

WIE HET KLEINE NIET EERT ...

P.J. Mulders

*Afdeling Theoretische Natuurkunde, Divisie Natuurkunde en Sterrenkunde
Faculteit der Exacte Wetenschappen, Vrije Universiteit
De Boelelaan 1081, 1081 HV Amsterdam*



Abstract

De huidige wereld van techniek en communicatie is voor het overgrote deel het resultaat van de pogingen in de afgelopen honderd jaar om de materie en verschijnselen om ons heen te begrijpen. Toch zijn het in het dagelijks leven maar twee fundamentele krachten die zorgen dat we met beide benen op de grond blijven staan. Een van die krachten beheerst ook de kosmos, terwijl de andere o.a. aan de werking van microchips maar ook aan biologische processen ten grondslag ligt. Een van de meest fascinerende dingen van het dagelijks leven in FEW is dat wij ons verwonderen over de wereld om ons heen, die enerzijds zo eenvoudig is en anderzijds zo complex.

Voordracht ter gelegenheid van de 2^e dies van de Faculteit Exacte Wetenschappen op 29 september 2000.

Fysica in het dagelijks leven. Het eerste wat dan in gedachten komt bij menige wetenschapper is het onderwijs en onderzoek, het wel en wee van de studenten en promovendi. Deze vormen tenslotte onze output ten behoeve van de maatschappij. Ten bewijze van hun bekwaamheid hebben ze bovendien ons kennisniveau een stapje hoger gebracht. Als wetenschapper kan ik het niet laten om juist daarover te vertellen, want het zijn deze bijdragen die de universiteit en de faculteit hun aanzien in het land en de wereld geven. Daarbij moet zeker niet worden vergeten hoezeer deze bijdragen afhankelijk zijn van een goede infrastructuur, juist een van de punten die een onderliggende gedachte was bij het totstandkomen van de Faculteit Exacte Wetenschappen.

Het dagelijkse leven is vol van fysica. Misschien dat het nog even duurt voor de spiegels van de groep van Ronald Griessen, pixel voor pixel schakelbaar, in iedere slaapkamer te vinden zijn, maar de uit het onderzoekcentrum voor elementaire deeltjes, CERN in Geneve, afkomstige *www* is al wel in heel veel huizen te vinden. En zo zijn er nog heel wat voorbeelden te geven.

Op de middelbare school worden we overspoeld met de krachten waaraan wij en voorwerpen om ons heen onderhevig zijn. In essentie zijn die terug te voeren tot twee basiskrachten, elektromagnetisme en zwaartekracht. De wrijvingskracht is bijvoorbeeld een manifestatie van de elektromagnetische kracht. Deze twee van de in totaal vier basiskrachten zijn gebaseerd op fundamentele principes.

Ik wil een en ander illustreren door de materie te ontleden, beginnend met een in een rooster geordende verzameling atomen, waar fysici tegenwoordig zelfs in staat zijn atomen op het oppervlak te manipuleren, zoals geïllustreerd in figuur 1 linksboven. De materie is opgebouwd uit atomen met een afmeting van de orde van 10^{-10} m. De structuur van de atomen wordt bepaald door de lading van de atoomkern en de elektronenstructuur. Met het elektron hebben we tevens een van de elementaire deeltjes in ons universum te pakken. De atoomstructuur is samengevat in het overbekende *Periodiek Systeem* dat uit het einde van de 19^e eeuw dateert. De atoomkern heeft een afmeting die vier ordes van grootte kleiner is dan het atoom, ongeveer 10^{-14} m. De structuur van de atoomkern wordt bepaald door het aantal protonen met een positieve lading en het aantal ongeladen neutronen. Afhankelijk van het aantal neutronen hebben we de verschillende isotopen, bijvoorbeeld drie voor waterstof, ^1H (gewoon waterstof, een proton), ^2H (deuterium, een proton en een neutron) of ^3H (tritium, een proton en twee neutronen). Verder komen we in de atoomkern ook de twee andere krachten tegen die in de natuur een rol spelen. Een daarvan, de zwakke

