

EINSTEIN VERKLAART HET FOTO- ELEKTRISCH EFFECT

in 30 seconden

In 1905 moet Einstein een onuitputtelijke bron van revolutionaire ideeën hebben geleken. Vijf jaar eerder had Planck geopperd dat lichamen elektromagnetische straling, zoals licht, afgeven in pakketjes of 'kwanta' met een energie die evenredig is aan hun frequentie. Voor Planck was deze hypothese een wiskundig trucje waarmee de vergelijkingen zinnige resultaten opleverden. Einstein postuleerde dat de kwantisering van energie niet louter een eigenaardigheidje is van lichtemissie, maar een fundamentele eigenschap van het licht zelf – dat licht bestaat uit een stroom losse pakketjes, 'fotonen' genaamd, en geen continue stroom is. Dat ging de meeste fysici te ver. Einstein stelde echter een manier voor om de hypothese te testen. Vroeg in de twintigste eeuw had Philipp Lenard laten zien dat stukjes metaal waar licht op valt, elektronen uitstoten: het 'foto-elektrisch effect'. Maar er was iets raars: als het licht feller scheen, ontsnapten de elektronen niet met meer energie, er ontsnapten er gewoon meer. In Einsteins model was dat logisch: een fellere bundel bevat meer fotonen, maar met dezelfde energie als eerder. Nadat Einsteins voorspellingen over het foto-elektrisch effect in het volgende decennium experimenteel werden bevestigd door Robert Millikan, kreeg Einstein in 1921 de Nobelprijs.

FLITS (13 SEC.)

Door zijn suggestie dat licht bestaat uit energiepakketjes of 'fotonen', verklaarde Einstein de raadselachtige aspecten van het foto-elektrisch effect.

GEDACHTEN (3 MIN.)

Millikan besteedde tien jaar aan nauwgezette experimenten om Einsteins theorie te testen. Daarvoor waren extreem zuivere metalen elektroden nodig. Hij deed dat in de overtuiging dat de theorie niet klopte. Zelfs toen zijn resultaten de voorspellingen ondersteunden, geloofde hij niet in de kwantumrijk op licht, omdat die geen 'bevestigende theoretische basis' had.

VERWANTE THEORIEËN

zie ook
DE ULTRAVIOLETCATASTROFE
blz. 16

PLANCKS KWANTA
blz. 18

BIOGRAFIE (3 SEC.)

PHILIPP LENARD
1862-1947
Duitse experimenteel fysicus,
Nobellaureaat in 1905 en nazi-
sympathisant die Einsteins
werk 'jodenfysica' noemde

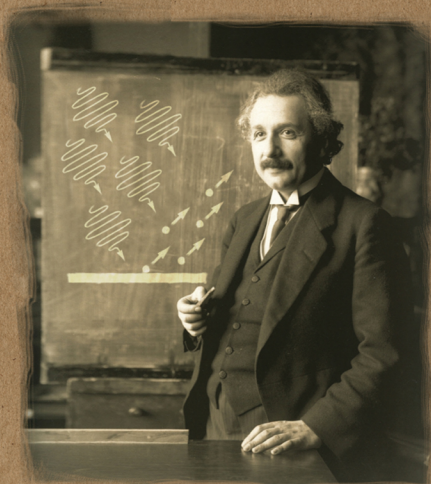
ALBERT EINSTEIN

1879-1955
Duitse fysicus die de speciale en
algemene relativiteit ontwikkelde
en bijdroeg aan het ontstaan
van de kwantumtheorie

TEKST (30 SEC.)

Philip Ball

Einstein beseftte dat de energie van individuele lichtkwanta de elektronen verdrijft bij foto-elektrische experimenten.



KWANTUMSPIN

in 30 seconden

FLITS (3 SEC.)

Dankzij kwantumspin werken magneten en kunnen wetenschappers deeltjes van elkaar onderscheiden.

GEDACHTE (3 MIN.)

