

Wat zit er in dat doosje?

Martinus J.G. Veltman

bron

Martinus J.G. Veltman, *Wat zit er in dat doosje?* Noord-Hollandsche Uitgevers Maatschappij, Amsterdam, 1967

Zie voor verantwoording: http://www.dbnl.org/tekst/velt011watz01_01/colofon.htm

© 2008 dbnl / Martinus J.G. Veltman



[Wat zit er in dat doosje?]

*Mijne Heren Curatoren,
Mijnheer de Rector Magnificus,
Dames en Heren Docenten, Leden van de
Wetenschappelijke Staf en Studenten,
en voorts Gij allen, die door uw aanwezigheid
blijk geeft van uw belangstelling,*

Geachte Toehoorders,

Er zijn drie verschillende onderwerpen die in aanmerking komen om hier behandeld te worden. Op de eerste plaats zou ik mij kunnen wagen aan bespiegelingen van filosofische aard, mij bezinnende op vragen zoals ‘is de natuurkunde een wetenschap?’ Aangezien echter dit soort vragen hier kort geleden, namelijk in 1959, reeds uitputtend behandeld zijn lijkt het mij beter van dit onderwerp af te zien.

Op de tweede plaats zou ik mijn opvattingen omtrent het onderwijs in de natuurkunde in Nederland kunnen formuleren. Immers, een belangrijk deel van de taak van een hoogleraar ligt juist in dit gebied, en gezien het feit dat naar mijn mening het onderwijs in de natuurkunde hopeloos verouderd is lijkt in eerste instantie dit het aangewezen onderwerp. Zonder enige twijfel zouden enkele wantoestanden aan de kaak kunnen worden gesteld, en methoden ter verbetering van het onderwijsniveau aangegeven kunnen worden. Dat ik desondanks niet op deze zaken inga vindt zijn grond in het feit dat ik er geen heil van verwacht: diegenen aan wie kritiek geadresseerd zou worden zouden zich misschien ergeren, maar zij zouden in elk geval niets veranderen. De overigen zouden na afloop wellicht zeggen: dat was even scherp gezegd, dat zal wel even pijn gedaan hebben. Daarna zou men dan ongetwijfeld een beroemd vaderlands gezegde in de praktijk gaan brengen:

En zij dronken een glas,
.....
En alles bleef zoals het was.

Ik heb mij dus geconcentreerd op de derde mogelijkheid, namelijk te trachten u een inzicht te geven in de voornaamste problemen die zich tegenwoordig in mijn vak, de hoge energie fysica, voordoen. Voor de niet-vakman is de elementaire deeltjes fysica doorgaans een gesloten boek, vanwege de hoge mathematische barrières die genomen moeten worden voordat een precies inzicht mogelijk wordt. Toch schuilt achter al die wiskunde een fascinerende en alles behalve abstracte werkelijkheid, en ik wil nu proberen u deze werkelijkheid wat nader te brengen.

Het oogmerk van de hoge energie fysica is het beantwoorden van de vraag: wat zit er in dat doosje? Met dat doosje bedoel ik de ons omringende materie; nauwkeurige bestudering van een brok materie leidt tot de ontdekking van het molecuul, verdere ontleding geeft het atoom, openbreken van het atoom openbaart ons de atoomkern en de omringende elektronen, en nog verdergaand vindt men protonen en neutronen als bouwstenen van de atoomkern. Dus, bij openen van het originele doosje vinden wij weer een doosje, waarin weer een doosje enz. Men vraagt zich af: hoe lang zal dit doorgaan? Zal ieder doosje weer een verder doosje bevatten, of is er één dat na openen niets meer bevat? Niemand weet 't, zover is de mensheid nog lang niet gevorderd, en ik wil hier slechts proberen een schets te geven van de huidige stand van zaken. Voor een goed begrip is het van nut een weinig in de historie te duiken, aangezien de huidige situatie sterke parallellen vertoont met vroegere stadia in het onderzoek naar de structuur van de materie.

Laten we vrij willekeurig beginnen met een beschouwing van de stand van zaken zo ongeveer in 1910. Iedereen was er toen wel van overtuigd dat de materie een deeltjesstructuur bezat, dat ieder willekeurig stuk materie was opgebouwd uit moleculen, welke op hun beurt waren samengesteld uit atomen. Men wist vrij precies hoe deze samenstelling was, bijvoorbeeld het watermolecuul bevat twee waterstof atomen en een zuurstof atoom. Zeer weinig was bekend over de krachten die de atomen in een molecuul bijeenhielden, en nog minder was bekend over de structuur van de atomen zelf. Vooralsnog werden de atomen voorgesteld als een soort bolletjes waarvan men alleen wist dat er 92 verschillende waren die in een heel precies schema pasten, namelijk het periodiek systeem.

