

EEN HANDIG VERZINSEL

in 30 seconden

FLITS (3 SEC.)

Rond 1900 was er geen direct bewijs voor het bestaan van atomen, en niemand wist of het reële objecten waren of handige verzinsels.

GEDACHTE (3 MIN.)

In 1890 schatte Lord Rayleigh het formaat van atomen (strikt genomen: moleculen). Hij verspreidde een druppel oliïfolie op een wateroppervlak en stelde dat bij maximale verbreiding de film laag één molecuul dik was. Zijn schatting van 16×10^{-8} m lag dicht bij de waarde die Agnes Pockels twee jaar later verkreeg, en ook vrij dicht bij de huidige waarde – maar het was nog geen bewijs dat moleculen en atomen echt bestonden.

Het idee van atomen als fundamentele bouwstenen van de materie gaat terug tot de Griekse filosofen Leucippus en Democritus in de vijfde eeuw v.C., maar de interpretaties liepen uiteen. Sommigen, zoals Isaac Newton en de achttiende-eeuwse Zwitserse wetenschapper Daniel Bernoulli, meenden dat atomen reële, onzichtbaar kleine deeltjes waren. Anderen zagen ze als een handig verzinsel, zoals nationale grenzen: nuttig om natuurlijke fenomenen voor te stellen, maar zonder fysieke realiteit. Eind negentiende eeuw dichtten veel wetenschappers atomen wel realiteit toe, maar er was geen direct bewijs: ze waren, net als donkere materie nu, een werkhypothese. Toen Ludwig Boltzmann tussen 1870 en 1890 zijn kinetische gastheorie ontwikkelde en aannam dat gassen bestaan uit druk bewegende atomen, kreeg hij kritiek van atoomsceptici als Wilhelm Ostwald, die energie als enige fundamentele eenheid zag, en Ernst Mach, die vond dat je je in de wetenschap alleen mag baseren op direct observeerbare fenomenen. Boltzmann raakte gedeprimeerd door de kritiek en voelde zich miskend. 'Het is moeilijk voorstelbaar dat de in het nauw gedrongen Boltzmann die ernstige, maar toch speelse geest zou tonen waarmee Einstein het probleem van moleculaire realiteit aanpakte,' aldus Einstein-biograaf Abraham Pais. Einstein had wel de juiste persoonlijkheid om het idee uit te werken.

VERWANTE ONDERWERPEN

Zie ook
HET VASTSTELLEN VAN MOLECULAIRE DIMENSIES
blz. 16

BROWNSE BEWEGING VERKLAARD
blz. 20

PERRINS DEELTJES
blz. 24

BIOGRAFIEËN (3 SEC.)

DEMOCRITUS
ca. 460-ca. 370 v.C.
Griekse filosoof die wordt gezien als de 'vader van de atoomtheorie'.

JOHN DALTON
1766-1844
Engelse chemicus die in 1803 de moderne atoomtheorie voorstelde.

ERNST MACH
1838-1916
Oostenrijkse fysicus en vroeg-twintigste-eeuwse scepticus van de atoomtheorie.

TEKST (30 SEC.)
Philip Ball

John Dalton gebruikte het antieke concept van atomen om het gedrag van chemische elementen te verklaren.



AFSCHIED VAN DE ETHER

in 30 seconden

Een van de meest betwiste kwesties rond de ontstaansgeschiedenis van Einsteins speciale relativiteitstheorie is de rol van het Michelson-Morley-experiment. In 1887 voerden Albert Michelson en Edward Morley een experiment uit om de invloed op de lichtsnelheid te detecteren van de ether – het medium waarin men dacht dat lichtgolven zich bewogen. Ze maten geen verschil in twee loodrecht op elkaar staande richtingen, wat je wel zou verwachten als de wereld zich door de stationaire ether zou bewegen. Deze ether stamt van een antiek concept en is te herleiden tot het 'vijfde element', dat volgens Aristoteles het firmament vult. Isaac Newton postuleerde een ongreepbare ether, die licht of zwaartekracht draagt. In de negentiende eeuw werd de ether gezien als het medium dat elektromagnetische golven draagt; wetenschappers als Maxwell en Kelvin probeerden er modellen van op te stellen. Einsteins theorie toonde aan dat een 'lichtdragende' ether niet nodig is om alle eigenschappen van licht te begrijpen. In zijn artikel uit 1905 noemt Einstein het Michelson-Morley-experiment niet en in 1954 zei hij dat hij niet wist of hij het destijds überhaupt kende. Er zijn echter aanwijzingen dat dit wel het geval was en dat het zijn vroege gedachten over relativiteit stimuleerde.

