

KOSMISCHE STRALING



LESMODULE HiSPARC VOOR TWEEDE KLAS HAVO/VWO

Jeffrey Wouda
Bas de Gier



1.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk 'Kosmische straling' ga je stap voor stap de geschiedenis doorlopen die heeft geleid tot de ontdekking van deze straling. Het woord *kosmisch* betekent letterlijk 'het heelal betreffend'. Het gaat dus om straling die uit het heelal afkomstig is.

In de wetenschap begint een nieuwe ontdekking (bijna) altijd met een wetenschapper die iets waarneemt wat hij niet kan verklaren. Hierna worden er dan allerlei experimenten gedaan om uiteindelijk tot een verklaring te komen: een theorie. De periode tussen de eerste waarneming en de uiteindelijke theorie is soms tientallen jaren. Bij de ontdekking van kosmische straling is dit niet anders, want het speelt zich grofweg af tussen 1785 en 1914.

In iedere paragraaf staat een aantal onderstreepte woorden. Dit zijn de belangrijkste begrippen en de betekenis ervan moet je kennen. Daarnaast staan aan het eind van elke paragraaf een aantal opdrachten waarmee je kunt oefenen.

Hieronder zie je een aantal van de wetenschappers die hebben meegeholpen bij de ontdekking van kosmische straling. In de komende paragrafen worden de ontdekkingen van elk van hen besproken.



Van linksboven, met de klok mee: Charles-Augustin de Coulomb, Pierre Curie, Domenico Pacini, Wilhelm Röntgen, Theodor Wulf, Ernest Rutherford, Antoine Henri Becquerel en Marie Curie.

1.2 DE ELEKTROSCOOP

Bij bijna alle experimenten die hebben geleid tot de ontdekking van kosmische straling is gebruik gemaakt van één bepaald soort meetinstrument: de elektroscop. In deze paragraaf leer je hoe zo'n elektroscop werkt en wat je ermee kunt meten. Daarnaast leer je het begrip 'elektrische lading' kennen en maak je je eigen elektroscop.

1.2.1 ELEKTRISCHE LADING

Voorwerpen kunnen elektrisch geladen zijn. Een voorwerp dat elektrisch geladen is kan andere elektrisch geladen voorwerpen aantrekken of juist afstoten. Of de voorwerpen elkaar aantrekken of afstoten hangt af van welke lading de voorwerpen hebben. Er bestaan namelijk twee soorten elektrische lading: positieve en negatieve. Als een voorwerp een positieve elektrische lading heeft bevat het meer positief geladen deeltjes dan negatief geladen deeltjes. Andersom geldt hetzelfde: een negatief geladen voorwerp bestaat uit meer negatief geladen deeltjes dan positief geladen deeltjes.

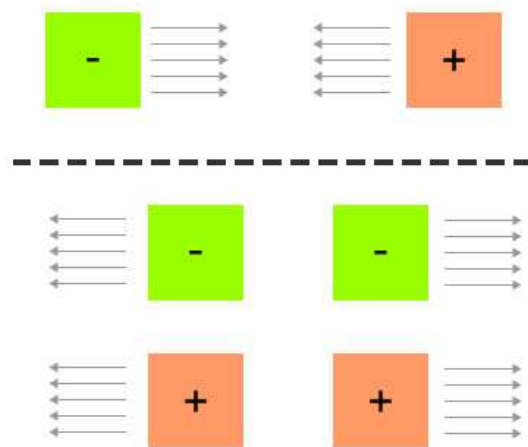
Wanneer een voorwerp evenveel positief als negatief geladen deeltjes bevat noem je dat voorwerp neutraal. Zo'n voorwerp bestaat wel uit elektrisch geladen deeltjes, maar het totale voorwerp is dan niet elektrisch geladen.

Zoals hierboven al werd genoemd kunnen elektrisch geladen voorwerpen elkaar aantrekken of afstoten, afhankelijk van hun lading. Er geldt dat voorwerpen met dezelfde elektrische lading elkaar afstoten en dat tegengesteld geladen voorwerpen elkaar aantrekken. In Figuur 1 staat dit kort samengevat.

- ♦ positief + negatief = aantrekken
- ♦ positief + positief = afstoten
- ♦ negatief + negatief = afstoten

Naast de voorbeelden in Figuur 1 wordt een neutraal voorwerp aangetrokken door een geladen voorwerp (positief én negatief).

- ♦ neutraal + positief = aantrekken
- ♦ neutraal + negatief = aantrekken



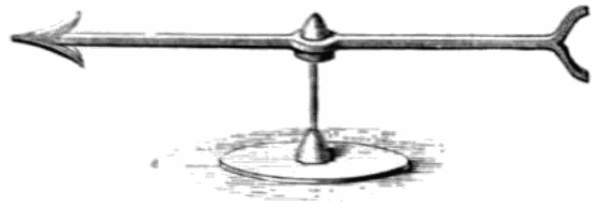
Figuur 1: Aantrekken (boven) of afstoten (onder)

Als een voorwerp elektrisch geladen is blijft dat zo totdat het voorwerp kan ontladen. Dit ontladen kan bijvoorbeeld door het voorwerp in contact te brengen met de aarde. Als dit gebeurt zullen de geladen deeltjes van het voorwerp stromen. De lading zal zich dan verdelen tussen de aarde en het voorwerp. Na het ontladen zijn zowel de aarde als het voorwerp neutraal geladen.

Een andere manier om een voorwerp te ontladen is door het aan te raken. De elektrische lading beweegt dan door je lichaam en je voelt een schok(je). Als er een grote elektrische lading op het voorwerp staat is die schok heel gevaarlijk en je kunt er zelfs aan doodgaan!

1.2.2 DRIE SOORTEN ELEKTROSCOPEN

Een elektroscoop is het oudste elektrische meetinstrument. Het is een apparaat dat wordt gebruikt om de aanwezigheid (en soms ook grootte) van elektrische lading te laten zien. De eerste elektroscoop werd rond 1600 gemaakt door de Britse natuurkundige William Gilbert. Hij noemde zijn elektroscoop 'Versorium'.



Figuur 2: De Versorium

In Figuur 2 zie je een afbeelding van deze eerste versie van een elektroscoop. De naald van de Versorium kan vrij ronddraaien op het pootje eronder en lijkt wel wat op een kompasnaald. Als je een elektrisch geladen voorwerp dichtbij houdt zal de wijzer naar het voorwerp wijzen. Dit komt doordat de 'neutraal geladen' naald wordt aangetrokken door de lading (positief of negatief) op het voorwerp.

Een elektroscoop is gemaakt van twee verschillende soorten materialen: geleidende en niet-geleidende. In geleidende materialen kan elektrische lading stromen, terwijl dat in niet-geleidende materialen niet mogelijk is. In de Versorium is de naald gemaakt van geleidend materiaal. De elektrische lading kan daardoor vrij door de naald bewegen en zo reageren op een lading die vlakbij wordt gehouden. De standaard waarop de naald draait is gemaakt van niet-geleidend materiaal zodat de lading niet kan "ontsnappen" naar de aarde.

Na deze eerste versie van een elektroscoop zijn er allerlei andere soorten elektroscopen gemaakt. Deze zijn in drie groepen te verdelen. Hieronder staat van elke groep een voorbeeld beschreven:

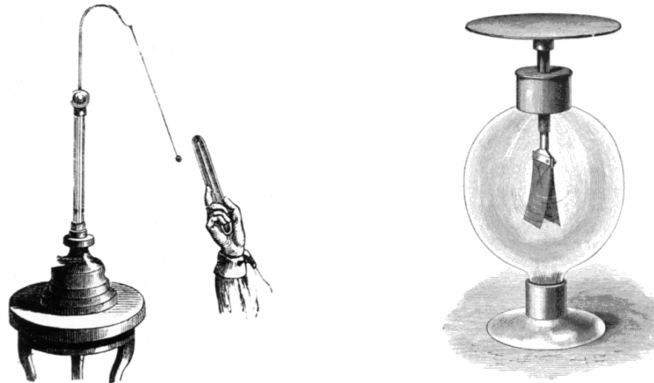
♦ **MERGBAL ELEKTROSCOOP**

De mergbal elektroscoop (Figuur 3) werd in 1754 uitgevonden door de Engelsman John Canton. De elektroscoop bestaat uit een standaard van niet-geleidend materiaal. Aan deze standaard hangt een zijden draad met aan het uiteinde een klein balletje. Als je een elektrisch geladen voorwerp dichtbij houdt zal het balletje aan de zijden draad naar het voorwerp toe bewegen. In de eerste versie van dit type elektroscoop was het balletje gemaakt van merg, een materiaal dat je kunt vinden in de stengels van vaatplanten. Tegenwoordig wordt in plaats hiervan vaak plastic gebruikt.