Stelt u nu voor dat u een gesloten doosje in uw handen hebt. Tien tegen een dat u begint het doosje op en neer te schudden om te horen of het dan geluid maakt. Als dat zo is gaat u na of het droge tikken

zijn, of dat het klotst, of wat dan ook, met andere woorden u gaat het geluid analyseren. De mensheid in die tijd was al niet veel verschillend; als men een stof verhit gaan de atomen sneller bewegen, botsen tegen elkaar en na de botsing wordt dikwijls licht uitgezonden. Men zette zich dus aan een nauwkeurige analyse van het door een atoom uitgezonden licht en ontdekte een enorme rijkdom aan structuur. Deze spectraal-analyse leverde onder meer de volgende twee zeer belangrijke feiten op: ten eerste deed uitzending van licht een atoom niet van soort veranderen, dus bijvoorbeeld een ijzer-atoom blijft een ijzer-atoom, en ten tweede bleek het frequentie-spectrum van het door een atoom uitgezonden licht discreet te zijn.

Inmiddels was men door het werk van Lorentz, Thompson en anderen al op de hoogte van het bestaan van elektronen, de dragers van de ons in het dagelijks leven zo bekende elektriciteit. Eveneens was het bekend dat deze elektronen licht, dat wil zeggen elektro-magnetische straling uitzenden als ze een andere dan een rechte baan volgen. Het lag dus voor de hand aan te nemen dat het door atomen uitgestraalde licht veroorzaakt werd door elektronen, die op een of andere manier in het atoom van bewegingsrichting veranderen. Maar dan stuiten we meteen op een grote moeilijkheid: een niet aangestoten atoom zendt geen licht uit. Maar een elektron bewegend in een atoom kan zich niet rechtlijnig verplaatsen omdat het atoom in de ruimte scherp begrensd is, zodat een in het atoom bewegend elektron noodzakelijk een op een of andere wijze begrensde baan moet volgen.

Rond 1913 vond een doorbraak plaats dank zij het werk van Rutherford en Bohr. Volgens het atoom model van Bohr bestaat het atoom uit een geladen kern van vooralsnog ongespecificeerde structuur, met daaromheen op relatief grote afstand de elektronen draaiend in cirkelvormige banen. Het bijzondere was dat slechts zeer bepaalde banen toegestaan werden. De moeilijkheid dat elektronen onder uitzending van licht langzamerhand dichterbij de kern zouden gaan cirkelen was daarmee opgeheven, omdat het veranderen van baan hoogstens sprongsgewijze kon plaatsvinden. Daarmee was dan tevens de discrete vorm van het eventuele uitgezonden licht verklaard.

Men stond nu voor de taak uit te vinden welke wetten ervoor verantwoordelijk zijn dat slechts deze zeer bepaalde banen mogelijk zijn. Dit onderzoek leidde tot een herziening van bestaande fundamentele fysische inzichten en een herformulering van de bestaande wetten betreffende de beweging van materie; de quantummechanica werd geboren. Deze nieuwe theorie boekte alras imposante resultaten, en

bijvoorbeeld de krachten die de atomen in een molecuul bijeenhouden werden begrepen en herleid tot de gewone elektromagnetische krachten. De natuurkundigen konden zich nu zetten aan het openen van het volgende doosje: de atoomkern. Het bleek niet eens nodig het doosje te schudden, sommige in de natuur voorkomende kernen zijn instabiel en vallen vroeg of laat in verschillende stukken uiteen. In de jaren 1930-1940 werd vastgesteld dat alle ons omringende atoomkernen opgebouwd zijn uit protonen en neutronen, en vooral na de oorlog heeft men veel inzicht gewonnen over de meer precieze opbouw van de kernen. Dat onderzoek is nog steeds in volle gang, maar principiële moeilijkheden worden daar toch niet meer verwacht.

We worden nu geconfronteerd met weer het volgende doosje: het elementaire deeltje, elektron, proton, neutron. In vele opzichten is de situatie analoog aan die in 1910 als boven aangeduid. Men stelt zich elementaire deeltjes voor als een soort van bolletjes, maar de precieze structuur van die deeltjes en de krachten tussen deze deeltjes zijn vooralsnog grotendeels onbekend. Het moderne, na-oorlogse onderzoek heeft echter reeds geleid tot een soort periodiek systeem dat ik nu in wat meer detail zal beschrijven.

