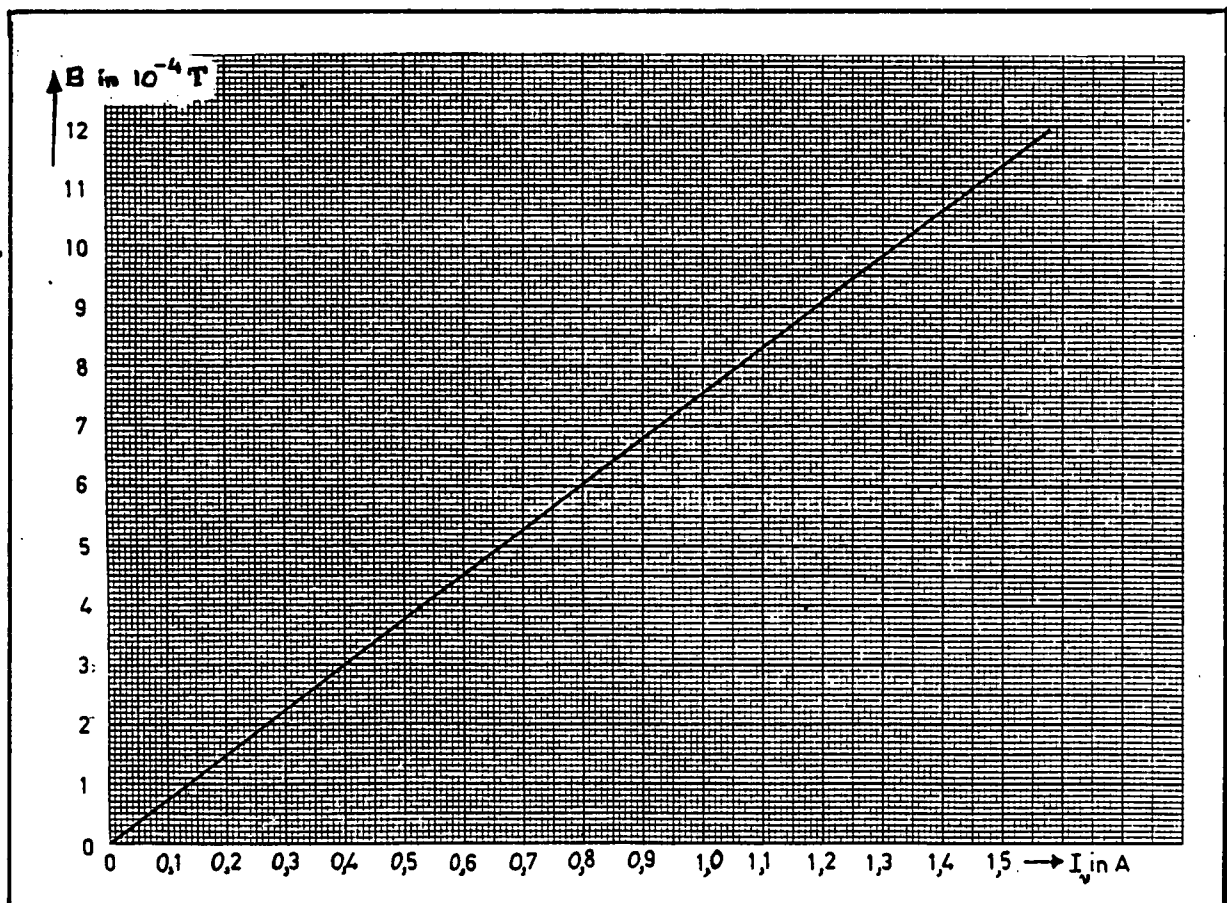
de straal $r = 5 \times 10^{-2} \text{ m}$	
veldspoelstroom I_v in A	versnelspanning V_b in V
1,50	280
1,35	250
1,20	190
1,05	140
0,90	100

magn. veldsterkte B in T.	snelheid v in m/s	lading/massa q/m in C/kg

BIJLAGE D4

Uitwerking.

1. Bepaal voor elk van de gevallen de sterkte van het magnetisch veld , met behulp van het onderstaand diagram.
2. Bepaal de snelheid v van de deeltjes. Maak gebruik van de energievergelijking van de versneller: $q \cdot V_b = \frac{1}{2} m \cdot v^2$
en van de cirkelvergelijking: $B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r}$
Aanwijzing: volgens de eerste vergelijking is $m \cdot v^2 = 2 \cdot q \cdot V_b$; vul deze $2q \cdot V_b$ in het rechter lid van de tweede vergelijking in. Dan kun je q elimineren en v uitrekenen.
3. Bepaal vervolgens de lading - massa verhouding q/m door v te substitueren in een der vergelijkingen. Doe dit voor elk der vijf gevallen.
4. Door meetonnauwkeurigheden zijn de gevonden q/m waarden niet allemaal gelijk. Geef aan hoe je met deze meetresultaten toch zo nauwkeurig mogelijk de echte waarde van q/m kunt bepalen.



BIJLAGE D5

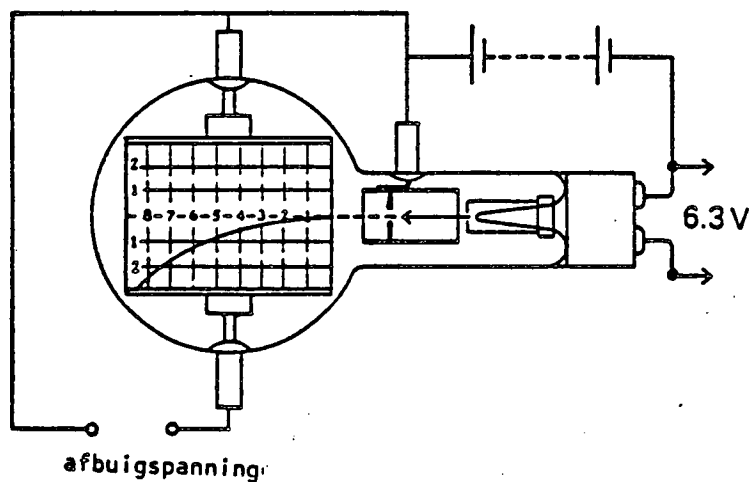
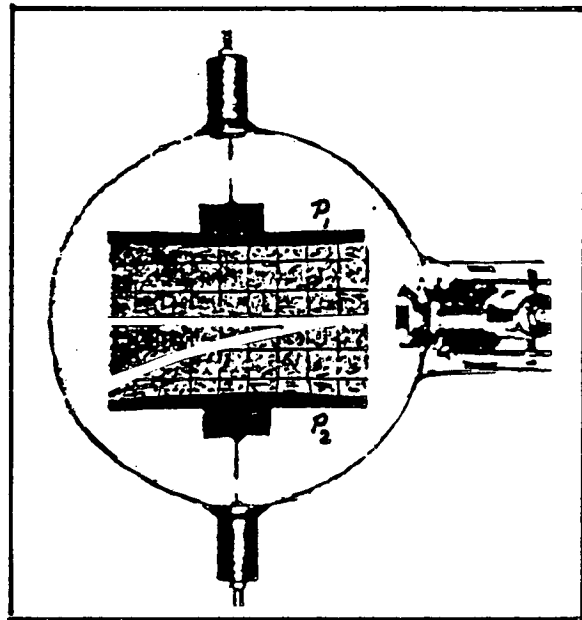
UITWERKING VAN EXPERIMENTEN MET DE THOMSON BUIS

De Thomsonbuis is een vacuumbuis met een kathodestraalkanon. De straal passeert tussen twee evenwijdige platen P_1 en P_2 . Tussen de platen bevindt zich in langsrichting van de buis een fluorescerend scherm, waarop de baan van de kathodestraal zichtbaar wordt. Dit scherm is voorzien van een 1cm x 1cm ruitjespatroon.

Buiten de bol bevinden zich twee veldspoelen waarmee een magnetisch veld kan worden aangelegd.

Meetmethode:

Bij een gegeven afbuigspanning V_a op de platen P_1 en P_2 wordt de veldspoelstroom I_v zo ingesteld dat de kathodestraal rechtdoor gaat. De elektrische kracht is dan gelijk aan de Lorentzkracht. V_a en I_v worden genoteerd. Vervolgens wordt het elektrische veld uitgeschakeld. Door het magnetisch veld zal de kathodestraal een cirkelboog gaan beschrijven. Uit het beeld op het fluorescerend scherm moet de straal van deze cirkel worden bepaald.



Meetresultaten: De afstand tussen de platen $d = 0,05$ m.

De instelling van het kathodestraalkanon werd niet gewijzigd tijdens de proef.

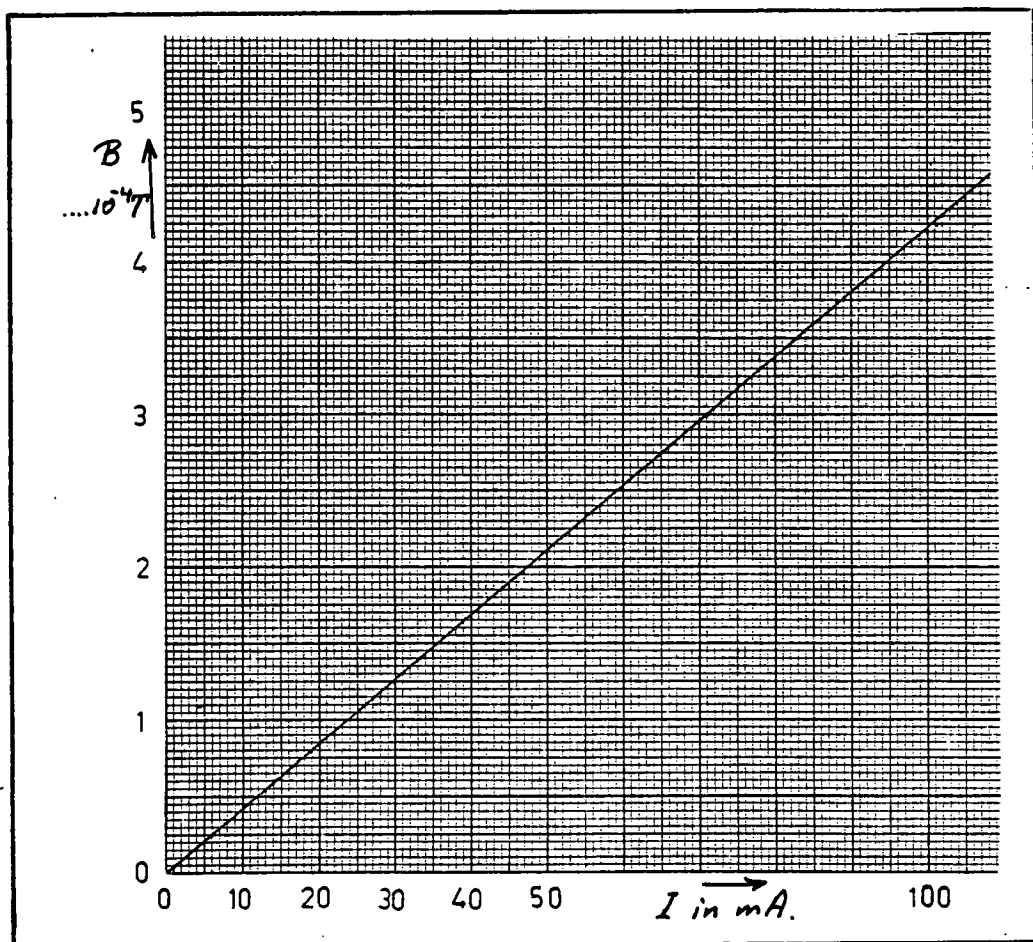
BIJLAGE D5

afbuigspanning V_a in V	veldspoelstroom I_v in A	straalcirkelboog r in m	magn. veldsterkte B in T	snelheid v in m/s	q/m in C/kg
300	0,042				
420	0,057				
480	0,068				
600	0,087				

Uitwerking:

1. Bepaal voor elk van de gevallen de sterkte van het magnetisch veld B met behulp van het diagram op de volgende bladzijde.
2. Bepaal de snelheid v van de deeltjes. Maak gebruik van het feit dat $F_{el} = F_{lorentz}$ ofwel $\frac{q V_a}{d} = B \cdot q \cdot v$.
3. Bepaal uit de vier tekeningen van de cirkelbaan op het fluorescerend scherm bij uitgeschakelde afbuigspanning voor elk der gevallen de straal r .
4. Bepaal vervolgens de lading-massa verhouding q/m door v , r en B te substitueren in de vergelijking met de cirkelbaan:

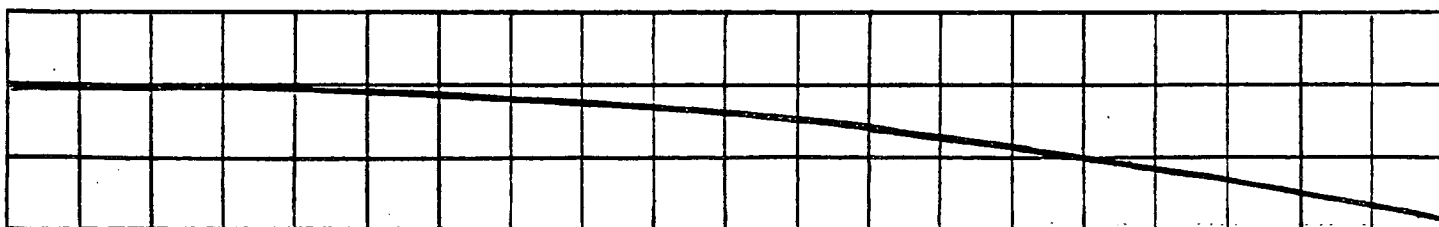
$$B \cdot q \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r}$$
Doe dit voor elk der vier gevallen.
5. Door meetonnauwkeurigheden zijn de gevonden q/m waarden niet allemaal gelijk. Gebruik alle metingen om een zo goed mogelijke benadering van de werkelijke waarde van q/m te bereiken.



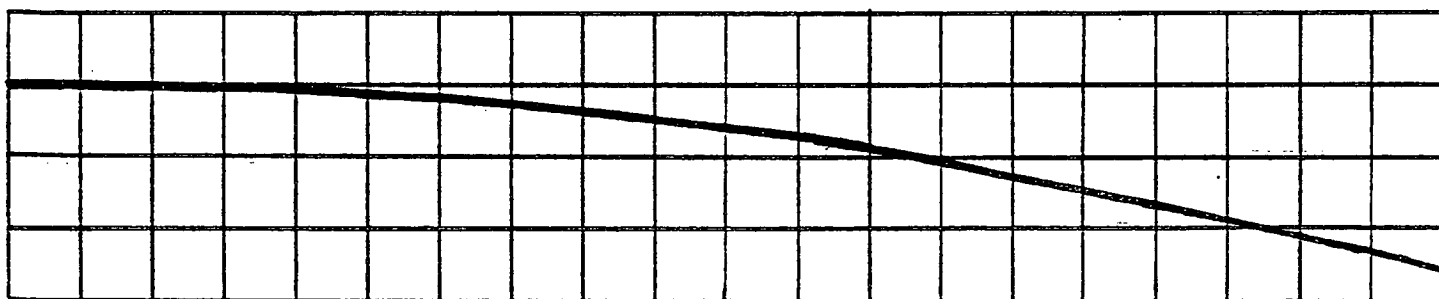
BIJLAGE D5

BAAN VAN DE KATHODESTRAAL ZONDER ELEKTRISCH VELD.

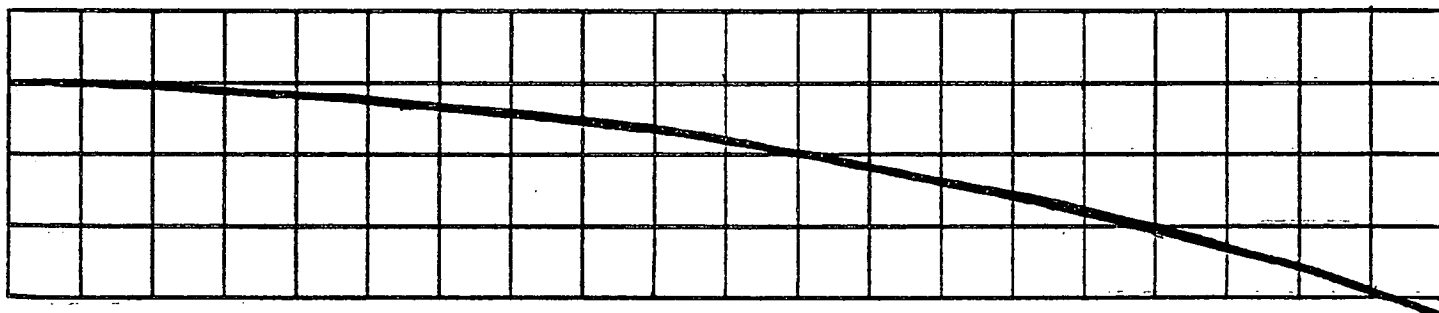
meting 1: $I_v = 0,042 A$.



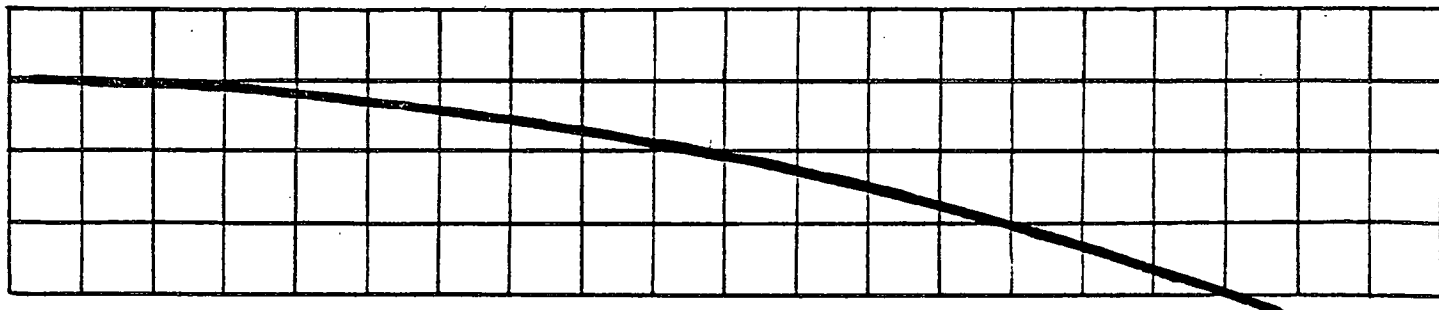
meting 2: $I_v = 0,057 A$.



meting 3: $I_v = 0,068 A$.

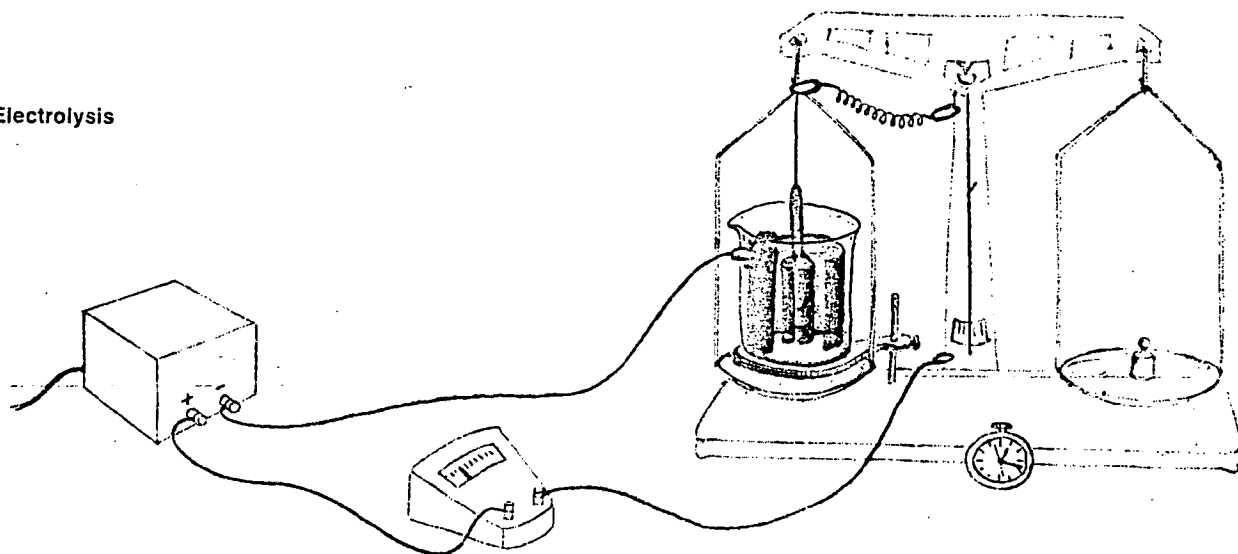


meting 4: $I_v = 0,087 A$.



ELEKTROLYSE

Electrolysis

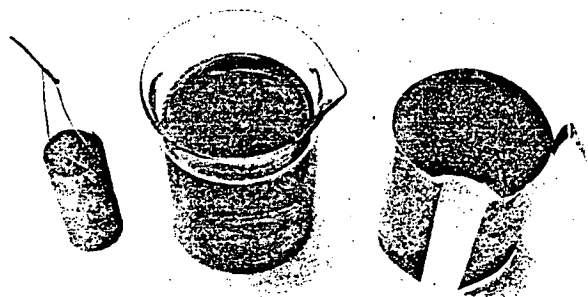


E40 ELECTROLYSIS

Although not an ideal arrangement, there is an argument in favor of doing this experiment after E42, The Measurement of Elementary Charge. Students will then know the value of the charge on the electron ($q_e = -1.6 \times 10^{-19}$ coulombs) and they can use the measurement of the mass of metal deposited by the passage of a known quantity of charge to calculate such things as the mass and volume of a single metal atom. If, in the experiments, we follow the strict historical sequence of the Text (Faraday's work on electrolysis preceded Millikan's oil-drop experiment by about 80 years) students would use electrolysis to determine the faraday (F). Although this is an important quantity, its significance would emerge only after doing a series of experiments with many different elements and finding that the same quantity of electricity ($F = 96,540$ coulombs) will deposit, or release, the gram equivalent weight of any element.

Sheet of copper sufficient to form a cathode cylinder 6 to 8 cm long and about 3 cm in diameter, with a connecting tab

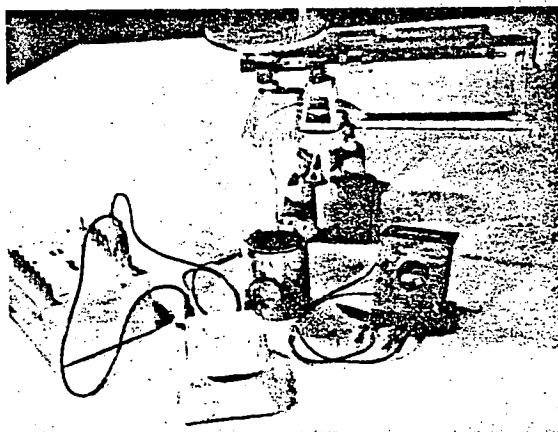
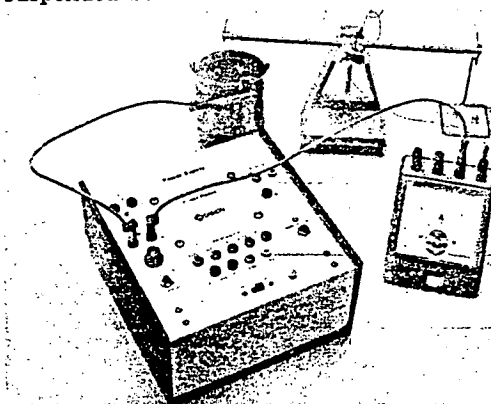
Balance from which the cathode can be suspended as shown in the figures below. If an equal-arm balance is used it should have a shelf to support the beaker; if a triple-beam balance is used it should be raised above the bench and the cathode suspended below the balance



Equipment

Beaker, 500 or 600 ml

Sheet of copper sufficient to line the inside wall of a beaker (anode), with a connecting tab



BIJLAGE D6

Electrolyte solution of saturated copper sulfate in *distilled* (or de-ionized) water with two or three drops of concentrated sulfuric acid. Both the use of distilled water and the addition of sulfuric acid are essential to the formation of a good adherent deposit.

dc ammeter, 0-5 or 0-10 amperes

6-8 volt dc supply

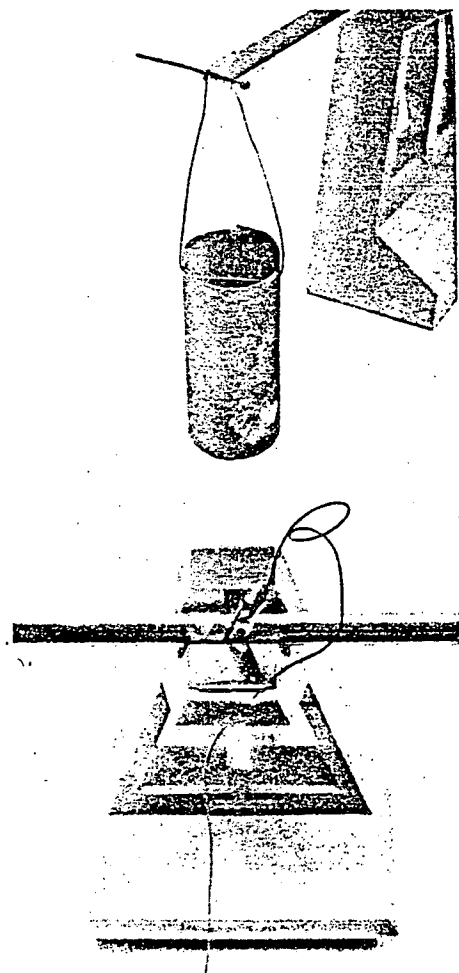
Variable autotransformer or rheostat

Connecting wires including a short wire suspending the cathode and ending with a clip to the balance arm. Also a short wire (coiled) with clips on each end, if needed, to connect cathode wire to balance arm pillar as shown below.

Stop watch (optional)

Procedure

An unusual and very convenient feature of this experiment is that the cathode is supported in the



electrolyte from the balance beam. Thus, the cathode need not be removed from the cell for weighing, and we have eliminated the risky step of drying it after the experiment.* Either equal-arm or triple-beam balances can be used.

