



Archimedes

Archimedes was, in tegenstelling tot veel van zijn tijdgenoten die liever abstracte theorieën ontwikkelden, een op de praktijk gerichte wetenschapper. Hij trachtte niet het wezen van materie en het zijn te doorgronden, maar streefde ernaar meer inzicht te krijgen in de wereld met behulp van de wiskunde en door eenvoudige machines te construeren. Deze machines, of apparaten die gebruikmaakten van fysieke wetten om arbeid te verlichten, werden sinds het begin van de menselijke beschaving al gebruikt en Archimedes wilde deze verbeteren met nieuw ontwikkelde wetenschappelijke en wiskundige beginselen.

De pragmatische filosoof

Archimedes werd aan het begin van de 3e eeuw v.Chr. (waarschijnlijk rond 287) geboren in Syracuse, op Sicilië, en stierf op ongeveer 75-jarige leeftijd. Er is weinig over zijn leven bekend. Hij leefde in een tijd waarin Griekenland uit een aantal onafhankelijke stadstaten bestond waarvan Syracuse er één was. Archimedes was dus een ingezetene van Magna Graecia (de gebieden die toen onder Grieks bestuur stonden, maar tegenwoordig het zuiden van Italië vormen).

Archimedes' vader zou (volgens de geringe informatie die is overgeleverd) de astronoom Phidias zijn geweest. Misschien stimuleerde hij Archimedes om zich voor bijna elk wetenschappelijk en wiskundig onderwerp te interesseren. Maar Archimedes' genialiteit, vernuft en vermogen om het leger van Syracuse te helpen met zijn uitvindingen hebben zijn leven uiteindelijk niet gered. Hij werd gedood door Romeinse soldaten bij de inname van Syracuse in 212 v.Chr. Hij zou het binnenvalende leger hebben gesignaleerd, omdat hij een wiskundig diagram bespandeerde dat hij op de vloer had getekend (zijn beroemde laatste woorden waren: "Verstoort mijn cirkels niet!").

De wetenschap van Archimedes

Hoewel Archimedes' grootste en blijvende prestaties op het gebied van de wiskunde liggen (hij staat bekend als de stamvader van integraalrekening en een van de eersten die de waarde van pi berekenden), was hij ook een groot natuurwetenschapper. Zijn ontdekking van het principe van opwaartse kracht, wordt als zijn belangrijkste bijdrage aan de wiskunde beschouwd. Het verhaal is algemeen bekend.

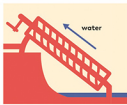
Er was een nieuwe gouden kroon gemaakt voor koning Hiëro II, maar boze tongen beweerden dat de kroon van zilver in plaats

van zuiver goud was gemaakt. Archimedes kreeg opdracht om de samenstelling van de kroon te bepalen zonder deze kapot te maken. De dichtheid van de kroon kon echter niet worden bepaald zonder zijn volume en gewicht precies te meten. Helaas was de kroon zo onregelmatig gevormd, dat het volume niet precies kon worden berekend. Volgens de beroemde anekdote brak Archimedes zijn hoofd over deze opdracht totdat hij in bad bedacht dat hij het volume van zijn eigen onregelmatig gevormde lichaam kon berekenen door de verplaatsing van het water in de badkuip te berekenen. Toen hij besefte dat hij deze methode ook kon gebruiken om het volume van de kroon te berekenen, zou hij uit bad zijn gesprongen en maakt de straat op zijn gerend terwijl hij "Eureka!" ("Ik heb het gevonden!") riep.

De uitvindingen van Archimedes

Als praktisch wetenschapper van de eerste orde is Archimedes ook bekend om zijn vele vernuftige uitvindingen, zoals:

De schroef van Archimedes – Een simpel apparaat met een schroefvormig blad in een holle cilinder. Als de schroef draait, kan vloeistof



De schroef van Archimedes.

BELANGRIJKSTE WERKEN

Het evenwicht van vlakken

Het werk waarin Archimedes zijn hefboomtheorie verklaart.

Over het meten van een cirkel

Het werk waarin Archimedes zijn nieuwe berekening van pi uiteenzet.

Over drijvende lichamen

In dit belangrijke werk in twee delen bespreekt Archimedes de wet van het evenwicht van vloeistoffen en geeft hij de eerste uitleg van het principe van opwaartse kracht. Hij beschrijft ook hoe water een bal vormt rond een zwaartepunt.