Traditiegetrouw begon men met het schudden van het doosje. Dit bestond uit het bombarderen van protonen met andere, tot hoge energie versnelde protonen. Het bleek niet zo eenvoudig een elementair deeltje te kraken, en wezenlijke vooruitgang werd pas geboekt toen machines, geschikt om deeltjes tot zeer hoge energieën te versnellen, beschikbaar kwamen. Zulke machines hebben de neiging gigantische vormen aan te nemen; paste het in Amerika uitgevonden cyclotron nog in een ruimte ter grootte van een ruime collegezaal, een van de grootste thans bestaande machines, namelijk het proton synchrotron te Genève is een cirkelvormig monster met een diameter van 200 meter.

Bij het bombarderen van deeltjes met deeltjes constateerde men dat in deze botsingsprocessen soms nieuwe deeltjes vrijkwamen. Men moet zich daarbij niet voorstellen dat deze nieuwe deeltjes onderdeel zijn van projectiel of doelwit; veeleer kan men denken aan wegspattende vonken bij het tegen elkaar slaan van twee stenen. Hoewel men dus in eerste instantie niet veel leerde over de opbouw van protonen, neutronen enz., in elk geval ontdekte men nieuwe elementaire deeltjes wier bestaan voordien niet vermoed was. Op het ogenblik zijn zo'n honderd elementaire deeltjes bekend. Voor een beter begrip van de gevonden classificatie is het noodzakelijk even in te gaan op de krachten welke werkzaam zijn tussen deze deeltjes.

Op het ogenblik zijn ruwweg vier soorten krachten bekend. Op de eerste plaats zijn daar de elektromagnetische krachten en de zwaartekracht, u allen uit het dagelijks leven wel bekend, en verder de zeer sterke krachten die protonen en neutronen in een kern bijeenhouden. Ten slotte heeft men het bestaan van zeer merkwaardige, zeer zwakke krachten ontdekt die opvallen doordat zij bepaalde wetten, geldig voor de andere krachten, negeren.

Men verdeelt nu deeltjes in groepen naar gelang zij onderhevig zijn aan de verschillende krachten. Allereerst zijn daar de deeltjes onderhevig aan de sterke krachten, zoals bijvoorbeeld protonen en neutronen. Deze deeltjes worden vaak hadronen genoemd. Elektronen horen daar niet bij gezien het feit dat ze niet in de atoomkern verpakt voorkomen, maar er op relatief grote afstand omheen cirkelen. Het elektron behoort tot de klasse van de leptonen, deeltjes die niet onderhevig zijn aan sterke, maar wel aan zwakke of elektromagnetische wisselwerkingen. Ten slotte is daar het foton, het elementaire deeltje geassocieerd met elektromagnetische straling dat slechts aan wisselwerkingen van elektromagnetische aard deelneemt.

De zogenaamde hadronen, de sterk wisselwerkende deeltjes, zijn veruit het grootst in aantal en het is voor deze deeltjes dat een soort van periodiek systeem gevonden is. Proton en neutron beslaan dus twee plaatsen in een uitgebreid schema met vele nieuwe, pas in de laatste 20 jaar ontdekte deeltjes, elektronen hebben geen plaats in dit schema. Het ligt nu voor de hand om te trachten de analogie verder door te trekken. Zoals men de verschillende voorkomende atoomkernen kan herleiden tot verschillende combinaties van protonen en neutronen, zo kan men nu proberen de vele sterk wisselwerkende deeltjes te herleiden tot combinaties van slechts enkele bouwstenen. Dit blijkt inderdaad mogelijk, en het nieuwe, vooralsnog hypothetische drietal deeltjes dat daarvoor nodig is staat bekend onder de door Gell-Mann, een Amerikaans fysicus, bedachte naam 'quarks'. Deze quarks hebben, als ze tenminste bestaan, een aantal zeer merkwaardige eigenschappen; zo heeft bijvoorbeeld één van de quarks een lading die één-derde is van de elementaire lading. Ter toelichting moge dienen dat alle tot nog toe waargenomen deeltjes slechts ladingen hebben die een veelvoud zijn van deze elementaire lading. Verder zijn deze quarks zeer zwaar, vermoedelijk minstens tien maal zwaarder dan het proton. Voor velen onder u mag het vreemd aandoen dat het proton, samengesteld uit enkele quarks veel lichter is dan het gewicht van de quarks afzonderlijk, voor de natuurkundige is dit feit niets bijzonders en wordt gezien