♦ **BLADGOUDELEKTROSCOOP**

In 1787 werd de bladgoud elektroscoop (Figuur 3) uitgevonden door een Engelsman genaamd Abraham Bennet. Deze elektroscoop is een stuk gevoeliger dan de mergbal elektroscoop.

Een elektroscoop van dit type bestaat uit een verticale metalen staaf. Meestal is deze staaf van koper gemaakt. Aan de onderzijde van de koperstaaf hangen twee stukjes bladgoud. Omdat de stukjes bladgoud heel dun en licht zijn worden ze omsloten door een glazen stolp zodat ze niet gaan bewegen door luchtstromen. Aan de bovenzijde van de koperstaaf (buiten de stolp) wordt een schijf geplaatst. Wanneer je nu een elektrisch geladen voorwerp vlakbij deze schijf houdt zullen de stukjes bladgoud van elkaar af bewegen en een omgekeerde 'V' vormen (zie Figuur 3). In plaats van bladgoud kan er ook een ander metaal worden gebruikt.



Figuur 3: Mergbal elektroscop (links) en Bladgoud elektroscop (rechts)

♦ **SPIN ELEKTROSCOOP**

De spin elektroscop is de eenvoudigste van de drie verschillende types elektroscopen. De Versorium, die hierboven werd genoemd, is het bekendste voorbeeld. Een spin elektroscop bestaat altijd uit een naald van geleidend materiaal die vrij kan draaien. De naald zal zich altijd naar een elektrische lading toe bewegen.

Het is mogelijk om elektrische lading van een voorwerp over te brengen op een deel van de elektroscop. Bij een mergbal elektroscop kan je bijvoorbeeld het balletje een negatieve elektrische lading geven. Als er vervolgens een elektrisch geladen voorwerp bij wordt gehouden kan je ontdekken of dat voorwerp negatief of positief geladen is. Een positief geladen voorwerp zal het balletje namelijk aantrekken, terwijl een negatief geladen voorwerp het balletje zal afstoten.

Een elektroscop kan dus niet alleen gebruikt worden om de aanwezigheid van elektrische lading aan te tonen. Je kunt ook bepalen of zo'n voorwerp positief of negatief geladen is.

Vragen en opdrachten:

1. Noem drie voorbeelden van elektroscopen en beschrijf hun werking.
2. Geef telkens aan of de deeltjes elkaar afstoten, aantrekken, of niets doen.
 - a. Positief + positief
 - b. Neutraal + negatief
 - c. Neutraal + neutraal
 - d. Positief + negatief
3. Stel dat je een geladen voorwerp bij de Versorium houdt en de naald wijst naar het voorwerp. Is het voorwerp dan positief of negatief geladen? Of kan je dat niet weten? Leg je antwoord uit.
4. In de tekst staat dat bij een bladgoud elektroscop de stukjes bladgoud elkaar afstoten wanneer je er een geladen voorwerp bij houdt. Wat weet je nu over de elektrische lading op de stukjes bladgoud?
5. Bij een bladgoud elektroscop hoef je niet per se stukjes bladgoud te gebruiken. Andere materialen hebben eenzelfde effect. Moet dit dan een geleidend materiaal zijn of juist niet? Leg je antwoord uit.

1.2.3 CHARLES-AUGUSTIN DE COULOMB

Charles-Augustin de Coulomb was een Franse natuurkundige die leefde tussen 1736 en 1806. Hij deed veel onderzoek naar elektrische ladingen en heeft daarmee voor belangrijke ontdekkingen gezorgd. De Coulomb wist dat elektrisch geladen voorwerpen elkaar aantrekken en afstoten, maar hij ontdekte bovendien een manier om uit te rekenen hoe groot de kracht tussen twee elektrisch geladen voorwerpen is. Dit is later de 'wet van Coulomb' genoemd. Onder andere vanwege deze ontdekking is de eenheid van elektrische lading naar De Coulomb vernoemd. Net zoals je lengte meet in de eenheid 'meter' en massa in de eenheid 'kilogram' wordt elektrische lading gemeten in 'coulomb'.



Figuur 4: Charles-Augustin de Coulomb

In het jaar 1785 deed De Coulomb een experiment met de elektroscoop. Voor dit experiment bracht hij elektrische lading aan op de elektroscoop. Tijdens zijn onderzoek merkte De Coulomb dat de elektroscoop langzaam ontladde; de lading die hij erop had aangebracht verdween. Dit gebeurde zonder dat hij de elektroscoop in contact bracht met de aarde of een ander voorwerp. De Coulomb kon niet verklaren waar dit ontladen door werd veroorzaakt. Blijkbaar gebeurde er iets in de lucht, dat ervoor zorgde dat de elektrische lading van de elektroscoop verdween, maar De Coulomb had geen idee wat dit was. Achteraf bleek deze ontdekking van De Coulomb de eerste waarneming van kosmische straling te zijn.

Vragen en opdrachten:

6. Leg uit wat er met de lading op een neutraal geladen bladgoud elektroscoop gebeurt wanneer je er een positief geladen voorwerp bij de bovenkant houdt. (*Hint: Wat gebeurt er met de positief en negatief geladen deeltjes op de elektroscoop?*)
 7. Bedenk waarom een bladgoud elektroscoop veel gevoeliger zal zijn dan bijvoorbeeld de Versorium of een mergbal elektroscoop. (*Hint: gebruik je antwoord bij vraag 4*)
-

1.2.4 PRACTICUM: ELEKTROSCOOP MAKEN

Hieronder staat een practicum waarin je je eigen bladgoud elektroscop gaat maken.

Doel van het practicum:

Een elektroscop maken en zijn werking testen.

Benodigdheden:

- ♦ Een glazen potje met plastic deksel
- ♦ Koperdraad
- ♦ Aluminiumfolie
- ♦ Een stuk plexiglas
- ♦ Een ballon



Wat moet je doen:

- Maak een gaatje in het midden van de deksel van het potje.
- Knip een stuk koperdraad van ongeveer 15 cm af.
- Steek het stuk koperdraad door het deksel heen.
- Buig aan beide uiteinden van het koperdraad een haakje.
- Maak aan de buitenkant van het deksel een prop aluminiumfolie om het koperdraad heen.
- Knip twee gelijke stukjes aluminiumfolie uit en hang ze samen aan het andere haakje dat je hebt gemaakt met het koperdraad.
- Draai de deksel op het potje.

Opdrachten:

Blaas de ballon op en houdt hem vlakbij de prop aluminiumfolie.

1. Beschrijf wat je ziet gebeuren in het potje.

Wrijf nu de ballon een tijdje over je haar of over een wollen trui. Houd de ballon weer bij het koperdraad.

2. Beschrijf opnieuw wat je ziet gebeuren in het potje.
3. Doe hetzelfde met het plexiglas. Beschrijf ook nu wat er gebeurt met de stukjes aluminiumfolie.

Als het goed is stootten de stukjes aluminiumfolie in het potje elkaar af.

4. Wat weet je nu over hun elektrische lading?
5. Hoe komt het dat de stukjes aluminiumfolie elektrisch geladen zijn?

1.3 ELEKTROMAGNETISCHE STRALING

Je weet nu wat een elektroscop is en hoe hij werkt. Een belangrijke vraag die nu nog overblijft, is de vraag die De Coulomb zichzelf stelde: waardoor kan een elektroscop spontaan ontladen? In deze paragraaf beginnen we met de zoektocht naar het antwoord op deze vraag en leer je over ‘elektromagnetische straling’.