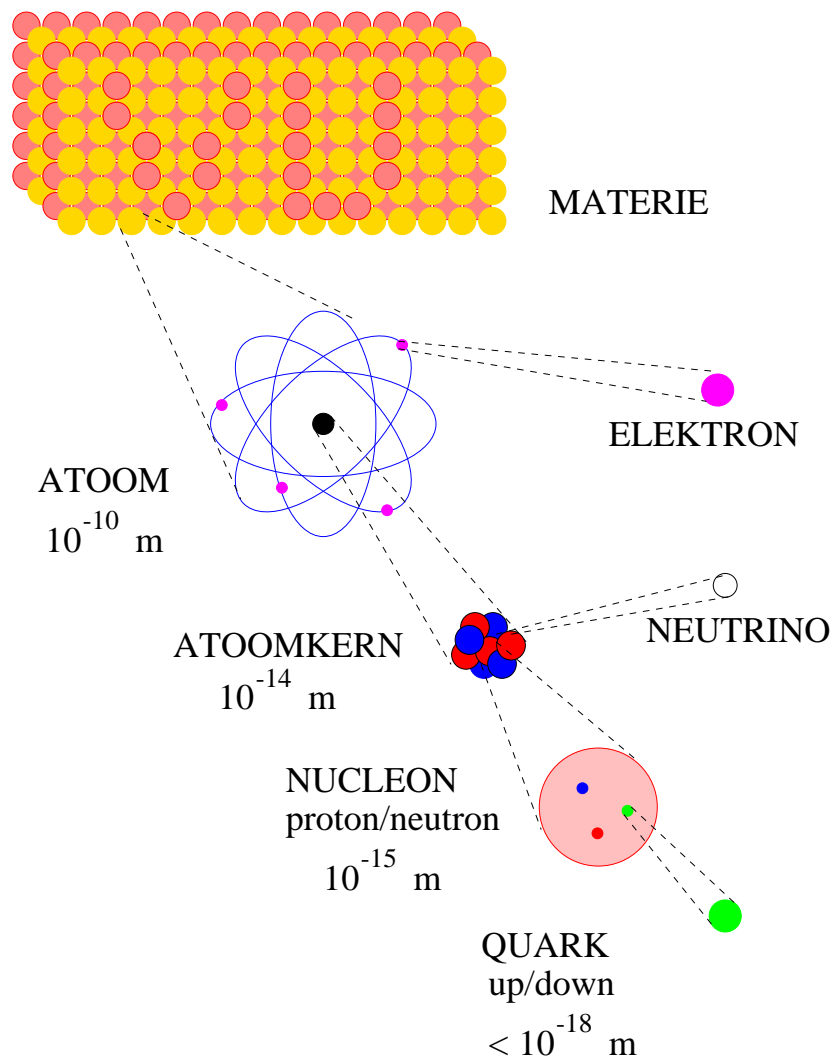


Figure 1: De opbouw van de materie

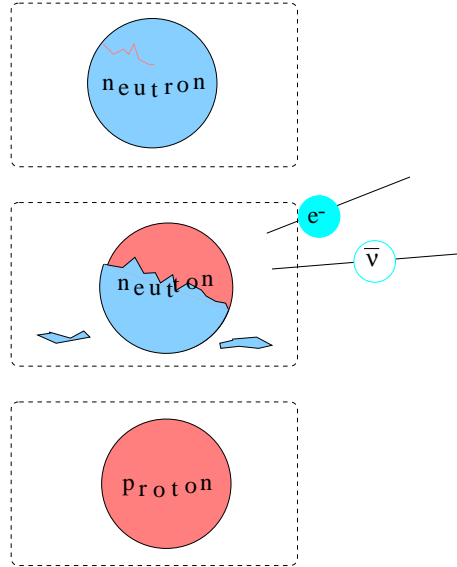


Figure 2: Het verval van een neutron in een proton, een elektron en een neutrino.

kracht, is verantwoordelijk voor het veranderen van een neutron in een proton, onder uitzending van een elektron en een neutrino, iets wat voor een vrij voorkomend neutron na ca. 15 min. gebeurt (geïllustreerd in fig. 2).

Met twee *nucleonen*, proton en neutron, en twee *leptonen*, elektron en neutrino (zie fig. 3), kunnen we de structuur van de materie om ons heen begrijpen, ook al blijven de neutrino's ware spookdeeltjes die zeker nog niet al hun geheimen hebben prijsgegeven. Dat laatste komt met name omdat de wisselwerking met de materie in de letterlijke zin van het woord zo zwak is dat de enorme hoeveelheid neutrino's die de zon bijvoorbeeld produceert voor het overgrote deel dwars door de aarde vliegen (zie fig. 4).