als een consequentie van de beroemde relativiteitstheorie van Einstein. De relativiteitstheorie leert dat massa en energie in wezen gelijk zijn, en de energie benodigd om de quarks binnen een proton te binden moet in mindering worden gebracht op de totale massa van de samenstellende quarks. Een soortgelijke situatie bestaat ook voor de atoomkernen; een atoomkern is lichter dan de totale massa van de samenstellende protonen en neutronen. Dit ‘massa-defect’ is dus een maat voor de energie waarmee de deeltjes gebonden zijn, en het moge u duidelijk zijn dat er zeer, zeer hoge energieën benodigd zijn om de quarks in een proton uiteen te scheuren. Dat zou dan ook de reden zijn dat quarks tot op heden niet zijn waargenomen.

In de drie jaar dat het quark idee bestaat onder de natuurkundigen zijn er verschillende feiten aan de dag gekomen die in overeenstemming zijn met een dergelijke structuur. Zo heeft men bijvoorbeeld sinds een jaar ontdekt dat vele ingewikkelde botsingsprocessen gezien kunnen worden als een hergroepering van quarks. Bijvoorbeeld een inkomend deeltje bestaande uit drie quarks botsend op een deeltje bestaande uit drie quarks gaat over in weer twee deeltjes bestaande uit drie quarks, maar waarbij de zes betrokken quarks anders verdeeld zijn over deze twee uitgaande deeltjes. De experimentele uitkomsten liggen zo verbazingwekkend dicht bij de, met dit wel zeer naïeve beeld, voorspelde getallen dat men wel gedwongen is het quark idee serieus te nemen. Een verdere aanwijzing is te vinden in een soort van spectraal-analyse. Zoals we vroeger opgemerkt hebben doet bij atomen uitzending van licht het atoom niet van soort veranderen, ijzer blijft ijzer. Wat er gebeurt is dat een elektron van bewegingstoestand verandert, daarbij licht uitstralend. Maar de atoomkern en het aantal elektronen blijft ongewijzigd. De overeenkomstige situatie is dat een deeltje bestaande uit bijvoorbeeld drie quarks bij uitzending van licht, dat wil zeggen fotonen, over zal gaan in een deeltje bestaande uit weer drie quarks, en dat beide deeltjes gezien moeten worden als verschillende toestanden van één en dezelfde combinatie. Op deze wijze kan waarneming van processen met uitstraling van fotonen leiden tot het groeperen van de elementaire deeltjes in families. Ongelukkigerwijze is experimenteel niet genoeg materiaal voorhanden om deze procedure, gebaseerd op het gebruik van elektromagnetische krachten als werktuig, door te voeren. Echter is het mogelijk gebleken de zwakke wisselwerkingen voor dit doel aan te wenden. Het blijkt namelijk dat er een grote overeenkomst bestaat tussen elektromagnetische wisselwerkingen en de zwakke wisselwerkingen. Zoals licht, dat wil zeggen

fotonen, opgewekt kan worden door van richting veranderende ladingen zo kan een tweetal leptonen opgewekt worden door een van richting veranderende, zogenaamde zwakke lading. Dit nieuwe begrip de zwakke lading, die dus in de zwakke wisselwerkingen de pendant is van de elektrische lading in elektromagnetische processen, heeft door het werk van de Italiaanse fysicus Cabibbo geleid tot een verdere versteviging van de met een quark structuur samenhangende ideeën. Dus door na te gaan welke elementaire deeltjes onder uitzending van een leptonpaar in elkaar overgaan is een preciezer inzicht verkregen in de familie structuur van de sterk wisselwerkende deeltjes. Bijvoorbeeld, men heeft waargenomen dat het neutrale Σ -deeltje, onder uitzending van een foton overgaat in een zogenaamd Λ -deeltje, welke op zijn beurt onder uitzending van twee leptonen over kan gaan in een proton. De conclusie is dat Σ , Λ en proton in een familie behoren. Het zou mij te ver voeren hier dieper op in te gaan; het belangrijkste is dat de quantitative uitwerking van deze ideeën tot goede overeenkomst met de experimenteel waargenomen resultaten voert.