1.3.1 RÖNTGENSTRALING

Een belangrijke stap in de ontdekking waarom een elektroscop ontladt is de ontdekking van röntgenstraling. In 1895 begon Wilhelm Röntgen (Figuur 5), een Duitse natuurkundige, met een onderzoek naar hoe goed gassen elektriciteit kunnen geleiden bij een lage druk. Dit deed hij door een gloeidraad aan de ene kant van een glazen buis te plaatsen en een metalen plaatje aan de andere kant. Als de druk in deze glazen buis gelijk is aan de luchtdruk buiten gebeurt er niks, maar als de druk heel laag wordt gemaakt gebeurt er iets speciaals. In dat geval zorgen deeltjes in de gloeidraad ervoor dat het gas in de buis gaat oplichten.

Röntgen zag tot zijn verbazing dat wanneer hij de buis aanzette, er een fluorescerend scherm verderop in zijn lab oplichtte. Om er zeker van te zijn dat dit licht niet uit de buis kwam, maakte Röntgen zijn buis lichtdicht.

Ondanks dat hij zijn buis omwikkelde met zwart

karton, lichtte het scherm nog steeds op. Nadat Röntgen geen logische verklaring kon verzinnen voor dit verschijnsel concludeerde hij dat er een onbekende soort straling moest zijn en dat deze straling ervoor zorgde dat het scherm licht gaf. Hij noemde deze straling ‘X-straling’, omdat de ‘X’ bij wiskunde voor iets onbekends staat. Later is de naam van Röntgen aan deze straling gegeven en we noemen het daarom tegenwoordig “röntgenstraling”.

Röntgen kende het probleem dat De Coulomb had en hij dacht dat deze röntgenstraling misschien wel de oplossing daarvan was. Hij bedacht dat als deze straling ervoor kan zorgen dat een fluorescerende plaat licht gaat geven, het er misschien ook wel voor kan zorgen dat een elektrisch geladen elektroscop zijn lading verliest.

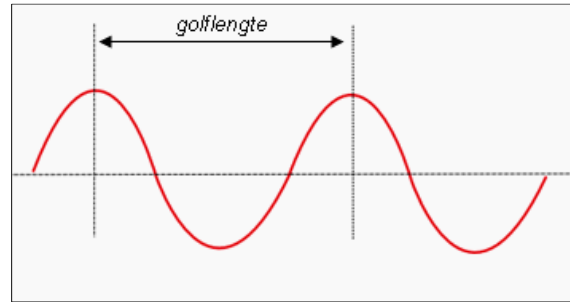


Figuur 5: Wilhelm Röntgen

1.3.2 ELEKTROMAGNETISCHE STRALING

Iedereen heeft tegenwoordig wel eens van röntgenstraling gehoord en misschien heb je zelf wel eens een röntgenfoto laten maken in het ziekenhuis! Bij zo’n röntgenfoto wordt er een kleine hoeveelheid röntgenstraling door je lichaam geschoten en vervolgens kun je op een fotografische plaat de botten in je lichaam zien. Maar wat is deze röntgenstraling precies en wat is er zo speciaal aan?

Röntgenstraling is een vorm van golfstraling. Hiermee bedoelen we dat röntgenstraling bestaat uit golven. Deze golven kunnen we beschrijven met hun golflengte en/of frequentie, zoals je dat waarschijnlijk al eerder bij geluid hebt gezien. De golflengte (λ) van een golf is de lengte tussen twee golftoppen, ofwel de lengte van één golf. Je kunt dit goed zien in Figuur 6. De frequentie (f) is het aantal keren dat die golflengte wordt afgelegd in één seconde. Als een golf honderd keer per seconde op en neer gaat zeg je dat zijn frequentie 100 Hertz is. Hertz is de eenheid van frequentie en kan worden afgekort met Hz. De golflengte en frequentie zijn afhankelijk van elkaar. Hieronder staat de formule waarmee je de frequentie kunt berekenen als je de golflengte weet, en andersom:



Figuur 6: een golflengte

frequentie \times golflengte = snelheid van het licht

$$f \times \lambda = c$$

$$f \times \lambda = 300.000.000 \text{ m/s}$$

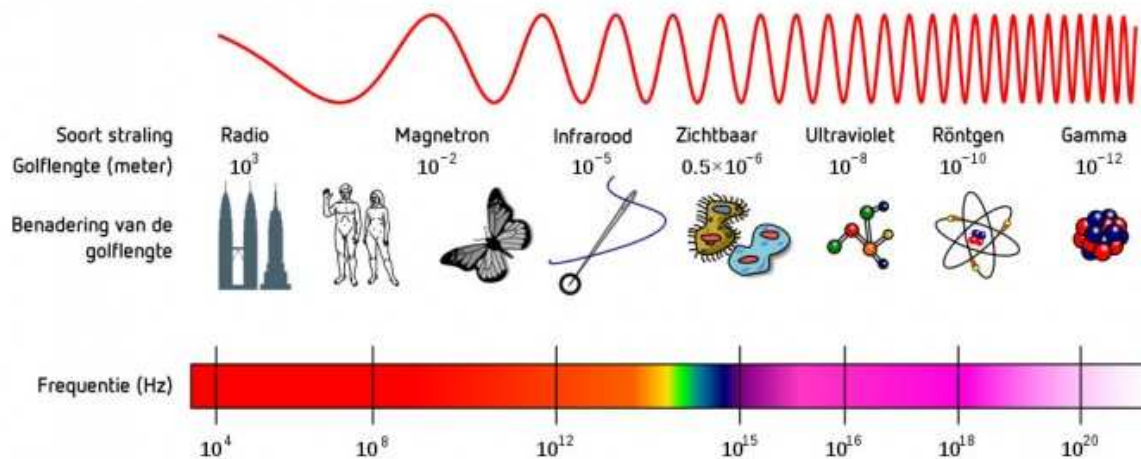
In deze formule staat de letter c voor de snelheid van het licht. Deze snelheid is altijd hetzelfde, namelijk 300 miljoen meter per seconde. Als je de golflengte en frequentie van een golf met elkaar vermenigvuldigt komt daar altijd deze lichtsnelheid uit.

Vragen en opdrachten:

8. Je kunt de bovenstaande formule omschrijven om de golflengte te berekenen. Dan krijg je $\lambda = c/f$. Schrijf nu de formule om zodat je de frequentie kunt uitrekenen.
9. Gebruik bij de volgende vragen telkens één van de bovenstaande formules.
 - a. Wat is de golflengte van de golf als zijn frequentie 200 Hz is?
 - b. Wat is de frequentie van de golf als zijn golflengte 0,3 m is?
10. Als de frequentie van een golf 30.000 Hz is, hoe lang duurt dan iedere trilling?
11. Een golf heeft een golflengte van 0,01 m.
 - a. Wat is de frequentie van de golf?
 - b. Hoe groot is de afstand die de golf aflegt in één seconde? (*Hint: Wat is de golflengte en hoe vaak wordt die in één seconde afgelegd?*).

Röntgenstraling bestaat uit zogeheten elektromagnetische golven en wordt daarom ook wel elektromagnetische straling genoemd. In Figuur 7 zie je dat er nog veel andere soorten elektromagnetische straling bestaan waarvan licht er één is. Samen worden alle soorten elektromagnetische straling het 'elektromagnetisch spectrum' genoemd.

Al deze elektromagnetische golven hebben met elkaar gemeen dat ze zich voortplanten met de snelheid van het licht. Eerder in deze paragraaf heb je al gezien dat deze lichtsnelheid 300 miljoen meter per seconde is. Dat betekent dat een deeltje dat met de lichtsnelheid beweegt elke seconde ongeveer 7,5 keer rond de aarde gaat!



Figuur 7: het elektromagnetisch spectrum

De frequentie en de golflengte van de straling (onderin Figuur 7) zijn het enige waarin de verschillende soorten elektromagnetische straling van elkaar verschillen.

Het spectrum begint links met de straling met de grootste golflengtes, radiogolven. Deze radiogolven hebben golflengtes van ongeveer duizend kilometer tot een millimeter. Als je verder naar rechts gaat, kijken we naar steeds kleinere golflengtes. Zo zie je microgolven (waar de magnetron mee werkt), infraroodgolven en uiteindelijk het zichtbare licht. Zichtbaar licht heeft een heel kleine golflengte, namelijk van 380 tot 780 nanometer. De golflengte van het licht bepaalt de kleur die je ziet. Een nanometer is een miljardste meter, enorm klein dus! De golflengte van licht is ongeveer zo groot als bacteriën. Röntgenstraling zit bijna helemaal rechts in het spectrum en heeft een nog veel kleinere golflengte, slechts een paar nanometer.