FLITS (3 SEC.)

Speciale relativiteit toonde aan een ongreepbaar medium als 'de ether' niet nodig is als drager van lichtgolven.

GEDACHTE (3 MIN.)

Einstein verwees de ether niet naar de pruillenk, zoals vaak wordt gezegd. Hij wijzigde alleen het concept. Hij zag een of ander etherachtig medium als wezenlijk voor zwaartekracht. In 1920 schreef hij: 'Volgens de algemene relativiteitstheorie is ruimte zonder ether ondenkbaar.' Maar Einstein zag deze nieuwe ether niet als een 'weegbare' substantie, bestaande uit conventionele deeltjes; het was een soort veld. Tegenwoordig valt een dergelijke kijk op 'ether' onder de fysieke veldtheorieën.

VERWANTE ONDERWERPEN

Zie ook
DROMEN OVER LICHT
blz. 54

RUMTETIJD
blz. 66

BIOGRAFIEËN (3 SEC.)

WILLIAM THOMSON
(LORD KELVIN)
1824-1907
Britse wetenschapper en een groot pleitbezorger van lichtdragende ether; hij suggereerde dat atomen daarin een soort wervelingen waren

EDWARD MORLEY
1838-1923
Amerikaanse wetenschapper, werkzaam in de chemie en de optica, die in 1887 met Michelson de invloed van de lichtdragende ether onderzocht

TEKST (30 SEC.)

Philip Ball

Experimenten waarbij de snelheid van het licht in diverse richtingen werd gemeten, leverden geen bewijs op voor het bestaan van 'ether'.



$$E = MC^2$$

in 30 seconden

$E=mc^2$ is waarschijnlijk de beroemdste vergelijking in de fysica. Ze is zelfs doorgedrongen in de tekst van populaire liedjes. De E staat voor energie, m voor de massa en c^2 voor de lichtsnelheid in het kwadraat. Er wordt vaak naar verwezen als de 'massa-energie-equivalentie'. De vergelijking was meer een soort bijgedachte die volgde uit Einsteins speciale relativiteit. Ze laat zien dat massa en energie op een fundamenteel niveau zijn gerelateerd. Elk object heeft intrinsieke energie, ook als het niet beweegt. Dit heet 'rustenergie'. Omdat de lichtsnelheid zo'n enorm getal is, bezit zelfs de kleinste massa reusachtig veel energie; het valt alleen niet mee om die eruit te krijgen. Als we fossiele brandstof zoals steenkool verbranden, is de vrijkomende energie het resultaat van een verandering van de chemische verbindingen in de steenkool. De combinatie van koolstof met de zuurstof in de lucht levert kool-dioxide op, maar er gaat geen massa verloren. Als massa werkelijk wordt omgezet in energie, kan enorm veel energie vrijkomen. Zo bevat slechts 1 gram materie het energie-equivalent van 90 biljoen joule, wat neerkomt op de energie die wordt geproduceerd bij het verbranden van 3 miljoen ton steenkool.

FLITS (3 SEC.)

De beroemdste natuurkundige vergelijking stelt dat massa en energie equivalent zijn, en dat het omzetten van massa een enorme hoeveelheid energie vrijmaakt.

GEDACHTE (3 MIN.)