Er is echter naast genoemde positieve resultaten een negatief punt van overheersende betekenis: ondanks grote inspanningen zijn er tot op heden geen quarks waargenomen. Ze gedragen zich letterlijk als knikkers in een doosje: men hoort ze wel maar ziet ze niet. De natuurkundige van tegenwoordig vertoont veel gelijkenis met een kind dat geld in een spaarpot wil tellen door nauwkeurig naar het gerinkel van de munten te luisteren. Het zal u duidelijk zijn dat de meest fantastische plannen gemaakt worden om dit doosje te kraken en ik wil hier in 't kort de voor dit doel in Genève in aanbouw zijnde machine bespreken. Het doel is dus zeer eenvoudig: twee elementaire deeltjes moeten met geweldige energie tegen elkaar botsen en de hoop is dat dan bij deze botsing enkele quarks worden losgescheurd. Tot op heden worden voor dit doel tot op hoge energie versnelde protonen tegen zich in de meetapparatuur in rust bevindende protonen of neutronen geslingerd. In aanbouw bij het CERN te Genève is nu een grote ring, een opslagring, waar de snelle protonen geproduceerd door de daar aanwezige machine in geleid kunnen worden, en verder dan daarin rond blijven lopen. Als na enige tijd voldoende protonen in de ring aanwezig zijn worden verdere protonen in tegenovergestelde richting tegen de in de ring aanwezige protonen gericht en, als de natuur het CERN welgezind is, zal hierbij, wat men voor auto's zou noemen frontale botsing, het proton gekraakt worden en zullen enkele quarks vrijkomen.

Het moge hier opgemerkt worden dat vele fysici sceptisch staan tegen-

over deze onderneming, en zij hebben sterke argumenten aan hun zijde. Immers, zoals eerder opgemerkt hebben de quarks elektrische ladingen die fracties zijn van de ladingen aangetroffen bij alle experimenteel waargenomen deeltjes. Waarom zouden deze quarks altijd zodanig combineren dat slechts gehele veelvouden van de elementaire lading ontstaan, en bijvoorbeeld niet eens een deeltje met lading $1\frac{2}{3}$? Vooralsnog is dit een geheel onbegrepen facet van het quark idee dat een sombere schaduw doet vallen over het gigantische project in Genève. Hoe het ook moge zijn, dit doosje moet open en voor het ogenblik lijkt bruut geweld de enige methode.

Zonder twijfel zullen velen, onder u zich afvragen: aangenomen dat inderdaad quarks gevonden worden, wat dan nog. Immers het oorspronkelijke probleem is niet veel dichter bij de oplossing, men heeft dan weliswaar het aantal sterk wisselwerkende elementaire deeltjes tot drie gereduceerd, maar veel meer dan een reductie in aantal is er dan niet bereikt. Echter zo eenvoudig is de zaak nu ook weer niet; ik moge u in herinnering roepen dat kennis van de structuur van het atoom, het feit dat elektronen slechts in zeer bepaalde banen kunnen cirkelen, geleid heeft tot volkomen nieuwe bewegingswetten zoals geformuleerd in de quantummechanica. Deze nieuwe wetten hebben op hun beurt geleid tot een omwenteling in onze ideeën betreffende de materie, waarvan de consequenties nog steeds niet zijn te overzien. De historie zou zich hier wel eens kunnen herhalen, en de aangegeven tegenstrijdigheden hebben wellicht hun grond in onvolkomen of foutieve opvattingen. Het lijkt mij persoonlijk bijvoorbeeld niet uitgesloten dat voor een juist begrip van de structuur van de materie in termen van quarks een diepgaande herziening van onze opvattingen betreffende elektromagnetisme, lading enz. nodig zijn en wellicht zullen we meer inzicht krijgen in het hoe en waarom van de sterke, elektromagnetische en verdere krachten. Immers, we hebben nu wel veel aandacht besteed aan de opbouw van deeltjes uit deeltjes, maar we hebben ons op geen enkel moment verdiept in het hoe en waarom van de krachten tussen deze deeltjes. Is er een onderling verband tussen deze krachten? Zijn deze krachten misschien verschillende manifestaties van een of ander algemeen principe? Het is aan deze vraagstelling dat ik de mij resterende tijd wil besteden.