De grootte van de golflengte zegt ook iets over hoe gevaarlijk de straling kan zijn. Doordat röntgenstraling zo'n kleine golflengte heeft, hebben de golven enorm veel energie. Hierdoor kan röntgenstraling dwars door objecten heengaan, zoals door je lichaam tijdens een röntgenfoto. Dit is niet ongevaarlijk en daarom beschermen de doktoren in het ziekenhuis zich met een loodschoort. Lood kan elektromagnetische straling namelijk heel goed tegenhouden.

Je ziet in het spectrum ook ultraviolette golven, ook wel UV-straling genoemd. Deze UV-straling heeft ook een kleine golflengte en is dus schadelijk voor je! UV-straling is dan ook de reden dat je huid verbrandt als je te lang in de zon hebt gezeten. Gelukkig kun je je hiervoor goed beschermen door je in te smeren met zonnebrand.

Radiogolven hebben zoals gezegd een lange golflengte. Dit betekent dat deze golven een veel lagere energie bezitten dan bijvoorbeeld röntgenstraling of UV-straling. Doordat ze zo'n lage energie hebben kunnen radiogolven worden gebruikt in alledaagse toepassingen zoals het uitzenden van signalen van mobiele telefoons en radio/tv.

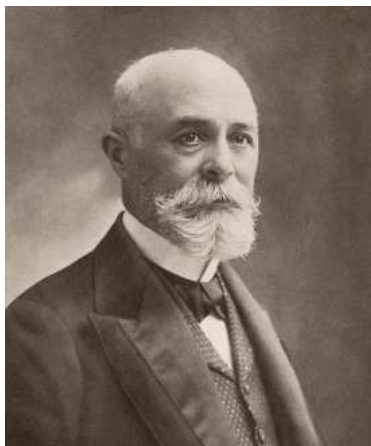
Vragen en opdrachten:

12. Waarom dragen doktoren een loodschoort als er een röntgenfoto wordt gemaakt en de patiënt niet?

13. Waarom zou het gevaarlijk zijn als de signalen van mobiele telefoons met röntgenstraling zouden worden verzonden?
14. Radio 538 zond voor het eerst uit op 11 december 1992. De radiofrequentie die zij gebruikten was 538 kHz (538.000 Hz).
 - a. Hoe groot is de golflengte van deze radiogolven? (rond af op een geheel getal)
 - b. Waar zal Radio 538 zijn naam vandaan hebben gehaald?
15. Heeft infraroodstraling een langere golflengte dan zichtbaar licht of juist een kortere?
16. De lichtsnelheid is 300 miljoen meter per seconde.
 - a. Wat is de lichtsnelheid in kilometer per uur?
 De afstand tussen de aarde en de zon is 150 miljoen kilometer.
 - b. Hoeveel seconde doet het licht van de zon erover om op aarde te komen?

1.4 RADIOACTIVITEIT

In de vorige paragraaf heb je geleerd dat röntgenstraling misschien verantwoordelijk is voor het spontaan ontladen van de elektroscop. Die röntgenstraling kwam uit een buis met een gloeidraad erin. Er zijn echter ook natuurlijke stralingsbronnen die invloed kunnen hebben op het ontladen van de elektroscop, zogeheten radioactieve materialen. In deze paragraaf leer je over deze radioactieve materialen.



Figuur 8: Antoine Henri Becquerel

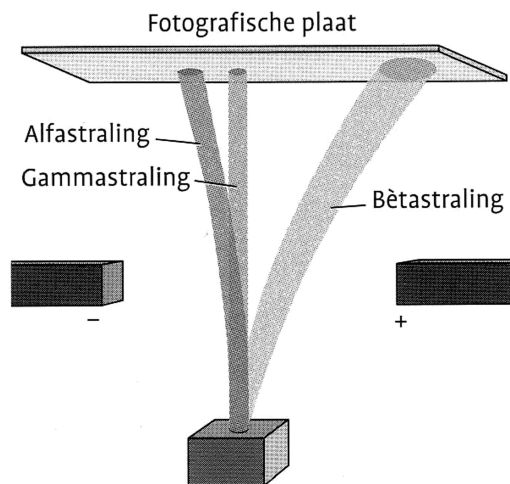
In 1896 deed de Franse natuurkundige Antoine Henri Becquerel een experiment waarbij hij gebruik maakte van de röntgenstraling die in de vorige paragraaf ter sprake is gekomen. Becquerel nam aan dat sommige materialen energie uit zonlicht kunnen absorberen en dit vervolgens weer kunnen uitzenden in de vorm van röntgenstraling. Hij wilde dit testen door een blok uraniumzout in het zonlicht te leggen en dit daarna bovenop een fotografische plaat te plaatsen. Becquerel verwachtte dat het uraniumzout als gevolg van het zonlicht röntgenstraling zou uitzenden die de fotografische plaat zwart zou kleuren. Deze verkleuring zag Becquerel inderdaad, maar hij ontdekte ook iets dat hij niet kon verklaren. Wanneer het uraniumzout niet aan zonlicht wordt blootgesteld, kleurt de fotografische plaat toch zwart. Blijkbaar wordt de straling dus niet veroorzaakt door het zonlicht, maar komt het uit het blok zelf. Latere experimenten bewezen dit.

Becquerel wilde deze straling beter onderzoeken en daarvoor plaatste hij een blok uraniumzout en een fotografische plaat in een magnetisch veld. Omdat bewegende elektrisch geladen deeltjes door een magneet worden afgebogen, kan je op deze manier zien welke elektrische lading de deeltjes in de onbekende straling bezitten.

In Figuur 9 zie je een voorstelling van wat Becquerel met deze opstelling zag. Hij zag op drie verschillende plaatsen op de fotografische plaats een zwarte verkleuring ontstaan. Een deel

van de straling wordt niet afgebogen door de magneet en beweegt rechtdoor. Deze straling wordt gammastraling genoemd. De andere twee soorten straling worden in tegengestelde richting afgebogen, wat erop wijst dat zij een tegengestelde elektrische lading hebben. Deze soorten straling worden alfastraling en bètastraling genoemd.

Het laatste wat je in Figuur 9 kunt zien is dat alfastraling veel minder wordt afgebogen dan bètastraling. Dit komt doordat de deeltjes in de twee soorten straling niet dezelfde massa hebben (zie opdracht 20).



Figuur 9: drie soorten straling

De Nieuw-Zeelandse natuur- en scheikundige Ernest Rutherford ging verder met het onderzoek van Becquerel en onderzocht het doordringend vermogen van de drie soorten straling. Hij hield verschillende materialen voor het blok uraniumzout en bekeek dan telkens aan de achterkant ervan hoe veel en welke straling hij nog kon meten. Hij ontdekte met dit onderzoek dat de positief geladen deeltjes (alfastraling) al door een paar centimeter lucht worden gestopt. De negatief geladen deeltjes (bètastraling) kunnen worden gestopt met een dun aluminium plaatje, maar de neutraal geladen deeltjes (gammastraling) worden zelfs niet door een dikke laag lood gestopt. Het doordringend vermogen van de gammastraling is dus heel groot terwijl die voor alfa- en bètastraling veel kleiner is.



Figuur 10: Ernest Rutherford

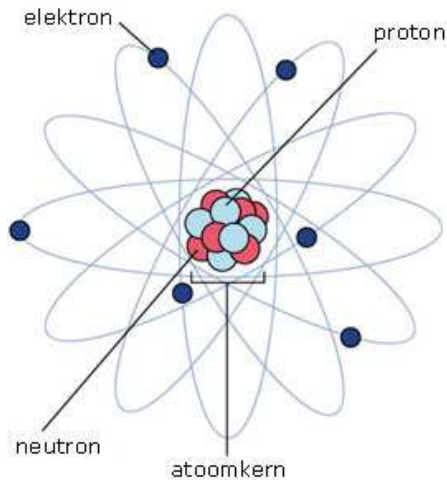
Om te kunnen begrijpen wat deze straling precies is moet je eerst iets weten over welke kleine deeltjes er bestaan.