Protonen en neutronen hebben afmetingen die maar weinig onderdoen voor die van de atoomkern, ca. 10^{-15} m, zodat ze vrij dicht opeengepakt zitten in een atoomkern. Juist die afmeting en eigenschappen zoals magnetisch moment hebben fysici al snel doen vermoeden dat er een substructuur voor nucleonen is. Die is gevonden in de vorm van de quarks, deeltjes waarvan we nu weten dat ze in ieder geval kleiner zijn dan 10^{-18} m en die fractionele ladingen hebben. In het bijzonder de *up* en *down* quarks zijn het die protonen en neutronen opbouwen, een proton met twee *up* quarks (elk ladingen $+2/3 e$) en één *down* quark (lading $-1/3 e$), een neutron met één *up* quark en

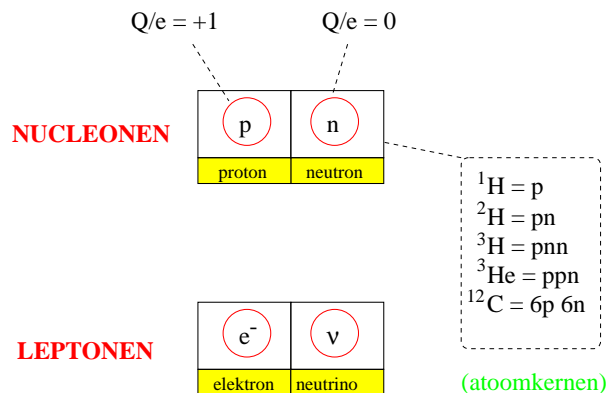


Figure 3: De subatomaire wereld zoals bekend rond 1935.

twee down quarks. Daarmee is het op dit moment afgelopen. Om zover te komen hebben fysici al gebruik moeten maken van deeltjesversnellers zoals bij CERN met een omtrek van 28 km (ga naar <http://www.cern.ch> voor details), in feite een 'n beetje uit z'n kluiten gewassen microscoop.

Het resultaat is een deeltjesfamilie van twee quarks en twee leptonen (zie fig. 5) met allerlei eigenschappen, zoals voor de quarks naast de elektrische lading een kleurlading, die ten grondslag ligt aan de sterke wisselwerking, de kracht die de quarks bijeenhoudt in de nucleonen met een constante kracht van maar liefst 20 Ton en die, wanneer de kleurladingen eenmaal geneutraliseerd zijn, nog sterk genoeg is om de nucleonen in de atoomkern bij elkaar te houden.

Dat wat betreft de materie om ons heen, oftewel de materie die belangrijk is voor de fysica in het dagelijks leven. Nu, anno 2000 is het standaard model uitgebreid tot drie deeltjesfamilies met elk steeds massievere deeltjes. De krachten worden veroorzaakt door krachtdeeltjes, het bekendste daarvan het foton dat niet alleen als lichtdeeltje fungeert maar ook de elektromagnetische krachten tussen deeltjes overbrengt. Voor de sterke kernkrachten zijn acht gluonen verantwoordelijk en voor de zwakke kracht, drie zware deeltjes (zie fig. 6). We weten bovendien dat er niet meer dan drie van dit soort deeltjesfamilies bestaan en dat heeft weer alles met neutrino's te maken, maar daar ga ik nu niet op in.