Another refinement is to control the current by means of an autotransformer ("Variac" or "Powerstat") which provides current control over a wider range than the more conventional rheostat in series with the cell. Of course a rheostat can still be used if more convenient and should be connected in series with the output of the power supply.

If an ordinary power supply is not available one can be made from a bell transformer with a rectifier in series with its output. The ammeter in the circuit will read the average of the resulting pulsating direct current, which gives correct results.

Notice that the electrical connection to the cathode must be made through the wire by which it hangs from the balance beam. The knife edge and its seat are not electrically conducting so they must be bypassed as indicated. Even if the pivots of the balance are made of metal you cannot pass a 5 amp current through them.

The anode connection is made in any convenient manner.

Care must be taken to see that neither solder nor any battery clips touch the copper sulfate electrolyte since some foreign metal will dissolve and, by replacing copper atoms in the electrolysis process, will drastically alter the results. It is for this reason that both electrodes must have protruding tabs for electrical connections.

Since the rate of deposit of copper will not be constant if the cathode surface is dirty or impure, it is a good idea to form a deposit of pure copper on it by a preliminary run of 10 or 15 minutes. During this time the controls can also be adjusted to obtain the desired current. Explain to the students why they can start from any state of the electrode, not just the unplated electrode at $t = 0$.

Brief Answers to Questions

Q1 $Q = I \times t$. A typical answer: a current of 5 amps for 10 minutes would be $5 \times 10 \times 60 = 3,000$ coulombs. This would give a true mass increase of 1.02 g. This is a theoretical value. In practice the mass increase is usually 3%-8% lower than theoretical.

* If you still have trouble due to some of the deposited copper dropping off the cathode, try reversing the current and have students measure the loss in weight of the anode.

BIJLAGE D7

LESSCHEMA VOOR HET THEMA "MATERIE" / PLON-HAVO 5 / CSG "JAN VAN ARKEL"

In dit eerste thema voor de vijfde klas gaat het minder om allerlei praktische toepassingen van de natuurkunde en meer om de natuurkunde als 'wetenschap'. Eén van de hoofdlijnen in het thema is de ontwikkeling in het natuurkundig denken over bouw en aard van materie. Met de onderwerpen die aan bod komen wordt in de komende thema's verder gewerkt. Wellicht ten overvloede: in dit lesschema staat ook telkens het huiswerk vermeld....

LES 1: Welke thema's komen dit jaar aan bod.
Een paar praktische zaken rond het schoolonderzoek.
Wat doen we aan repeteren.
'Oriëntatie' op dit thema (hoofdstuk 1 uit het themaboek).

Huiswerk voor les 2: Lees par. 2.1 t/m 2.4; maak de opgaven 2.2: 1,2,3,4/2.3: 1/2.4:1

LES 2: We bespreken met elkaar theorieën en opgaven.

Huiswerk voor les 3: Lees par. 2.5 en 2.6; maak de opgaven 2.5: 1,2,3,4/2.6: 1,2,3,4,5.

LES 3: We bespreken weer theorie en opgaven.

Huiswerk voor les 4: Lees par. 3.1 en 3.2; maak opgave 3.2: 3

LES 4: We vertonen wat physique amusante(?) rond elektrische ladingen, daarnaast bespreken we nog de opgave.

Huiswerk voor les 5: Lees par. 3.3 en 3.4.

LES 5: We vertonen (voor zover het kan en mag) de experimenten uit par. 3.4 en proberen met elkaar een antwoord op de vragen te krijgen.

Huiswerk voor les 6: Lees par. 3.5 (pittig!) en 3.6. (Let op - je moet de rechterhandregel weer vervangen door de linkerhandregel!)

LES 6: Zo nodig leggen we iets uit aan par. 3.5; we demonstreren par. 3.6.

Huiswerk voor les 7 en voor les 8: Lees par. 3.7 òf par. 3.8 òf maak uit 3.10: 2,3,4.

In les 7 en 8 wordt de klas in vier kwarten verdeeld..... Kwart A start met 3.7, kwart B met 3.8 en C en D maken (thuis en in de les) de opgaven. In de volgende les krijgt C met 3.7 te maken en D met 3.8, terwijl nu A en B aan de opgaven werken.

LES 7 en 8: Werken met cirkelstraal buis of Thomsonbuis of opgaven.

Huiswerk voor les 9: Iedereen werkt de standaardmeetresultaten uit en leest par. 3.9.

LES 9: Je levert de uitwerking van de meetresultaten in (aan het begin van het uur) en daarna kijken we de opgaven uit 3.10 na. Verder verdelen we de natuurkundigen uit hoofdstuk 4 onder groepjes van 3 of 4 leerlingen.

BIJLAGE D7

Huiswerk voor les 10: Je begint alvast met par. 4.1 toe te passen op jouw natuurkundige (wat dacht je van een taakverdeling?).

LES 10: Je maakt je werk af en voegt de resultaten samen in zwart, niet te klein, handschrift op één of meer witte vellen die je aan het eind van het uur inlevert.

Huiswerk voor les 11: Bereid de toelichting bij jouw conclusies voor.

LES 11: Aan de hand van de inmiddels ontstane transparanten kan de hele klas kennis nemen van alle geleerden, zonodig met jouw toelichting.

Huiswerk voor les 12: Lees par. 5.1 en 5.2; maak 5.1: 2 en 5.2: 1,3.

LES 12: We demonstreren 5.1: 1 en kijken theorie en opgaven na.

Huiswerk voor les 13: Lees par. 5.3 en maak 5.3: 1,2,4.

LES 13: We bespreken theorie en opgaven.

Huiswerk voor les 14: Lees par. 5.4 en maak 5.4: 1,2,3,5.

LES 14: We bespreken theorie en opgaven.

Huiswerk voor les 15: Lees par. 6.1 en 6.2; maak de opgaven hieruit.

LES 15: We bespreken de theorie en de opgaven en vertonen een deel van een videoband over onderzoek naar elementaire deeltjes.

Huiswerk voor les 16: Lees par. 6.3; maak 6.3: 1 t/m 9 (!).

LES 16: Aan de hand van de gemaakte opgaven bespreken we de kenmerkende eigenschappen van verschillende typen versnellers.

Huiswerk voor les 17: Maak 6.3: 10,11; lees 6.4; maak 6.4: 1,2,3.

LES 17: Met behulp van de theorie en een paar 'echte' foto's bespreken we het opsporen van elementaire deeltjes.

Huiswerk voor les 18: Lees par. 6.5 en 6.6; maak 6.5: 1 t/m 5.

LES 18: We bespreken 'een beroemde formule'.

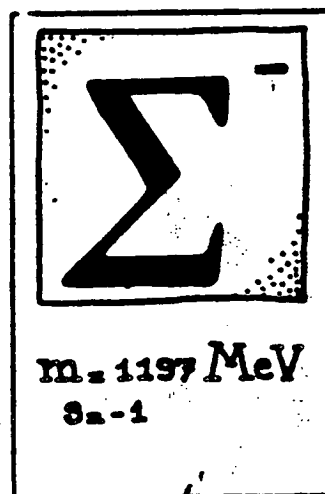
Huiswerk voor les 19: Lees par. 6.7 en 6.8 (tot aan 'baryonen'); maak 6.7: 1,2 en 6.8: 1.

LES 19: We bespreken theorie en opgaven en delen een onuitgeknipt 'kwartet'spel uit en leggen uit wat de bedoeling is.

Huiswerk voor les 20: Je knipt het kwartet'spel uit en lost met behulp van de kaartjes opgave 2,3 en 4 uit par. 6.8 op - ook maak je opgave 5.

BIJLAGE D7

- LES 20: We trekken conclusies uit de gevonden oplossingen.
- Huiswerk voor les 21: Lees 6.9 en 6.10; maak 6.10: 1,2,4.
- LES 21: We bespreken theorie en opgaven en bekijken opnieuw een stuk videoband.
- Huiswerk voor les 22: Lees par. 7.1 en 7.2; maak 7.1: 1 en 7.2: 1,2,3 en 4.
- LES 22: We bespreken theorie en opgaven na, en proberen met elkaar een antwoord te vinden op vraag 1 uit par. 7.3.



Het proefwerk over dit thema gaat, zoals je wel verwacht zult hebben over het hele themaboek, plus de proef die je gedaan hebt en gecorrigeerd hebt terug gekregen.
Succes!

Bb/Jg

BIJLAGE D8

INVUL TIJDBALK -

Modellen van de bouw der materie.

1000 v.Chr.					
500					
0					
500 n.Chr.					
1000					
1500					
1600					
1700					
1800					
1820					
1840					
1860					
1880					
1900					
1920					
1940					
1960					
1980					
2000					

categorieën

vier elementen model
 atoommodel
 het samengestelde atoom
 de samengestelde kern
 het samengestelde nucleon

Een romeinse dichter-fysicus

J. W. STUMPEL, *Nat. Lab. V.U.*

Onlangs kreeg ik een boekje in handen dat mij bijzonder heeft gefascineerd: een Engelse vertaling van *De Rerum Natura* van de Romeinse dichter T. Lucretius Carus (gest. 55 v. Chr.)*

Lucretius was een aanhanger van de theorieën van de Griekse filosoof Epicurus. Van de geschriften van Epicurus is, op enkele fragmenten na, bijna alles verloren gegaan, maar gelukkig hebben wij in het lange gedicht van Lucretius een gedetailleerd overzicht van de Epicureïsche leer. Ook dit heeft maar een haartje gescheeld, want slechts één copie van *De Rerum Natura* heeft de val van het Romeinse rijk overleefd, en daar stammen alle verdere edities van af.

Op het gymnasium wordt Lucretius hetzij behandeld als dichter (maar dan wel een, die de op een dieet van Caesar en Livius gestelde beta's nooit te lezen krijgen), hetzij als filosoof, en dan wel als een filosoof met een slechte reputatie: Lucretius stelde zich, in navolging van zijn leermeester Epicurus, bijzonder sceptisch op ten opzichte van de goden, en vond dat 'het goede' gelijk gesteld moest worden aan 'het genot'. Het woord 'epicurist' wordt nu nog wel gebruikt om iemand aan te duiden die in lekker eten en drinken het hoogste genot ziet. Hoewel dit een apert onjuiste interpretatie van Epicurus' opvatting van 'genot' is, hebben de latere kerkvaders hem altijd verketterd en wordt Epicurus nog steeds, vooral op scholen van katholieke signatuur, als een enigszins verdachte figuur beschouwd.

Een voor ons veel interessanter aspect van de leer van Epicurus en Lucretius is hun belangstelling voor de fysica. Tegenover het in hun tijd reeds tanende geloof aan de Grieks-Romeinse godenwinkelen en tegenover de verschillende filosofische systemen die leerden dat alle waarneming berust op

illusie, stelden zij dat de fysische wereld werkelijk begrepen kan worden, en dat men door de bestudering van de natuur tot wijsheid kon komen. *De Rerum Natura* is op de allereerste plaats een natuurkundeboek. Zeer veel fysische verschijnselen worden erin beschreven en onderling met elkaar in verband gebracht door middel van de atoomtheorie.

Juist dit 'moderne' aspect van het boek, de atoomtheorie, maakt het zo interessant om te lezen. Een groot aantal eigenschappen van atomen worden genoemd, en met argumenten, ontleend aan de waarneming, verdedigd. Lucretius was een dogmatisch automist: voor hem bestond er werkelijk *niets anders* dan atomen en vacuüm in de wereld. Terwijl wij, naast atomen en vacuüm, nog andere fysische entiteiten erkennen, zoals electromagnetische en gravitatievelden, voelde hij zich gedwongen om een verschijnsel als het magnetisme niet alleen maar te beschrijven, maar ook met een deeltjestheorie te verklaren. Dit levert heel amusante resultaten op. Een magneet, bijvoorbeeld, zendt voortdurend een stroom deeltjes alle kanten uit (een soort radioactiviteit dus). De uitgezonden deeltjes botsen tegen de omringende luchtmoleculen en slaan ze opzij, waardoor een gedeeltelijk vacuüm rond de magneet wordt gecreëerd. Stukjes ijzer die zich in de buurt bevinden, worden door dit vacuüm naar de magneet toegezogen, vanwege het luchtdrukverschil tussen voorkant en achterkant. Lucretius ziet zich nu gedwongen om met een stel nogal onwaarschijnlijke ad-hoc verklaringen te komen om uit te leggen dat alleen ijzer, en niet bijvoorbeeld goud, of stukjes hout, door de magneet worden aangetrokken. (Het goud is te zwaar, en komt daardoor niet van zijn plaats; in het hout zijn de atomen niet zo dicht op elkaar gepakt als in het ijzer, zodat de lucht erdoorheen kan sijpelen, waardoor het luchtdrukverschil wordt opgeheven.) Lucretius heeft in ieder geval wel zelf enkele experimenten op dit gebied uitgevoerd (met magneet-ijzererts natuurlijk, niet met magneten zoals wij die kennen). Zo beschrijft hij ook magnetische afstoting, en de werking van een magneet door dunne lagen niet-magnetisch metaal heen.

De door Lucretius gegeven verklaring van de magnetische aantrekking is natuurlijk fout; maar het is wel een verklaring die wij als fysici kunnen begrijpen en kunnen bekritisieren: wij zouden als

* Lucretius *On the nature of the universe*, vertaling R. E. Latham, Penguin Classics, ISBN 0 14 044.018 6.

BIJLAGE I1

het ware met Lucretius een dialoog kunnen aangaan. Hij illustreert zijn betoog met waarnemingen en legt voortdurend de nadruk op het belang van waarnemingen. Het boek heeft overal veel natuurkundige 'body', in tegenstelling bijvoorbeeld tot de werken van Aristoteles. Wie de moeite neemt om Aristoteles' 'Fysica' door te worstelen, zal wel veel geleerd-doenerij over 'substanties' en 'essenties' tegenkomen, en veel begripsdefinities, maar weinig echte fysica. Lucretius geeft zeer veel fysica: warmtegeleiding door metalen, spiegeling en breking van licht, warmteopwekking door wrijving, gelijke valsnelheid van lichte en zware voorwerpen in vacuüm, en zelfs brown-beweging: de stofdeeltjes die men kan zien dansen in een bundel zonlicht 'zijn een aanwijzing voor de onzichtbare bewegingen van de materie... Deze kleine deeltjes... worden in beweging gebracht door de botsingen met de onzichtbare atomen...' (*De Rerum Natura*, boek II, vers 129-140).

Wat bijzonder indrukwekkend is, is Lucretius' poging om een verklaring te geven voor het bestaan van de vrije wil in een overigens streng mechanische en door natuurkundige wetten geregeerde wereld. Als alles uit atomen bestaat, inclusief de mensen zelf, en als deze atomen in rechte lijnen moeten bewegen totdat zij tegen een ander atoom botsen, dan zou alles, inclusief het denken en voelen van de mensen strikt voorspelbaar moeten zijn. Men ziet hierin een voorloper van de 'grote horlogemaker' van Laplace: een superieure geest die in staat was om de vergelijkingen van Newton voor alle atomen van het heelal op te lossen, zou de geschiedenis volledig kunnen voorspellen, waardoor er geen ruimte meer zou zijn voor de vrije wil. Lucretius zag dit probleem ook, en voelde zich toen gedwongen om aan te nemen dat de atomen voortdurend kleine random afwijkingen van hun rechte baan moesten vertonen, om een element van onzekerheid in de wereld te brengen waardoor er weer een vrije wil zou kunnen bestaan. In de 20ste eeuw zijn er nog filosofen geweest zoals A. Eddington, die het probleem van de vrije wil meenden te kunnen oplossen via de onzekerheidsrelaties van Heisenberg, dus juist via dat soort 'kleine afwijkingen' waar Lucretius het over had!

Het aardige van het boek zit er nu juist in, om als fysicus de redeneringen van Lucretius te volgen,

af en toe te zeggen: ja, dat heb je bij het rechte eind, of: kom nou, dat moet je niet zó zien maar zó; we kunnen nu eenmaal moeilijk veronderstellen dat Lucretius de ontwikkeling van 2000 jaar natuurkunde helemaal heeft kunnen voorzien, dus het komt nogal eens voor dat hij werkelijk totaal verkeerde verklaringen voor bepaalde verschijnselen geeft. Over het algemeen doet zijn natuurbeschrijving toch erg modern aan: in grote lijnen komt hij zeker overeen met de fysisch-chemische opvattingen van voor 1900, met atomen als harde bolletjes voorzien van valentie-haakjes (waardoor ze met elkaar kunnen combineren). Het grote gezag van Aristoteles (die niet in atomen geloofde) heeft de invloed van Lucretius eeuwen lang tegengehouden; maar toen Gassendi in de 17de eeuw de atoomtheorie weer nieuw leven in blies, is hij daarbij wel rechtstreeks van Lucretius uitgegaan. Lucretius was bovendien een van de grootste Latijnse dichters. Hij had zich tot taak gesteld om 'deze moeilijke en duistere waarheden' door middel van aangename literaire taal aan zijn tijdgenoten over te brengen. De dichterlijke uitwijdingen die hij daartoe soms toepast, zijn een genot om te lezen. De Engelse proza-vertaling van R. E. Latham is bijzonder gemakkelijk toegankelijk.

Zeker voor de natuur- en scheikunde-leraren aan onze gymnasia is dit werk van de Romeinse dichtersfysicus een must!

• Faraday aug. 1977 , 106-108

Mendelejev — de Linnaeus van de scheikunde

Jan W. van Spronsen

De klassificatie, of systematisering zo men wil, is eigenlijk zo oud als de wetenschap zelf. Voortbrengselen van de natuur werden altijd al ingedeeld, al was het alleen maar door naamgeving. De dode natuur, het plantenrijk en het dierenrijk werden al vroegtijdig onderscheiden. Spoedig ging men zelfs verder. Als de oude Egyptenaar een ibis van een andere vogel onderscheidt, en ze beide vogels noemt, dan is hij aan het klassificeren.

De weg tot een klassificatie in het dierenrijk en het rijk der planten en mineralen is lang geweest. Er werd eigenlijk pas groot succes geboekt vanaf de 18e eeuw. Namen van bekende geleerden in deze tijd zijn Linnaeus, Cuvier en Buffon.

In dezelfde tijd ging men er serieus aan denken dat de bouwstenen van de natuur zijn terug te brengen tot een beperkt aantal. Elementen had men deze eigenlijk al vroeg genoemd, maar wat deze bouwstoffen waren was nooit geheel duidelijk. De oude Grieken hielden het op vier oerstoffen, water, aarde, lucht en vuur — zeer voor de hand liggend. Later werd deze elementenleer op verschillende manieren omgebogen zodat er soms inderdaad enkelvoudige stoffen zoals kwik en zwavel aan te pas kwamen.

Met de definitie van de Franse scheikundige Lavoisier en vooral door de bereiding van niet-samengestelde stoffen, kreeg men kijk op het aantal van deze enkelvoudige stoffen — weer elementen genoemd — en hun onderling verband.

Dat was aan het eind van de 18e en het begin van de 19e eeuw. In de aanvang verliep dit nog allemaal zeer moeizaam, omdat nog lang niet alle elementen bekend en geïsoleerd waren.

Vooraf moest er een numerieke betrekking tussen deze elementaire stoffen ontdekt worden. Dit vond plaats in het begin van onze vorige eeuw. Dit verband ging men het atoomgewicht noemen — nu de atoommassa — in



wezen niets anders dan de relatieve zwaarte van het ene element tegenover het anderen.

In de eerste helft van de vorige eeuw hebben verscheidene geleerden zich verdienstelijk gemaakt enkele verbanden tussen de atoomgewichten van deze elementen en hun scheikundige eigenschappen vast te leggen. Een grote stap voorwaarts werd echter pas in de jaren zestig van de vorige eeuw gedaan. En het blijft daarbij een zeer merkwaardig feit, dat zes onderzoekers, geheel onafhankelijk van elkaar, in wezen dezelfde systematiek die tussen de scheikundige elementen bestaat, ontdekten.

Een van deze ontdekkers was Dmitri Iwanovitsj Mendelejev. Hij werd in de Siberische stad Tobolsk, volgens de oude Russische tijdsrekening geboren in 1834 op 27 januari, maar omgerekend naar de hedendaagse tijdsmaatstaf, op 8 februari.

Zijn vader was schoolhoofd. Aanvankelijk zou Dmitri hem opvolgen, te meer daar zijn vader vroegtijdig blind werd. Maar zijn scheikundeleraar op het Pedagogische Instituut van Petersburg (nu Leningrad) waarheen de fa-

milie inmiddels was verhuisd, wist hem zo te boeien, dat hij het vak scheikunde als zijn toekomstideaal koos.

Hij ging in het buitenland verder studeren, o.a. in Heidelberg bij de befaamde Bunsen (bij de lezer wellicht bekend als de vader van de Bunsenbrander) om daar al spoedig de doctorsgraad te halen. Op dertigjarige leeftijd was hij, na terugkomst in Petersburg, al een gevestigd docent geworden. Hij schreef verscheidene leerboeken en dit was dan ook de aanleiding van zijn ontdekking van de systematiek die er bestaat tussen de scheikundige elementen.

Voor de indeling van zijn leerboek in de anorganische scheikunde had Mendelejev een zeker systeem nodig. Op een avond, om precies te zijn op 17 februari 1869, had hij kaartjes gemaakt met daarop de eigenschappen van de hem bekende elementen — zo'n 60 in getal — en ging hij daarmee als het ware patience spelen. En met welk resultaat!!

Hij ontdekte het zogenaamde periodieke systeem der scheikundige elementen, dat weliswaar ook vijf ande-

PERIODE	GROEP 1	GROEP 2	GROEP 3	GROEP 4	GROEP 5	GROEP 6	GROEP 7	GROEP 8	GROEP 9
1	H								
2	Li	Be	B	C	N	O	F		
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl		
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt

Gedeelte van het periodiek systeem der elementen, zoals het thans gangbaar is. Boven de elementen staat het rangnummer, eronder het atoomgewicht.

ren onafhankelijk van hem en van elkaar ontdekt hadden, doch dat Mendelejev door zijn enorme pedagogische activiteiten geweldig vermocht te pousseren. Een periodiek systeem dat, zoals de naam aangeeft, de eigenschappen van de elementen in perioden doet herhalen.

Hoe zit het periodiek systeem nu in elkaar? Wat Mendelejev in feite deed was alle elementen rangschikken op hun atoomgewicht. Door ze van links naar rechts en van boven naar beneden in een rechthoek te plaatsen, als regels tekst op een pagina, verkreeg hij kolommen met elementen die overeenkomstige eigenschappen vertonen.

Zo hebben de elementen uit de zevende groep, de halogenen, gemeen dat ze sterk desinfecterend werken. Chloor (Cl) wordt gebruikt in zwembaden, en Jodium (tegenwoordig Jood, I) ter ontsmetting van wonden. Ook vormen ze op overeenkomstige manier zouten met bepaalde metalen. Mendelejev rangschikte de elementen vooral op hun eigenschappen en liet hij plekken open voor elementen die nog niet ontdekt waren. Zijn systeem had daardoor een voorspellende waarde, voorspellingen die later ook uitkwamen.

Later konden de eigenschappen van de elementen door de atoomtheorie worden verklaard; de samenhang tussen het atoomgewicht en de eigenschappen van een element werden toen duidelijk. Het bleek dat het aantal elektronen rond de kern van een atoom de chemische eigenschappen volledig bepaalde. Het aantal elektronen houdt ongeveer gelijke tred met het atoomgewicht van een element.

Mendelejev is na deze unieke ontdekking niet op zijn lauweren gaan rusten. In de eerste plaats heeft hij zijn periodiek systeem in de latere jaren van zijn leven bijgeschaafd, uitgebreid, ingepast in de nieuwere ontdekkingen en vooral gepropageerd.

Maar dit alles lag voornamelijk op de gebieden meteorologie, geologie en chemische technologie. Tot dit laatste behoren zijn nasporingen betreffende de petroleumwinning en verwerking en het onderzoek van explosieven. Van 1892 tot zijn dood op 2 februari 1907 is hij het hoofd geweest van het Centraal Bureau voor Maten en Gewichten. Zo heeft Mendelejev voor de Russische economie minstens net zo veel betekenis gehad als voor de theoretische wetenschap.

MENDELEJEV — DE LINNAEUS VAN DE SCHEIKUNDE.
Onderstaand artikel is afkomstig uit de NRC 19-2-1984

BIJLAGE 12

BIJLAGE 13

DE BEDENKINGEN VAN SCHUSTER.

Bedenking 1

Is de snelheidsberekening voor elektronen bij het passeren van de anode juist? In de berekeningen is er van uitgegaan dat elektronen starten aan het oppervlak van de kathode met snelheid 0, zodat de elektrische energie, $e.V.$ gelijk aan de kinetische energie, $\frac{1}{2}mv^2$, kan worden gesteld.

Antwoord

Waarschijnlijk is de veronderstelling niet helemaal waar. Elektronen zullen met enige kinetische energie uit de gloeidraad worden gestoten en dat ook nog in verschillende richtingen. Daar de kathodestraal maar weinig divergeert, zal deze energie echter vrijwel verwaarloosbaar zijn bij versnellingen van honderd en meer volt.

Bedenking 2

Een elektron dat botst tegen een gasatoom kan aanslag of ionisatie veroorzaken. Het verliest daarbij kinetische energie en de snelheid kan door de botsing van richting veranderen.

Antwoord

Deze effecten treden op zonder dat de proef daardoor verstoord wordt. In de cirkelstraalbuis is de gasdruk zo laag dat de vrije weglengte van de elektronen vrij groot is. Het oplichtend spoor wordt gevormd door eerste botsingen van elektronen. Door het grote aantal elektronen in de kathodestraal, die allen vrijwel dezelfde baan volgen, zijn de aanslagen van gasatomen geconcentreerd in de kathodestraal en daardoor zichtbaar. Na zo'n botsing volgt het vrije elektron een eigen weg, afwijkend van alle andere. Een eventueel tweede aanslag zal op een willekeurige plaats in de buis optreden. Dit verspreide optreden van aanslag en lichtuitzending valt in het niet bij het geconcentreerde licht van de kathodestraal. In Wilsonvat en bellenkamer is de dichtheid van het gas of de vloeistof veel groter. Bovendien is daar het spoor van één deeltje te volgen, dat een groot aantal ionisaties veroorzaakt. Met name lichte deeltjes als elektronen vormen daar ook geen cirkelbaan maar een spiraal met steeds kleiner wordende kromtestraal als teken van hun afnemende snelheid.