1.4.1 HET ATOOM

De stoel waar je op zit, de lucht, dit blad, zelfs jijzelf en eigenlijk alle andere dingen om je heen zijn opgebouwd uit ontzettend kleine deeltjes. Deze deeltjes worden atomen genoemd en ze zijn veel te klein om met het blote oog nog te kunnen zien. Elk atoom is ongeveer een miljoen keer kleiner dan de dikte van een haar op je hoofd!

Toch weten we best veel over atomen en hoe ze in elkaar zitten. In deze paragraaf gaan we bekijken waaruit een atoom bestaat en hoe die er ongeveer uitziet.

Het bestaan van atomen is al honderden jaren bekend, maar hoe een atoom is opgebouwd werd pas in 1911 ontdekt door Ernest Rutherford, die al eerder in deze paragraaf werd genoemd. Hij gebruikte een radioactieve bron die alfastraling uitstraalt. Deze straling richtte hij op een stukje goudfolie. Rutherford zag dat ongeveer 99,99% van de alfastraling door de goudfolie heen schoot alsof de folie er niet was. Slechts een heel klein deel van de straling



Figuur 11: een atoom

(ongeveer 0,01%) 'botste' op de atomen in de folie. Op basis hiervan trok Rutherford de conclusie dat het atoom grotendeels leeg is.

In Figuur 11 zie je een afbeelding van hoe je een atoom kunt voorstellen. Er is een klein deel van het atoom waarin zich vrijwel alle massa van het atoom bevindt. Dit deel heet de atoomkern en is ongeveer tienduizend keer kleiner dan het gehele atoom. Deze atoomkern bestaat uit kleine deeltjes die protonen en neutronen worden genoemd. De rest van het atoom is dus bijna helemaal leeg en heet de elektronenwolk. In deze wolk draaien nóg kleinere deeltjes, elektronen, met een gigantische snelheid rond de atoomkern.

Sommige deeltjes in een atoom zijn elektrisch geladen. Protonen hebben een positieve lading, neutronen

hebben geen lading en elektronen zijn negatief geladen. Deze elektronen zijn ook de deeltjes die een elektrische stroom veroorzaken in een geleidend materiaal. In een geleidend materiaal zijn het dus altijd de negatief geladen deeltjes die bewegen, niet de positieve.

Normaal gesproken zijn er precies evenveel protonen als elektronen aanwezig in een atoom zodat het gehele atoom elektrisch neutraal is. Op dit moment zijn er 118 verschillende atomen bekend. Het soort atoom wordt bepaald door het aantal protonen dat er in de atoomkern aanwezig is.

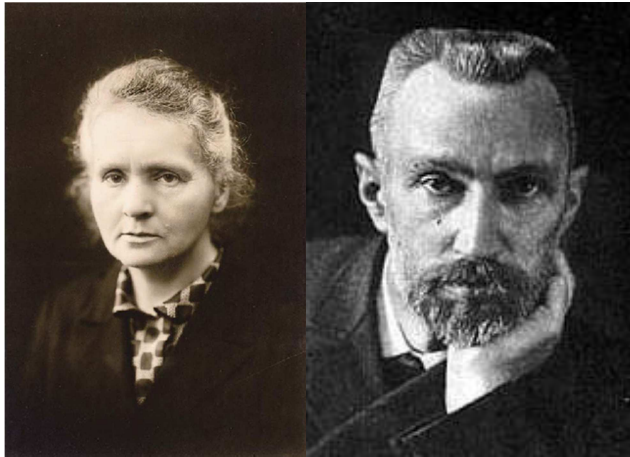
Het plaatje van het atoom (Figuur 11) is niet nauwkeurig. In werkelijkheid is de atoomkern namelijk vele malen kleiner dan het hele atoom. Om een voorstelling te maken: als de atoomkern inderdaad zo groot zou zijn als hier getekend is (ongeveer 1 cm), zou het totale atoom een diameter hebben van ongeveer 100 meter. De bewering van Rutherford is dus juist: een atoom is vrijwel leeg!

Nu weet je genoeg van de opbouw van atomen om te begrijpen waaruit de straling bestaat die Becquerel ontdekte. Alfastraling bestaat namelijk uit atoomkernen die bestaan uit twee protonen en twee neutronen. Deeltjes in alfastraling zijn dus eigenlijk atomen waaruit de elektronen zijn verdwenen. Bètastraling bestaat uit elektronen. Gammastraling is eigenlijk elektromagnetische straling met een frequentie die nog hoger is dan die van röntgenstraling.

1.4.2 RADIOACTIVITEIT

Uit verder onderzoek naar de resultaten van Becquerel bleek dat uranium-atomen in het uraniumzout de bron zijn van de verschillende soorten straling. Een uranium-atoom heeft 92 protonen in zijn atoomkern.

De Poolse natuurkundige Marie Curie en haar Franse echtgenoot Pierre Curie probeerden ook andere atoomsoorten te ontdekken die dezelfde straling uitzenden als uranium. Zij vonden nog twee atomen die inderdaad zulke straling uitzenden: polonium (84 protonen) en radium (88 protonen).



Figuur 12: Marie en Pierre Curie

Een andere ontdekking van Marie en Pierre Curie is dat een elektrisch geladen voorwerp, bijvoorbeeld een elektroscop, kan worden ontladen door de straling die wordt uitgezonden door het uranium, radium en polonium. Dit was dus een volgende mogelijke verklaring voor het spontaan ontladen van een elektrisch geladen elektroscop dat werd ontdekt door Charles-Augustin de Coulomb (paragraaf 1.2.2).

Marie en Pierre Curie noemden de stoffen die zulke straling uitzenden 'radioactieve stoffen'. Voor hun

onderzoek kregen zij samen met Becquerel de Nobelprijs voor natuurkunde in 1903. Daarnaast werd de eenheid van radioactiviteit vernoemd naar Becquerel. De radioactiviteit van een stof geeft aan hoe veel straling die stof per seconde uitzendt. Net zoals een afstand in de eenheid 'meters' wordt uitgedrukt wordt de radioactiviteit dus uitgedrukt in 'becquerel'.

Vragen en opdrachten:

17. Welke drie soorten straling onderscheidde Becquerel?
 18. Bepaal met behulp van Figuur 9 of alfastraling bestaat uit positief of negatief geladen deeltjes. Doe hetzelfde voor bètastraling. Leg je antwoord uit.
 19. Zet de volgende deeltjes in volgorde van klein naar groot: proton, atoom, elektron, atoomkern.
 20. Waar bevindt zich bijna alle massa in een atoom?
 21. Je ziet in Figuur 9 dat alfa- en bètastraling niet evenveel worden afgebogen door het magneetveld. Dit komt doordat de massa van de deeltjes niet gelijk is. Welke straling zal uit zwaardere deeltjes bestaan? Leg je antwoord uit.
 22. Welke straling is het schadelijkst voor de mens? (*Hint: denk aan het doordringend vermogen*).
-

Zoals hierboven al werd genoemd zijn atomen onvoorstelbaar klein. Je hebt ook geleerd dat protonen, neutronen en elektronen nóg veel kleiner zijn. Omdat dit allemaal nog maar moeilijk voor te stellen is gaan we in de volgende paragraaf kijken hoe klein deze deeltjes zijn door ze te vergelijken met voorwerpen die we ons wel kunnen voorstellen. We gaan dan ook kijken naar veel grotere voorwerpen en proberen te begrijpen hoe groot die dan zijn.

1.5 HEEL KLEIN EN HEEL GROOT

In de vorige paragraaf hebben we het gehad over het atoom. Daarbij bleek dat het heel moeilijk is om je nog te kunnen voorstellen hoe klein die deeltjes dan zijn. Om dit duidelijker te maken gaan we in deze paragraaf de groottes van deze kleine deeltjes vergelijken met die van dingen die we ons wel goed kunnen voorstellen. Daarnaast gaan we kijken naar objecten die juist onvoorstelbaar groot zijn. Ook die gaan we vergelijken met dingen die een 'normale' grootte hebben.