De energie van de zon wordt geproduceerd door waterstoffusie, waarbij helium ontstaat in de kern. Dit is ook het principe achter de waterstofbom, maar het uitvoeren van een gecontroleerde fusie-reactie gaat ons huidige technische vermogen nog te boven. Met zo'n reactie zou het waterstof in water gebruikt kunnen worden als brandstof, waardoor we in wezen onbeperkt energie zouden kunnen winnen uit de wereldzeeën.

VERWANTE ONDERWERPEN

Zie ook
OVER DE ELEKTRODYNAMICA
VAN BEWEGENDE LICHAMEN
blz. 56

OVER DE ENERGIE & TRAAGHEID
VAN LICHAMEN
blz. 72

BIOGRAFIEËN (3 SEC.)

HENRI POINCARÉ
1854-1912
Franse fysicus die zag dat een paradox ontstaat bij het kijken naar de kinetische energie van een object vanuit twee referentiekaders. Er moest volgens hem een andere energie bestaan om dit op te lossen.

JOHN COCKROFT
1897-1967
Britse fysicus die met Ernest Walton het eerste transmutatie-experiment deed en met een proton lithium opsplijste in twee heliumkernen.

TEKST (30 SEC.)

Rhodi Evans
De grote waarde van c^2 in de vergelijking betekent dat een kleine hoeveelheid materie veel meer energie kan produceren dan traditionele chemische reacties.



ZWARE KLOKKEN

in 30 seconden

FLITS [3 SEC.]

Einsteins equivalentieprincipe zegt dat klokken langzamer lopen in een sterker zwaartekrachtveld: klokken op aarde lopen langzamer dan klokken in het ruimtestation ISS.

GEDACHTE [3 MIN.]

Het global positioning system (GPS) dat we gebruiken voor navigatie moet rekening houden met het feit dat een klok op aarde langzamer loopt dan een klok in een satelliet, omdat hij in een sterker zwaartekrachtveld staat. Als voor dat effect niet wordt gecorrigeerd, geeft het systeem onjuiste posities aan en is het nutteloos.

Einstein voorspelde dat zwaartekracht de tijd vertraagt. Hiervoor moeten we ons twee mensen voorstellen – Alice en Ben – in een raket die versnelt. Alice zit voorin, Ben zit achterin. Alice en Ben zenden lichtimpulsen naar elkaar; door te meten hoeveel tijd verloopt tussen de impulsen, kunnen ze meten hoe snel de tijd passeert. Stel dat Alice twee impulsen naar Ben zendt en het tijdsinterval tussen het zenden van de twee impulsen meet. Ben ontvangt de impulsen achter in de raket, maar door de versnelling van de raket is het tijdsinterval tussen het ontvangen van de impulsen korter dan het interval dat Alice mat tussen het zenden ervan. Stel dat Alice een interval mat van 2 seconden, dan meet Ben mogelijk maar 1 seconde verschil. Tijd lijkt voor Ben langzamer te passeren dan voor Alice: zijn seconden duren twee keer zo lang. Uit het principe van equivalentie volgt dat wat geldt voor een versnellende raket, ook geldt voor een stationaire raket in een zwaartekrachtveld. Als de raket verticaal op het oppervlak van een planeet staat, zou Bens klok langzamer tikken dan die van Alice, omdat hij zich in een sterker zwaartekrachtveld bevindt. Dus vertraagt zwaartekracht de tijd.

VERWANTE ONDERWERPEN

Zie ook
LENGTE, TIJD & MASSA
blz. 64

DE GELUKIGSTE GEDACHTE
blz. 114

EEN KROMMING IN RUIMTE EN TIJD
blz. 118

BIOGRAFIE [3 SEC.]

JOSEPH HAFELE
1933-2014
Amerikaanse fysicus die met collega Richard Keating in 1971 atoomklokken liet meevliegen in lijnvliegtoelagen om Einsteins voorspellingen te testen van tijddilatatie in speciale relativiteit en het sneller verlopen van tijd in een zwakker zwaartekrachtveld

TEKST [30 SEC.]

Rhodi Evans

Een klok in een versnellend ruimteschip vertraagt; hetzelfde effect kan worden geobserveerd bij zwaartekracht.