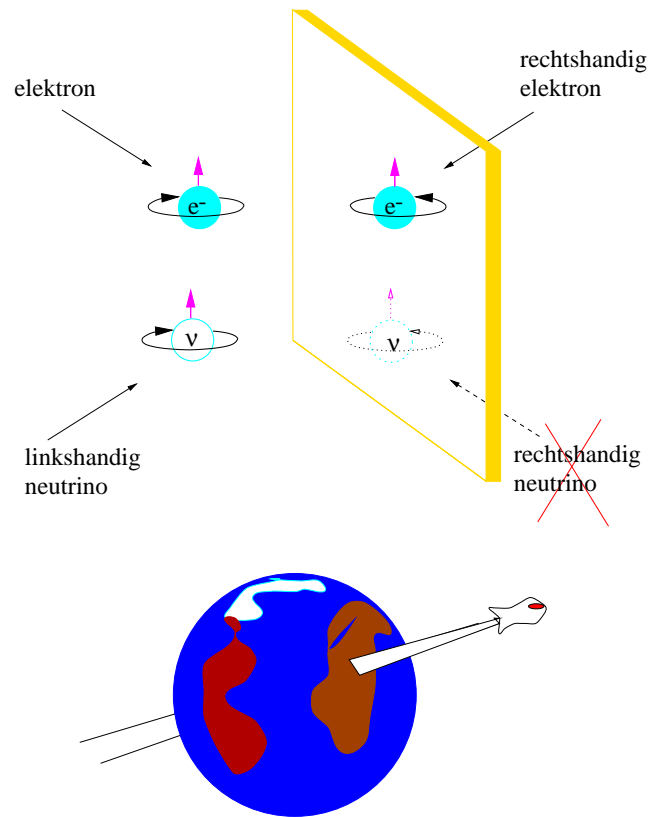


Figure 4: De neutrino's die enkel linkshandig voorkomen en op die manier de spiegelsymmetrie in de natuur breken. Wanneer we ook de antideeltjes beschouwen, die juist rechtshandig zijn is de symmetrie weer hersteld, tenminste bijna!

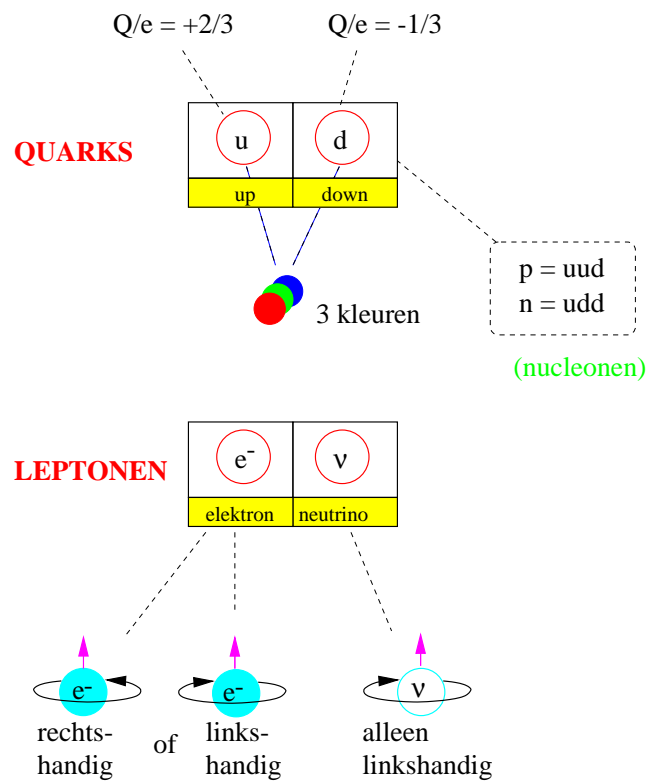


Figure 5: De subatomaire wereld van quarks en leptonen zoals die bekend was rond 1965.