1.5.1 MACHTEN VAN TIEN

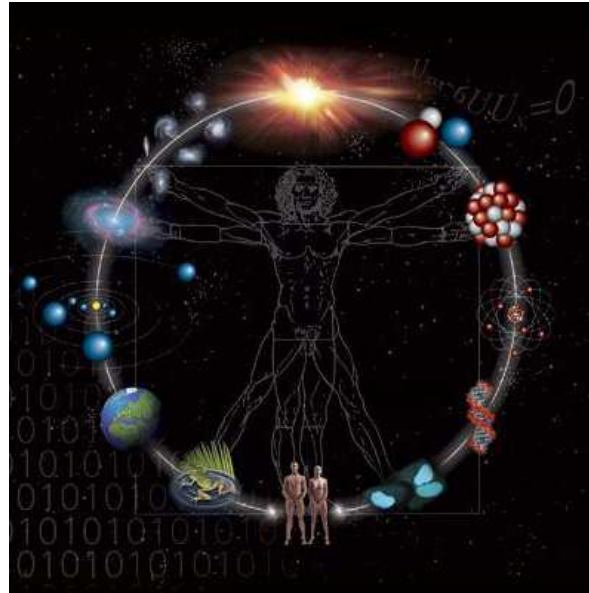
Als je gaat kijken naar steeds kleinere deeltjes worden de afmetingen al snel heel erg klein. Dan is het lastig om de grootte van zo'n klein deeltje nog duidelijk op te schrijven. Want als het ene deeltje een grootte heeft van 0,000000001 meter en een ander heeft een afmeting van 0,0000000001 meter, welke is dan groter? Hetzelfde geldt voor heel grote getallen. Is 1000000000 een groter getal dan 10000000000? Of juist kleiner? Er zit in beide gevallen niets anders op dan het aantal nullen te gaan tellen. Dit is niet erg handig en kost veel tijd om te doen. Daarom is een makkelijker manier afgesproken om zulke kleine en grote getallen op te schrijven: met behulp van de machten van tien.

Bij deze manier van opschrijven schrijf je het getal uit als macht van tien. Hieronder staan een aantal voorbeelden met nog redelijk kleine getallen:

10	= 10	= 10^1	= tien
100	= 10 x 10	= 10^2	= honderd
1000	= 10 x 10 x 10	= 10^3	= duizend
10000	= 10 x 10 x 10 x 10	= 10^4	= tienduizend
100000	= 10 x 10 x 10 x 10 x 10	= 10^5	= honderdduizend
1000000	= 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10	= 10^6	= één miljoen

Het kleine getalletje dat telkens boven de tien wordt geschreven heet de 'macht'. Je ziet dat het aangeeft hoe vaak je tien met tien moet vermenigvuldigen om een bepaald groter getal te krijgen. Je kunt zien dat de macht gelijk is aan het aantal nullen dat in het uitgeschreven getal staat.

Door grote getallen op deze manier te schrijven kan je dus in één oogopslag zien welke groter is. De twee grote getallen die aan het begin van 1.5.1 werden genoemd kan je met behulp van de machten van tien ook schrijven als 10^9 en 10^{10} . Als je ze zo opschrijft zie je direct dat het tweede getal tien keer groter is dan het eerste, want zijn macht is één hoger.



Figuur 13: Van klein naar groot

Voor kleine getallen gaat het uitschrijven in machten van tien anders. Hieronder staan weer een paar voorbeelden:

$$\begin{array}{rclclcl}
 10 & = & 10 & & & = 10^1 \\
 1 & = & \frac{10}{10} & = & \frac{10^1}{10^1} & = 10^0 \\
 0,1 & = & \frac{10}{10 \times 10} & = & \frac{10^1}{10^2} = \frac{1}{10} = \frac{1}{10^1} & = 10^{-1} \\
 0,01 & = & \frac{10}{10 \times 10 \times 10} & = & \frac{10^1}{10^3} = \frac{1}{100} = \frac{1}{10^2} & = 10^{-2} \\
 0,001 & = & \frac{10}{10 \times 10 \times 10 \times 10} & = & \frac{10^1}{10^4} = \frac{1}{1000} = \frac{1}{10^3} & = 10^{-3}
 \end{array}$$

Je ziet nu dat de machten een minteken ervoor krijgen. De waarde van de macht kan je gemakkelijk bepalen door het aantal nullen dat je schrijft als je het getal uitschrijft te tellen. Als voorbeeld kan je kijken naar de onderste regel. Dat getal (0,001) schrijf je met drie nullen. De bijbehorende macht is daarom -3. Nu kan je het voorbeeld uit het begin van de paragraaf gemakkelijk oplossen met behulp van de machten van tien. Die getallen kan je namelijk schrijven als 10^{-9} en 10^{-10} . Je ziet direct dat het tweede getal meer nullen bevat en dus kleiner is.

Als je wilt weten hoe veel keer groter het ene getal is dan het andere, moet je de macht van het grootste getal van de macht van het kleinste getal aftrekken.

Voorbeeld: je hebt twee getallen, 10^{12} en 10^{-7} . Als je dan de bovenstaande regel toepast krijg je $12 - (-7) = 19$. Het eerste getal is dus 10^{19} keer groter dan het tweede getal.

Natuurlijk zijn niet alle getallen precies een meervoud van tien, bijvoorbeeld de getallen 2000 en 0,03. Deze getallen kan je echter ook schrijven als 2×1000 en $3 \times 0,01$. Die getallen kunnen we nu wel weer als machten van tien schrijven. 2000 wordt dan 2×10^3 en 0,03 is gelijk aan 3×10^{-2} .

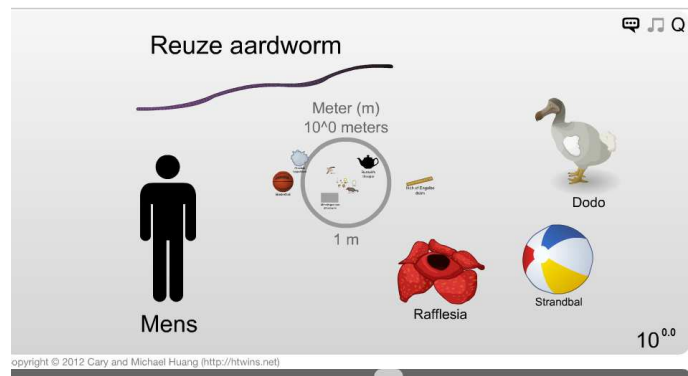
Vragen en opdrachten:

23. Waarom is het zo handig om getallen als macht van tien op te schrijven?
24. Schrijf de volgende getallen als macht van tien.
- | | |
|------------|------------|
| a. 0,00001 | d. 1000000 |
| b. 0,01 | e. 10 |
| c. 1000 | f. 1 |
25. Schrijf de machten van tien uit als getallen.
- | | |
|-----------|--------------|
| a. 10^2 | c. 10^{-3} |
| b. 10^7 | d. 10^{-6} |
26. Schrijf de volgende getallen als macht van tien.
- | | |
|----------|-----------|
| a. 6000 | d. 0,1 |
| b. 0,003 | e. 1207 |
| c. 48000 | f. 0,0034 |

1.5.2 INTERNETOPDRACHT

Voor deze opdracht heb je een pc of laptop nodig.

- ♦ Open een webbrowser (bijvoorbeeld Google Chrome, Internet Explorer of Firefox) en typ in de adresbalk: <http://htwins.net/scale2/>
- ♦ Klik op 'Other Languages' en daarna op 'Nederlands'.
- ♦ Als de website is geladen, klik dan op 'Beginnen'. Je ziet nu op je scherm als het goed is hetzelfde als in Figuur 14.



Figuur 14: screenshot van de website

Op deze website kan je in- en uitzoomen op de wereld om ons heen. Als je de schuifbalk onderaan het scherm naar links beweegt komen er voorwerpen met een steeds kleinere afmeting in beeld. Als je de schuif naar rechts beweegt wordt de afmeting van de afgebeelde voorwerpen juist steeds groter. Rechtsonder in het scherm staat de grootte van de voorwerpen die op dat moment in het midden van het scherm staan, geschreven als macht van tien. Dat getal is uitgedrukt in meters.