Tenslotte blijkt uit Wilsonvat en bellenkamerfoto's dat slechts in bijzondere gevallen de sporen een knik vertonen, namelijk als andere deeltjes worden vrijgemaakt of gevormd met vergelijkbare hoeveelheden energie. De normale ionisaties veroorzaken zo weinig impulsverandering, dat verandering van richting ten gevolge van die ionisaties niet waarneembaar is. Door de veelheid van ionisaties compenseren deze kleine richtingsveranderingen elkaar.

ONDERSTAAND ARTIKEL IS AFKOMSTIG UIT NEW SCIENTIST 11-8-83

396

New Scientist 11 August 1983



The new breed of accelerator

Particle physicists desire ever higher energies in their quest to find the ultimate nature of matter. A new breed of accelerator involving novel technology seeks to fulfil this desire

Christine Sutton

TODAY, and for the next five days, the Fermi National Accelerator Laboratory (Fermilab), out on the plains west of Chicago, plays host to the 12th International Conference on High-Energy Accelerators. Scientists and engineers from Europe, Japan, and the USSR, as well as the US, will meet to compare notes and exchange ideas about the latest developments in a field that often stretches technology to its limits. High-energy accelerators are the primary tools of particle physicists, who thirst after ever higher energies in their desire to unlock the secrets of matter. Top of the agenda for the meeting at Fermilab are the new breeds of accelerator that will open

up higher energies for the experiments of the late 1980s and 1990s. But the machines of the 21st century will also figure prominently in the conversations in the corridors and bars, as well as the discussions in the conference rooms.

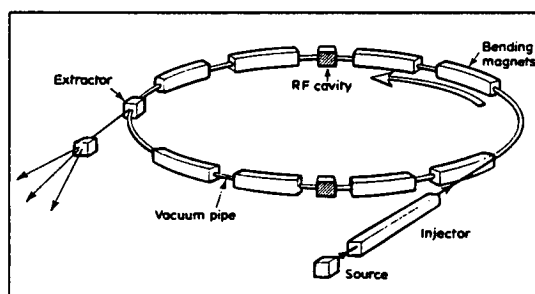


Figure 1 The basic components of a synchrotron

This year has already proved to be an exciting one for particle physics, with the discovery of particles known as the W and the Z (*New Scientist*, vol 97, p 221 and vol 98, p 355). These play a crucial role in the so-called electroweak theory, which provides a unified prescription for the outwardly diverse phenomena of electromagnetism and radioactive decay. The particles were discovered at CERN, Europe's international lab-

BIJLAGE 14

New Scientist 11 August 1983

397

oratory for high-energy physics near Geneva. There, physicists and engineers have adapted a machine that started up in 1976 so that it now provides access to much higher energies in particle collisions. More recently still, in June, Fermilab triumphantly announced the successful operation of a modified version of the laboratory's main machine, which



Japan is entering the latest round of accelerator building with *Tristan*, a project to collide electrons and positrons at 30 GeV per beam in a 3-km tunnel at the high-energy physics laboratory, KEK, at Tsukuba science city (left). The smaller accumulator ring is already almost complete (inset), and the project should start up in 1986

can now accelerate to the highest energies in the world.

High energies are useful to particle physicists for two basic reasons. A beam of particles, such as electrons or protons, can probe matter in much the same way as a beam of light or X-rays do. The analogy is close because the particle beam has an associated wavelength, which is smaller the higher the energy of the particles; so higher energy beams can "see" to smaller distances. Particle beams from modern accelerators probe distances as small as 10^{-16} cm, or one thousandth the diameter of a proton, which is roughly 10^{-13} cm. At this level experiments can perceive a structure to protons and neutrons, implying that they are built from smaller, more fundamental particles—the quarks.

A second reason for studying particle collisions at high energies is that the energy can convert into new forms of matter. This happens in accordance with Albert Einstein's equation, $E = mc^2$, where E is energy, m is mass and c is the velocity of light. So higher energies can also lead to new, heavier particles,

as with the W and the Z which weigh in at some 80-90 times the mass of a proton.

The most common type of machine for accelerating to the energies interesting to particle physicists is the synchrotron. This uses modest electric fields to impart repeated small bursts of energy to bunches of particles as they travel a circular path through regions of accelerating field (Figure 1). The particles are held on their circular paths round the synchrotron by electromagnets, which provide a steadily increasing magnetic field to match the increasing energy of the particles.

In this way the machines at CERN and Fermilab can bring protons to energies equivalent to acceleration through a potential of 500 thousand million volts—500 times the energy embodied in the mass of a proton (see Box 1). Now, the two proton synchrotrons have been adapted in different ways to reach still higher energies.

One important parameter in high-energy physics experiments is the energy available in the "centre of mass". This is a reference frame in which both beam and target approach each other with equal momentum—that is, equal velocity in the case where the two particles have the same mass, as when two protons collide. It is the total energy calculated in this reference frame that is available for conversion to matter, and the formation of new particles. When a proton of 500 gigaelectronvolts (GeV)—the maximum energy of the unmodified machines at CERN and Fermilab—strikes a stationary target, only a little over 30 GeV is available in the

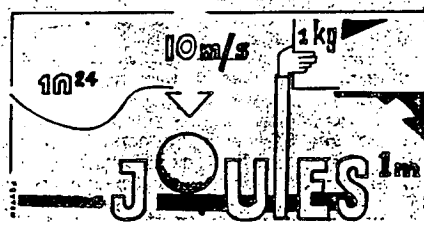
1: Joules, tennis balls and electronvolts

ENERGY, in the macroscopic world, is measured in terms of joules. A joule is the energy you expend when you lift a bag of sugar (1 kg) to the top shelf of a cupboard, say (through 1 m), and you need 20 joules to heat a teaspoonful of water (5 ml) through 1°C. A tennis ball (100 g) travelling at 10 m/s has a kinetic energy of about 5 joules, so in everyday terms, a joule is not a great deal of energy.

In terms of single subatomic particles, the story is different. A teaspoon of water contains some 10^{24} protons among which the energy used in heating the water is effectively shared, so one joule does not go far. But to a single proton a joule is an enormous amount of energy, and for this reason particle physicists prefer to use other units to make calculations simpler and the numbers easier to handle.

A convenient unit of energy to describe high-energy particles is the electronvolt. This is the amount of energy a proton (or an electron) gains when it is accelerated across a potential difference of 1 volt. It is equal to 1.6×10^{-19} joules, so we can see that our tennis ball has a kinetic energy of $5/1.6 \times 10^{19}$ electronvolts, or 3×10^{19} eV.

The ready creation of mass from energy and vice versa in particle physics experiments makes it useful to refer to the masses of particles in terms of energy. The appropriate units are eV/ c^2 , where c is the velocity of light; for convenience, c is usually set equal to 1. In these units, an electron, mass 9×10^{-31} kg has a mass-energy of 0.5 million (10^6) eV, or 0.5 MeV; the mass-energy of the proton is 935 MeV, that is, just less than 10^9 eV or 1 gigaelectronvolt (GeV). The largest accelerators currently operating raise protons to energies of 500 GeV, or 0.5 teraelectronvolts (TeV); this is nearly 0.1 microjoules—still a long way short of warming the teaspoon of water! □



centre of mass. But if two 500-GeV protons collide head-on, then the collision is in effect already in the centre-of-mass frame and all the energy— 2×500 GeV—is available.

CERN exploited this avenue to higher energies by using its proton synchrotron to accelerate antiprotons—the antimatter counterparts of protons with the same mass, but negative charge—in the opposite direction to the protons. The counter-rotating beams of particles are made to collide at certain points around the synchrotron, where detectors encircle the pipe carrying the beams. At 270 GeV per beam—for technical reasons the highest the synchrotron goes in this mode—the total energy is 540 GeV, which is equivalent to that available when a particle of 185 000 GeV strikes a stationary target.

By contrast, to improve its 500-GeV machine, Fermilab has exploited the technology of superconductivity—the ability of some materials to conduct an electric current with no resistance at very low temperatures. Electromagnets based on superconducting coils sustain higher magnetic fields than do conventional magnets. So a ring of superconducting magnets can contain a more energetic beam than does a normal ring of the same size. A new ring of 990 magnets, installed beneath the original magnets of Fermilab's proton synchrotron, will allow the machine to reach an energy of 1000 GeV, or 1 TeV (teraelectronvolt) by next year (*New Scientist*, 21 July, p 195). The superconducting magnets have the added advantage of using less electricity to provide the same field and therefore help the laboratory to save money.

Fermilab is also constructing a source for antiprotons and

398

New Scientist 11 August 1983

two small magnet rings to store and concentrate the beam of antiprotons prior to injection into the main accelerator. Once complete, in the summer of 1985, this project will allow the laboratory to produce proton-antiproton collisions at a total energy of 2 TeV, thus extending the energy region that CERN has opened up and which has already proved so fruitful.

The two projects—the proton-antiproton collider at CERN, and the superconducting ring at Fermilab—illustrate two basic means that the builders of accelerators have at their disposal to reach the higher energies that the experimenters desire. All new accelerators, either planned or being built, will incorporate either superconducting technology or the principle of colliding beams, or both. A picture of complementary work at laboratories throughout the world is beginning to emerge (Figure 2)—naturally tinged with some nationalistic pride and a sense of rivalry, which helps to produce the best machines possible.

CERN's next big project is the Large Electron-Positron storage ring, LEP. The machine is basically a synchrotron for accelerating electrons and positrons (antielectrons) in opposite directions; the name "storage ring" refers to the fact that once accelerated the counter-rotating bunches of particles can circulate the magnet ring many thousands of times, because only a few collisions actually occur on each encounter. In Phase 1 of LEP, which was approved by the CERN Council in October 1981, the machine will provide collisions between electrons and positrons at 50 GeV per beam. This does not sound very much in view of the energies that proton accelerators reach, but electrons pose special problems for synchrotron builders.

Electrons are much lighter than protons—a couple of thousand times so—and this in turn means that electrons radiate much more energy as they follow curved paths through magnetic fields. To make matters worse this radiated energy increases as the fourth power of the energy of the electron (or positron), so at higher energies more and more energy is lost in "synchrotron radiation", as it is known. One way round the problem is to transport the electrons on more gently curving paths, although then the synchrotron ring must have a larger circumference. This is precisely the solution adopted for LEP, which has a circumference of 27 km, taking the tunnel that houses the magnet ring under the Jura mountains, north-west of Geneva. Contrast this with the 7 km diameter of CERN's 500-GeV proton synchrotron!

LEP's gentle curves do have one advantage in that the magnets have a maximum field of only 0.13 teslas compared, for example, with 4.5 teslas for Fermilab's 1-TeV machine. The low field means that the magnets for LEP can be built to a design that costs about half that of conventional magnets. They contain laminates to shape the field correctly which are held apart by concrete. The field of 0.13 teslas is sufficient to contain electrons and positrons at 120 GeV, an energy that LEP may reach in some future phase, yet to be officially approved. To reach such an energy LEP will need superconducting technology, but in this case in the accelerating system rather than the magnets. The acceleration in a synchrotron is provided by radio frequency electromagnetic fields in resonant cavities. Cavities built from superconductor

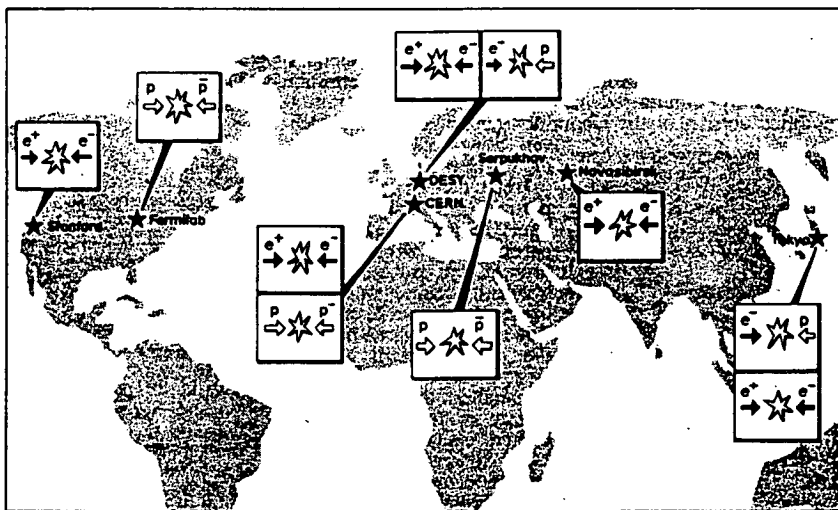


Figure 2 The pattern of large accelerators across the world by the 1990s

lose less energy through electric currents in their walls and so offer a less expensive, more efficient means of acceleration.

Many physicists believe that LEP represents the end of the line for electron-positron storage rings; a machine producing 350-GeV beams would need a circumference of 300 km, according to some estimates, and would cost some £5000 million—compared with about £300 million for LEP Phase 1. Burt Richter, from the Stanford Linear Accelerator Center (SLAC), in California, has argued that the cost of an electron-positron storage ring increases as the square of the energy. He has therefore become one of the main protagonists for the so-called linear colliders, for which the cost increases simply in proportion to the energy.

The idea of a linear collider is fundamentally simple: to point two linear accelerators at each other, and allow bunches of electrons and positrons to collide head on. The scheme contrasts with that of a storage ring in a number of ways. First, in a linear accelerator, the capital costs of accelerating cavities and power supplies is high, because it uses a linear chain of many cavities to reach the maximum energy, rather than using a few cavities many times as in a synchrotron. But because the particles travel in a straight line, magnets to provide bending fields are no longer necessary. A second difference is that a storage ring allows repeated collisions of the same bunches of particles; in a linear collider once the bunches have collided they are effectively lost. However, as Richter argues, at high energies the costs cross over to favour linear colliders over storage rings.

Richter's ideas have not stopped with words and calculations. To prove the feasibility of linear colliders, SLAC is working on converting its 3-km linear accelerator (linac) into a "single pass collider". Put simply, the idea is to accelerate a bunch of positrons, quickly followed by a bunch of electrons along the linac; at the end of the linac the two bunches of particles will be sent in opposite directions round two arms of a ring, where they will meet at the point diametrically opposite the linac (see Box 2). By improving the linac to reach 50 GeV, rather than its present maximum of 32 GeV, the physicists and engineers at SLAC hope to create collisions of the same energy as those at LEP, but two years earlier.

Despite a lack of official approval for the project, SLAC forged ahead with work on the SLC (SLAC Linear Collider), making the most of the money in its operating budget. This year, President Reagan has authorised the project, with congressional approval, allocating \$32 million for the fiscal year of 1984, which begins this October. Meanwhile SLAC

BIJLAGE 14

New Scientist 11 August 1983

399

has completed a "damping ring" for the electron bunches. This is a small magnet ring, 35 m in circumference, which will store bunches of electrons between pulses of the SLC and reduce them to a small enough size for acceleration in the linac. The laboratory has also built and tested prototype 50-MW klystrons (power supplies) of the kind that will be needed to boost the linac's energy to 50 GeV.

Yet to be built are: a damping ring for the positrons, which will be stacked above the electron ring; a target to produce the positrons and a transfer line to take them to the beginning of the linac; the new klystrons; the two arcs of the collider, and the final focusing system, which will squeeze down the particle bunches to about a micrometre across, so as to improve the chance of collisions. Whether all will be finished by the hoped-for date of 1 October, 1986, depends crucially on how much money the project is allocated for 1985, when it needs \$50-\$60 million according to Richter.

Meanwhile, the Institute for Nuclear Physics at Novosibirsk in the USSR, has plans to put the full idea of a linear collider into practice. In the first phase the aim is to fire beams of electrons and positrons from two linacs at each other, with an energy of 150 GeV per beam. The total length of the collider, known as VLEPP, would be 3 km, at this stage, provided that accelerating gradients of 100 MeV/m can be created. This is much higher than gradients in the SLC, which need to be around 17 MeV/m. Tests back in 1978 showed that gradients of 150 MeV/m are possible, and last year a prototype accelerating structure 30 cm long produced a gradient equivalent to 55 MeV/m. In the second phase of the project, the aim is to extend it to reach 500 GeV per beam, for which the two linacs would total 10 km in length.

Highest energy of all

By contrast, the Soviet Union's other main research centre for particle physics, the Institute for High Energy Physics at Serpukhov, plans to build a huge proton synchrotron, called UNK. The project, which the authorities authorised in 1980, will use the existing 70-GeV proton synchrotron to feed protons into a 400-GeV accelerator with conventional magnets, which in turn will feed a 3000-GeV (3-TeV) ring of superconducting magnets. The superconducting magnets will be in the same tunnel as the normal magnets, and the two rings will be interlaced. With protons in both rings, collisions at a centre-of-mass energy of 2.2 TeV will be possible. And with antiprotons in the superconducting ring, proton-antiproton collisions at a total energy of 6 TeV are feasible. The tunnel for the magnets will be 19.3 km in circumference, which is small compared with LEP, but three times the size of the proton synchrotrons at CERN and Fermilab. Work is progressing in collaboration with scientists from Leningrad and Saclay in France, to develop the superconducting magnets, which will be similar to those used at Fermilab.

Building large accelerators is by no means confined to the West and the USSR. The Japanese in particular play a strong role in particle physics. At the Japanese National Laboratory for High Energy Physics (KEK), the construction of an electron-positron storage ring is well under way, having begun in October 1981. The Tristan project—Tristan stands for Transposable Ring Intersecting Storage Accelerators in Nippon (*sic*)—comprises a 3-km main rings which will collide electrons with positrons at 30 GeV per beam. Construction of the tunnel began last December, and a smaller 8-GeV accumulator ring, which will feed the main ring is now nearing completion, with its magnets already installed.

By changing to superconducting accelerating cavities, Tristan will be able to accelerate its colliding beams to 40-45 GeV, an energy for which the magnets have been designed. However, the most exciting development at KEK, will be the second stage of the project. This will see the construction of a ring of superconducting magnets in the same tunnel, which will be able to store 300-GeV protons. Once complete, Tristan will offer the prospect of electron-proton collisions

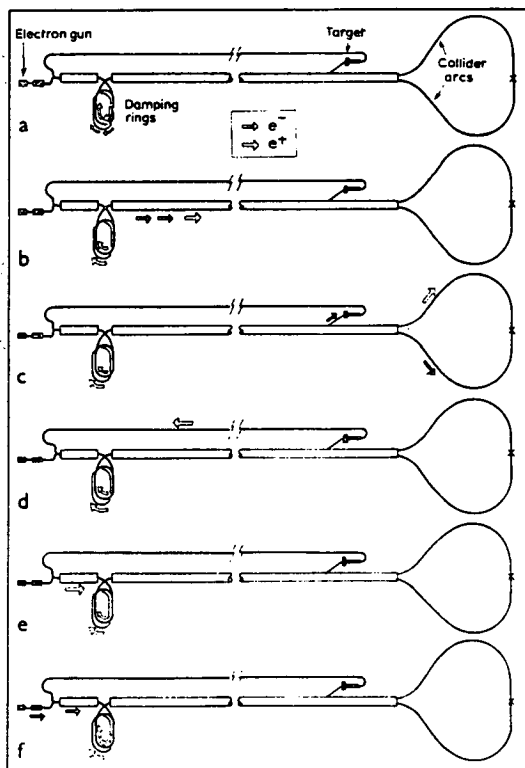
2: Stanford's linear collider—the SLC

THE electron-positron collider under construction at the Stanford Linear Accelerator Laboratory (SLAC) is based on the existing 3-km linear electron accelerator. The new idea is to use the "linac" to accelerate both electrons and positrons, and then fire them in opposite directions round two arcs forming a collider ring. Electrons can be accelerated during only one half of the alternating cycle of the radio-frequency waves that the "linac" produces. During the other half, the electric field is in the wrong direction for electrons, but it is in the right direction to accelerate positrons, with their opposite charge. The SLAC Linear Collider (SLC) will use some of its electrons to produce the positrons it needs, in a complex sequence of operations that is repeated 180 times a second.

The SLC's cycle begins in the damping rings, where the lateral size of the bunches of particles is squeezed down before acceleration in the greater part of the linac (a). There are two rings: one with two bunches of electrons circulating at the start of the cycle, the other with two bunches of positrons.

The first step is for one bunch of positrons, followed by both bunches of electrons, to move into the linac, where they are accelerated (b). Two thirds of the way along the linac the second bunch of electrons departs to collide with a target (c), where it produces new positrons. The remaining electrons and the positrons proceed to the end of the linac where they split off in opposite directions round the arms of the collider. Just before the collision point the bunches receive a final "squeeze" to a few micrometres across so as to optimise the number of electron-positron interactions that actually occur.

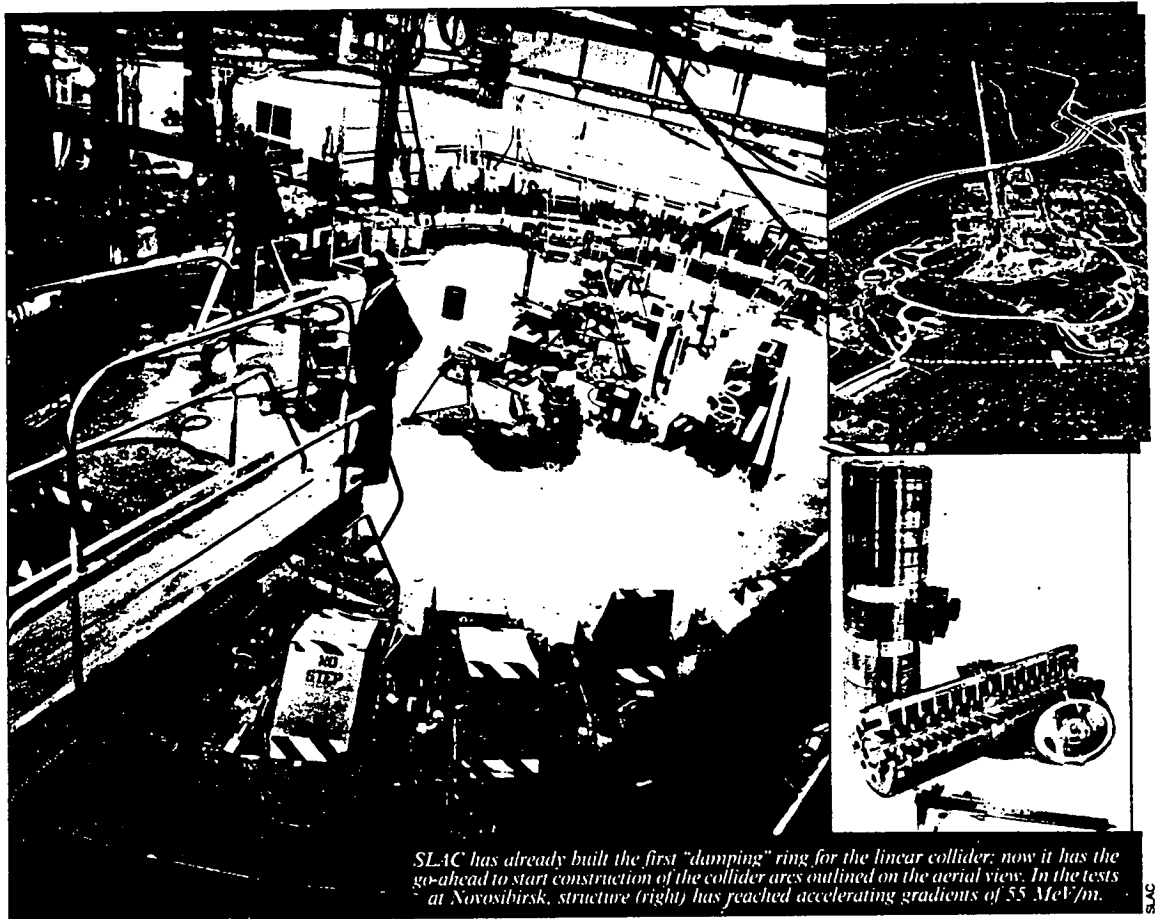
Meanwhile, the new positrons produced at the target return to the start of the linac (d), where they are accelerated for a short distance (e) before joining the bunch that has all the while been circulating the damping ring. Then two new bunches of electrons are injected from the electron source (f). The SLC is ready to begin its cycle again.



Steps in one cycle of SLAC's linear collider

400

New Scientist 11 August 1983



SLAC has already built the first "damping" ring for the linear collider; now it has the go-ahead to start construction of the collider arcs outlined on the aerial view. In the tests at Novosibirsk, structure (right) has reached accelerating gradients of 55 MeV/m.

at energies of over 160 GeV in the centre of mass.

Plans for another electron-proton collider, this time in Germany, have recently been approved by the federal government, on the grounds of "sufficiently concrete" prospects for international cooperation. Germany already has an extremely successful electron-positron collider at its laboratory, DESY, near Hamburg. The collider, called Petra, recently reached a total energy of 43 GeV. However, the proposed new machine, HERA, would involve a new tunnel, 6.45 km in circumference, buried under a nearby park! This would house two storage rings, one for electrons and one for protons. The proton ring would use superconducting magnets, again similar to those built at Fermilab, and would accelerate protons to 820 GeV; the electrons on the other hand, guided by normal magnets, would reach only 30 GeV. Both electrons and protons would be accelerated first in Petra before being fed into the new larger rings. The project is expected to cost some DM960 million over the seven years it will take to construct, if annual inflation is around 5 per cent. The City of Hamburg has agreed to provide about 10 per cent of this, in accordance with the normal arrangements for financing the DESY laboratory.

What remains for the future? In 1978 work began at the Brookhaven National Laboratory, on Long Island, New York, on a huge proton-proton collider, called Isabelle. This was intended to collide protons at 400 GeV per beam, using superconducting magnets to steer the beams. But the development of the magnets has been beset with difficulties, and

although the tunnel and experimental halls have been ready for over a year, only in February this year were the first "production" magnets completed. Many of the original problems with the magnets apparently stemmed from the choice of a different basic design from those at Fermilab, and the design was changed significantly in 1981. But that may have been too late to save the project, for last month members of the High Energy Physics Advisory Panel (HEPAP) voted by a narrow majority of 10 to 7 to abandon Isabelle, now known as the Colliding Beam Accelerator.

Instead the panel chose to opt for the "Desertron", a 20-TeV proton synchrotron costing over \$1000 million. The name comes from the fact that the deserts of the southern states of the US would be the only regions where land would be cheap enough to house the necessary ring of at least 150-km circumference (*New Scientist*, 9 June, p 679).