Laat ik beginnen met een klassieke moeilijkheid aan de hand van een voorbeeld in te leiden. Gelijk u allen welbekend, is het moeilijker twee magneten van elkaar weg te krijgen naarmate ze dichter bij elkaar zijn en als ze tegen elkaar liggen is een relatief grote kracht nodig voor

separatie. Analoog, als men twee gelijksoortige ladingen heeft moet men meer en meer energie aanwenden om ze dichter en dichter bij elkaar te brengen. Maar zie nu eens het elektron: een zekere hoeveelheid lading is, voorzover we het nu weten, in één punt samengedrongen. Onmiddellijk rijst de vraag: hoeveel massa vertegenwoordigt de energie nodig om al deze lading in een punt te concentreren. Niemand weet het antwoord op deze vraag, theoretische berekeningen van de massa geven onveranderlijk oneindig. Met onveranderlijk bedoel ik hier sinds het einde van de vorige eeuw, zowel in de oude theorie als in de moderne quantummechanica. Zo een uitkomst is natuurlijk onzin, het elektron heeft een eindige massa die in vele decimalen nauwkeurig gemeten is. Klaarblijkelijk is er iets mis met onze opvattingen betreffende de structuur van de lading, of de theorie van elektromagnetische krachten.

Een manier om dit zeer fundamentele probleem experimenteel aan te pakken bestaat uit het bestuderen van processen waar twee ladingen zeer dicht bij elkaar gebracht worden. Bijvoorbeeld men kan twee elektronen tegen elkaar opschieten met grote energie en door vergelijking van de experimentele resultaten met theoretische berekeningen kan men misschien ontdekken waar het mis gaat. De resultaten van dit onderzoek zijn tot op heden volkomen negatief; afgezien van het boven aangeduide probleem betreffende de massa van het elektron klopt het experiment volledig met de theorie. Wederom probeert men machines te construeren die het mogelijk maken de elektronen met steeds hogere energie tegen elkaar op te slingeren en zowel in Amerika als in Europa (Italië) zijn en worden opslagringen geconstrueerd. Met name in Stanford is onlangs een machine in gebruik genomen die elektronen tot zeer hoge energieën versnelt. Deze machine, bijgenaamd het monster, is 3 km lang en zal eertijds nog worden gesupplementeerd met een opslagring.

Toch zijn we niet geheel zonder inzicht in deze problemen. In 1915 publiceerde Einstein zijn onvergelijkelijk meesterwerk betreffende de zwaartekracht en in een beschouwing betreffende de aard van de in de natuur aangetroffen krachten kunnen de zeer diepgaande en tevens zeer elegante ideeën van Einstein niet achterwege blijven. In de algemene relativiteitstheorie is Einstein er in geslaagd om een verband te leggen tussen zwaartekracht enerzijds en de ruimte-tijdstructuur van de ons omringende ruimte anderzijds, in feite heeft hij deze twee met elkaar geïdentificeerd.

Laten we beginnen met ons de volgende vraag te stellen: wat is een

rechte lijn? Een ieder die wel eens een landmeter bezig heeft gezien zal hierop onmiddellijk antwoorden: een rechte lijn is de weg die door een lichtstraal gevolgd wordt. Daarmede is het begrip rechte lijn voor een fysicus op bevredigende wijze vastgelegd en bij gebrek aan andere methoden kunnen we ook niet veel anders dan deze definitie gebruiken. Beschouw nu een lichtstraal die uitgezonden door een ster langs de zon gaat en op de aarde wordt opgevangen. Volgens de boven gegeven definitie legt deze lichtstraal een rechte weg af. Maar licht is een vorm van energie en de speciale relativiteitstheorie leert dat energie en massa in wezen hetzelfde zijn. Als we nu, met Einstein, aannemen dat trage massa en zware massa, die ik gemakshalve gewicht zal noemen, aan elkaar gelijk zijn dan komen we tot de conclusie dat het licht onder invloed van de zwaartekracht naar de zon toe moet worden gebogen. Inderdaad is dit feit experimenteel geconstateerd. Maar wat nu met onze definitie van een rechte lijn: moeten we zeggen dat het licht alleen dan maar een rechte lijn volgt als er geen zwaartekrachtsveld is? Maar hoe weet ik dat er geen zwaartekrachtsveld is? Als massa en gewicht in essentie equivalent zijn dan is het onmogelijk uit te maken of, wanneer wij krachten voelen, dit te wijten is aan aantrekkingskracht van een ander lichaam dan wel omdat wij aan versnellingen onderhevig zijn. Bijvoorbeeld, als u met een lift naar boven gaat, en u in het begin, als de lift op gang komt, naar beneden gedrukt voelt kunt u net zo goed denken dat de aarde wat groter geworden is en u sterker aantrekt. Immers beide keren is het dezelfde grootheid, namelijk massa, ofwel gewicht dat de krachten bepaalt.