Wanneer je op een plaatje klikt, komt er een schermje met informatie over dat voorwerp. Hierin staat ook de afmeting van het voorwerp, geschreven als macht van tien en vaak ook als 'normaal' getal.

- ♦ Maak de onderstaande opdrachten. De antwoorden zijn op de website te vinden.
- ♦ Schrijf het antwoord telkens als een macht van tien.

Vragen en opdrachten:

27. Wat is de afmeting van de voorwerpen die in beeld staan wanneer je het programma opstart? (gebruik het getal dat rechtsonder in het scherm staat)
28. Zoom zo ver mogelijk uit. Wat is het grootste voorwerp in het programma en wat is de bijbehorende afmeting?
29. Wat is het kleinste voorwerp? En wat is de bijbehorende afmeting?
30. Hoe veel keer groter is het grootste voorwerp in het programma dan het kleinste voorwerp? Schrijf dit getal ook uit op de "normale" manier (zonder machten van tien).
31.
 - a. Hoe groot is een mier?
 - b. Hoe groot is een rode bloedcel?
 - c. Hoe veel keer groter is een mier dan een rode bloedcel?
32. Is de zon meer dan twintig keer zo groot als de aarde?

- 33.
- Welke afstand is groter? De afstand tussen de aarde en de maan of de afstand tussen de aarde en de zon?
 - Hoeveel keer groter is de afstand?
34. Het eenvoudigste atoom is het waterstofatoom. Het bestaat uit één proton in de atoomkern en één elektron in de elektronenwolk.
- Wat is de afmeting van een waterstofatoom?
 - Hoeveel keer kleiner is een waterstofatoom dan een mens?
- Stel je nu voor dat een waterstofatoom een afmeting heeft van 1 meter.
- Hoe groot is in deze situatie een mens?
 - Welk voorwerp is ongeveer net zo groot?
35. De atoomkern van het waterstofatoom bestaat uit één proton.
- Wat is de afmeting van een proton?
 - Hoeveel keer groter is het waterstofatoom dan een proton?
- Stel je nu voor dat een proton net zo groot is als een zoutkorreltje.
- Hoe groot is het waterstofatoom in deze situatie?
 - Welk voorwerp is ongeveer net zo groot?
36. Stel je de zon voor ter grootte van een strandbal.
- Hoe groot is de aarde dan?
 - Welk voorwerp kan je gebruiken om de aarde voor te stellen?
 - Wat is de afstand tussen de zon en de aarde op deze schaal?
-

1.6 KOSMISCHE STRALING

In de paragrafen hiervoor hebben we proberen te ontdekken hoe de elektroscop spontaan kan ontladen, iets wat Charles-Augustin de Coulomb (paragraaf 1.2) voor het eerst zag. Twee mogelijke oorzaken werden gegeven door Wilhelm Röntgen (röntgenstraling, paragraaf 1.3) en Antoine Henri Becquerel (radioactiviteit, paragraaf 1.4).

In deze paragraaf doorlopen we de rest van de geschiedenis tot en met de ontdekking van kosmische straling. Hierbij kijken we goed naar waarom de onderzoekers hun beslissingen maakten die zij maakten.

In de jaren na de ontdekking van röntgenstraling en radioactiviteit (na 1896) werd er door verschillende onderzoekers onderzocht of één van deze soorten straling verantwoordelijk is voor het spontaan ontladen van de elektroscop. Hieruit bleek dat de ontlading ook plaatsvindt als er geen röntgenstraling of radioactieve bron aanwezig is. De conclusie werd getrokken dat de lucht zélf een klein beetje straling bevat. Waar die straling dan vandaan komt was nog onbekend.

In 1909 werden er drie mogelijke bronnen van de onbekende straling genoemd:

- i. De straling komt uit de ruimte, mogelijk van de zon.
- ii. De straling komt uit de aardkorst.
- iii. De straling komt uit radioactiviteit in de atmosfeer.

In die tijd werd de tweede mogelijkheid gezien als de meest waarschijnlijke.



Figuur 15: Theodor Wulf

Om de hierboven genoemde aanname (dat de onbekende straling afkomstig is uit de aardkorst) te testen deed de Duitse wetenschapper Theodor Wulf onderzoek naar de hoeveelheid straling onderaan en bovenaan de Eiffeltoren (324 meter). Als de straling afkomstig zou zijn uit de aardkorst zou je verwachten dat je bovenop de Eiffeltoren minder straling meet dan op de begane grond. Een deel van de straling wordt namelijk tegen gehouden door de lucht.

Wulf mat inderdaad dat er bovenop de Eiffeltoren 50% minder straling wordt gemeten dan op de begane grond. Er werd echter voorspeld dat er op

die hoogte nog maar een paar procent kon worden gemeten. Toch leek de aanname dat de onbekende straling uit de aardkorst afkomstig is nog steeds de beste.

Vragen en opdrachten:

37. Waarom werd verwacht dat de intensiteit van de straling bovenop de Eiffeltoren lager is dan op de grond?
-

Tussen 1907 en 1912 deed de Italiaan Domenico Pacini zijn eigen onderzoek naar de bron van de onbekende straling. Hij deed daarvoor metingen op het land en op zee. Pacini bedacht dat als de straling afkomstig is uit de aardkorst, de gemeten hoeveelheid straling op zee een stuk lager zou moeten zijn dan de hoeveelheid straling op het land. Dit komt doordat het zeewater, net als de lucht in het experiment van Wulf, een deel van de straling zal absorberen voordat het kan worden gemeten. Uit de metingen van Pacini bleek dat de intensiteit van de straling op zee echter hetzelfde is als op het land.

Om een nog duidelijker conclusie te kunnen trekken deed Pacini hierna nog onderzoek naar de intensiteit van de straling op drie meter onder het zeeniveau. Hier mat hij een afname van 20% in de intensiteit. Zijn conclusie luidde daarom dat de onbekende straling niet uit de aardkorst maar juist van boven afkomstig is.



Figuur 16: Domenico Pacini

Tussen 1911 en 1914 werd de conclusie van Pacini verder onderzocht door onder andere de Oostenrijker Victor Hess en de Duitser Werner Kolhörster. Zij onderzochten de intensiteit van de straling op hoogtes tot 9200 meter door hun meetapparatuur mee te nemen in luchtballonnen. De resultaten die zij vonden waren in overeenstemming met de conclusies van Pacini.

Op de eerste paar honderd meter boven de grond wordt de intensiteit van de straling iets lager (net als Wulf mat op de Eiffeltoren). Op grotere hoogten neemt de intensiteit van de straling weer toe en op ongeveer 5200 meter hoogte is de intensiteit gelijk aan die op de grond. Hierboven neemt de intensiteit snel toe en op een hoogte van 9200 meter is de intensiteit ongeveer tien keer groter dan op het aardoppervlak.

De conclusie van Hess en Kolhörster luidde dat de straling van buiten de aarde afkomstig moet zijn.

Vanaf dit moment werd de naam 'kosmische straling' gebruikt om de onbekende straling aan te geven, wat letterlijk 'straling uit het heelal' betekent.

Uit latere experimenten bleek nog dat de meeste deeltjes in kosmische straling protonen en atoomkernen van atomen zijn. De kosmische straling bestaat dus vooral uit positief geladen deeltjes.

Vragen en opdrachten:

38. Waarom werd verwacht dat de intensiteit van de straling op zee lager zou zijn dan op het land?
 39. De kosmische straling bestaat vooral uit protonen en atoomkernen. Hebben de deeltjes in kosmische straling dus een positieve of een negatieve elektrische lading?
 40. Teken een grafiek van de intensiteit van de straling. Zet op de horizontale as de hoogte boven het aardoppervlak en op de verticale as de intensiteit.
 41. Maak een lijst van alle wetenschappers die in dit hoofdstuk zijn genoemd en zet erbij wat ze hebben bijgedragen aan de ontdekking van kosmische straling.
-

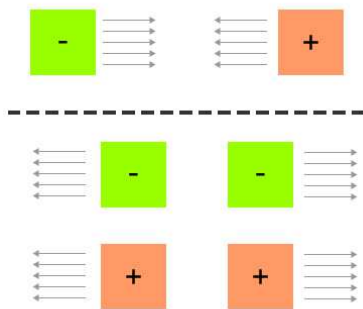
1.7 AFSLUITING

In de voorgaande paragrafen heb je geleerd wat kosmische straling is en hoe het is ontdekt. In deze laatste paragraaf wordt het hele hoofdstuk nog eens kort samengevat. De belangrijkste begrippen staan op een rij met daarbij hun betekenis.