Only time will tell whether HEPAP has made the right decision; whether the US will build the Desertron; and whether the Colliding Beam Accelerator is indeed "dead". Particle physics has a habit of producing the unexpected, and CERN's proton-antiproton collider is only the second machine to find the particle it was built to discover (the first was the Bevatron at Berkeley, California, which discovered the antiproton in 1955). Particle physicists hope to find at least one more type of quark and the so-called Higgs particles which are linked to the explanation of the masses of the W and Z particles; but most of all they hope for unexpected clues as to why nature turns out to be the way it is. □

BIJLAGE 15

NEUTRINO'S NIET ZONDER MASSA

Alles wees erop dat neutrino's kleine, gewicht- en massaloze deeltjes waren die met lichtsnelheid voortbewogen. Ultraviolet waarnemingen in het heelal lijken nu anders aan te tonen.

Neutrino's

Het neutrino-deeltje is een lid van de "lepton familie" van elementaire deeltjes, die alle geassocieerd kunnen worden met de zogenaamde "zwakke kernkrachten", die op hun beurt weer verantwoordelijk zijn voor kernvervalprocessen. Andere familieleden zijn onder meer het elektron en het muon en hun anti-deeltjes.

Het bestaan ervan werd voor het eerst voorgesteld door de natuurkundige Pauli in 1927. Bij het β -verval van een kern (waarbij een elektron vrijkomt) bleek dat niet alle daarbij vrijkomende energie door het elektron werd meegenomen.

Omdat behoud van energie één van de fundamentele dogma's in de natuurkunde is, werd het noodzakelijk een ander deeltje te introduceren, dat met het restant van de energie ervandoor ging. Een ongeladen deeltje, met een aanzienlijk kleinere massa dan het elektron en met een "spin" van $+\frac{1}{2}$ ($\hbar/2\pi$) ($\hbar$ is de konstante van Planck, en het geheel is een typische eenheid om de grootte van de draaiing van elementaire deeltjes aan te geven). Experimenteel werd het bestaan van het deeltje pas in 1959 aangetoond. Reden hiervan is, dat het deeltje nauwelijks enige wisselwerking met de omgeving vertoont. Doordat de massa zo uiterst klein is (zo niet nul), de snelheid waarmee het zich voortbeweegt bijna of geheel gelijk is aan die van het licht en het deeltje bovendien geen lading bezit, hebben de meeste natuurkundig bekende krachten geen greep op dit deeltje. Neutrino's die geacht worden door de Zon te worden geproduceerd, schieten dan ook bijna allemaal dwars door de Aarde heen zonder haar zelfs maar te "zien" of te "voelen".

Latere onderzoeken gaven zelfs aanleiding tot de veronderstelling dat er twee soorten neutrino's (en dus ook twee anti-deeltjes ervan) bestonden. Een type duikt op bij het β -verval, het andere komt vrij bij het verval van een ander elementair deeltje, het pion, dat uiteen valt in een muon en een neutrino.

UV-astronomie

Om de eigenschappen van sterren en sterrenstelsels te bestuderen, staan ons diverse middelen ter beschikking. Bijna allemaal zijn ze echter terug te brengen tot één verschijnsel: de bestudering van het elektromagnetische spectrum. "Licht" met andere woorden, alleen ook "licht" dat buiten het voor het oog gevoelige gebied valt: langgolfige straling in het radiogebied, maar ook kort- en ultrakortgolfig licht in het UV- en gamma-stralingsgebied.

Eén van de methoden om UV-metingen te verrichten is door een satelliet buiten de dampkring van de Aarde te brengen, en vanuit het heelal de waarnemingen te laten verrichten. Eén zo'n satelliet die UV-waarnemingen verrichtte is de Franse D2-B satelliet. Uit de verkregen resultaten ontdekte dr. Floyd Stecker van het Goddard Space Flight Center dat een bepaalde spektraallijn in het UV-gebied rond de 170 nm afkomstig zou kunnen zijn van neutrino-verval. Deze suggestie was al eerder naar voren gebracht door A. de Rújula van het hoge-energiefysika instituut in Genève, het CERN, en de Nobelprijswinnaar Sheldon Glashow van de Harvard universiteit. De sterkte van de emissielijnen in het UV-gebied geven een aanwijzing voor de snelheid waarmee het neutrino-verval zich manifesteert, aangezien de vervaltijd omgekeerd evenredig is met de levensduur van zo'n deeltje. Hoe sterker, intenser, de lijn, des te meer deeltjes zijn vervallen en daardoor is hun gemiddelde levensduur evenzo veel korter.

Berekeningen tonen aan, dat uit de huidige, voorlopige, waarnemingen valt af te leiden dat het neutrino een zo lange levensduur heeft, dat slechts één neutrino van elke 10 miljoen die op moment van geboorte van het heelal werden gekreëerd, is vervalten.

Big Bang een andere knal?

De oorspronkelijke versie van de Big Bang-theorie bevat het idee dat alle materie van het huidige heelal was

samengepakt in één kompakte, superdichte "oerbal". Die bal zou ruwweg 15 miljard jaar geleden uiteen zijn gespat, en maakte daarmee ons heelal van zeer compact naar steeds verder uitdijend. Miljarden tonnen aan waterstof en helium werden gekreëerd, die later kondenseerden tot sterrenstelsels en sterren, toen het heelal door de uitdijning voldoende was afgekoeld. De expansie gaat nog steeds door, hetgeen aan de roodverschuiving van de sterrenstelsels te zien is.

Eén "aangepaste" versie van de Big Bang veronderstelt dat er voor elk proton in het heelal één miljard neutrino's moeten zijn. Protonen zijn de kernen van waterstofatomen, en die vormen 90% van de atomen in het heelal. Ons melkwegstelsel zou omgeven zijn door een bolvormige halo van neutrino's, die in de eerste momenten van het heelal zouden zijn gemaakt. Elke seconde vervallen er enkele, hetgeen tot de emissielijnen in het UV-gebied van het spectrum leidt.

Als dit zo is, dan kan men berekenen dat de nu niet meer massaloze neutrino's elk ongeveer het één-miljardste deel van de massa van een stikstofatoom hebben.

Maar omdat er zo ontzettend veel neutrino's zouden zijn (een miljard op elk proton) zouden de neutrino's ondanks hun bijna-nul massa toch het grootste gedeelte van de totale massa van ons heelal voor hun rekening nemen, en zeker een verklaring kunnen vormen voor de nog steeds niet opgehelderde "ontbrekende massa" in grote clusters van sterrenstelsels.

Bewijzen

Tot vandaag is nog geen definitief bewijs voor de "zware" neutrino's gevonden. Aanwijzingen hiervoor komen echter binnen. Niet alleen de waarnemingen van de Franse D2-B satelliet, maar ook metingen van dr. Frederick Reines aan de universiteit van Californië wijzen in dezelfde richting. Daarnaast komen gelijksoortige geluiden uit het Instituut voor Theoretische en Experimentele Natuurkunde in Moskou.

Als eenmaal de massa van het neutrino definitief bepaald is, kunnen eenvoudig ook de berekeningen worden uitgevoerd die ons vertellen of het heelal oneindig lang zal uitdijen, of dat het proces later in een samen-trekking zal omkeren. Hoewel van grote betekenis voor de wetenschap, zal dit antwoord u in elk geval geen slapeloze nacht geven: als het moment daar is, zijn we vele eeuwen verder, en wij weer in de kringloop van materie opgenomen. Jammer eigenlijk.

Onderstaand artikel is overgenomen uit :
Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde A47 (2) 1981

Waarom hoge-energiefysica?

A.N. Diddens en R.T. Van de Walle

Een artikelenreeks in een natuurkundig tijdschrift als het NTVN ter gelegenheid van de officiële opening van een nieuw laboratorium zal zich uiteraard vooral concentreren op de nieuwe mogelijkheden die hiermee worden geboden aan zijn bewoners, in dit geval aan de beoefenaars van de hoge-energiefysica. In deze tijd past daar zeker ook bij een bezinning over de waarde en de betekenis van dit onderzoeksgebied dat als het meest fundamenteel (ergo, het minst 'toegepast') en bovendien als duur te boek staat. De redactie van het NTVN is daarin zelfs verder gegaan: ze heeft gemeend dat dit nummer niet volledig zou zijn zonder een apart artikel waarin expliciet wordt ingegaan op de maatschappelijke betekenis en culturele functie van deze hoge-energiefysica. Dat de auteurs deze opdracht hebben aanvaard impliceert niet dat zij zich ter zake van deze complexe problematiek specifiek deskundig achten. Ook niet dat zij gaan pogen een 'objectief' antwoord te geven op de vraag in de titel van dit verhaal. Ze doen dit in de eerste plaats vanuit de gedachte dat discussies over wetenschapsbeleid voor velerlei inbreng vatbaar zijn. Op de beoefenaars zelf rust de plicht deze discussie te voorzien van informatie over wat er 'wetenschappelijk' is gebeurd, waarom het gebeure in hun ogen belangrijk is en, wellicht het allerbelangrijkste, waarom hun resultaten hen — soms — zo enthousiast maken.

In de hiernavolgende alinea's gaat de lezer dus een pleidooi tegemoet voor de hoge-energiefysica vanuit het gezichtspunt van zijn beoefenaars. Er zullen daarbij drie groepen van argumenten worden aangevoerd:

- De culturele waarde en wetenschappelijke betekenis van de beoefening van de hoge-energiefysica;
- de potentiële toepassingen van de resultaten en de ontdekkingen van de hoge-energiefysica;
- de technologische "spin-off" van de technieken en methoden die door hoge-energiefysici worden gebruikt.

Bij de behandeling van deze argumenten zijn referenties naar de resultaten en het instrumentarium van de hoge-energiefysica onontkoombaar. We beginnen derhalve met een kort historisch overzicht van het fundamenteel onderzoek van de materie in het algemeen en van de hoge energie-fysica zijn meest recente tak in het bijzonder. De hoge-energiefysica of — zoals ze aanvankelijk werd genoemd — de fysica van de elementaire deeltjes, is de jongste tak van de fundamentele natuurkunde.

Het fundamenteel materie-onderzoek — Ontstaan en geschiedenis van de hoge-energiefysica

Het moderne fundamenteel materie-onderzoek start met het Rutherford-aatoommodel (1911). Na de ontdekking door deze zelfde Rutherford van de eerste kerntransmutatie, worden voor verder onderzoek op dit gebied de eerste versnellers ontwikkeld (Cockcroft en Walton, 1930; Van de Graaff 1931; Lawrence 1932).

In 1932 volgt ook de ontdekking van het neutron door Chadwick en die van het positron door Anderson. Inmiddels is aan de theoretische kant — sinds 1926 — de grote revolutie van de Quantummechanica begonnen (Schrödinger, Born, Heisenberg, Dirac). Pauli postuleert in 1933 het bestaan van het neutrino. Fermi gebruikt deze hypothese in zijn theorie van het β -verval (1934). Naar analogie met de quantum-elektrodynamica voorspelt Yukawa in 1935 het bestaan van het quantum voor de kernkrachten, het π -meson. Het zal tot na de wereldoorlog duren (1947) vóór het bestaan van dit deeltje eenduidig is aangetoond (Lattes, Powell, Occhialini).

Na de oorlog worden — voor kernfysisch onderzoek — door Lawrence en medewerkers versnellers (synchrocyclotrons) gebouwd om kunstmatig π -mesonen te produceren; dit lukt in 1948. Dit werd mogelijk dankzij de ontdekking van het zogenaamde principe van de fasestabiliteit door McMillan en Veksler in 1944. In 1948 volgt ook de 'voltooiing' van de relativistische quantummechanica (Feynman, Schwinger, Tomonaga). Verdere ontwikkelingen op het gebied van versnellers (het sterke focuseringsprincipe van Courant, Livingston en Snyder) leiden tot een doorbraak die het mogelijk maakt 'goedkoop' grotere versnellers te bouwen. Zo was het mogelijk de sprong te maken van het Cosmotron in Brookhaven (1952; 3 GeV) en het Bevatron in Berkeley (1954; 6 GeV) naar een nieuwe generatie van versnellers, de 30 GeV protonsynchrotrons van CERN en Brookhaven (1959 en respec-

tievelijk 1960). Met behulp van deze laatste twee versnellers en door de ontdekking van het bellenvat (Glaser, 1953) wordt de veelheid van verschijnselen, vage-lijk gesuggereerd in de bestudering van de kosmische straling, systematisch onderzocht, geïdentificeerd en gecatalogiseerd. Er blijken veel meer deeltjes te bestaan dan proton, neutron en pion. Er bestaan zogenaamde vreemde deeltjes (Gell-Mann-Nishijima hypothese, 1955) en aangeslagen nucleonen en mesonen; al deze deeltjes bezitten anti-partners: in 1955 tonen Chamberlain en Segré het bestaan aan van het antiproton. In feite had de tak van de fysica die tot dan toe was aangeduid met kernfysica er een nieuwe spruit bijgekregen, de zogenaamde elementaire-deeltjes-fysica. Dat dit niet meteen zo aanvoeld werd blijkt uit de benaming waaronder in het begin van de jaren vijftig het grote Europese laboratorium voor onderzoek van elementaire deeltjes van start ging: "Centre Européen pour la Recherche Nucléaire" (of kortweg CERN) alhoewel de kernfysica er nauwelijks bestudeerd zou worden.

In deze baaiert van immer groeiende aantallen elementaire deeltjes wordt in 1961 orde geschapen door Gell-Mann. Ne'eman en Zweig door het postuleren van de $SU(3)$ symmetrie en de interpretatie van deze symmetrie met behulp van de hypothese dat deze deeltjes niet elementair zijn maar opgebouwd uit (vooreerst drie) quarks. Ook op het gebied van de zwakke wisselwerkingen maken theorie en experiment grote vorderingen. Lee en Yang voorspellen in 1956 het niet-behoud van pariteit voor zwakke wisselwerkingen hetgeen in 1956 experimenteel wordt aangetoond door Wu en medewerkers in het β -verval van ^{60}Co . De bekende V-A theorie van de zwakke wisselwerkingen wordt in 1958 geformuleerd door Feynman en Gell-Mann. Cowan en Reines experimenteren met neutrino's afkomstig van kernreactors; Pontecorvo en Schwartz stellen voor om neutrino's te maken met behulp van protonsynchrotrons; het eerste resultaat van deze nieuwe experimenteerwijze was de ontdekking — in 1962 — van het bestaan van twee types neutrino's. In 1964 ontdekten Fitch en Cronin het niet-behoud van tijdkeer.

In 1966 komt de 30 GeV Stanford lineaire elektronenversneller gereed. De met deze versneller verrichte inelastische verstrooiingsexperimenten brengen Feynman in 1968 tot de hypothese dat er harde pitten zitten in het proton; ze worden partonen genoemd. Vrij spoedig daarop wordt vastgesteld dat de partonen dezelfde eigenschappen en quantumgetallen bezitten als de eerder gepostuleerde quarks. Neutrino-verstrooiingsexperimenten in het Gargamelle-bellenvat op CERN leiden tot dezelfde conclusies. In 1971 neemt CERN proton-proton opslagringen in

BIJLAGE 16



Prof. dr. A.N. Diddens (1928) studeerde natuurkunde aan de Universiteit te Groningen en promoveerde aldaar op een kernfysisch onderzoek met georiënteerde kernen, uitgevoerd in het Kamerlingh Onnes Laboratorium als gezamenlijk Leids-Gronings project. Vervolgens werkte hij in verschillende versnellercentra, doch voornamelijk op CERN, als experimenteel fysicus in de hoge-energiefysica. In 1976 werd hij benoemd tot directeur van de sectie H van het NIKHEF. Hij is bijzonder hoogleraar aan de Universiteit van Leiden.

gebruik, een nieuw soort machine waarin twee bundels protonen van 28 + 28 GeV op elkaar botsen. Opnieuw wordt de quark-patron structuur van het proton bevestigd.

In de periode 1974-1976 komen in de U.S.A. (Fermilab) en in Europa (CERN) twee zogenaamde super-protonsynchrotrons klaar; reusachtige machines met diameters van de orde van 2 km, die energieën tot 400-500 GeV bereiken. Met behulp van deze machines wordt de kennis van de sterke en zwakke wisselwerkingen verder verdiept en uitgebreid. Belangrijke resultaten over de substructuur van het proton zijn afkomstig van neutrino-experimenten, muonenverstrooiing en productie van muonenparen in hadronenreacties. Steeds opnieuw wordt het zogenaamde quark-parton model bevestigd maar het enigma groeit waarom deze quarks niet als vrije deeltjes kunnen worden geproduceerd ('quarkopsluiting').

Vanaf de tweede helft van de zeventiger jaren komen ook e^+e^- -opslagringen in bedrijf. Deze machines zijn gebaseerd op ideeën van Touschek in Frascati en Budker in Novosibirsk en uitgetest in een reeks lage-energie e^+e^- -opslagringen die in deze centra vanaf 1959 worden gebouwd. In 1972 worden in Stanford de e^+e^- -opslagringen SPEAR (4 + 4 GeV) in gebruik genomen; in 1974 de e^+e^- -opslagringen DORIS (5 + 5 GeV) in Hamburg (DESY). In 1975 ontdekt het Richter-team bij SPEAR, simultaan met de Ting-groep in Brookhaven, het bestaan van een nieuw type deeltje, de zogenaamde toverdeeltjes. Deze deeltjes impliceren het bestaan van een vierde type quark. Het bewijs dat er ook nog een vijfde type quark moet bestaan (de zogenaamde "bottom" of "beauty" quark) komt opnieuw van een

protonsynchrotron-experiment (Lederman et al. - Fermilab - 1977) maar de systematische studie van de met deze nieuwe quarks geassocieerde deeltjes-spectroscopie wordt het domein van de elektron-positron opslagringen SPEAR, DORIS en de in 1979 in Cornell operationeel geworden CESR (7 + 7 GeV).

Het probleem van de 'quarkopsluiting' en het feit dat diverse quarkeigenschappen erop wijzen dat deze deeltjes ook nog over een interne vrijheidsgraad moeten beschikken, het kleurquantumgetal, leiden tot een kwantitatieve theorie van de quarkkrachten, de zogenaamde quantumchromodynamica. De uitwisselings-quanta van deze supersterke wisselwerkingen worden gluonen genoemd. In de nieuwe grote e^+e^- -opslagringen bij DESY (PETRA; energie 19 + 19 GeV) worden in de loop van 1979 voor het eerst indirecte aanwijzingen gevonden voor het bestaan van deze gluonen.

Het laatste decennium is gekenmerkt door spectaculaire vooruitgang in het begrip van de samenhang tussen de diverse typen wisselwerkingen die tussen de zogenaamde elementaire deeltjes plaatsgrijpen. Reeds in 1967 hadden Weinberg en Salam een geünificeerde theorie gepostuleerd voor de zwakke en elektromagnetische wisselwerkingen; beide interacties zouden facetten zijn van eenzelfde kracht (de "electro-weak force") ongeveer zoals elektrische en magnetische krachten twee facetten zijn van eenzelfde elektromagnetische wisselwerking. Deze theorie wordt geloofwaardig wanneer 't Hooft en Veltman in 1971 de renormaliseerbaarheid ervan aantonen. Een cruciale voorspelling van deze nieuwe theorie was het bestaan van zogenaamde neutrale stromen in de zwakke wisselwerking. Deze neutrale stromen worden in 1973 ontdekt in een neutrino-experiment met Gargamelle bij CERN. Een even saillante als belangrijke voorspelling is dat de uitwisselingsquanta van de zwakke wisselwerking geladen en neutrale zware bosonen moeten zijn met massa's in de buurt van 80-90 GeV. Voor de ontdekking van deze bosonen rekent de Europese hoge-energiefysica-gemeenschap op de 280 + 280 GeV proton-antiprotone "collider" die medio dit jaar van start moet gaan; voor de systematische bestudering ervan zal omstreeks 1986 hopelijk het LEP-project (Large Electron Positron) bij CERN gereedkomen, een e^+e^- -opslagring met 50 tot 100 GeV per bundel.

De culturele waarde van de hoge-energiefysica beoefening

Culturele waarde kan uiteraard geen exclusieve eigenschap zijn van een bepaalde wetenschapstak; alle fundamentele research kan hierop aanspraak maken. Het is ook niet eenvoudig (en misschien zelfs



Prof. dr. R.T. Van de Walle (1931) werd geboren in Gent (België). Hij studeerde natuurkunde en promoveerde aan de RU aldaar. Na studieverblijven in CEA te Saclay (1958-1959), CERN (1959-1961) en het Lawrence Radiation Laboratory Berkeley (1961-1962) aanvaardde hij in 1963 een leerstoel aan de Katholieke Universiteit te Nijmegen, waar hij hoofd is van de afdeling Experimentele Hoge-Energiefysica. Prof. Van de Walle maakte deel uit van het Executive Committee en het European Committee for Future Accelerators (1971-1973) en van de SPS-commissie (1973-1975) en de ECFA-LEP werkgroepen (1979-1980). Hij is thans lid van het bestuur van het NIKHEF en van de CERN-contactcommissie.

onmogelijk) deze culturele waarde te kwantificeren. Volgens haar beoefenaars is ze bij uitstek aanwezig in het onderzoek dat de grenzen van de fundamentele kennis van materie en kosmos probeert te verleggen, met andere woorden in de hoge-energiefysica en in de astronomie. Het primaire doel van de hoge-energiefysica is een groeiende kennis van de materie in haar meest fundamentele componenten. Hoge-energiefysica beantwoordt op deze wijze aan een oerinstinct van de mens - het meest manifest aanwezig in de kindfase - het instinct van het openbreken van voorwerpen en structuren om te kijken 'wat er in zit'. De laatste paar eeuwen heeft deze nieuwsgierigheid steeds dieper en dieper liggende lagen aangeboord. Weisskopf heeft in deze zich steeds maar uitdijende kennis onderscheid gemaakt tussen een 'extensieve' en een 'intensieve' component. Voor de schematisering van de intensieve research-kennis zou de parameter 'afstand' kunnen worden gebruikt. De extensieve parameter is dan een maat van de breedte van de kennis die in een bepaald afstandsgebied is verworven nadat de betrokken afstand fundamenteel is geëxploreerd. Figuur 1 toont de concrete vorm die H. Schopper aan dit beeld heeft gegeven. De kennis-pyramide heeft, uitgaande van de menselijke dimensies, aan de zijde van de macrokosmos de astronomie tot speerpunt, aan de zijde van de microkosmos het fundamenteel onderzoek van de materie, respectievelijk de hoge-energiefysica. Het fundamenteel onderzoek breidde zich van het midden uit in beide richtingen; op basis

van de verworven fundamentele kennis ontstond daarop een bovenbouw van nieuwe wetenschapstakken en hun technologische toepassingen. Aldus zijn in de loop der tijd de zijden van deze kennispyramide van 'binnen' naar 'buiten' verschoven; deze pyramide kon stabiel in de hoogte groeien omdat het grensverleggend onderzoek regelmatig de basis had verbreed. Het blijven stellen van deze grensverleggende vragen is een opgave van de mens om de wereld om zich heen en zijn eigen plaats daarin te begrijpen. Een beschaving die niet langer dergelijke vragen zou stellen, zou — op lange termijn — cultureel doodbloeden en vermoedelijk ook ophouden andere essentiële vragen te stellen. De in de figuur geschetste kennispyramide is een unieke verworvenheid van onze beschaving. Ze is mogelijk gemaakt door fundamenteel onderzoek, zowel rechtstreeks, dat wil zeggen doordat de resultaten van dit onderzoek als fundament hebben gefungeerd voor de bovenbouw, als indirect, doordat de intellectuele maatstaven, de stijl en de aanpak van fundamenteel onderzoek tot voorbeeld zijn gesteld. De redenen om deze ontwikkeling ook in de toekomst te handhaven — zelfs wanneer andere en meer onmiddellijke behoeften zich aandienen — zijn welsprekend geresumeerd in de conclusie van een rapport¹ aan het Congres van de Verenigde Staten over de positie van dit land ten opzichte van de hoge-energiefysica.

"The case for generous support for pure

and fundamental science is as simple as this. Fundamental research sets the standards of modern scientific thought; it creates part of the intellectual climate in which our modern civilization flourishes. It pumps the lifeblood of ideas and inventiveness not only into the technological laboratories and factories, but also affects other cultural activities. It is a most vital and active part of our intellectual life, a part which we all should regard with pride as one of the highest achievements of our century."

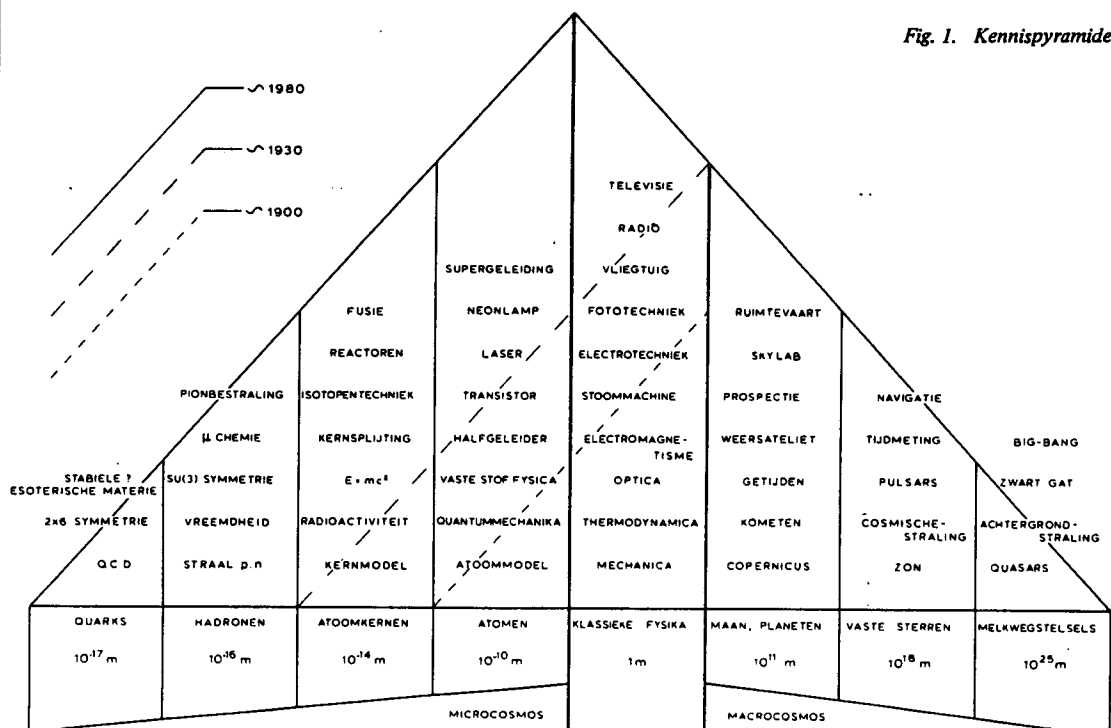
De toepassingen van de resultaten van de hoge-energiefysica

Men kan onderscheid maken tussen een 'fundamentele' en een 'praktische' toepassing. Onder fundamentele toepassing verstaan we het benutten van gegevens uit de hoge-energiefysica in andere disciplines, bijvoorbeeld op de wijze zoals de quantummechanica wordt aangewend in de vaste-stoffysica. Onder praktische toepassing verstaan we een verband zoals dat bijvoorbeeld bestaat tussen kernfysica en reactortheorie.