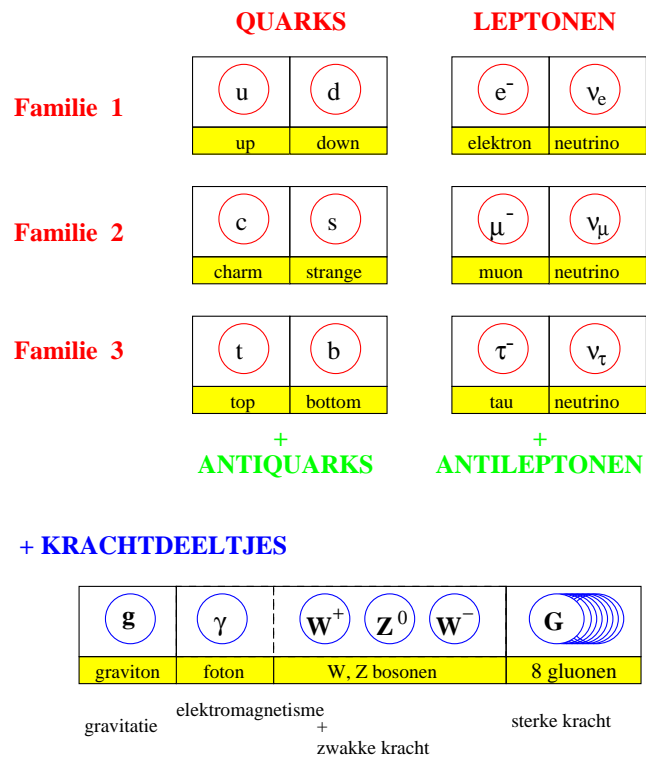


Figure 6: De drie deeltjesfamilies in het standaard model en de krachtdeltjes voor de vier fundamentele wisselwerkingen

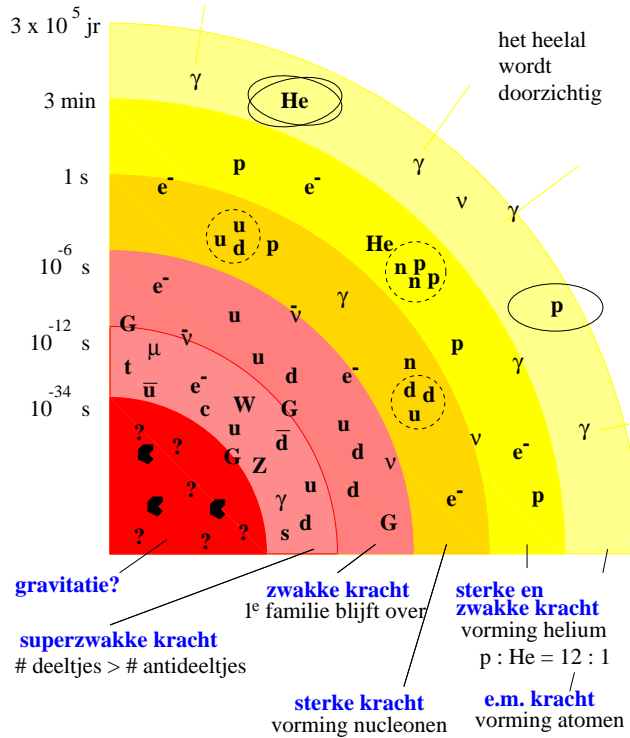


Figure 7: Stadia vanaf de oerknal

Degene die nu denkt dat we alles weten moet ik echter teleurstellen. Waarom zijn er drie families? De meest bekende kracht, de zwaartekracht, past het minst in het standaardmodel en heeft nog allerlei geheimen bewaard, bijvoorbeeld als het gaat om zwarte gaten. Daarbij gaat het op een bepaald moment niet alleen meer om de quantummechanica of de relativiteitstheorie, maar om de structuur van ruimte en tijd zelf. Zijn de ultieme vrijheidsgraden punten of snaren? En hoe als we vanuit het 'eenvoudige' standaardmodel de complexiteit van atoomkernen, materie of leven willen begrijpen?

Samenvatten wil ik doen aan de hand van de geschiedenis van het heelal vanaf kort na de oerknal (fig. 7). We beginnen met het resultaat van een nog onbekende *superzwakke* kracht die verantwoordelijk is voor een kleine asymmetrie tussen deeltjes en antideeltjes. Ca 1 μ sec na de oerknal zijn alleen de quarks en leptonen van de lichtste deeltjesfamilie overgebleven



Figure 8: De andromedanevel nu.

(m.u.v. neutrino's). Ongeveer 1 s na de oerknal zijn deze onder invloed van de sterke kracht geklonterd in protonen en neutronen. De laatste zijn of vervallen of terechtgekomen in ${}^4\text{He}$ atoomkernen. Dit proces eindigt 3 minuten na de oerknal en het resultaat is de huidige verhouding van helium en waterstof in het heelal. Op dat moment is het heelal een grote vuurbal, maar na 300.000 jaren is die voldoende afgekoeld en combineren de elektronen met de atoomkernen tot waterstofatomen en heliumatomen. Vanaf dat moment wordt het heelal *doorzichtig* en resulteert tenslotte in wat we nu zien, bijvoorbeeld fig. 8.