De zandrekenaar

Een fascinerend werk waarin Archimedes zijn visie op astronomie geeft en ook voorstelt om het aantal zandkorrels te berekenen dat in het heelal past. Wat is het antwoord op deze vraag? Dat is natuurlijk 8×10^{19} .

stof van het ene eind van de cilinder naar het andere worden verplaatst. Archimedes zou deze schroef hebben bedacht om het water uit de ruimen van Griekse schepen te verwijderen.

De zonnespiegel van Archimedes – Hoewel het onwaarschijnlijk is dat dit apparaat door Archimedes' tijdgenoten kon worden geconstrueerd, heeft recent onderzoek aangevoerd dat de theorie hierachter berust op een goede wetenschappelijke fundering.

Diverse militaire wapens – Archimedes zou het oude idee van de katapult sterk hebben verbeterd en ontwierp diverse andere belegeringswapens die toen werden gebruikt.

Een revolutie in de optica

Foto's maken is tegenwoordig erg gemakkelijk en sinds de komst van de digitale fotografie is het nog eenvoudiger geworden: u richt uw camera, klikt, bekijkt de foto, verwijderd en herhaalt dit zo vaak u maar wilt. Het hele proces duurt slechts een paar seconden en er wordt geen dure film verspild. Nog maar een aantal jaar geleden, vóór de opkomst van digitale technologie, was foto's maken veel tijdrovender en duurder. Stel u voor hoe het negenhonderd jaar geleden moet zijn geweest toen de eerste camera werd uitgevonden.

De eerste camera

Het eerste apparaat dat werd gebruikt om beelden vast te leggen lijkt nu waarschijnlijk niet eens op een camera (en kan eigenlijk ook niet echt zo worden genoemd), maar werkt wel volgens een vrijwel gelijk principe. Het woord 'camera' komt van de Latijnse term die werd gebruikt om deze allereerste fotoapparaat te beschrijven: camera obscura, of 'donkere kamer'.

De Perzische wetenschapper Alhazen (zie blz. 26–27) vond in de 11e eeuw, bij het uitvoeren van experimenten op het gebied van optica en licht (een gebied dat hij radicaal veranderde) iets opmerkelijk eenvoudigs uit: een kleine, geheel verduisterde kamer met een klein gaatje in de muur waar een lichtgeel doorheen kon die beelden van de buitenwereld projecteerde op de muur in de kamer, alsof er een foto was gemaakt!

Alhazen gebruikte de beelden op de muur van de camera obscura als basis voor verder wetenschappelijk onderzoek. Pas in de 16e eeuw begonnen kunstenaars de camera obscura te gebruiken als instrument om beelden vast te leggen. Dit kon alleen door een stuk papier of canvas op de muur te bevestigen en het beeld dat in

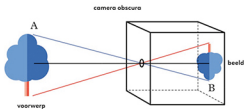
de donkere kamer verscheen, over te trekken, zodat er fotorealistische beelden van de buitenwereld ontstonden.

Pas in 1826 nam de Franse uitvinder Joseph-Nicéphore Niépce de eerste foto door het principe van de camera obscura te gebruiken en deze te combineren met scheikundige kennis. Bij Niépces uitvinding werd het beeld in de camera opgevangen op een met chemische stoffen bedekte tinnen plaat die het beeld weergaf. In 1861, 35 jaar later, was natuurkundige James Clerk Maxwell (zie blz. 76–77) de eerste die een kleurenfoto maakte met filters van drie verschillende kleuren die hij bovenop elkaar legde.

Optische principes in de camera obscura

Toen Alhazen zijn eerste camera obscura maakte, was er nog maar erg weinig bekend over licht. Het gebruik van deze uitvinding leidde tot veel ontdekkingen over de aard van deze nogal ongraspbare stof.

Allereerst, en misschien wel het belangrijkste, ontdekte Alhazen dat licht zich verplaatst in een rechte lijn (dit is belangrijker dan het klinkt). Daarom verschijnen de beelden uit een camera



obscura op hun kop. Zoals in de figuur rechts te zien is, blijft licht dat van boven komt rechtdoor gaan en komt op een lager deel van de muur, terwijl licht van onder in een rechte lijn naar een hoger deel van de muur gaat.

De camera obscura werd ook een belangrijk instrument om de zon mee waar te nemen, omdat die waarmeter naar een beeld van de zon kijkt en niet rechtstreeks naar de zon zelf. Door de camera obscura konden zonsverduisteringen worden bekeken zonder gevaar voor de ogen.