Er kan geen twijfel over bestaan dat de resultaten van de hoge-energiefysica implicaties hebben voor andere disciplines en dat dit in de toekomst nog meer het geval zal zijn. Nadat de hoge-energiefysica uit de kernfysica was voortgesproten en deze laatste een eigen weg begon te volgen (met als zwaartepunt de bestudering van kernmodellen) zijn zeer vele raakvlakken blijven bestaan. De verdere bestudering van de zwakke wisselwerkingen (niet-behoud

van pariteit) en de analyse van de kosmische abundantie der elementen zijn voorbeelden van dergelijk raakvlakonderzoek. In het recente verleden is er een zeer intensieve wisselwerking ontstaan tussen de hoge-energiefysica en de astrofysica en kosmologie. In zijn boek "The first three minutes" beschrijft S. Weinberg de eerste drie minuten na de "big bang" vanuit het gezichtspunt van de huidige kennis van de 'elementaire' deeltjes; hij geeft een verklaring van de foton/nucleon-verhouding in het heelal en van de He-abundantie. Langs dezelfde lijnen zal de hoge-energiefysica vermoedelijk eveneens een antwoord kunnen geven op het waarom van de dominantie van materie over anti-materie in het heelal. De interpretatie van de zogenaamde zwarte gaten tenslotte grijpt terug op vele takken van de fysica, niet in het minst op die van de 'elementaire' deeltjes.

Het primaire resultaat van het onderzoek in de hoge-energiefysica is het verbreden van de basis van de Schopper-pyramide. In de huidige situatie is de wisselwerking met andere disciplines nog beperkt door de randpositie zelf van de hoge energie-fysica. Een groeiende basis moet deze wisselwerking intensiveren. Men kan dit niet concreet voorspellen of bewijzen. De pyramide-uiteinden bestrijken intrinsiek (als het ware per definitie) gebieden die zeer abstract zijn. De geschiedenis toont echter bij voortdurend voorbeelden van dergelijke ontwikkelingen en er zijn geen redenen om aan te nemen dat dit in de toekomst niet meer het geval zal zijn.



BIJLAGE 16

Voor de potentiële praktische toepassingen van de hoge energiefysica geldt — mutatis mutandis — dezelfde redenering als boven gegeven. Er zijn weliswaar nu al toepassingen waarin de fundamentele kennis van het gedrag van elementaire deeltjes wordt gebruikt (voorbeeld: kanker-stralingstherapie; traagheidsopsluiting voor fusie, enz.) maar het meer dominante beeld is dat niemand met zekerheid kan voorspellen of de voorbij en toekomstige ontdekkingen in de hoge-energiefysica tot belangrijke praktische toepassingen zullen leiden. Echter ten aanzien van dit aspect zijn de historische voorbeelden nog overtuigender dan in de zuiver fundamentele sector. Bekend in dit verband is dat Rutherford nog in 1930 verklaarde dat hij niet inzag hoe de kernfysica ooit tot praktische toepassingen zou kunnen leiden. Een nog klassieker voorbeeld is bekend uit de geschiedenis van het elektromagnetisme. Toen Faraday — nu ongeveer 150 jaar geleden — de eerste elektromagnetische verschijnselen bestudeerde, wist hij als praktische toepassing niet méér te bedenken, dan dat er in ieder geval te zijner tijd wel belasting op gegeven zou worden. Het heeft iets minder dan een eeuw geduurd alvorens Maxwell de juiste mathematische unificatie kon formuleren voor de elektrische en magnetische krachten. Toen was echter de basis gelegd voor een perfect begrip van dit elektromagnetisme en kon de ontwikkeling van radio, televisie, radar en computers aan zijn opmars beginnen.

De geschiedenis geeft derhalve legio voorbeelden van ontdekkingen die in eerste instantie als onbelangrijke curiositeiten van de natuur werden beschouwd en vandaag de basis vormen van belangrijke technische toepassingen; op korte termijn zal vaste-stofonderzoek meer profijt opleveren dan onderzoek aan quarks of zwarte gaten. Het is echter denkbaar dat de bovenstaande geschiedenis zich herhaalt met de hoge-energiefysica, bijvoorbeeld door de ontdekking van revolutionaire nieuwe inzichten in de samenhang van materie en energie, inzichten die praktische toepassingen ten bate van onze energievoorziening mogelijk zouden maken. Voorspellen is moeilijk. Nog moeilijker is te voorspellen wanneer dit zou kunnen gebeuren; de tijdsduur tussen fundamentele ontdekking en toepassing heeft de tendens toe te nemen naarmate de 'afstands' parameter zich verder verwijderd van de 'menselijke' dimensie. Indien de mensheid echter wil overleven in deze barre kosmos kan zij zich niet veroorloven fundamenteel onderzoek van de materie als lange-termijn-oplossing te negeren. Daarvoor is de les der geschiedenis te duidelijk.

Bovenstaande inzichten zijn breed en algemeen. Onze huidige samenleving, en in het bijzonder onze nationale en supra-

nationale overheden, dienen echter een antwoord te vinden op de vraag hoeveel onze maatschappij budgettair aan zuiver wetenschappelijk onderzoek behoort te besteden. Dit geldt speciaal ten aanzien van de astronomie, ruimteonderzoek, kernfysica en de elementaire deeltjesfysica, vakgebieden wier activiteiten op een nogal in het oog lopende wijze zijn geconcentreerd in enkele grote laboratoria. Eveneens dient de vraag te worden beantwoord, welke de relatieve prioriteiten behoren te zijn van zuiver versus toegepast wetenschappelijk onderzoek. Het is in dit verband instructief kennis te nemen van de inhoud van een artikel in de Economist van 11 oktober 1980, voorzien van de pakkende titel "The value of useless research". Het uitgangspunt voor het te schrijven artikel was het vermoeden dat er in Engeland te veel geld zou worden uitgegeven aan "Big Science", zoals astronomie en hoge-energiefysica, in plaats van aan kleine slimme projecten. Als resultaat van het redactionele speurwerk — en in essentie op basis van argumenten zoals ook in dit artikel uiteengezet — kwam een tekst uit de bus, dat daarentegen juist een verdediging geeft van "Big Science" in zijn huidige omvang en suggesties aanreikt voor het veilig stellen van het hiervoor benodigde budget gedurende een aantal jaren.

De "spin-off"-toepassingen van de hoge-energiefysica

Een pleidooi voor de hoge energiefysica zou uiteraard niet volledig zijn zonder een beschrijving van wat met het populaire modewoord "spin-off" wordt bedoeld, dat wil zeggen het gebruik in andere disciplines of toepassingen van kennis en technieken die primair door of ten behoeve van de hoge-energiefysica zijn ontwikkeld.

Aan het "spin-off" verschijnsel zit een tri-viale component, het 'ontlenen' van apparaten, produkten, technieken enz. omwille van tijdslimieten, eenvoud, ontwerp-problemen enz. Een dergelijke "spin-off" bewijst niet veel meer dan dat een bepaalde tak van wetenschap niet geïsoleerd staat in de maatschappij. Niet zelden is voor het bereiken van een bepaald doel een dergelijke "spin-off" ook niet de meest efficiënte of economische methode. Er is echter een minder triviale en meer belangrijke "spin-off"-component. Onderzoek in de frontlijn betekent het ontwikkelen en gebruiken van de meest geavanceerde technieken. Niet zelden betekent het de uitvinding van nieuwe technieken. Door publikaties en voordrachten, door het betrekken van de industrie bij de produktie, door een intensief programma van uitwisseling van wetenschappen enz., wordt de kennis van deze speerpunttechnologie verbreed in de maatschappij. Een historisch voorbeeld hiervoor is de rol die de hoge energie-

fysica heeft gespeeld bij de ontwikkeling van de zeer snelle digitale technieken en de grote rekenautomaten. Een recenter voorbeeld vormt de 'frontale' aanval van de hoge-energiefysica op de toepassing van supergeleiding voor magneten en hoog-frequente klystrons met groot vermogen. De consequentie van deze aanval was niet alleen vooruitgang in de "state of the art" van de supergeleidende technologie maar ook het ontstaan van een nieuwe markt voor de produkten ervan. Na het nut van de synchrotronstraling ten behoeve van de studie van gecondenseerde materie, oppervlaktefysica, chemie, materiaalkunde, biologie enz. te hebben bewezen bij bestaande elektronenversnellers in zogenaamde parasitaire experimenten worden, voortbouwend op de verworvenheden van de versnellertechniek, nieuwe faciliteiten gebouwd, nu uitsluitend voor het opwekken van synchrotronstraling. Ook in de medische wereld wordt gebruik gemaakt van versnellers ontwikkeld in de hoge-energiefysica. De toepassing van ionenversnellers in zogenaamde "inertial confinement fusion" is net begonnen en kondigt zich aan als veelbelovend. Het intensieve gebruik van rekenmachines door de hoge-energiefysica was baanbrekend op velerlei gebied. De patroon-herkenningstechnieken uit de bellenvatfysica vonden hun weg in medische toepassingen. Aan de ontwikkeling van vacuümtechnieken, lastechnieken, standaardisatie van elektronica (CAMAC, NIM), drie-dimensionale zogenaamde "full-body" röntgenscanners zijn belangrijke impulsen gegeven.

Last but not least is er een sociale "spin-off". Wij doelen op de zeer nauwe internationale samenwerking door de hoge-energiefysica wetenschapsbeoefenaars over de gehele wereld. Tussen de versnellerlaboratoria in de verschillende politieke blokken bestaan al dan niet geformaliseerde overeenkomsten tot samenwerking op het gebied van technisch en wetenschappelijk onderzoek en tot uitwisseling van medewerkers of zelfs van een heel onderzoeksteam.

In de strijd om het bestaan zal Nederland — evenals Europa — het in de toekomst moeten hebben van kennis en "know-how". Naar deze factor zal een groeiende vraag bestaan in onze wereld. Aan de basis van deze kundigheden liggen wetenschap en technologie. In deze bladzijden hebben wij door middel van een inventarisatie van argumenten van uiteenlopende aard gepoogd aan te geven welke belangrijke rol hierin is weggelegd voor fundamenteel onderzoek en in het bijzonder voor de hoge-energiefysica.

Referenties

1. *Increasing costs, competition may hinder U.S. position of leadership in High Energy Physics.* Report to the Congress by the Controller General, E.M.D. 80/58 (1980).

Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde A47 (2) 1981

VERSLAG OZ "BEEELD VAN DE NATUURKUNDE"

INLEIDING

Harrie Eijkelhof

Tot de doelen van het PLON-curriculum behoort - naast bruikbaarheid (in persoonlijk leven en bij deelname aan het maatschappelijke verkeer), voorbereiding op vervolgstudies en aandacht voor verschillen tussen leerlingen - ook beeldvorming van de discipline "natuurkunde": historie, werkwijzen, mensen, toepassingen en recente ontwikkelingen.

Wiebe Bijker heeft in Faraday (1982 no 3) gewezen op het gevaar van verkeerde beeldvorming. Tegenover gangbare misvattingen stelt hij het volgende beeld van de natuurkunde:

1. Niet belegen
2. Niet almachtig
3. Niet vervreemd van de menselijke samenleving
4. Niet waardevrij
5. Onderzoek verloopt vaak allerm minst rationeel
6. Relatie wetenschap - techniek is complex
7. Experimentele waarnemingen zijn theorie-geladen en daarom minder hard dan vaak wordt gesuggereerd
8. Een bestaande theorie wordt lange tijd immuun gehouden voor kritiek
9. Natuurwetenschappen niet ontdekt, maar geconstrueerd.

Welk beeld van de natuurkunde hebben onze leerlingen in 5 HAVO? Om dit te onderzoeken hebben we aan de leerlingen op acht proefscholen de volgende vragen voorgelegd.

- A. Natuurkunde wordt wel een exacte wetenschap genoemd, waarom eigenlijk?
- B. Wat is de betekenis van het experiment voor de natuurkunde als wetenschap?
- C. Welke waarde hebben theorieën en modellen?
- D. Wat bezielt natuurkundige onderzoekers bij hun onderzoek?
- E. Waar vind je zelf dat de natuurkunde zich op moet richten;

Bij A, B en C gaat het om rationele oordelen, bij D en E om normatieve. De leerlingen konden kiezen tussen een open variant - de vragen A t/m E zonder meer - en een gesloten variant, bestaande uit 33 gegeven uitspraken, te beoordelen of een vijfpuntsschaal met als uitersten "waar" en "niet waar" (zie blz.18). 70 leerlingen kozen de open vragen, 120 de gesloten variant.

BIJLAGE I7

RESULTATEN

A. Natuurkunde wordt wel een exacte wetenschap genoemd.
Waarom eigenlijk?

	waar					niet waar	gem. st.dev.	
1. Een natuurkundige streeft ernaar zijn begrippen meetbaar te maken.	1 43%	2 26	3 21	4 4	5 4	6 1%	1,99	1,10
2. Natuurkunde is een exacte wetenschap, omdat natuurkundigen foutloze metingen kunnen doen.	1 0	2 3	3 7	4 9	5 81	6 1	4,70	0,71
3. Natuurkundigen houden zich in hun werk aan feiten en maken geen veronderstellingen.	1 2	2 5	3 10	4 12	5 72	6 0	4,47	0,98
4. De belangrijke natuurkundigen van dit moment zijn het lang niet altijd met elkaar eens over datgene wat ze bij hun onderzoek gevonden hebben.	1 50	2 26	3 12	4 4	5 2	6 6	1,73	0,97
5. Als een bepaalde theorie 50 jaar stand gehouden heeft en nu niet meer geaccepteerd wordt, heeft die voor de natuurkunde weinig nut gehad.	1 1	2 3	3 3	4 13	5 77	6 2	4,66	0,78
6. Je kunt pas echt spreken van natuurkundige kennis wanneer een natuurkundige theorie in formules kan worden uitgedrukt.	1 3	2 5	3 25	4 23	5 44	6 0	3,99	1,10
7. Bij natuurkundig onderzoek speelt logisch, exact denken een uitermate belangrijke rol.	1 68	2 23	3 6	4 3	5 0	6 0	1,44	0,75
8. Bij natuurkundig onderzoek speelt creativiteit een minder belangrijke rol.	1 8	2 11	3 25	4 33	5 23	6 0	3,52	1,20

Tabel 1: Overzicht van de scores op de uitpraken ^{die bij de eerste startvraag} behoren.

B. Wat is de betekenis van het experiment voor de natuurkunde als wetenschap?

	waar					niet waar	gem. st.dev.	
9. Als een natuurkundige maar genoeg goede waarnemingen en metingen doet, volgt er vanzelf een goede theorie uit.	1 17%	2 19	3 23	4 11	5 30	6 0%	3,18	1,47
10. Echte natuurkundige kennis is gebaseerd op experimenteel onderzoek.	1 38	2 33	3 14	4 10	5 5	6 1	2,12	1,17
11. Als een onderzoeker nauwkeurig beschrijft hoe hij zijn experiment heeft uitgevoerd, zullen andere onderzoekers niet twijfelen aan de konklusies die hij daaruit trekt.	1 6	2 5	3 16	4 31	5 43	6 0	3,99	1,15
12. Wanneer een natuurkundige niet in staat blijkt een natuurkundig probleem op te lossen komt dat waarschijnlijk, omdat hij zijn waarnemingen niet goed heeft uitgevoerd en geordend.	1 4	2 8	3 10	4 18	5 60	6 0	4,21	1,17
13. Iedere theorie moet in experimenten op zijn waarheid getoetst worden.	1 53	2 23	3 18	4 1	5 4	6 1	1,79	1,05
14. Als een natuurkundige een nieuwe theorie bedenkt, dan gaat die theorie altijd over dingen die je kunt meten.	1 8	2 10	3 14	4 20	5 47	6 1	3,90	1,31

Tabel 2: Overzicht van de scores op de uitpraken die bij de tweede startvraag behoren.

BIJLAGE 17

C. Welke waarde hebben theorieën en modellen?

	waar					niet waar	gem. st. dev.	
15. Een goed atoom model geeft een beeld op grotere schaal van wat natuurkundigen door een zeer sterke microscoop zouden kunnen zien.	1 21%	2 13	3 13	4 3	5 47	6 3%	3,43	1,68
16. Als natuurkundige theorieën steeds opnieuw in experimenten worden bevestigd, zijn ze ook waar.	1 31	2 27	3 20	4 11	5 9	6 2	2,37	1,28
17. Het gaat er bij een theorie niet zozeer om of hij echt waar is, maar of hij veel verschijnselen kan voorspellen of verklaren.	1 25	2 27	3 23	4 9	5 16	6 0	2,64	1,38
18. De natuurkunde ontwikkelt zich in de loop der tijd tot een steeds betere benadering van de werkelijkheid.	1 52	2 24	3 16	4 3	5 1	6 4	1,73	0,93
19. Een atoommodel is alleen maar een handige voorstelling van een atoom, die helpt de bouw van het atoom te begrijpen.	1 53	2 22	3 12	4 5	5 8	6 0	1,93	1,27
20. Natuurkundige kennis benadert misschien wel steeds dichter de waarheid, maar de waarheid kan uiteindelijk nooit bereikt worden.	1 18	2 10	3 32	4 15	5 23	6 3	3,15	1,39
21. Sommige problemen in de natuurkunde zijn zo ingewikkeld dat ze nooit echt begrepen kunnen worden.	1 30	2 19	3 29	4 10	5 9	6 3	2,47	1,28
22. Natuurkundige kennis heeft weinig betekenis voor andere terreinen van wetenschap.	1 1	2 0	3 6	4 19	5 75	6 0	4,66	0,67

Tabel 3: Overzicht van de scores op de uitspraken die bij de derde stadvraag behoren.

D. Wat bezielt natuurkundige onderzoekers bij hun onderzoek?

	waar					niet waar	ik weet het niet	gem.	standaard- deviatie
23. Natuurkundige onderzoekers worden vooral gedreven door eerbucht.	1 7	2 8	3 26	4 21	5 34	6 5		3,71	1,23
24. Natuurkundige onderzoekers worden vooral gedreven door nieuwsgierigheid.	1 62	2 25	3 7	4 1	5 3	6 3		1,53	0,87
25. Natuurkundige onderzoekers worden vooral gedreven door het maatschappelijk belang.	1 13	2 24	3 29	4 18	5 14	6 3		2,97	1,24
26. Als je onderzoekers maar rustig hun gang laat gaan, levert dit resultaten op waarmee nieuwe en betere levensomstandigheden voor mensen ontwikkeld kunnen worden.	1 5%	2 9	3 47	4 13	5 20	6 5%		3,36	1,09
27. Het doen van onderzoek is voor natuurkundige onderzoekers een erg spannende bezigheid.	1 35	2 35	3 19	4 3	5 7	6 3		2,10	1,13

Tabel 4: Overzicht van de scores op de uitspraken die horen bij de vierde stadvraag

BIJLAGE I7

E. Waar vind je zelf dat de natuurkunde zich op moet richten?	waar					niet waar	ik weet het niet	gem.	standaard deviatie
	1	2	3	4	5	6			
28. Fundamenteel onderzoek naar de materie kost te veel geld en moet aan banden gelegd worden.	15	14	32	19	18	2		3,09	1,30
29. Natuurkundig onderzoek moet zich allereerst richten op een beter <i>begrijpen</i> van de werkelijkheid en niet op praktische <i>toepassingen</i> .	15	9	24	22	29	1		3,40	1,39
30. Het voornaamste doel van natuurkundig onderzoek moet zijn bij te dragen aan de oplossing van maatschappelijke problemen.	11	23	30	21	16	0		3,08	1,23
31. De natuurkunde is te weinig gericht op het verbeteren van onze levensomstandigheden.	8	12	40	22	18	1		3,29	1,14
32. Het natuurkundig onderzoek levert eigenlijk weinig op voor het begrijpen van de werkelijkheid.	6	6	27	33	28	0		3,71	1,12
33. Natuurkundig onderzoek zou me meer aanspreken, indien het zich niet alleen met levenloze voorwerpen bezig hield.	14	19	21	14	30	2		3,27	1,44

Tabel 5: Overzicht van de scores op de uitspraken die bij de vijfde starforens - horen.

De reacties op de open vragen zijn grotendeels samen te brengen in een klein aantal categorieën, als volgt:

- bij A: veel rekenwerk (21 leerlingen zeggen iets over cijfers, getallen, tabellen, formules, wiskunde); nauwkeurige werkwijze (8); gebruik van theorieën en modellen (7); resultaten moeten kloppen met de werkelijkheid (5); proeven zijn belangrijk (6); logisch redeneren (4); diversen (13).
- bij B: bewijzen van een theorie (34); levert informatie om een theorie te kunnen opstellen (25); ontdekken van nieuwe dingen (19); verklaren en vergelijken (7); diversen (9).
- bij C: bruikbaar om iets uit te leggen of beeld te vormen hoe de natuur in elkaar zit (33); rol in ontwikkeling van de natuurkunde (16); verklaren van onbegrepen verschijnselen of het leggen van verbanden (14); korte weergave van wat vroeger is gevonden (3); diversen (12).
- bij D: nieuwsgierigheid (55); plezier in hun werk (9); beroemd willen worden (9); vraag naar nuttige toepassingen in de maatschappij (8); goed salaris (8); drift van hogerhand of chronische afwijking (3); diversen (3).
- bij E: praktisch nut, bijv. veilig verkeer, energiebesparing, geneeskunde, computers, afvalverwerking (43); in alle richtingen (7); verklaren van onbekende verschijnselen (7); vreedzame, niet gevaarlijke gebieden (6); milieuverbetering (6); diversen (14, bijv. "dingen die de PLON-boeken behandelen").

DISCUSSIE TIJDENS HAVO-BOVENBOUW CONFERENTIE 1984

Over de gesloten variant wordt opgemerkt dat er soms verschillende interpretaties mogelijk zijn; wat denkt een leerling bij "theorie" en bij "waar"? Bovendien geven wij zelf op sommige vragen nogal uiteenlopende antwoorden. (Dat blijkt uit een ter plekke uitgevoerd onderzoekje met de gesloten variant.)

Een belangrijke vraag is nu: wat doe je met zulke onderzoeksresultaten?

Enkele reacties/suggesties:

- In feite werken we, meer dan in het gangbare onderwijs, al aan de vragen A t/m E, o.a. in het thema Materie.
- Na het afnemen van de vragenlijst zou je een aantal vragen met de klas kunnen bespreken: dat kan een goede ingang voor discussie zijn.
- Vergelijken met leerlingen buiten PLON lijkt wenselijk al moet je daar niet te veel van verwachten; Piet Lijnse kreeg soortgelijke resultaten bij soortgelijk onderzoek in niet-PLON scholen; daarbij ging het echter om leerlingen in 5 VWO. Het beeld wordt ook voor een belangrijk deel buiten school gevormd.

De geconcentreerde antiprotonenstraal van Simon van der Meer



Jaargang 45 - 20 oktober 1984

Max Pam en Rob Sijmons

Even voorbij Genève, aan de voet van het Jura-gebergte, ligt het uitgebreide terrein van Cern. Het is een eigenaardig ogend landschap. Tractoren rijden over akkers, er liggen bossen en wijngaarden, maar soms wordt de landelijkheid plotseling onderbroken door opdoemde hangars en fabriekshallen. Hier kan de bezoeker langs stalen trappen afdalen in een vijftientig meter diepe schacht die uitkomt op een detector, een immens samenstel van draden, kabels, zekeringen, knipperlichten, beeldschermen, meters en andere elektronica van de meest geavanceerde snit.

Deze tonnen wegende detector omklemt een kilometers lange, cirkelvormige buis waarin elementaire deeltjes met bijna de snelheid van het licht op elkaar botsen. Dit is de werkplaats voor het onderzoek naar de bouwstenen van de materie. Elders op het terrein bevinden zich de controlekamers, waar alle gegevens worden gecoördineerd, zalen vol terminals en manshoge computers. Alles in dienst gesteld van de jacht op de nieuwe elementaire deeltjes.

Zo werden onlangs na analyse van miljarden botsingen dan toch eindelijk de beruchte W- en Z-bosonen opgespoord, elementaire deeltjes die de theorie al jaren geleden had voorspeld, maar die in werkelijkheid nog nimmer waren waargenomen. Dozen champagne werden op Cern aangevoerd om dit heuglijke feit te vieren. De wereldpers kreeg deze ontdekking gepresenteerd alsof men de schedel van de missie link had gevonden.

De primeur van Cern is slechts mogelijk geweest door de techniek van de stochastische koeling, een uitvinding van dr. Simon van der Meer, een Nederlands ingenieur die al bijna dertig jaar in Genève werkt. Als wij hem in Zwitserland opzoeken, heerst er op het laboratorium een wat zenuwachtige stemming. Tot dusver heeft onderzoek op Cern nog nimmer een Nobelprijs opgeleverd, maar dit jaar meent men in Genève dat Van der Meer samen met zijn collega Carlo Rubbia, de experimenteel fysisch, op de nominatie staat. Volgens zijn echtgenote gebruikt de staf van het Cern-instituut Van der Meer al enige tijd als 'Simon, het para-depaard', maar hij lijkt eerder een monument van verlegenheid, verbaasd over de Nobel-koorts om hem heen. 'De Nobelprijs,' zegt Van der Meer, 'geeft je een soort reputatie, die in geen enkele verhouding meer staat tot wat je hebt gedaan. Dat geldt misschien niet

voor enkele bijzondere geesten, zoals Einstein, Bohr en Rutherford, maar met hen ben ik natuurlijk helemaal niet te vergelijken. Aan de andere kant zijn er ook velen geweest, die de Nobelprijs hebben gekregen voor een soortgelijk werk dat ik heb gedaan: apparatenbouwers, zoals Wilson en Röntgen. Hoe kom je tot zo'n uitvinding?