De eigenschap die we 'kwantumspin' noemen, kreeg die naam vanwege enige gelijkenis met het klassieke impulsmoment, maar er is geen reden om te denken dat deeltjes ook echt rondtoeren (moelijk voor te stellen voor een puntdeeltje als een elektron), temeer daar de halfvaste waarden van de spin uitsluitend 'op' of 'neer' blijken te zijn, in welke richting ze ook worden gemeten.

Kwantumspin is de oorzaak van alledaags magnetisme. Het is een intrinsieke eigenschap van subatomaire deeltjes, een essentiële parameter om een deeltje volledig te beschrijven en een van de vier attributen die nodig zijn om de kwantumtoestand van een elektron in een atoom te definiëren. Kwantumspin bestaat, zoals alles in de kwantummechanica, uit vaste pakketjes. Deeltjes kunnen alleen een bepaalde hoeveelheid spin hebben, die wordt uitgedrukt via hun spinkwantumgetal. Alle subatomaire deeltjes hebben een spinkwantumgetal; soms kan dat nul zijn. Kwantumspin is gerelateerd aan impulsmoment, een fysische eigenschap van roterende objecten, in die zin dat hij de meting van het impulsmoment in atomen beïnvloedt. De effecten van kwantumspin werden eerst gedetecteerd in relatie tot elektronen in atomen. Rond de atoomkern suizende elektronen verlenen impulsmoment aan het atoom door hun omloopbeweging. Kwantumspin werd in 1922 ontdekt door Otto Stern en Walther Gerlach bij een experiment dat suggereerde dat elektronen in atomen ook een intrinsiek impulsmoment hebben, naast het impulsmoment dat ze genereren door hun omloopbeweging. Dat is voor te stellen als een elektron dat om zijn eigen as draait terwijl het rond de kern cirkelt.

VERWANTE THEORIEËN

Zie ook
HET UITSLUITINGSPRINCIP
VAN PAULI
blz. 58

DE DIRACVERGELIJING
blz. 60

KWANTUMVELDENTHEORIE
blz. 64

BIOGRAFIE (3 SEC.)

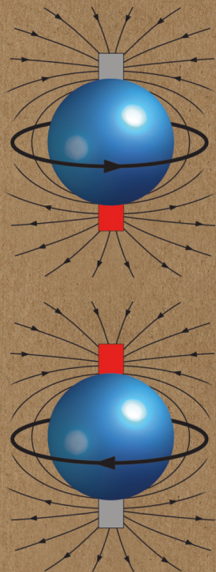
WOLFGANG PAULI
1900-1958
Oostenrijkse fysicuspionier die
veel theorie over kwantumspin
ontwikkelde

GEORGE UHLENBECK &
SAMUEL GOUDSMIT
1900-1988 & 1902-1978
Nederlandse fysici die het
eerste artikel over elektronen-
spin publiceerden

TEKST (30 SEC.)

Leon Clifford

*De richting van de
kwantumspin van
deeltjes bepaalt hun
magnetische oriëntatie.*



INSTORTING EN BEWUSTZIJN

in 30 seconden

FLITS (½ SEC.)

We kunnen de kwantumwereld beïnvloeden door er alleen maar naar te kijken, maar vereist dit ook bewustzijn?

GEDACHTE (½ MIN.)

De mogelijkheid dat onze geest op de een of andere manier interactie aangaat met de kwantumwereld doet de vraag rijzen of ons bewustzijn zelf wellicht een kwantumfenomeen is. Onze hersenen bestaan tenslotte uit atomen en gebruiken elektrische signalen, die gehoorzamen aan natuurwetten. Zou de kwantummechanica ooit een verklaring kunnen geven voor het menselijk bewustzijn?