Einstein komt dan met de volgende oplossing uit dit dilemma. Hij houdt vol dat licht, zelfs in een gravitatieveld, een rechte lijn volgt. De consequentie is dat de ruimte vervormd is. Bijvoorbeeld beschouw een vlieg die op een blad papier lijnrecht van een punt naar een ander punt loopt. Zolang dit papier vlak ligt is dit inderdaad een rechte lijn. Maar vervormen we dit stuk papier dan verandert de door de vlieg afgelegde weg in een gekromde baan. Zo kunnen we ons de ruimte in een gravitatieveld als vervormd voorstellen en wel zodanig dat de rechte lijn afgelegd door het licht in deze vervormde ruimte zich gedraagt als wat wij ervaren als een gekromde baan in een onvervormde ruimte.

Bovenstaand betoog geeft een welhaast misdadig overgesimplificeerd beeld van Einsteins theorie. Waar het ons om gaat is de conclusie dat zwaartekracht eigenlijk niets anders is dan een vervorming van de

ruimte en dat de beweging van materie in een zwaartekrachtsveld kan worden gezien als een rechtlijnige beweging in een gekromde ruimte.

Deze opvatting leidt tot zeer interessante speculaties. Beschouw een elementair deeltje met alle massa geconcentreerd in een punt. Dichter en dichter bij dit punt zal een lichtstraal meer en meer gekromd worden en op een gegeven moment kan deze kromming zodanig zijn dat een lichtstraal een volledig gesloten baan gaat volgen. Maar dat betekent dat de ruimte zo sterk gekromd is dat we er niet meer in of uit kunnen komen, we hebben als het ware een gat in de ruimte. Deze fantastische ‘wormgaten’-theorie, die door verschillende fysici onderzocht werd is zeer gecompliceerd en hoewel eindige resultaten verkregen werden, wat een grote stap vooruit is, stonden deze resultaten toch nog in geen enkele verhouding tot de experimenteel waargenomen situatie.

Men kan nu proberen eenzelfde gedachtengang op te zetten voor geladen deeltjes, bewegend in een elektromagnetisch veld. Dus, een elektron afgebogen naar een positief geladen deeltje kan men proberen te begrijpen als een rechtlijnig bewegend elektron in een door het coulomb-veld vervormde ruimte. Helaas, deze beschouwing gaat niet op; een ongeladen deeltje wordt niet afgebogen en legt een rechte baan af, in tegenspraak met de eerder veronderstelde gekromde ruimte.

Resumerend kunnen we zeggen dat de algemene relativiteitstheorie wellicht de kiem draagt van het fundamentele idee nodig om elementaire deeltjes te begrijpen. Maar het is volkomen onbekend hoe elektromagnetische, sterke of zwakke krachten in zo'n schema geplaatst kunnen worden.

Het is dus niet uitgesloten dat in de verre toekomst het antwoord op de vraag: ‘wat zit er in dat doosje’, zal luiden als volgt: ‘niets, het doosje is een gat in de ruimte’.

Maar het lijkt geen twijfel dat het breiwerk van de natuur rondom deze gaten van een imposante grootte is.

Waarde Toehoorders,

Wat u hier gehoord hebt is een zeer onvolledig overzicht van de stand van zaken en de problemen in de elementaire deeltjes fysica. Ik heb slechts duidelijk willen maken hoe onwetend wij nog zijn. Het is voor mij dan ook ondenkbaar dat de mensheid zich ooit op haar gemak kan voelen in deze wereld zonder deze problemen opgelost te hebben. Helaas is het nodig dit nog eens met nadruk te zeggen, zelfs in kringen

van vakgenoten hoort men wel eens de mening verkondigen dat de grote hoeveelheden geld die door de hoge energie fysica opgeslokt worden eigenlijk beter elders besteed hadden kunnen worden. Ik stel me zo voor dat tijdgenoten van Newton hem weleens gesuggereerd moeten hebben om iets nuttigs te doen in plaats van naar stomme vallende appels te kijken.

Aan Hare Majesteit de Koningin betuig ik mijn eerbiedige dank voor Haar besluit mijn benoeming aan deze Universiteit te bekrachtigen.