'Je begint pas na te denken, wanneer er een behoefte aan iets nieuws ontstaat. Dat hele idee van de stochastische koeling zag er aanvankelijk niet hoopvol uit. Ik had wat opgeschreven en doorgerekend, maar het leek erop dat je zulke snelle elektronica nodig had dat het in de praktijk onuitvoerbaar zou zijn. Zo is dat hele idee bijna zes jaar in een la blijven liggen. Ik werkte eigenlijk al weer aan een ander onderzoek, toen ik werd opgebeld dat er bij een experiment een signaal was gezien dat het interessant genoeg maakte om het hele idee verder uit te werken en het te publiceren.

Dat is voor een deel een kwestie van geluk. Ik kan niet zeggen dat ik een vooruitziende blik heb gehad, want op het moment dat ik met mijn idee kwam, wist ik eigenlijk niets van W- en Z-deeltjes. Als de stochastische koeling niet toevallig tot de ontdekking van die nieuwe deeltjes had geleid, was het gewoon een obscure techniek gebleven om deeltjes te versnellen. Dan was die hele uitvinding nooit beroemd geworden.'

Slecht geheugen

'Maar daarmee is nog niet verklaard hoe je op een idee komt. Ik geloof dat je warrig moet kunnen denken. Als je heel helder denkt, kun je alleen maar dingen bedenken die iedereen al weet. De beste ideeën krijg ik thuis, als ik zo'n beetje aan het lummelen ben, op momenten die daar niet het meest geëigend toe lijken. Je moet open staan om warrige, rare ideeën uit te werken. Als je denkt: dit is krankzinnig, dan kan iedere gek onmiddellijk zien, dat moet je het juist niet aan de kant schuiven. 'Misschien is het ook een voordeel dat ik zo'n slecht geheugen heb. Er zijn mensen met een fantastisch geheugen, die alles tot in de detail kunnen onthouden. Die zijn vaak niet de meest succesvolle wetenschappers, maar je zou ze heel goed directeur-generaal van een grote organisatie kunnen maken. Zo'n baan is niets voor mij. Ik ben

meer geïnteresseerd in dingen dan in mensen. Ik zou ook een hele slechte professor zijn. Het idee dat je colleges moet voorbereiden, lijkt me ellendig. Ik reken liever wat en loop zo'n beetje rond. Op Cern word ik nu met de nodige eerbied behandeld. In het verleden ben ik wel de leider van een team geweest, maar nu ben ik een eenling in een groep. Het komt erop neer dat ik vrijgesteld ben van vergaderen en andere onaangename verplichtingen — en dat bevalt mij wel.'

Tenminste 99,999% van de mensheid begrijpt absoluut niet wat u doet. Bedrukt u dat wel eens?

'Afen toe is dat vervelend, maar ik kan niet zeggen dat ik mij daar echt treurig onder voel. Je kunt maar met heel weinig mensen over je werk praten; dat geldt zelfs voor mijn collega's. Laatst was ik op Sicilië op een congres van theoretische fysici en daar bemerkte ik dat ik zelfs de titels van hun lezingen niet begreep. Omgekeerd weten zij praktisch niets van versnellers. In principe is alles natuurlijk te begrijpen, maar er is voor elk individu geen tijd voor. Zelfs op het relatief kleine gebied van de theoretische fysica kan geen homo universalis meer bestaan. De elementaire deeltjes fysica lijkt vreemd als je er niet aan gewend bent, maar als je er geregeld mee werkt, wordt het gewoon. In de Middeleeuwen had men absoluut geen begrip van zoiets eenvoudigs als snelheid of kracht. Dat was volkomen duister. Aristoteles dacht dat als iets bewoog het ten slotte vanzelf zou stilstaan. Het idee dat iets blijft doorbewegen als je er geen kracht op uitoefent, is pas heel laat gekomen. Tegenwoordig is dat heel gewone kennis geworden, en zo kun je ook voorstellen dat de deeltjesfysica op den duur gemeengoed wordt. Kinderen weten nu toch al wat protonen en elektronen zijn.'

Heeft het onderzoek naar quarks, bosonen en antiprotonen enig praktisch nut?

'Ik geloof van niet. Het is als bij de astronomie. Waarom kijken mensen naar de sterren? Waarom willen zij weten hoe het heelal is ontstaan? Op datzelfde vlak ligt het. Praktische toepassingen zie ik niet in het verschiep liggen. Voor de hoge energieën die wij maken, heb je een geweldige hoeveelheid zeer gecompliceerde apparatuur nodig, die vrijwel nergens anders voor te gebruiken is. Zolets als een protonenstraal, die in de Star wars van Rea-

gan gebruikt zou kunnen worden, dat is volkomen fictie waar geen fatsoenlijk fysicus in gelooft. Noch vanuit een moreel, noch vanuit een technisch oogpunt. Dat zit er gewoon niet in. Als je een vijandelijk raket die opstijgt, wilt neerschieten, moet je dat in de eerste fase doen. *Is hij eenmaal in de stratosfeer, dan kun je hem wel raken, maar er is de wet van behoud van impuls, dus dat ding vliegt gewoon door — daar kun je niets aan doen. Hij komt terecht waar hij terecht moet komen.* Je moet hem uitschakelen in de eerste seconden na de start. Om dat te kunnen doen, zou je een permanent station in de ruimte moeten hebben, ongeveer zo groot als ons halve laboratorium.' (Er werken 3500 mensen bij Cern — MP & RS)

Kopjes koffie

Laatst is mij door een hoge Amerikaanse regeringsfunctionaris gevraagd of het niet mogelijk zou zijn om de energie die vrij komt als je protonen en antiprotonen bij elkaar brengt, te gebruiken bij de voortstuwing van raketten. Dat lijkt een prachtige energiebron. Per eenheid gewicht komt er een geweldige hoeveelheid energie uit. Maar die gedachte is in zoverre onzin dat je die antiprotonen ook moet opslaan. Dat is een onvoorstelbaar gecompliceerde affaire, waar hele ploegen dag en nacht aan moeten werken. Af en toe gaat de machinerie kapot. Alleen al het opslaan kost drieneenhalf maal zo veel energie als hun eigen massa. Je moet er dus veel meer energie instoppen dan er uitkomt. Dat soort ideeën komt vooral op bij mensen die eigenlijk niets van ons vak afweten. Mensen, die bij voorkeur ook hoog in een politieke hiërarchie zitten. Het onderzoek naar elementaire deeltjes krijgt daardoor ten onrechte een slechte naam. *Je moet als fysicus ook niet aan zoets als Starwars meedoen.* Het vreemde is dat men net doet alsof die plannen doorgaan, hoewel voor- aanstaande adviseurs van de regeringen zeggen dat het allemaal niet mogelijk is. Ik zie eigenlijk geen praktische toepassing. Alles is hier openbaar. De Russen komen kijken. Als er enige praktische toepassing zou zijn, zou dat niet worden toegestaan. Wij hebben op Cern wel eens een speciale transportauto ontworpen, die later in het havenbedrijf is gebruikt. De medische wetenschap heeft veel baat bij scanners, die wij hebben ontwikkeld. Maar ik vind niet dat je Cern met zulke bijprodukten moet verdedigen. Het enige geldige argument om de deeltjesfysica te verdedigen ligt principeel in het vergroten van kennis. Ons budget is ongeveer een miljard gulden per jaar. Hoofdelijk omgeslagen betekent dat voor iedereen jaarlijks een bijdrage van drie gulden. Dat vind ik een redelijke uitgave: een paar kopjes koffie om meer van de fundamentele krachten van de natuur te begrijpen.

Een grote rotzooi

Als je in Cern die gigantische machine-rie ziet, lijkt het nauwelijks nog vol te houden dat de natuur aan wetten beantwoordt, die in principe eenvoudig zijn.

'Onze machines zijn heel ingewikkeld, een grote rotzooi eigenlijk, maar toch nog altijd veel minder ingewikkeld dan een hond of een mens. Een goede natuurkundige theorie mag geen rotzooi zijn: ze wordt geacht fundamenteel en elegant te zijn. Het een dat uit het ander volgt. In de vorige eeuw ontdekten schelkundigen steeds meer verschillende stoffen, maar ten slotte ontstond er met het periodieke systeem voor de elementen een eenvoudige en elegante verklaring. Later bleken al die verschillende elementen opgebouwd uit protonen, neutronen en elektronen. Weer later vonden fysici steeds meer elementaire deeltjes en ten slotte is ook daarvoor een tamelijk eenvoudige verklaring gevonden: alle materie is opgebouwd uit zes quarks en zes leptonen. Daarnaast zijn er een categorie van deeltjes die krachten overbrengen, zoals fotonen en bosonen.

Veel fysici hebben het gevoel dat een ingewikkelde, onelegante theorie nooit helemaal de waarheid kan bevatten. De natuur is fysisch eenvoudig, de natuur is logisch. Natuurkundigen zijn ook geneigd in symmetrieën te denken. Symmetrieën zijn mooi en beantwoorden aan een esthetisch gevoel. Zo zijn bij voorbeeld de formules van de natuurwetten symmetrisch voor de richting van de tijd. De berekeningen zijn hetzelfde: of je nu heen- of teruggaat in de tijd.'

Dan is het natuurkundig gezien denkbaar om naar het verleden terug te reizen.

'Dat is fysisch gezien niet onmogelijk, maar wel onwaarschijnlijk. De tijd is eigenlijk een kwestie van statistiek. Als je twee vaten met een verschillend gas op elkaar aansluit, is het zeer waarschijnlijk dat die gassen zich met elkaar vermengen. Als je nu maar lang genoeg zou wachten, zou er een moment kunnen ontstaan, waarin de moleculen zo bewegen dat de gassen precies weer gescheiden zijn.

Als je een film achteruit afdraait, zie je onmiddellijk hoe onwaarschijnlijk zulke processen zijn. Een man ligt op straat en plotseling vliegt hij omhoog tot hij op de zesde etage voor het raam staat. Dat is onwaarschijnlijk, maar niet in strijd met de natuurwetten. Als je uit het raam springt, ontstaat er steeds meer bewegingsenergie, die bij het neerkomen wordt omgezet in warmte. Omgekeerd kan dat even goed: warme moleculen bewegen zo, dat ze je met z'n allen een zetje geven, waardoor je naar boven vliegt. Op diezelfde manier zou je jonger, in plaats van ouder kunnen worden. Maar de kans op dat soort verschijnselen is ontzettend klein. Je zou er waarschijnlijk de leeftijd van ons heelal op moeten

wachten.'

Is die symmetrie geen interpretatie van de mens? Zijn de natuurwetten eigenlijk geen uitvinding van de mens?

'Nee, dat geloof ik niet. De richting van het onderzoek wordt natuurlijk bepaald door de culturele omstandigheden, misschien ook door de opvattingen in de filosofie, maar wat er uiteindelijk overblijft hangt af van de experimenten. De theorie van de *continuous creation* van ons melkwegstelsel is eigenlijk veel eleganter dan die van de *big bang*, maar alle gegevens en alle experimenten wijzen erop dat ons heelal ontstaan is door een grote knal. Een theorie kan superelegant en symmetrisch zijn, als zij niet klopt, zal zij verdwijnen.'

Het wereldbeeld van de fysicus is de-terministisch, maar hebben de individuele deeltjes geen vrije wil?

'Dat is in strijd met alle experimenten. De deeltjes doen precies wat zij door de quantummechanica verondersteld worden te doen.'

Nu is de mens een samenstel van elementaire deeltjes. Er is dus eigenlijk geen plaats om ergens in dat samenstel een vrije wil in te bouwen.

'Als er een vrije wil bestaat, ligt die op een hoger niveau dan dat van de elementaire deeltjes. Je zou je een machine kunnen voorstellen die niet met getallen werkt, maar die begrippen hanteert. Een computer die honderd miljoen maal ingewikkelder is dan de meest geavanceerde machine die wij nu hebben. Zo'n machine zou kunnen leren. In principe zou je je ook kunnen voorstellen dat zo'n machine abstracte begrippen zou kunnen begrijpen. Dat is een machine die gegevens over zichzelf zou kunnen verwerken, die over zichzelf kan nadenken in termen van "ik." Zo'n machine heeft bewustzijn, misschien zelfs een vrije wil. Althans, hij denkt wellicht dat hij een vrije wil heeft. Een machine, volledig als een mens, dat zie ik niet als een principiële onmogelijkheid, al zijn wij er nu nog ver vandaan.

Door de onzekerheidsrelatie van Heisenberg is er veel toeval in de natuur. Er is veel ruis in de hersenen, veroorzaakt door statistische processen. Niet alles is daarom gedetermineerd. *De vrije wil is gebaseerd op het toeval en de ruis in de hersenen.* Als je begint na te denken over wat de mens is, over hoe hij denkt, zou je daarom eerst moeten nagaan hoe hij in elkaar zit, uit welke bouwstoffen hij is opgebouwd. Ik geloof ook dat filosofen pas iets zinnigs over de mens kunnen zeggen, als zij eerst de quantummechanica hebben bestudeerd.

De grote vraag van de natuurkunde is op dit ogenblik: *waarom is het deeltje er?* Wij kennen hun eigenschappen, wij weten wat zij doen, maar wat is de logica van hun bestaan? Dat is geen religieuze vraag in de zin van: heeft God ze gemaakt? Daarmee schiet je niets op; daarmee wordt het probleem alleen maar verplaatst. Diep in hun hart zien de meeste fysici als ideaal het opstel-

BIJLAGE 18

len van een wet, waaruit logisch voortvloeit waarom zo'n deeltje er moet zijn.'

Vorm van geloof

'Dat zo'n wet er moet zijn, is misschien een vorm van geloof, maar het is wel heel anders dan een geloof met een god waar je tegen opziet en voor wie je moet bidden. Een god die de zaken bestuurt en zo'n beetje beïnvloedt. Ik zou zeggen: als je gelooft in zo'n god die alles beïnvloedt, dan moet je proberen uit te vinden met welke interacties dat gebeurt. Daar zou je eerst maar eens experimenten over moeten doen. Ja, een soort experimentele theologie.' Wij praten in zijn werkkamer op Cern. Een tamelijk klein vertrek. Op een enkel opgeprikt werkschema na hangt er niets aan de muur. Het is er tamelijk leeg. Niet onmiddellijk een plaats, waarvan je zou verwachten dat er zulk opwindend, fundamenteel werk wordt gedaan. Van de Meer: 'Ach, ik ben niet zo'n geordend mens. Ik heb hier en daar wat papiertjes, waarop ik wat berekeningen maak. Een groot deel van de dag loop ik door de controlekamers of schrijf computerprogramma's. Maar het is wel degelijk opwindend werk, vooral als de deeltjes voor het eerst in de ring ronddraaien en je ziet dat je uitvinding werkt, dat de koeling resultaat heeft. Er zat jaren werk in; er zijn miljoenen in geïnvesteerd. Niemand wist echt zeker dat het zou lukken. En dan ineens ontstaat er de geconcentreerde antiprotonenbundel, die is voorspeld.'

Dat is een enorme opluchting. Ik voelde mij persoonlijk verantwoordelijk voor het experiment. Het is natuurlijk een groepsgebeuren, maar als het was mislukt, was het toch op mijn hoofd terecht gekomen. Dan had daar een machine gestaan, waarvoor, alle experimentele kosten inbegrepen, zo'n honderdvijftig miljoen was neergeteld. Een waardeloze machine, waarmee je verder eigenlijk niets meer had kunnen doen.'

De jacht op de nieuwe deeltjes en de theorieën

Simon van der Meer werd in 1925 in Scheveningen geboren uit Friese ouders; zijn vader was onderwijzer en later schoolhoofd. Na het eindexamen in 1943 was het onmogelijk om te gaan studeren: er volgde nog een extra eindexamen gymnasium alfa en veel geknutsel aan radio's met 'lampen' van de rommelmarkt. In 1952 voltooide Van der Meer zijn studie technische natuurkunde aan de TH Delft. Hij werkte daarna vier jaar op het Natuurkundig Laboratorium van Philips, vooral aan hoogspanningsvoeding voor elektronenmicroscopen. Een eerste sollicitatiebrief aan Cern werd nooit benantwoord. Via een vriend uit Delft kwam hij achtentwintig jaar geleden toch terecht bij dit Europese laboratorium voor deeltjesfysica in Genève. Daar is hij een van de 3450 vaste medewerkers. De jacht op nieuwe elementaire deeltjes kan volgens de moderne natuurkundige theorie alleen succesvol zijn door protonen en antiprotonen met zeer hoge snelheden op elkaar te laten botsen. In de 'versnellers' moeten daarvoor zeer intense deeltjesbundels worden opgebouwd; zelfs dan zien onderzoekers per maand continuïteit misschien maar een enkel nieuw W- of Z-deeltje.

De aanmaak van intense bundels protonen – positief geladen deeltjes uit de atoomkern – vormt al jaren geen technisch probleem meer, maar antiprotonen laten zich lastiger concentreren in de ringvormige vacuümbuizen van de fysici. De meeste antiprotonen volgen in de buis een slingerweg rond de ideale baan, waar zij nog verder worden versneld. Zo'n zwabbering betekent een rampzalig verlies aan intensiteit. Er leek weinig aan te doen: volgens een fundamentele stelling van de Fransman Liouville zou het nimmer lukken de zwabberende trillingen van de deeltjesbundels te verminderen.

Van der Meer: 'Mijn uitvinding van de stochastische koeling berust op het statistische karakter van de stelling van Liouville, die alleen geldt voor een gemiddelde. Als je de afwijking van ieder deeltje afzonderlijk waarneemt en dan zijn baan gaat beïnvloeden, dan is het dempen van de trilling niet strijdig met de stelling. Zo iets is technisch uitvoerbaar. De deeltjes zijn elektrisch geladen. In een metaal plaatje naast de baan veroorzaken zij een elektrisch stroompje, dat een maat is voor de baanafwijking van het deeltje. Versterkt stuur je het stroompje door, je laat het een bocht afsnijden van de ring, zodanig dat een magneet elders in de ring de informatie krijgt om dat langsvliegende deeltje een zetje in de goede richting te geven.'

Ik dacht: als je dit met één deeltje kunt doen, waarom dan ook niet met twee, of drie, of een miljard? Ik heb wel eens getracht het uit te leggen

aan de hand van het beeld van een bijzondere draaimolen, waarop een heleboel ballen ronddraaien die zodanig aan veren zijn bevestigd dat zij eeuwig blijven doortrillen. De draaimolen draait en om de trilling van de ballen te dempen ga je ernaast staan met een tuinslang. Als je ziet dat een bal jouw richting op trilt dan spuit je er tegen. Beweegt de bal van je af, dan spuit je juist niet. Als je dat lang volhoudt, kun je de trillingen van de ballen dempen, zodat ze ten slotte in een geconcentreerde baan achter elkaar bewegen.'

De term 'koeling' vloeit voort uit een gelijkenis. Natuurkundig is koelen het verminderen van de onderlinge beweging van moleculen. Als je de bewegingen van de veel kleinere elementaire deeltjes vermindert, spreekt men analoog van koeling. Stochastisch duidt op het statistische karakter van de techniek. Want het ideaal om uitsluitend de zwabbering van één deeltje te meten wordt ondanks de theoretische mogelijkheid in de praktijk nooit helemaal waargemaakt. Statistisch blijkt de koeling wel te werken – na enige tijd wordt de bundel antiprotonen smaller.

De jacht op nieuwe deeltjes is essentieel ter bevestiging of ontkrachting van de nieuwste theorieën. Bij voorbeeld over de basiskrachten in de natuur. Van der Meer: 'Tien jaar geleden kenden we vier afzonderlijke krachten. De zwaartekracht en de elektromagnetische krachten zijn de meest alledaagse. Verder is er de zwakke kracht, die werkt bij radioactief verval, en bij de productie van energie op de zon. En de sterke kracht, die de atoomkern bij elkaar houdt. De protonen stoten elkaar immers elektrisch af, je moet dus een kracht hebben die ze in de kern houdt. Einstein wilde die vier krachten al in één grote theorie onderbrengen. Het is hem niet gelukt, maar tegenwoordig gaat het de goede kant op. Zoals Maxwell elektriciteit en magnetisme in één theorie onderbracht, zo hebben Glashow, Salam en Weinberg de elektromagnetische en de zwakke krachten onder één noemer gebracht. Die theorie uit de jaren zeventig voorspelde het bestaan van de W- en de Z-bosonen, deeltjes die de elektrozwakke kracht overbrengen. Die bosonen zijn in 1983 in onze machine gevonden, dus de theorie zit stevig in elkaar. Nu nog de sterke kracht erbij, en misschien de zwaartekracht: er zijn al theorieën over, het ziet er interessant uit.'

Er heerst hier wel een wedstrijdsfeer. Bij de door u ontworpen machine hing een lijstje: 'World record, to be improved.'

'Ja, dat is toch leuk. De grootste hoeveelheid antiprotonen sinds de Big Bang.'

Simon van der Meer lacht breeduit.

LITERATUURLIJST

1. E.J. Dijksterhuis,
De mechanisering van het wereldbeeld, Meulenhoff, Amsterdam, 1975,
590 pag.
Monumentaal, cultuurhistorisch werk over het Griekse wijsgerig denken
over de natuur, over de natuurwetenschap in de middeleeuwen en over
het ontstaan van de klassieke natuurwetenschap. Het boek eindigt met
Newton's denkbeelden. Door filosofische aard en taalgebruik niet
geschikt voor leraren die weinig vertrouwd zijn met de thematiek van
hoofdstuk 2 van Materie.
2. J.D. Bernal,
Sociale geschiedenis van de wetenschap, deel I en III, SUN, Nijmegen,
1976, 517 resp. 748 pag.
Nuttig naslagwerk bij hoofdstuk 2 voor docenten. Aardige illustraties
Handig namenregister, maar helaas opgenomen in deel II. Bernal legt
meer verbanden met samenlevingsstructuur dan veel andere auteurs doen.
Deel III kan als naslagwerk dienen bij hoofdstuk 6.
3. R. Hooykaas,
Geschiedenis der natuurwetenschappen, Bohn, Scheltema en Holkema, Utrecht,
1976, 289 pag.
Veel beknopter dan Dijksterhuis, gaat wel wat verder door in de tijd
(tot ca. 1900). Zelden relaties met niet-wetenschappelijke wereld gelegd.
Personenregister.
4. Project Physics, Unit 5, Holt/Rinehart/Winston N.Y., 1975.
Achtergrondinformatie voor docenten bij hoofdstukken 2 en 5.
5. E. Segré,
From X-rays to quarks.
Lezenswaardig boek voor docenten ter ondersteuning van hoofdstukken
3 t/m 6. Veel foto's en veel aandacht voor de werkwijze van fysici.
6. M. Oliphant, Rutherford,
Recollections of the Cambridge Days, Elsevier, Amsterdam, 1972, 158 pag.
Behandelt voornamelijk de werksfeer op het Cavendish rond 1930.
Geschreven door oud-medewerker van Rutherford. Bevat veel aardige anek-
dotes maar neigt tot heldenverering, bijv.:
" Yet, ordinary as he was, there was something in him, which raised him
high above others and put him in the company of the greatest of men,
and this something earned for him both the profound respect and the
deep love of all who came under his influence".
Er schijnt overigens een "officiële" biografie van Rutherford te bestaan
(A.S. Eve, "Rutherford", Cambridge, 1939).
7. Eve Curie,
Madame Curie: haar leven en werk, bewerkt door Willy Corsari, Leopold,
Den Haag, 1939, 405 pag.
Romantische biografie van de jongste dochter. Ondanks de ouderwetse taal
ook voor leerlingen die erg geïnteresseerd zijn te lezen. Bij diverse
de Slegte's is het boek, soms in meervoud,esignaleerd voor ca. f10,-.
Wij beschikken over de 13e druk, dus er zijn heel wat boeken gedrukt.

BIJLAGE 19

Van het boek is een jeugdversie gemaakt door Eleanor Doorly die in de jaren '30 is uitgegeven bij Kosmos, Amsterdam. Het bijgaande voorwoord van de schrijfster spreekt voor zich.

8. R. Reid,
Marie Curie, Granada, London, 1978, 303 pag.
Een uitstekende biografie door een BBC-medewerker op basis van uitvoerig bronnenonderzoek. Werpt een veelzijdig licht op de Curies en schept daarvoor een veel realistischer beeld dan bovenstaand werk. Smeuig verslag van de hetze rond de affaire met Langevin (incl. duels). Een boek voor de leraar om uit te vertellen....
9. R. Weber,
Pioneers of Science: Nobel Prize Winners In Physics, Institute of Physics, Bristol/London, 1980, 272 pag.
Bevat korte beschrijvingen (ca. 2 pag.) van leven en werk van alle natuurkunde Nobelwinnaars t/m 1979. Nuttig naslagwerk.
10. Lucretius,
On the nature of the universe. Vertaling R.E. Lathan. Penguin Classics ISBN 0 14 044.018 6.
11. Project Physics Unit 6 The Nucleus. Holt/Rinemart/Winston N.Y. 1975
Achtergrond informatie voor docenten bij hoofdstuk 6.
12. Sir B. Schonland,
The Atomists (1805-1933), Oxford University Press, 1968.
Uitgebreide achtergrondinformatie, met name wat betreft de natuurkundige vorderingen in het onderzoek naar de elektrische aard van materie, het onderzoek naar radio-activiteit, naar atoombouw en naar kernsamenstelling. Aansluitend vooral bij de hoofdstukken 3 en 5. Inclusief namenregister.
- X 13. Natuur en Techniek, 043-54044
 - a. Serie van 12 artikelen van Prof. Dr. R.T. van de Walle in de periode 1970-1972 over "elementaire (?) deeltjes". De artikelen zijn erg gedetailleerd en voor leerlingen zeker veel te moeilijk.
 - b. Een nieuwe serie artikelen is gestart in 1980 en is beter te begrijpen voor zeer geïnteresseerde leerlingen (met name A, C, D).
 - A. C. Otten, Elementaire deeltjes 48, 9 (1980) 674-689
 - B. M. Veltman, De organisatie van elementaire deeltjes, 48, 10 (1980) 774-789
 - C. B. Jongejans, Deeltjes met "tover", 49, 3 (1981) 222-241
 - D. A. Diddens, Deeltjesversnellers, 49, 4 (1981) 301-317Bij de uitgever zijn losse overdrukjes van deze artikelen verkrijgbaar.
14. Kijk.
Regelmatig artikelen over elementaire deeltjes, soms met wel erg veel informatie voor leken.
juli 1977 Kan het nog kleiner dan de quark
mei 1980 Het mysterie van de verdwenen neutrino's
jan. 1981 De lange weg naar het laatste deeltje.