Kwantumgolffuncties storten in als men pogingen onderneemt om kwantumsystemen te observeren en te meten. Als dit gebeurt, vallen alle mogelijke toestanden van het kwantumsysteem samen in de ene geobserveerde toestand, een fenomeen dat heeft geleid tot de Kopenhaagse, de veelwerelden- en de Bohminterpretatie van kwantummechanica. Wat de golffunctie laat instorten en op welk punt in het meetproces de feitelijke instorting plaatsvindt, blijft onderwerp van discussie. Volgens één suggestie (die niet meer breed wordt gesteund) stort de golffunctie alleen in als er een bewuste waarnemer bij de meting is betrokken. Bewuste waarnemers kunnen de wereld maar op één manier zien en moeten daarom in de ene of de andere toestand zijn, en kunnen niet tegelijk in meerdere zijn. Deze vereiste van bewustzijn om in één toestand te zijn, dwingt de golffunctie om in te storten. Fysicus Eugene Wigner lichtte dit idee toe met een variant op het gedachte-experiment van Schrödingers kat, waarbij een vriend in de doos met de kat werd gezet. Wigner stelde dat de golffunctie door de aanwezigheid van de bewuste geest van de vriend al in de doos zou instorten, waardoor de toestand van de kat werd uitgekristalliseerd tot levend of dood.

VERWANTE THEORIEËN

zie ook
SCHRÖDINGERS KAT
blz. 46

INSTORTENDE GOLFFUNCTIES
blz. 50

BIOGRAFIE (½ SEC.)

EUGENE WIGNER
1902-1995
Hongaarse fysicus die als eerste opperde dat de golffunctie instortte als gevolg van de interactie met ons bewustzijn

JOHN VON NEUMANN
1903-1957
Hongaarse wiskundige die bewustzijn zag als deel van een bij het instorten van de kwantumgolffunctie betrokken keten

TEKST (30 SEC.)

Leon Clifford

Sommige fysici suggereerden dat een bewuste geest, zoals een mens, nodig was om de golffunctie te laten instorten.



DE TRANSISTOR

in 30 seconden

FLITS (3 SEC.)

Transistors in digitale elektronica en computers werken met de kwantisering van de energietoestanden van elektronen in halfgeleidende materialen.

GEDACHTE (3 MIN.)

Vroege commerciële transistors van germanium kostten in 1950 enkele dollars per stuk en waren 20' n 12 millimeter groot. De miniaturisering van siliciumtransistors heeft nu het punt bereikt waarop er circa 2 miljard transistors op één microprocessorchip passen, voor een prijs van 20' n 0,0001 cent per stuk. Deze kostenafname is één aspect van de wet van Moore, vaak uitgedrukt in termen van het aantal transistors op één microchip, dat elke achttien maanden verdubbelt.

Veel merkwaardigheden van de kwantumtheorie, zoals onzekerheid, superposities en supergeleiding, doen zich alleen voor onder speciale condities bij lage temperaturen. De effecten van de kwantisering van energietoestanden zijn echter altijd te zien, zoals bij de bindingen tussen atomen en de kleur van objecten. Een van de belangrijkste technologische aspecten van kwantisering zien we in de transistor, de van een halfgeleider gemaakte elektronische component in de kern van alle digitale informatietechnologie. Halfgeleidend materiaal bevat elektronen in een 'band' van kwantumenergietoestanden – zoals een reservoir vol water – die via een energiekloof of 'verboden zone' is gescheiden van een andere, lege band. Als elektronen genoeg energie winnen om de lege band te bereiken, kunnen ze bewegen en een elektrische stroom dragen. Onder normale werkingscondities kunnen slechts een paar elektronen voldoende energie opnemen van omgevingswarmte om dit te doen. De stroom kan precies gestuurd worden via dotering – elektronen toevoegen aan of verwijderen uit het reservoir door andere soorten atomen in het materiaal te verspreiden – en door elektrische velden aan te brengen. Zo kan de stroom door een transistor elektrisch worden gestuurd en gericht om hem te laten werken als switch of versterker in digitale elektronica.

VERWANTE THEORIEËN

zie ook
DE LASER
blz. 118

QUANTUM DOTS
blz. 130

BIOGRAFIE (3 SEC.)

WALTER BRATTAIN,
JOHN BARDEEN &
WILLIAM SHOCKLEY
1902-1987, 1908-1991 &
1910-1989
Amerikaanse fysici en leden van het team dat in 1947 in de Bell Telephone Laboratories de transistor uitvond; in 1956 kregen ze de Nobelprijs voor de Natuurkunde

TEKST (30 SEC.)

Philp Ball

Het gebruik van transistors transformeerde de elektronica, van individuele componenten tot geïntegreerde circuits.