1.7.1 BEGRIPPENLIJST

- ♦ **ALFASTRALING** - Straling met een positieve elektrische lading en een laag doordringend vermogen.
- ♦ **ATOOM** - Een heel klein deeltje waaruit alles is opgebouwd.
- ♦ **ATOOMKERN** - Centrum van het atoom waarin zich bijna alles bevindt.
- ♦ **BËTASTRALING** - Straling met een negatieve elektrische lading en een groot doordringend vermogen.
- ♦ **DOORDRINGEND VERMOGEN** - Een maat voor hoe ver straling in een stof kan doordringen.
- ♦ **ELEKTRISCH GELADEN** - Een voorwerp dat niet evenveel negatief als positief geladen deeltjes heeft.
- ♦ **ELEKTROMAGNETISCH SPECTRUM** - Alle soorten elektromagnetische straling, bijvoorbeeld licht, röntgenstraling en radiogolven.
- ♦ **ELEKTRON** - Een klein, negatief geladen deeltje dat om de atoomkern heen cirkelt.
- ♦ **ELEKTROSCOOP** - Een meetinstrument dat de aanwezigheid (en soms grootte) van elektrische lading kan meten.
- ♦ **FREQUENTIE** - Het aantal trillingen per seconde.
- ♦ **GAMMASTRALING** - Straling met een hoog doordringend vermogen.
- ♦ **GELEIDEND MATERIAAL** – Materiaal waarin de elektrische lading vrij kan bewegen.
- ♦ **GOLFLENGTE** - De lengte tussen twee golftoppen.
- ♦ **NEUTRAAL** - Een voorwerp met evenveel positief als negatief geladen deeltjes.
- ♦ **NEUTRON** - Een klein, neutraal deeltje dat zich in de atoomkern bevindt.
- ♦ **NIET-GELEIDEND MATERIAAL** – Materiaal waarin de elektrische lading niet vrij kan bewegen.
- ♦ **ONTLADEN** - Elektrische lading van een elektrisch geladen voorwerp af halen.
- ♦ **PROTON** - Een klein, positief geladen deeltje dat zich in de atoomkern bevindt.
- ♦ **RADIOACTIVITEIT** - Een maat voor de hoeveelheid straling die een stof per seconde uitstraalt.
- ♦ **RADIOGOLVEN** - Een soort elektromagnetische straling met zeer lange golflengtes. Radiogolven worden onder andere gebruikt om tv- en radiosignalen door te geven.
- ♦ **RÖNTGENSTRALING** - Een soort elektromagnetische straling met een zeer kleine golflengte. Röntgenstraling wordt onder andere gebruikt om botbreuken op te sporen.
- ♦ **UV-STRALING** - Een soort elektromagnetische straling met een korte golflengte. UV-straling zit in zonnestralen en zorgt er voor dat je bruin wordt in de zon.

1.7.2 SAMENVATTING



Figuur 17: Aantrekken (boven) of afstoten (onder)

Wanneer een voorwerp niet evenveel positief geladen deeltjes als negatief geladen deeltjes heeft noem je dat voorwerp elektrisch geladen. Wanneer het aantal positieve en negatieve deeltjes wel gelijk is noem je een voorwerp neutraal.

Elektrisch geladen voorwerpen kunnen elkaar aantrekken en afstoten:

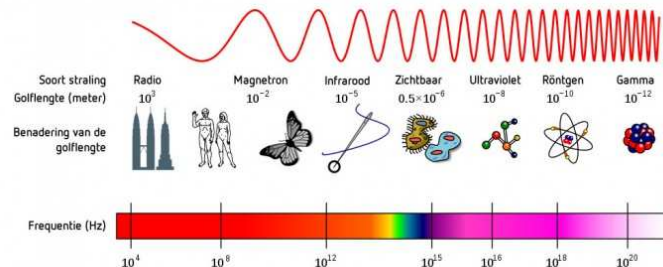
- ♦ positief + positief = afstoten
- ♦ negatief + negatief = afstoten
- ♦ positief + negatief = aantrekken
- ♦ geladen + neutraal = aantrekken

Elektrische lading kan worden gemeten met behulp van een elektroscop. Er bestaan drie verschillende soorten:

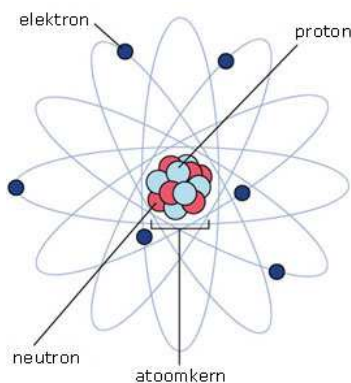
- ♦ Mergbal elektroscop
- ♦ Bladgoud elektroscop
- ♦ Spin elektroscop

Er bestaan verschillende soorten elektromagnetische straling zoals röntgenstraling, licht en radiogolven. Deze verschillende soorten straling verschillen alleen in frequentie en golflengte van elkaar.

De golflengte (λ), frequentie (f) en lichtsnelheid (c) hangen van elkaar af volgens de formule $f \times \lambda = c$.



Figuur 18: het elektromagnetisch spectrum



Figuur 19: een atoom

Bij radioactiviteit zenden atomen zelf een bepaalde straling uit. Er bestaan drie soorten: alfa-, bèta- en gammastraling. Deze drie soorten verschillen van elkaar in massa, elektrische lading en doordringend vermogen.

Atomen zijn de bouwstenen van alles om ons heen. Het zijn ontzettend kleine deeltjes die zelf ook weer bestaan uit nog kleinere deeltjes. Elk atoom bestaat uit een atoomkern en een elektronenwolk. In de atoomkern bevindt zich bijna alle massa van het atoom en deze bestaat uit protonen en neutronen. De elektronenwolk bestaat uit elektronen die rond de atoomkern draaien. De atoomkern is veel kleiner dan het totale atoom, dus het atoom is grotendeels leeg.

Met behulp van machten van tien is het mogelijk om zeer grote en zeer kleine getallen op een duidelijke en overzichtelijke manier op te schrijven. Bij getallen groter dan tien is de macht gelijk aan het aantal nullen in het getal, bijvoorbeeld: 1 miljoen = 1000000 = 10^6 . Bij getallen kleiner dan tien is de macht nog steeds gelijk aan het aantal nullen in het getal, maar staat er een minteken voor de macht, voorbeeld: 1 duizendste = 0,001 = 10^{-3} .

De ontdekking van kosmische straling begon in 1785 toen Charles-Augustin de Coulomb zag dat zijn elektroscop ontladde zonder dat hij het in contact bracht met een ander voorwerp of de aarde.

Wilhelm Röntgen (röntgenstraling) en Antoine Henri Becquerel (radioactiviteit) waren aan het einde van de 19^e eeuw de eersten die een mogelijke verklaring vonden voor de spontane ontlading van de elektroscop. Becquerel werd in zijn werk ondersteund door onder andere Ernest Rutherford, die de opbouw van het atoom ontdekte, en Pierre en Marie Curie.

De conclusies van Röntgen en Becquerel bleken niet de juiste te zijn en daarom werd in het begin van de 20^e eeuw meer onderzoek gedaan naar de oorsprong van de onbekende straling. Theodor Wulf ontdekte dat de intensiteit van de onbekende straling op de Eiffeltoren groter is dan verwacht.

Domenico Pacini was vervolgens de eerste die tot de conclusie kwam dat de onbekende straling van buiten de aarde afkomstig is in plaats van uit de aardkorst. Hij deed dit door de intensiteit van de straling op zee te meten.

Werner Kolhörster en Victor Hess bevestigden het idee van Pacini door de intensiteit van de straling te meten op grote hoogtes met behulp van luchtballonnen.

Zij concludeerden dat de straling uit het heelal afkomstig is en gaven het de naam 'kosmische straling'.