15. Nigel Calder,
Sleutel tot het heelal, Sesam Special, Bosch en Keuning, Baarn 1977.
Boek naar aanleiding van de gelijknamige TV-programma dat de KRO
op 4 januari 1977 uitzond. Gezwollen stijl, moeilijk door leerlingen
te begrijpen, fraaie foto's.
16. Scientific American.
Dit blad heeft een lange traditie van gedegen artikelen over elemen-
taire deeltjes, meestal door vermaarde onderzoekers geschreven.
Nuttige achtergrondinformatie voor docenten.
Aanbevolen:
A. Sheldon Lee Glashow, Quarks with color and flavor, October 1975,
38-50
B. David Cline a.o., The search for new families of elementary
particles, Jan. 1976, 44-54
C. Yoichiro Nambu, The confinement of quarks, Nov. 1976, 48-60
D. Marlin Perl a.o., Heavy Leptons, March 1978, 50-57
E. Leon Lederman, The Upsilon particle, Oct. 1978, 60-68
F. Robert Wilson, The next generation of particle accelerators, Jan.
1980, 42-57
G. Gerard 't Hooft, Gauge theories of the forces between elementary
particles, June 1980, 90-117
H. Frank Wilczek, The cosmic asymmetry between matter and antimatter,
Dec. 1980, 60-68
I. Howard Georgi, A unified theory of elementary particles and forces,
April 1981, 40-55
J. Restless Quarks, Jan '84, p. 55-56
17. A.N. Diddens,
X Deeltjesversnellers-op zoek naar het allerkleinste. Natuur en Techniek
81-4, 300-317.
Toen fysici in de kosmische straling onbekende deeltjes ontdekten
begonnen zij direct naar wegen te zoeken om deze deeltjes in het
laboratorium te produceren. In de loop der tijden heeft men daartoe tal
van apparaten ontwikkeld: elektrostatische generators, lineaire
versnellers, cyclotrons, synchrotrons en opslagringen. Een karakteristiek
kenmerk van deze apparaten is dat zij vaak enorme afmetingen hebben en
gigantische hoeveelheden energie verbruiken om deeltjes tot relativistische
snelheden te versnellen teneinde de fysici inzicht te verschaffen in de
bouw van het atoom.
18. W. Hoogland,
Detectie van elementaire deeltjes, Natuur en Techniek 81-9, 680-695.
Als we elementaire deeltjes willen bestuderen, moeten we metingen doen
binnen een tijdsbestek van miljardsten van miljardsten van een seconde,
in dimensies van miljardsten van miljardsten van een meter en snelheden
tegen die van het licht aan. Dit kan alleen met gigantische detectoren,
supersnelle elektronica en hooggespecialiseerd personeel. Hiervoor zijn
supranationale budgetten nodig. In dit artikel zullen we ingaan op de
fysische achtergronden van de detectie, die al naar gelang de aard van
de botsing tussen deeltjes een andere detectoropstelling vereist.

BIJLAGE 19

19. W. Hoogland,

Detectoren voor elementaire deeltjes, *Natuur en Techniek* 82-2, 142-161.
Het menselijk inzicht in het ontstaan van de kosmos en de natuurwetten die daaraan ten grondslag liggen heeft de laatste tientallen jaren een enorme sprong vooruit gemaakt. Astronomen turen over de oceaan van de ruimte, tot aan het begin van de tijd. Fysici kijken in het hart van de materie, op zoek naar de basiswetten van de kosmos. Samen zoeken zij de sleutel tot de bouw van het heelal. Het epos van de hoge-energie fysicus wordt geschreven op computerband met technologische zeer geavanceerde machines. Dit artikel beschrijft enkele van de meest gebruikte deeltjesdetectors.

20. B. Jongejans,

Deeltjes met tover, *Natuur en Techniek* 81-3, 222-241.
Eind 1974 werd de wereld van de hoge-energiefysica betoverd door de ontdekking van een heel merkwaardig deeltje. Het leefde wel duizendmaal langer dan de andere bekende deeltjes met vergelijkbare massa. Naar menselijke maatstaven gemeten was het weliswaar in een flits verdwenen, maar in de nucleaire tijdschaal was het een ware Methusalem. Er was een nieuwe natuurwet voor nodig om zijn bestaan te verklaren en het moest een nog nimmer waargenomen materie-eigenschap vertegenwoordigen - een nieuw ingrediënt voor de opbouw van het heelal.

21. M. Veltman

De organisatie van elementaire deeltjes, *Natuur en Techniek* 48, 10 (1980)
De tegenwoordige situatie in de elementaire deeltjes fysica begint wat te lijken op een vergadering van de Verenigde Naties, of de OPEC, inclusief de vlaggemasten. Het grote verschil is dat elementaire deeltjes zich veel gedisciplineerder gedragen, en zich ook altijd strikt aan de wetten houden. In dit artikel wordt een overzicht gegeven van de leden van deze samenleving en hun wetten, zodat de lezer iets meer vertrouwd raakt met datgene waaruit wij allen zijn opgebouwd.

22. N. Cabello,

De grote Unificatie - Alle natuurkrachten onder één noemer. *Natuur en Techniek* 1983-3, 606-625.
Het hele bouwwerk van de natuurkunde is gebouwd op een fundament van vier "fundamentele" krachten: de zwaartekracht, de elektromagnetische kracht (die de hele chemie regelt), de sterke kracht (die de atoomkernen bij elkaar houdt) en de zwakke kracht (die voor de radioactiviteit zorgt). Men vermoedt dat deze krachten uitingen zijn van één Oerkracht, de grondformule voor het hele heelal. Hoge-energiefysica en astronomie ontmoeten elkaar hier op een van de meest fascinerende fronten van de moderne wetenschap.

BIJLAGE 110

AANVULLINGEN.

1. Bellenvatfoto's.

Het lezen van bellenvatfoto's aan de hand van een elastische en een inelastische botsing. De foto's zijn afgedrukt op een zeer grote poster en er wordt een transparant voor de bepaling van kromtestralen bijgeleverd. (Ook handig bij de proeven in H3.) Bestellen bij NIKHEF

2. Informatie over NIKHEF.

Op aanvraag (de heer J. Obergski) wordt een pakketje verstrekt met daarin enkele informatieboekjes over het onderzoek in het Wetenschappelijk Centrum Watergraafsmeer. Als hulpmateriaal bij H6 is dat zeer de moeite waard.

3. Cursus Elementaire deeltjes.

Deze is ontwikkeld op de Christelijke Lerarenopleiding Zwolle en wordt daar gebruikt. Het niveau is hoger dan dat van dit thema. Het gaat verder op het gebied van de Feynmandiagrammen, kleur van quarks, detectie, rangschikken van deeltjes enz.

3. Materie in Model.

Een soortgelijke cursus van de Witte Leli.

4. Bouwstenen van het heelal.

Uitgegeven door het NIKHEF.



NATIONAAL INSTITUUT VOOR KERNFYSICA EN HOGE-ENERGIEFYSICA

Postbus 41882, 1009 DB Amsterdam. Tel (020) 592 9111, Telex 10262 hef, bank 541411977 ABN

Media over  Bouwstenen Over kwarks, atoomkernen en oerkracht		Mooi staaltje van voorlichting Hoewel we zelf natuurwetenschap- peijkt-technisch gewaardeerd waren, gaf het boekje ons toch nuttige informatie. Het is een ongedwongen staaltje van weten- schapvoorlichting dat best navol- ging verdient. ... men wilde laten zien wat er op het boeiende gebied van de kern- en hoge energie fysica aan de hand is en hoe we ons de cosmogonische denken. En daar is men dan ook bijzonder goed in geslaagd. DR. NIELS WIEDENHOF PT/Aktueel
In de afgelopen 100 jaar hebben natuurkundigen een wereld van deeltjes ontdekt: kwarks, neutrino's en vele andere. Op eenvoudige wijze wordt in de strip iets over het hoe, wat en waar van de ontdekkingen verteld. 18 x 30 cm, d. getypt, 4 kleuren beeldruk NBLC	meer het verhaal tussen het een en het ander wordt de lezer/lijzer wel glashelder gemaakt. TROUW	
hoe men gekompliceerde wetenschap ludiek kan vertalen wie er nog aan twijfelt of men de basisbegrippen van een ijzig-exacte wetenschap als na- tuurkunde niet aanscherp- elijk, ludiek, boeiend en fanta- sierijk kan doorgeven aan een jeugdig of ondeskundig pu- blik, moet dit leuke boekje met zijn spetterende en knal- lende elektron- en protonen- murtjes maar eens doornemen. Johan Damoral journalist <i>Gazet van Antwerpen</i>	"...zeer geschikt voor kinderen, voor ouderen, voor ouders en kinderen samen, en voor bespreking in de klas." J. Rai, BRT Radio	
	De strip is - ook gezien de prijs - een uitstekend voorbeeld van hoe je moeilijke wetenschappelijke on- derwerpen best toegankelijk kunt maken voor het grote publiek. (Lous) Zutphens Dagblad / Gelders-Overijsselse Courant	
	'Bouwstenen van het heelal' wordt per post gezonden aan wie f 8,95 (incl. porto) overmaakt aan NIKHEF, bankrek. 54.14.11.977, ABN, Amsterdam (giro v.d. bank 6269). 8 Kwantumkortingen: z.o.z. N.B. naam en adres vermelden!	
Bezoekadres NIKHEF voorlichting Postbus 41882, 1009 DB Amsterdam		

'Bouwstenen van het heelal'

Kwantumkortingen bij afname ineens door scholen.

Nederland

	basisprijs	korting	verzendskosten
10 t/m 49 ex.	f 6,65	15%	postpakket
50,100,150,enz.	f 6,65	30%	postpakket

Toch wordt vrij goed duidelijk hoe
de grote onderzoekslaboratoria wer-
ken en waar het over gaat.

ROB BIERSEMA
N.R.C. HANDELSBLAD

BIJLAGE 111

ADRESSEN

Lerarenopleidingen.

d' Witte Lelie, Sektie Natuurkunde
Rapenburgerstraat 173, 1011 VM Amsterdam
tel. 020-240640

Christelijke Lerarenopleiding Zwolle CLZ
Postbus 1363, 8001 BJ Zwolle
tel. 05200-16672

Centra voor hoge-energiefysica.

Stanford Lineair Accelerator Center, Stanford University
P.O. Box 4349, Stanford, Cal. 94305, USA

Fermi National Accelerator Laboratory,
P.O. Box 500, Batavia, Ill. 60510, USA

Brookhaven National Laboratory, Associated Universities Inc.
Upton, N.Y. 11973, USA

CERN

1211 Genève 23, Zwitserland.

Nationaal Instituut voor Kernfysica en Hoge-energiefysica (NIKHEF)
Kruislaan 409, Postbus 41882, 1009 DB Amsterdam.
tel. 020-5929444

Enkele Instituten voor defensieonderzoek.

Electronic Warfare Laboratory, Eradcom
Delew-D Fort Nonmouth, NJ 07703, USA

Atmosphere Science Laboratory,
White Sands Missile Range, NM 88002, USA

Armament Research and Development Company,
Aberdeen Proving Ground, Aberdeen, MD 21005, USA

Physics Laboratory TNO,
Oude Waalsdorperweg 63, 2597 AK Den Haag,
tel. 070-264221

APPARATUURGIDS

beschrijving per proef of onderzoek

benodigdheden

HOOFDSTUK 3

3.2 ELEKTRISCHE LADING blz. 21

1. Ongelijksoortige ladingen samenvoegen.

Deze proefjes zijn vanwege ons vochtige klimaat moeilijk uit te voeren. Daarom is het aan te bevelen om vooraf dit materiaal te drogen met een haardroger of door het materiaal bij een verwarmingskachel te plaatsen.
Eventueel Torsiebalans van Coulomb.

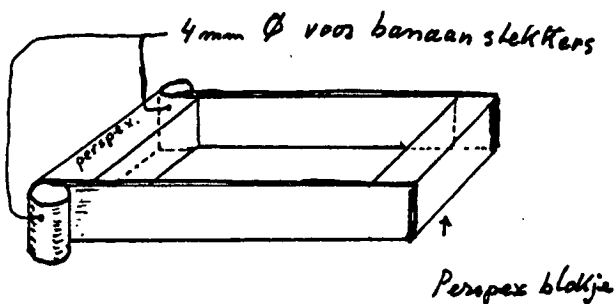
2 elektroscopen

- perspex of ebonieten staaf
- glazen staaf
- zijden lap
- wollen lap of kattevel
- verbindingssstaaf met geïsoleerd handvat

2. Richting van de elektrische kracht blz. 22

Denk om veiligheid bij het werken met Hoge Spanningen

- bandgenerator vlg. van der Graaff
- eventueel voedingsapparaat voor hoge spanningen ca. 2,5 KV
- olie (bijv. slaolie)
- griesmeelkorrels
- 2 elektroden afstand ca. 25 mm
- petrieschaaltjes
- verbindingssnoeren

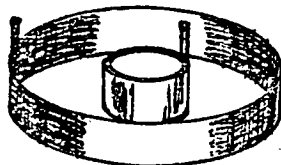


3. Het veld rond een geladen bol blz. 22

Grootte zó dat de elektrode om een kleine ronde magneet kan. Voor proef 1 blz. 28

Denk om 'Veiligheid!'

- petrischaaltje
- grote ronde koperen elektrode met verbindingssnoer
- kleine ronde koperen elektrode met verbindingssnoer
- bandgenerator of
- hoogspanningsvoeding ca. 2,5-4 kV
- olie (sla- of zonnebloem olie)
- wat griesmeel korrels



APPARATUURGIDS

beschrijving per proef of onderzoek

benodigdheden

3.3 ELEKTRISCHE STROOM DOOR VLOEISTOFFEN

1. *Elektrolyse*

blz. 23

zie ook bijlage D-6

- plastic of glazen bakje
- 2 schone vetvrije elektroden (koper)
- kopersulfaat, verzadigde oplossing waarin ca. 3 druppels gec. H_2SO_4
- voedingen = 0-12 V
- ampère meter
- verbindingssnoeren
- gevoelige belans
- chronometer

3.4 ELEKTRISCHE STROOM DOOR GASSEN

1. *Hoge spanningen*

blz. 24

TL-buis niet geheel verbinden zodat er een kleine afstand bestaat tussen de kontakten van de TL-buis en de generator (draad), zodat er vonkjes kunnen overspringen. De spanning zakt dan niet in.

- bandgenerator met extra bol (geaard)
- TL-buis hooguit 20 W

2. *Lage gasdruk*

blz. 24

Denk om 'veiligheid!'

De oude, bestaande apparatuur zoals gasontladingsbuizen, Geisslerse buizen, mogen voor deze proeven niet worden gebruikt. Zie besluit Min. van Onderwijs.

Omdat vacuümbuizen, werkend met een koude kathode, een hoge werkspanning nodig hebben, daarbij als nevenverschijnsel Röntgenstraling uitzenden.

- spektraalbuis of gasontladingsbuis
- houder voor spektraalbuis
- hoogspanningsapparaat of bandgenerator
- verbindingssnoeren
- glazen afschermplaat van loodglas biedt voldoende afscherming

3. *Gloeikathode*

blz. 24

Zie ook bijlage 2 Phywe E 6.4.11 waar gewerkt wordt met de elektronenbuis YA 1000 is een eenvoudige en goedkope oplossing. Deze buis of overeenkomstige typen zijn nog wel verkrijgbaar. Eventueel dump.

- gloeikathode demonstratiebuis
- voedingsapparaat met regelbare gloeispanning
- regelbare hoogspanning
- ampèremeter -mA
- voltmeter -kV

APPARATUURGIDS

beschrijving per proef of onderzoek

benodigdheden

Diodebuis

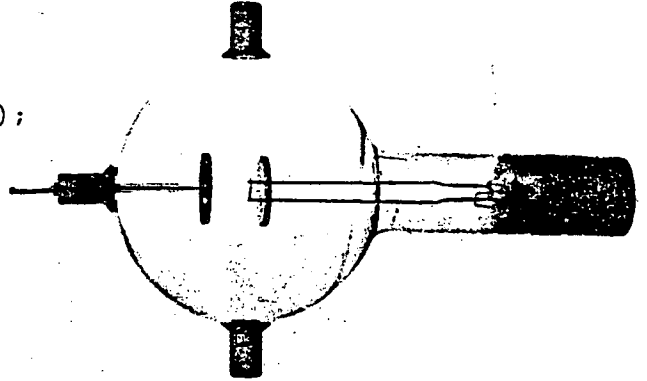
Met deze buis kunnen verschillende in vacuumbuizen optredende thermische effecten worden aangetoond, zoals:

- elektronenstroom tussen de gloeidraad en een koude elektrode (Edison-effect);
- de elektronenstroom is afhankelijk van de gloeidraadtemperatuur;
- de elektronenstroom is afhankelijk van de gloeidraadtemperatuur bij constant potentiaalverschil;

Bovendien:

- de elektronenstroom is afhankelijk van potentiaalverschillen;
- de richting van de elektronenstroom
- toepassing als gelijkrichter.

Anodespanning 500 V = , anodestroom 5 mA;
max. kathodespanning 7,5 V



4. Kathodestralen

blz. 25

Schaduwkruisbuis

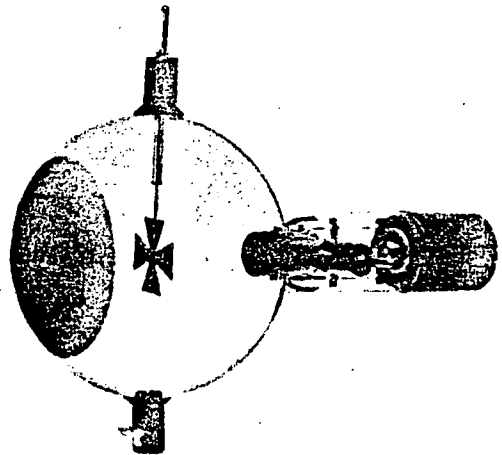
Deze buis bevat een elektronenkanon met gloeidraad, een cilindervormige anode en een in het midden geplaatst Maltheser kruis. De tegenover de kathode liggende zijde van de buis is gefosforiseerd.

De volgende experimenten kunnen met de schaduwkruisbuis worden uitgevoerd:

- aantonen lineaire voortplanting van elektronenstralen;
- magnetische afbuiging;
- beeldvervorming door elektrostatische lading enz.

Voor het laatstgenoemde experiment is een der Helmholtz-spoelen nodig.

Anodespanning 2000-5000 V = , anodestroom 1,8 mA bij 4000 V; max. kathodespanning 7,5 V



Zie bijlage 1 van de apparatuurgids voor de toebehoren bij de gebruikte buizen.

APPARATUURGIDS

beschrijving per proef of onderzoek

benodigdheden

5. *Het straalkanon* blz. 26

Afbuigingsbuis voor e/m-bepaling

Met deze buis kunnen de elektrostatische en de magnetische afbuiging gemeten en de e/m-verhoudingen bepaald worden. De afbuiging van de elektronenbundel geschiedt door verandering van de plaat-potentialen (elektrostatisch) of door verandering van het magnetisch veld (m.b.v. de Helmholtzspoelen). De 'elektronen-spiegel' is voorzien van een vlakverdeling, met behulp waarvan eenvoudige verhoudingsbepalingen gedaan kunnen worden. Anodespanning 1500-5000 V=, anodestroom 1 mA bij 4000 V; max. kathodespanning 7,5 V

Elke kathodestraalbuis met gloeikathode waarin de elektronenstraal zichtbaar gemaakt kan worden is bruikbaar.

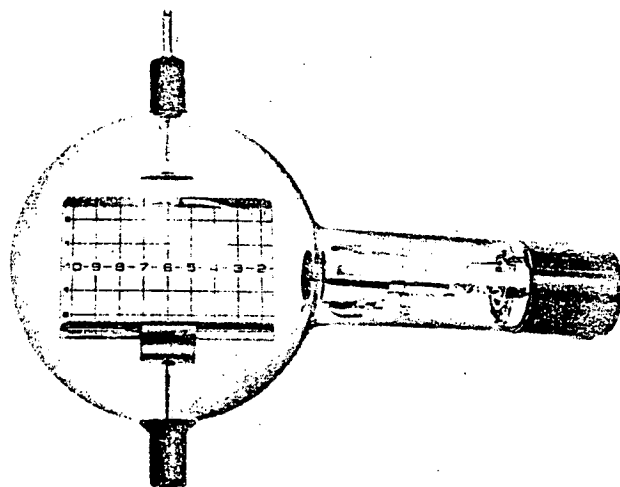
Perrinbuis

Met deze buis kan het deeltjeskarakter van kathodestralen en m.b.v. een elektroscoop de polariteit van elektronen worden gedemonstreerd. In de buis is een Faradaykooi geplaatst onder een hoek van 45° met de elektronenbundel. De in deze Faradaykooi opgeslagen lading verdwijnt niet wanneer de gloeispanning wordt uitgeschakeld. Hiermee wordt het corpusculaire karakter van de elektronenstraal aangetoond.

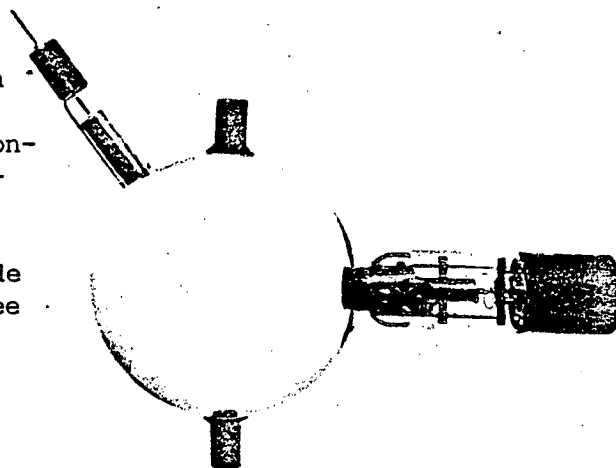
Afbuiging van de elektronenstraal en de gevoeligheid daarvan kunnen geregeld en gemeten worden m.b.v. de Helmholtzspoelen. De tegenover de kathode liggende zijde van de buis is gefosforiseerd.

Anodespanning 2000-5000 V=, anodestroom 1,8 mA bij 4000 V; max. kathodespanning 7,5 V

buis met zinksulfidescherm



- hoogspanningsapparaat met toebehoren
- magneet
- geladen staaf



met hulpspoel voor extra magnetisch veld

3.6 LORENTSKRACHT blz. 28

1. *Kathodestraal in magnetisch veld*

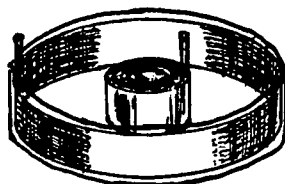
Introductie cirkelstraalbuis richting van het magnetisch veld bepalen

- buizenstatief
- stel Helmholtzspoelen
- (cirkel)-straalbuis
- voedingsapparatuur + toebehoren

APPARATUURGIDS

beschrijving per proef of onderzoek

Alternatief proefje:
met kopersulfaatop-
lossing in draaiing
gebracht met behulp
van een magneet en
elektrische stroom.



benodigdheden

- petrischaaltje met grote ronde koperen elektrode
- kleine ronde koperen elektrode waarin een ronde magneet past
- Kopersulfaat (niet geheel verzadigde) oplossing
- griesmeelkorrels of kurkstrooisel
- voedingsapparaat = (laagspanning)

3.7 DE CIRKELSTRAALBUIS blz. 30

1. Verkenning van de cirkelstraalbuis

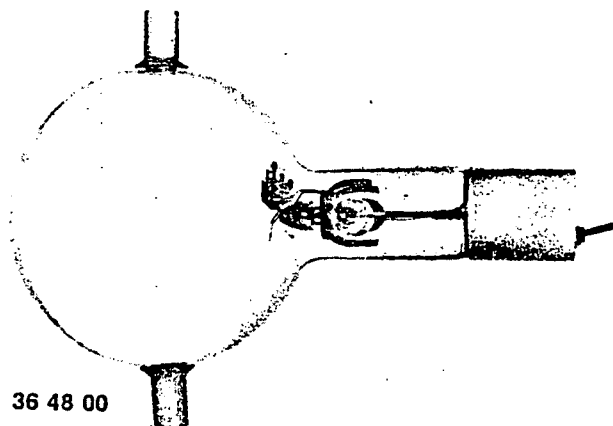
2. Bepaling lading - massa-verhouding zie bijlage D4

Draadstraalbuis voor magnetische afbuiging

In de met helium gevulde buis bevinden zich 2 elektronenkanonnen. Met behulp van de Helmholtzspoelen wordt een magnetisch veld aangelegd, waardoor de elektronenbundel zodanig wordt afgebogen, dat een cirkelvorm ontstaat, welke groen oplicht. De twee kathodes worden geselecteerd door een schakelaar op de voet van de buis. De verhouding e/m kan worden bepaald uit de cirkelstraal en de stroom door de afbuigingsspoelen. Voor de voeding van de spoelen (0-25 V =) is een laagspanningsvoedingsapparaat (bijv. 32910) nodig.

Anodespanning 0-3000 V =, anodestroom 10 tot 20 mA; kathodespanning 6,3 V bij 0,3 A.

- buizenstatief
- stel Helmholtzspoelen
- (cirkel)-straalbuis
- voedingsapparaat met toebehoren voor lage en hoge spanningen



3.8 DE THOMSONBUIS blz. 31-32

Zie bijlage D5.

Zie bij de buis geleverde aanwijzingen. Teltronbuisen zijn o.a. verkrijgbaar bij Breukhoven, Salm en Kopp, Griffin e.a.

Andere, onder eigen merknaam verkochte gelijksoortige buizen, Malmberg, Leybold, Phywe.

idem

- buis met zinksulfidescherm
- afbuigingsbuis voor e/m -bepaling

APPARATUURGIDS

beschrijving per proef of onderzoek

benodigdheden

HOOFDSTUK 5

5.1 HET MODEL VAN THOMSON blz. 52

1. *Thomson-model*

Andere ideeën

- Ronde magneetjes verdiept in kurken aanbrengen in een ronde bak water plaatsen.
- Magnetische band of strips rond te buigen en op een plastic plaatje te plakken. Het geheel op een lucht-kussen plateau plaatsen.
- plaats de magneten één voor één in het midden van de bak. Te beginnen met één. De magneten zullen zich steeds weer hergroeperen.
- Houd er rekening mee dat ijzeren onderdelen van de tafel waarop de opstelling staat invloed hebben. Voorkom dit zo veel mogelijk.