Hoewel veel van de principes van licht nog lang na Alhazens tijd een raadsel bleven, betekende zijn werk, vooral met dit opmerkelijke apparaat, een belangrijke stap vooruit. De mensheid kon een aantal van de raadselen rond het verschijnsel licht gaan oplossen en de wetenschappelijke wereld in de middeleeuwen nieuw leven inblazen.

MAAK UW EIGEN CAMERA OBSCURA

Veel fotografen en hobbyisten experimenteren ook nu nog met fotografie door hun eigen 'gaaiescamera' te maken op basis van de beginselen van de camera obscura zoals Alhazen die meer dan duizend jaar geleden beschreef. Deze bestaat uit een doos (bijvoorbeeld van Corflakes), een klein gaatje, een zelfgemaakte sluiters en een stuk fotografisch papier. Op internet en in de bibliotheek is veel informatie te vinden over hoe u zo'n leuk apparaat kunt maken.

Oefening 8

Temperatuur en thermodynamica

DE OPGAVE:

Een man besluit te experimenteren met zijn nieuwe koelapparaat door er verschillende materialen in te zetten. Hij plaatst een metalen lepel en een stuk karton in de vriezer. Enkele uren later haalt hij ze er weer uit en voelt eraan. Hoewel beide voorwerpen zich gedurende dezelfde tijd in dezelfde omgeving bevonden, voelt het metaal veel kouder aan dan het karton! Wat is er met de twee voorwerpen gebeurd en wat vertelt dit ons over de werking van warmte?

DE METHODE:

Om dit vraagstuk te kunnen oplossen moet de man een heel belangrijk principe van de thermodynamica begrijpen: warmtegeleiding.

Als twee voorwerpen met elkaar in contact komen, streven ze meteen naar 'thermisch evenwicht'. Dit betekent dat de warmte van het ene voorwerp op het andere wordt overgedragen (wat niet alleen geldt voor massieve voorwerpen, maar voor alles wat 'substantie' heeft, waaronder gassen en vloeistof) totdat er thermisch evenwicht is bereikt.

Thermisch evenwicht treedt op als er tussen twee voorwerpen geen warmte

meer wordt uitgewisseld, dus wanneer beide dezelfde temperatuur hebben bereikt.

DE OPLOSSING:

De man kan met behulp van deze kennis en het experiment verifiëren of beide voorwerpen die hij uit de vriezer heeft gehaald werkelijk verschillen van temperatuur of dat dit slechts een idee is. Hiervoor heeft hij alleen maar een thermometer nodig.

Een thermometer is in feite een instrument dat van het principe van thermisch evenwicht gebruikmaakt om de temperatuur van een voorwerp aan te geven. De

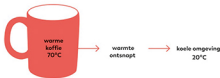
man hoeft slechts de thermometer tegen de voorwerpen uit de vriezer te leggen. Hierdoor daalt de temperatuur van het kwik in de thermometer, dat krimpt totdat het een thermisch evenwicht heeft bereikt. Zodra er geen warmte-energie meer wordt overgedragen tussen het voorwerp en de thermometer daalt het kwik niet meer en kan de man aflezen hoe koud het voorwerp is.

Wat ziet de man als hij dit doet? Hij ontdekt dat de temperatuur van beide voorwerpen exact gelijk is! Het verschil in temperatuur dat hij voelt, komt door het materiaal zelf: metaal is vanwege zijn atoomstructuur een veel efficiëntere warmtegeleider dan karton. Als de man het metaal aanraakt, wordt de warmte van zijn lichaam veel sneller overgedragen dan bij het karton, ook al hebben beide voorwerpen dezelfde temperatuur. Daarom voelt het metaal veel kouder aan. We zien de werking van thermisch evenwicht overal om ons heen. Als we een ijsklontje in een kop warme koffie doen om deze af te

koelen, brengt de koffie snel wat van zijn warmte over op het smeltende ijs totdat er thermisch evenwicht is bereikt en de koffie iets kouder is geworden.

Waarom kan warme chocolademelk koud zijn geworden voordat we de kans hebben gekregen om hem helemaal op te drinken? De melk probeert thermisch evenwicht te bereiken met de temperatuur van de ruimte waarin hij zich bevindt. Het hele universum streeft dan ook constant naar het bereiken van een totaal thermisch evenwicht, dat wij hebben geleerd te benutten.

Warmte stroomt in de richting van de lagere temperatuur.



Het standaardmodel van de deeltjesfysica

Tegenwoordig zit in het standaardmodel alles vervat wat deeltjesfysici te weten zijn gekomen over de kleinste dingen in het universum. Met dit model hebben we absoluut alles in het fysische universum kunnen vereenvoudigen tot slechts twee dozijn deeltjes en in totaal vier krachten. Hoewel er nog wat hiaten in de theorie zitten, is het standaardmodel nu het meest succesvolle, complete natuurkundige model dat ooit is ontwikkeld. Maar de toekomst is, zoals altijd, onzeker.