Mijne Heren Curatoren,

Gaarne wil ik u mijn erkentelijkheid betuigen voor het in mij gestelde vertrouwen. Dat u over de bezwaren verbonden aan mijn veelvuldig bezoek aan het buitenland hebt willen heenstappen toont dat u een open oog hebt voor de moeilijkheden waarmee de tegenwoordige hoge energie fysicus te kampen heeft. U heeft beseft dat het werken in dit vak praktisch onmogelijk is zonder contacten met de grote onderzoekcentra. Speciaal u, Mijnheer de Secretaris, heeft van uw inzicht in deze zaken op de meest positieve wijze blijk gegeven.

Dames en Heren Hoogleraren, Lectoren en Docenten,

Ik beschouw het als een groot voorrecht in uw illustere kring te worden opgenomen. De wel zeer plezierige verhoudingen binnen de Faculteit der Wis- en Natuurkunde doen mij de toekomst met hooggestemde gevoelens tegemoet zien.

Waarde Van Hove,

Volgens een ruwe schatting ben ik uw vierde oud-leerling die bij gelegenheid van een ambtsaanvaarding het woord tot u richt. Het aandeel dat u in mijn vorming gehad hebt is dermate groot, dat het voor mij een onmogelijke taak is dit hier te omschrijven. Maar u kunt ervan verzekerd zijn dat ik wel degelijk besef wat u in mijn leven betekend hebt en ik realiseer me zeer wel dat zonder uw komst naar Utrecht, nu meer dan 10 jaar geleden, de fysica er voor mij heel wat minder fascinerend uit zou hebben gezien. Ik geloof dat dit de hoogste lof is die een leerling zijn leermeester kan toezwaaien en ik meen dat u die ten volle toekomt.

Waarde Nijboer,

Uw buitengewoon grote vakkennis en uw warme persoonlijkheid maken het tot een voorrecht en plezier met u te mogen samenwerken. Ik hoop veel te profiteren van uw ervaring en inzicht inzake de problemen die zich in de mij toevertrouwde verantwoordelijke functie voordoen.

Waarde Van Kampen,

Dat u, ondanks de lokroep van het buitenland in ons midden gebleven bent is voor de Nederlandse fysica van de allergrootste betekenis. U behoort bij de zeer groten in ons vak en ik heb dan ook het vaste voornemen van uw kennis en inzicht te profiteren.

Waarde Ruygrok,

Het is met u, collega hoge energie fysicus, dat ik het meeste te maken zal hebben. U bezit de ideale combinatie van kennis en vermogen tot verstaan, wat u maakt tot discussie-partner bij uitnemendheid. Ik ben er zeker van dat dit zal leiden tot een samenwerking die ver boven het alledaags contact uitgaat.

Waarde Ubbink,

Zo geleidelijk aan is uw betekenis voor het Instituut ver gestegen boven die van een toevallige gast. Moge deze ontwikkeling, liefst nog in versneld tempo, doorgaan.

Waarde Felderhof,

Ik heb u altijd gezien als een collega en vriend van het soort waarop men zuinig moet zijn en het was mij dan ook een groot genoegen u hier weer terug te zien. Ik hoop met u nog veel over fysische en onfysische zaken van gedachten te kunnen wisselen.

Waarde Tjon,

Dat u besloten hebt, voorlopig althans, in Nederland te blijven is mij een zeer groot genoegen. Ik ben er zeker van dat velen, waaronder ikzelf, zullen kunnen profiteren van uw uitzonderlijke vakkennis en inzicht.

Waarde medewerkers van het Instituut voor Theoretische Fysica,

Wetenschappelijk niveau en atmosfeer op het Instituut worden in belangrijke mate door uw doen en laten bepaald. Gezien de huidige situatie geloof ik dat we de toekomst met vertrouwen tegemoet kunnen zien.

Vakgenoten in Nederland,

De contacten die ik tot nog toe met u heb gehad zijn voor mij van het grootste belang geweest. Ik hoop dat de samenwerking zich in de toekomst nog veel verder zal intensiveren.

Waarde Beunes,

U bent het die in eerste instantie mijn belangstelling voor de fysica hebt opgewekt en aangewakkerd en veel van uw opvattingen en zienswijzen zijn in mij door blijven leven. Ik ben u daarvoor zeer dankbaar.

Dames en Heren Studenten,

Werkelijke geestdrift voor de fysica krijgt men pas als men daadwerkelijk aan het onderzoek deelneemt. Het is mijn streven om u nog voor het afstuderen in die situatie te plaatsen. Dat betekent wellicht een zekere verzwaring van uw studie-programma; dat een afgestudeerd fysicus niet eens de weg zou weten in de vakliteratuur komt mij echter voor als een niet-tolereerbare situatie.

Ik heb gezegd.