- 6 kleine ronde magneetjes
- rond petri schaaltje met vlakke bodem
- door de magneten verdiept in zes schuimplastic bollen, 5 cm $\varnothing$, te plaatsen
- als bakje een ronde platte bodem van een emmertje. In de binnenzijde van de opstaande rand wordt magnetische strip geplakt die voor wat afstoging zorgt aan de wand.
- magneten zijn verkrijgbaar bij Goudsmit, Magneetsystemen, Postbus 18, 5580 AA Aalst (Waalre)

5.2 HET MODEL VAN RUTHERFORD

2. *Modelproef verstrooiing* blz. 54

Voor evenwijdige banen van de rollende kogels.

Knip in het rechthoekige karton een gat ter grootte van de potentiaalheuvel. Het ronde gat niet in het midden maar meer naar de korte zijde plaatsen. Plaats de potentiaalheuvel daarin.

Leg een lat onder het karton aan de korte tegenoverliggende zijde, zodat er een verhoging ontstaat.

Rol van deze hoogte de kogeltjes, deze kunnen als het ware in evenwijdige banen naast elkaar rollen.

- Potentiaalheuvel met toebehoren, verkrijgbaar bij Griffin.
- karton (ca. 65x50 cm) of enige vellen karton, dikte gelijk aan de rand van de potentiaalheuvel
- schaar
- houten latten, diverse dikten
- stalen kogeltjes, evt. ook van verschillende grootte

5.3 DE LADING VAN HET ELEKTRON

De proef van Millikan

Zie opmerkingen over dit onderwerp op blz. 28 (kuvetje met zandkorrels, demonstratie 1.6).

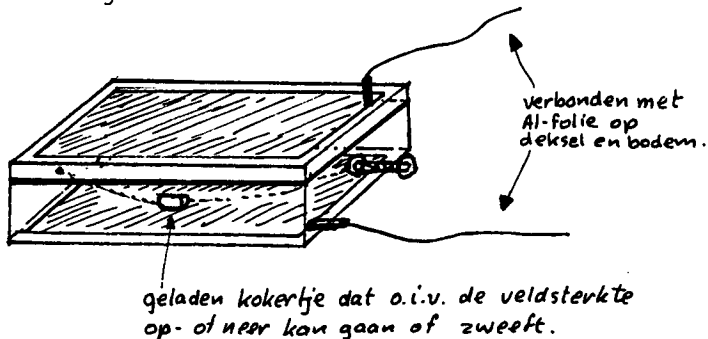
- evt. Millikan opstelling

APPARATUURGIDS

beschrijving per proef of onderzoek

Alternatief voor deze proef

- 1.- Hang het buisje aan een dunne draad zodat het buisje wel de onderkant kan raken, echter niet de bovenkant. Met een stelschroefje is de spanning van de draad te verstellen.
- Tussen de twee platen wordt met een Van de Graaf generator een potentiaal verschil opgewekt bij langzaam draaien van de generator.



2. Computer-simulatie

Een simulatie programma voor Commodore-64 is bij PLON verkrijgbaar. Over de beschikbaarheid na 1-1-1986 volgt nieuws in de PLON-krant. Millikan's apparaat wordt schematisch op het scherm weergegeven. Met een paddle (draaiknop verbonden met de micro-computer), kan de spanning op de platen worden gevarieerd. De gesimuleerde oliedruppel zal, afhankelijk van de spanning, de massa en de lading, stijgen, dalen of stilstaan. Een listing van dit programma is opgenomen als bijlage 3 van deze apparatuurgids.

benodigdheden

- doorzichtige plastic doos, 24x12x8 cm, met deksel
- aluminium folie of koperen plaat op de bodem en aan de onderkant van het deksel geplakt
- Van de Graaff-generator
- een kokertje 1 cm lang 0,5 $\emptyset$ gemaakt van aluminiumfolie
- dun nylon draad
- stelschroefje aan de korte zijde gemonteerd
- verbindingssnoeren

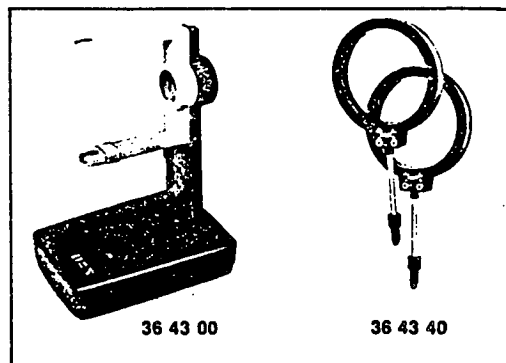
APPARATUURGIDS

bijlage 1 : toebehoren bij de Teltron elektronenbuizen.

ELEKTRODYNAMICA/ELEKTRONICA

36 43 00 UNIVERSEEL BUIZENSTATIEF

In dit statief kunnen alle hiervoor genoemde Teltron elektronenbuizen snel en doelmatig opgesteld worden. Het statief bestaat uit een gemoffelde metalen voet met zuil en een stel kunststof buishouders met hoge isolatie-eigenschappen. Een stel schuifklemmen op de buishouders zorgt voor een veilige bevestiging. Door gebruikmaking van dit buizenstatief verkrijgt men een vrij zicht op de buizen. In de metalen voet bevindt zich een stekerbuis $\varnothing$ 4 mm voor aarding

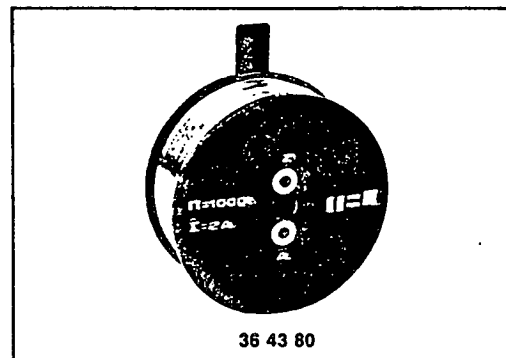


36 43 40 HELMHOLTZSPOELEN

Stel spoelen voor de opwekking van een homogeen magnetisch veld, waarin de elektronenbuizen geplaatst kunnen worden. Beide spoelen bestaan uit 320 windingen om een kunststof haspel 152 mm $\varnothing$. De spoelen bevinden zich op een geïsoleerde pen, welke in het bovengenoemde buizenstatief gestoken kan worden

36 43 80 HULPSPOEL

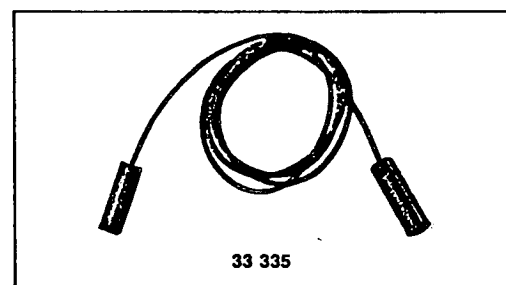
Spoel voor het aanleggen van een extra magnetisch veld (bijv. bij de Perrinbuis) om bijv. horizontale afbuiging van een elektronenstraal mogelijk te maken. De spoel bestaat uit een kunststof haspel met 1000 windingen koperdraad en is voorzien van twee stekerbussen $\varnothing$ 4 mm. Max. stroomsterkte 2 A



33 335 VERBINDINGSSNOER VOOR TELTRONBUIZEN

Snoer 25 cm lang, voorzien van 2 contrastekers $\varnothing$ 4 mm.

Enige Teltronbuizen hebben een of meerdere stekerpennen, waarop hoogspanning wordt aangesloten. Voor een veilige aansluiting wordt het gebruik van dit snoer aanbevolen



37 02 00 HOOGSPANNINGS-VOEDINGSAPPARAAT

Voedingsapparaat voor diverse toepassingen, o.a. voor Teltron elektronenbuizen.

Primair 200-240 V, 50 Hz, secundair 0-6 kV = regelbaar met grof- en fijninstelknop.

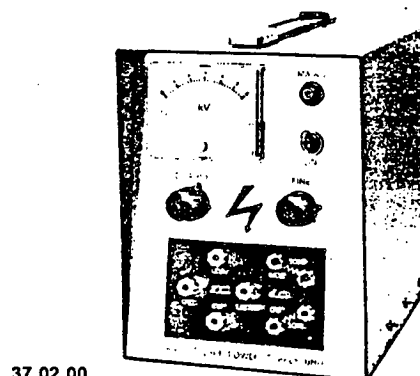
De secundaire uitgang is volledig geïsoleerd. Aflezing van de uitgangsspanning door een meter met 96 mm lange schaal, afleesbaar in 0,2 kV. Het toestel is voorzien van een aardaansluiting en een extra aan/uit-schakelaar voor de hoogspanning.

Hoogspanning:

een uitgang 0-6 kV = bij max. belasting 3 mA
een uitgang 0-6 kV = bij max. belasting 60 μ A

Laagspanning:

6 V ~ bij max. belasting 4 A
12 V ~ bij max. belasting 3 A



APPARATUURGIDS

bijlage 2 : buisdiode-opstelling van Phywe.

Material:

Netzanschlußgerät	07532.93*	1	Meßbereich-Eins. 300 V~	07104.53	1
Elektronenröhre YA 1000	06701.00	1	Meßbereich-Eins. 10 V~	07105.41	1
Fassung für YA 1000, auf Grundplatte	06701.01	1	Gleitwiderstand 10 Ω	06110.00	1
Drehpulsinstrument	07100.00	3			
Meßbereich-Eins. 2 mA~	07102.02	1	Verbindungsschnüre		

* Bestellnummern für von 220 V~ abweichende Anschlußspannungen s. E 0.1.

Spannungsbedarf: 220 V~ Anodenspannung vom Netzanschlußgerät sowie 3,5 V...5 V~ Heizspannung.

Die Elektronenröhre YA 1000 ist eine Hochvakuum-Diode (Zweipolröhre) mit einer Wolframkathode für direkte Heizung. Die Heizspannung darf maximal 5,5 V~ betragen; wird sie dem Ausgang 6,3 V~ des Netzanschlußgerätes entnommen, so muß ein Vorwiderstand (Gleitwiderstand 10 Ω) bzw. ein Spannungsteiler verwendet werden. Bei störenden Netzspannungsschwankungen, oder wenn ein Heizstrom ohne Welligkeit benötigt wird, empfiehlt sich die Verwendung eines Ni-Cd-Akkumulators als Heizspannungsquelle.

Nachdem die Röhre in die Fassung der Grundplatte gesteckt worden ist, muß noch die leitende Verbindung zwischen Anodenbuchse und Anode durch Aufstecken der Kontaktkappe auf die Röhre hergestellt werden. Die Anodenspannung wird dem Ausgang ~0...250 V~ des Netzanschlußgerätes entnommen; wobei der Pluspol mit der Anode und der Minuspol mit der Kathode zu verbinden ist (positive Anodenspannung). — Gemessen werden Heizspannung (Meßbereich 10 V~), Anodenspannung (Meßbereich 300 V~) und Anodenstrom (Meßbereich 2 mA~).

1. Die Glühkathode der Röhre sei zunächst nicht geheizt; nach Anlegen einer Spannung (ca. 200 V~) zwischen Anode und Kathode fließt kein Anodenstrom.
2. Man heize die Kathode mit einer Spannung von ca. 3,5 V und lege wiederum eine Anodenspannung von 200 V an; es fließt jetzt ein Anodenstrom. Erhöht man die Heizspannung, so steigt der Anodenstrom stark an.
3. Abweichend vom Schaltbild lege man eine negative Anodenspannung an; auch bei geheizter Kathode fließt kein Anodenstrom.

Ergebnis:

Wird die Temperatur eines Metalles stark erhöht (Weißglut), so treten Elektronen in großer Anzahl aus der Metalloberfläche aus (glühelctrischer, Edison- oder Richardson-Effekt). Der Emissionsstrom nimmt mit steigender Temperatur zu; bei Zimmertemperatur findet praktisch noch keine Elektronenemission statt.

Der glühelctrische Effekt wird technisch in der Hochvakuum-Elektronenröhre genutzt, die das zu erheizende Metall als Kathode enthält. Eine zweite Elektrode (die Anode) dient dazu, die von der geheizten Kathode emittierten Elektronen »abzusaugen«; hierzu erhält sie von der Anodenspannungsquelle ein positives Potential gegenüber der Kathode. Spannungsquelle und Elektronenröhre bilden einen Stromkreis, in dem der Anodenstrom fließt. Dieser muß allerdings nicht mit dem Emissionsstrom der Kathode übereinstimmen, da u. U. nicht alle emittierten Elektronen zur Anode gelangen; bei der im obigen Versuch angelegten Anodenspannung von 220 V ist dies jedoch annähernd der Fall.

Technische Daten der Diode YA 1000 mit direkt geheizter Kathode.

Betriebswerte:

Heizspannung	3,7 – 4,3 V~
Anodenspannung	300 V~
Anodenstrom	0,4 mA~

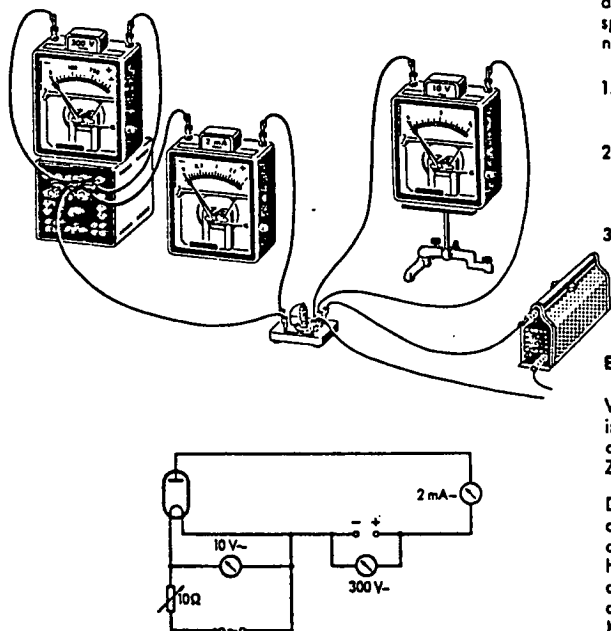
Grenzwerte:

Heizspannung	max. 5,5 V~
Anodenstrom	max. 5 mA~
Anodenverlustleistung *	max. 0,5 W

Anmerkung: Freie Leitungselektronen müssen, um aus der Oberfläche eines Metalles austreten zu können, eine durch Bindungskräfte bedingte Potentialschwelle überwinden. Für die hierbei zu leistende Austrittsarbeit ist bei Zimmertemperatur die kinetische Energie der Elektronen nicht ausreichend. Durch Erwärmen des Metalles wird den Elektronen Energie zugeführt, so daß sie mit steigender Temperatur in wachsender Anzahl das Metall verlassen können. (Einem Emissionsstrom von 1 mA z. B. entsprechen etwa $6 \cdot 10^{13}$ Elektronen/sec). Quantitativ ist der pro Flächeneinheit emittierte Elektronenstrom durch die Richardson'sche Formel gegeben:

$$I = a \cdot e^{-b/T},$$

wobei T die absolute Temperatur und a, b Werkstoffkonstanten bedeuten. Für Kathoden werden Werkstoffe hoher Emissionsfähigkeit verwendet, wie Wolfram, Thorium, thoriertes Wolfram oder auch Oxide von Erdalkalien (z. B. Bariumoxid).

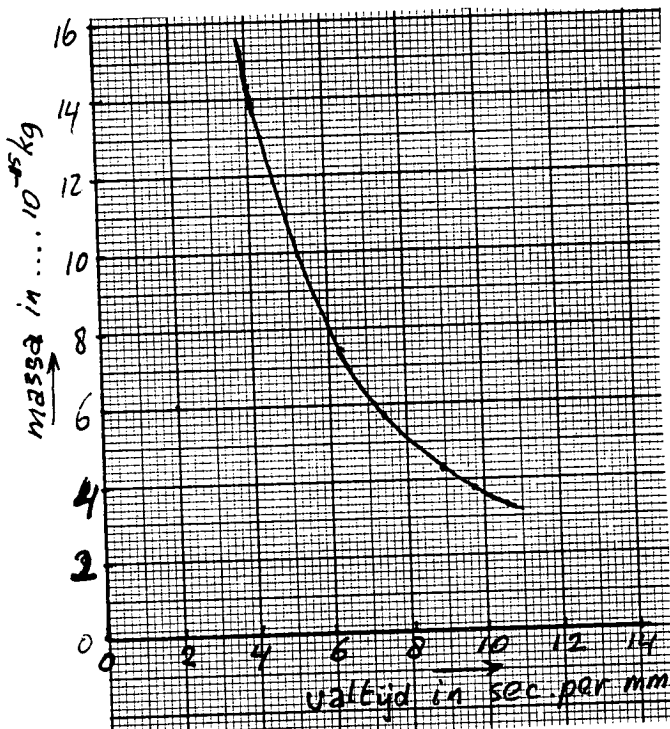


APPARATUURGIDS

bijlage 3 : Millikan simulatie programma voor Commodore 64

WERKHANDLEIDING

- Het programma veronderstelt enige bekendheid met Millikan's experiment ter bepaling van de lading van een elektron. Voor het bepalen van de lading van een oliedruppeltje moet worden gemeten:
 - de valsnelheid van het druppeltje met ongeladen platen; de massa is een functie van deze snelheid en is te bepalen met de grafiek in figuur 1.
 - de spanning op de platen, te variëren met de draaiknop op de paddle, waarbij de druppel stil blijft staan. Op dat moment is $F_{el} = F_z$, ofwel $\frac{V \cdot q}{d} = m \cdot g$, dus $q = \frac{d \cdot m \cdot g}{V}$ waarin $d = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ en $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.



- Röntgenstraling (toets R indrukken) verandert de lading van het oliedruppeltje.
- Met de 'paddle-drukknop' kun je een nieuw oliedruppeltje invoeren.
- Voor de analyse van de meetresultaten aan vele oliedruppeltjes is een statistische methode nodig. Het programma genereert, indien gewenst, nog een veertigtal ladingen van druppeltjes. De analyse moet op papier worden uitgevoerd. De bijbehorende tekst uit het PLON-themaboek 'Materie' is op het volgende blad gereproduceerd.
- Start de computer en toebehoren. Voor het uitvoeren van dit programma moet de C'64 computer verbonden zijn met een programma lezer (disc

drive of cassetterecorder), een monitor en een zogenaamde paddle (regelbare weerstand en drukkноп).

- Voer het programma 'MILLIKAN' in. De rest wijst zich vanzelf.

```

1 REM MILLIKAN-SIMULATIE DD 30-8-84
2 REM EEN COMPLAN PROGRAMMA
3 REM AUTEURS TR EN EH
4 PRINT "D"
5 PRINT " "
10 PRINT "1 DE PROEF VAN MILLIKAN"
11 PRINT " "
12 DIM LAD(40)
13 PRINT
14 PRINT "DIT PROGRAMMA SLUIT AAN BIJ HET PLON "
15 PRINT "THEMA M A T E R I E "
16 PRINT INPUT "VERDER MET RETURN" JA$ PRINT "D"
17 PRINT "OM MILLIKAN'S EXPERIMENT MET DIT"
18 PRINT "PROGRAMMA NA TE BOOTSEN MOET EEN "
19 PRINT "PADDLE WORDEN GEBRUIKT."
20 PRINT "MET DE DRAAIKNOOP VERANDER JE DE SPAN-"
21 PRINT "NING OP DE PLATEN EN DUS DE ELEKTRISCHE"

```

APPARATUURGIDS

```

22 PRINT "KRACHT OP HET DRUPPELTJE." :PRINT
23 PRINT "VOOR EEN METING MOET JE NOTEREN : "
24 PRINT "DE VALTIJD BIJ SPANNING 0 IN S/MM"
25 PRINT "DE SPANNING WAARBIJ STILSTAND OPTREEDT":PRINT
26 INPUT"VERDER MET RETURN":A$:PRINT"C"
40 POKE 646,0
41 PRINT:PRINT "
42 PRINT"
43 PRINT"0  ┌───┴───┐ ┌───┴───┐ ┌───┴───┐ ┌───┴───┐ ┌───┴───┐
44 PRINT"  │       │ │       │ │       │ │       │ │       │ │
45 PRINT"  │       │ │       │ │       │ │       │ │       │ │
46 PRINT"  │       │ │       │ │       │ │       │ │       │ │
47 PRINT"  │       │ │       │ │       │ │       │ │       │ │
48 PRINT"  │       │ │       │ │       │ │       │ │       │ │
49 PRINT"  │       │ │       │ │       │ │       │ │       │ │
50 PRINT"  │       │ │       │ │       │ │       │ │       │ │
51 PRINT"  │       │ │       │ │       │ │       │ │       │ │
52 PRINT"  │       │ │       │ │       │ │       │ │       │ │
53 PRINT"  │       │ │       │ │       │ │       │ │       │ │
54 PRINT"  └───┴───┘ └───┴───┘ └───┴───┘ └───┴───┘ └───┴───┘
55 PRINT"MM
60 PRINT"  Druk 'SPATIE' VOOR NIEUW DRUPPELTJE"
70 PRINT"  Druk 'S' OM TE STOPPEN"
80 PRINT"  Druk 'R' VOOR RONTGENBESTRALING"
90 PRINT"  Druk 'A' VOOR MILLIKAN'S ANALYSE"
95 PRINT:PRINT"BEREKEN BIJ ELKE METING DE LADING VAN"
96 PRINT"HET DRUPPELTJE.(ZIE BOEK EN WERKBLAD)"
100 POKE53280,6:POKE53281,14:V=53248:V1=V+1:V2=V+21:V9=V+9
110 POKEV+21,23
120 POKE V+39,0:POKEV+40,0:POKEV+41,0:POKEV+42,0:POKEV+43,0
130 POKE2040,13:POKE 2041,14:POKE2042,14:POKE2043,14:POKE2044,15
140 POKE V,253:POKEV+2,253:POKEV+4,253:POKE V+6,253:POKEV+8,253:POKEV+10,253
150 FORI=0TO62:READA:POKE960+I,A:NEXT
160 FORI=0TO62:READA:POKE832+I,A:NEXT
170 FORI=0TO62:READA:POKE896+I,A:NEXT
180 POKEV+8,101 REM X-COORD.DRUPPEL
200 GOTO260
220 IFA$="S"THEN3000
230 IFA$="R"THEN280
240 IF A$="A" THEN 1000
250 R=(10+7*RND(0))*1E-7:V0=9.68E7*R12*270 REM NIEUW DRUPPELTJE WORDT GEVORMD
270 VY=0:Y=74:POKEV9,74
280 N=INT(10*RND(0)):VU=9.43E-14*N/R*270 REM NIEUWE LADING
300 T=TI
410 U=3*PEEK(54297):P=118-U/15:POKEV1,P
440 IFP<82THENPOKEV2,17
450 IFP>82ANDP<100THENPOKEV2,19
460 IFP>100THENPOKEV2,23
470 A%=INT(U/100):POKE1204,A%+48
480 B%=INT(U/10-A%*10):POKE1205,B%+48
490 A%=U-A%*100-B%*10+48:POKE1206,A%
540 Y=Y+(V0-U*VU)*(TI-T):T=TI
550 GETA$:IFA$<>" "THEN220
560 IFY>157THENPOKEV9,157:Y=200:GOTO410
570 IFY<76THENY=76
580 POKEV9,Y:GOTO 410
700 DATA 0,2,0,0,7,0,0,2,0,0,0,0,0,0,0
710 DATA 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
720 DATA 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
730 DATA 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
800 DATA 224,0,0,224,0,0,224,0,0,224,0,0,224,0,0,224,0,0
810 DATA 224,0,0,224,0,0,224,0,0,224,0,0,224,0,0,224,0,0
820 DATA 224,3,0,224,3,192,224,3,240,255,255,252,255,255,255
830 DATA 255,255,252,0,3,240,0,3,192,0,3,0
900 DATA 224,0,0,224,0,0,224,0,0,224,0,0,224,0,0,224,0,0
910 DATA 224,0,0,224,0,0,224,0,0,224,0,0,224,0,0,224,0,0
920 DATA 224,0,0,224,0,0,224,0,0,224,0,0,224,0,0,224,0,0
930 DATA 224,0,0,224,0,0,224,0,0,224,0,0
1000 POKE V+21,0
1005 PRINT "C"
1010 PRINT "MILLIKAN BEPAALDE DE LADING VAN EEN"
1020 PRINT "ELEKTRON UIT EEN GROOT AANTAL VAN DEZE"
1030 PRINT "METINGEN."

```

APPARATUURGIDS

```
1040 PRINT"BLZ.56 VRAAG 2 VAN JE THEMABOEK GEEFT"
1050 PRINT"AAN HOE UIT DE LADING VAN OLIEDRUPPELS"
1060 PRINT"DE ELEKTRONLADING TE BEPALEN IS." :PRINT
1070 PRINT"CONTROLEER EERST JE EIGEN MEET- EN"
1080 PRINT"REKENRESULTATEN,DE LADINGEN MOETEN LIG-""
1090 PRINT"GEN TUSSEN 1EN  $17 \cdot 10^{-19}$  COULOMB."
1100 PRINT
1110 PRINT "DE COMPUTER KAN MEER MEETRESULTATEN"
1120 PRINT "LEVEREN ZODAT JE EEN EIGEN WAARDE VOOR"
1130 PRINT "DE ELEKTRONLADING KUNT BEPALEN."
1140 PRINT "WIL JE DAT (J/N)?" :INPUT ANT$
1150 IF ANT$="N" THEN GOTO 3000
1151 PRINT "J"
1155 PRINT "LADINGEN IN  $.... \cdot 10^{-19}$  C"
1160 FOR I=0 TO 39
1170 N=INT(10*RND(0)): Q=N*160-60+(120*RND(0))
1180 QF=INT(Q): LAD(I)=QF/100:NEXT I
1190 FOR J=0 TO 7
1200 K=5*J
1210 PRINT LAD(K);" " ;LAD(K+1);" " ;LAD(K+2);" " ;LAD(K+3);" " ;LAD(K+4)
1220 NEXT J
1230 PRINT "DRUK S IN ALS JE WILT STOPPEN." :INPUT ANT$
1240 IF ANT$="S" GOTO 3000
1250 RUN
3000 IFA$="S" THEN POKEV2,0:PRINT"J":END
```