De krachten

De eenvoud van het standaardmodel zit vooral in het feit dat elke actie en reactie in het hele universum kan worden teruggebracht tot het werk van slechts vier krachten, die zowel in kracht als in functie van elkaar verschillen:

De sterke kernkracht is, logischerwijs, de sterkste kracht en houdt de atoomkern bijeen. Dit is de kracht waarmee quarks bij elkaar worden gehouden in protonen en neutronen en de kracht waarmee de protonen en neutronen zelf bij elkaar blijven. Hoewel de kracht van de kernkracht groter is dan alles wat wij elke dag meemaken, functioneert deze alleen op zeer korte afstand (ongeveer ter grootte van de atoomkern).

De elektromagnetische kracht is aanwezig en zichtbaar waar je maar kijkt. Hij geeft ons uiteraard stroom, maar is ook de hoofdrede dat materie bestaat. Met deze kracht kunnen atomen zich met elkaar tot alle verbindingen en stoffen vormen. Wij bestaan allemaal uit atomen die op elektromagnetische wijze bij elkaar

worden gehouden. Daarom moeten we dankbaar zijn dat elektromagnetisme zo sterk is.

De zwakke kernkracht is misschien wel het vreemdste. Het doel ervan is niet om dingen bijeen te houden, maar juist om ze uit elkaar te halen. Door deze kracht zijn atomen instabiel, vervallen ze en splitsen ze. Vanwege de zwakke kernkracht zijn kernwapens en -energie mogelijk en, nog belangrijker, door de zwakke kracht kan de zon schijnen en ons de warmte en het licht geven die we nodig hebben om te overleven. Net als de sterke kracht werkt de zwakke kracht alleen op heel korte afstanden binnen in de atoomkern. Deze kracht is iets zwakker dan elektromagnetisme.

Zwaartekracht, de allerzwaarste kracht (1039 keer zwakker dan de sterke kernkracht), kennen wij het best van alle krachten. Hoewel hij het bekendst is, wordt hij misschien ook wel het minst begrepen. Zwaartekracht is enorm moeilijk in te passen in het standaardmodel en is de belangrijkste reden dat dit model nog niet is voltooid.

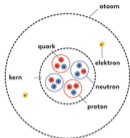
De deeltjes

In het standaardmodel zoals wij dat nu kennen, zijn er in totaal 17 deeltjes (29 als je de antideeltjes meetelt). Deze deeltjes kan je onderverdelen in drie groepen:

Leptonen. De zes bekende leptonen omvatten het bekende elektron en zijn identieke grotere neven, het muon en het tau. Al deze deeltjes hebben ook een neutrino tegenhanger: het elektron-neutrino, muon-neutrino en tau-neutrino. In het standaardmodel hoort elk van deze paren bij een bepaalde generatie. Leptonen van de eerste generatie zijn het elektron en elektron-neutrino, de tweede generatie is het muon en muon-neutrino en de derde generatie is het tau en tau-neutrino.

Quarks. Net als de leptonen zijn de zes quarks onderverdeeld in generaties op basis van hun massa. De eerste generatie quarks omvat de twee meest voorkomende: de up quark en down quark. De tweede generatie bestaat uit de strange quark en charm quark en de laatste generatie bestaat uit de top quark en bottom quark. De tak van de natuurkunde die zich bezig houdt met quarks is de kwantumchromodynamica.

Bosonen. Dit zijn de 'krachtvoerende' deeltjes van de subatomaire wereld. Elke kracht hangt samen met zijn eigen bosonen die kunnen worden uitgewisseld tussen de andere deeltjes om ze bijeen te houden (of uit elkaar te halen). Deze bosonen bestaan uit het foton dat de elektromagnetische kracht draagt, gluonen die de sterke kernkracht dragen en de W- en Z-deeltjes die de zwakke kernkracht



Het huidige atoommodel waarin elektronen rond de kern draaien. De kern bestaat uit protonen en neutronen die zelf weer uit quarks bestaan.

dragen. Er zouden nog minimaal twee (of meer!) bosonen bestaan die nog niet zijn ontdekt, waaronder het graviton dat de zwaartekracht overbrengt en het Higgs-boson dat, als het wordt ontdekt, het deeltje moet zijn dat alle andere deeltjes massa geeft.