

Brainstormen in Brussel

Honderd jaar Solvayraden voor Fysica

Informatie voor de bezoeker

De Solvayraden voor Fysica



De Internationale Solvay Instituten voor Fysica en Chemie, gesticht door Ernest Solvay, vierten in 2011 de 100^{ste} verjaardag van de eerste Solvayraad. Op uitnodiging van de rijke en vooruitstrevende industrieel **Ernest Solvay** is toen een kleine groep van topwetenschappers uit heel Europa naar Brussel gekomen, om te discussiëren over problemen waarmee de fysica in het begin van de 20^{ste} eeuw werd geconfronteerd.

De Solvay Instituten zijn zonder enige twijfel één van de meest gerespecteerde wetenschappelijke instellingen ter wereld. Begin vorige eeuw hebben zij België en Brussel op de wereldkaart van de wetenschap gezet.



Sinds 1911 organiseren de Solvay Instituten regelmatig de **Solvayraden voor Fysica**. Dit zijn unieke vergaderingen waarop een select groepje fysici in Brussel samenkomt, om te discussiëren over een controversieel onderwerp uit de hedendaagse fysica.

Deze Solvayraden hebben een cruciale rol gespeeld in de ontwikkeling van de moderne fysica en dan vooral in het begin van de 20^{ste} eeuw, tussen 1911 en 1930, toen de kwantumfysica van straling en materie tot stand kwam.

De 25^{ste} Solvayraad : "de Kwantum Wereld, the Quantum World"



25th Solvay Conference on Physics
"The Theory of the Quantum World"
Chair: David Gross
19-22 October 2011
By invitation only

Opening Session
Wednesday 19 October 2011 (morning)
By invitation only

Ter gelegenheid van het jubileum wordt er in Brussel van 19 tot 22 oktober een **uitzonderlijke**

Solvayraad gehouden met als titel "*The Theory of the Quantum World*". Kwantumfysica is immers de rode draad doorheen tal van de vorige 24 Solvay Raden.



De Solvayraad 2011 wordt nog steeds volgens het unieke "Solvay stramien" georganiseerd: de deelname is enkel op uitnodiging en de nadruk ligt op discussie tussen de aanwezigen, niet op individuele presentaties zoals op andere conferenties.

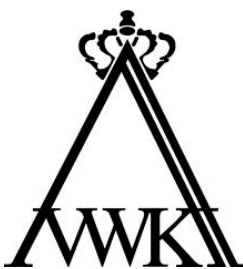
Kwantumtheorie en zijn toepassingen : voor iedereen?



Hoewel de kwantumtheorie bij een eerste kennismaking als esoterisch overkomt, vormt deze discipline een belangrijke wetenschappelijke hoeksteen van onze technologische samenleving: x-stralen, suprageleiding, kernenergie, micro- en nano-elektronica, fotonica en lasertechnologie, medische beeldvorming, informatie- en communicatietechnologie, enz. zijn allemaal toepassingen van de kwantumfysica!

De Solvay Instituten wensen dit duidelijk te maken voor een breed publiek en hebben daarom de **tentoonstelling "Brainstormen in Brussel"**

georganiseerd.



Tussen 14 oktober en 21 december 2011 zal deze tentoonstelling te bezichtigen zijn in het Paleis der Academiën te Brussel, omwille van zijn prestige en de prachtige ligging. In 2012 zal ze door de andere provincies van België reizen.

De tentoonstelling richt zich tot een breed publiek, en in het bijzonder tot de jongeren. De teksten zijn opgesteld met als doelgroep de derde graad van het secundair onderwijs (16 tot 18 jaar).

Doelstellingen van de tentoonstelling

De tentoonstelling heeft als doel duidelijk te maken dat de Solvayraden, in het bijzonder deze van 1911 tot en met 1930, een cruciale rol hebben gespeeld in de ontwikkeling van revolutionaire inzichten in de wereld die ons omringt.

Ze schetst de geboorte en de ontwikkeling van de kwantumtheorie, en de impact ervan op de hedendaagse wereld - zowel op ons denken als op ons doen. Geplaatst in een maatschappelijke context wil ze ook tonen dat wetenschappelijk onderzoek een boeiend verloop kent, met verwondering en avontuur, overwinningen en nederlagen, passies en conflicten. Maar vooral toch ook de voldoening en het plezier van het zoeken en het vinden.

Scenario van de tentoonstelling

1. Impuls.

Situering



Je hoeft maar even om je heen te kijken om te beseffen dat onze wereld gevuld is met toepassingen van de **kwantumfysica**. De Solvayraden hebben een cruciale rol gespeeld bij het ontstaan van deze theorie in het begin van de 20^{ste} eeuw. De wijze waarop men toen wetenschap bedreef was

heel anders dan nu! Wetenschappers hadden toen veel minder gelegenheid om hun resultaten aan collega's voor te stellen, en ze te vergelijken met deze van andere experts tijdens conferenties zoals deze vandaag bestaan.

Op aandringen van de Duitse fysico-chemicus Walther Nernst (Nobelprijs 1920), en met de steun van de Nederlandse fysicus Hendrik Antoon Lorentz (Nobel prijs 1902), organiseerde de rijke en

vooruitstrevende Belgische ondernemer Ernest Solvay de allereerste Solvayraad in oktober 1911, te Brussel. Een twintigtal topwetenschappers uit die tijd – waarvan 11 reeds Nobellaureaat zijn of het later zullen worden – gingen in op de uitnodiging van Ernest Solvay. Zij werden rijkelijk ontvangen en hielden hun vergaderingen in het Hotel Métropole in Brussel. De officiële foto van deze bijeenkomst heeft sindsdien een mythisch karakter vergaard.

2. Determinisme

De triomf van de klassieke fysica, universeel en deterministisch



Op het einde van de 19^{de} eeuw waren de wetenschappers ervan overtuigd dat de klassieke mechanica van **Sir Isaac Newton** (1643 – 1727) en het elektromagnetisme van **James Clerk Maxwell** (1831-1879) alle natuurverschijnselen konden beschrijven en verklaren.



Welke zijn hun essentiële kenmerken ?

De klassieke mechanica en het elektromagnetisme zijn **deterministisch**. Men kon bijvoorbeeld met grote nauwkeurigheid de baan van de planeten rond de zon voorspellen. Men verstond en beheerste de productie van elektrische stroom door de verandering van de flux van de magnetische inductie (principe van de elektrische motor).

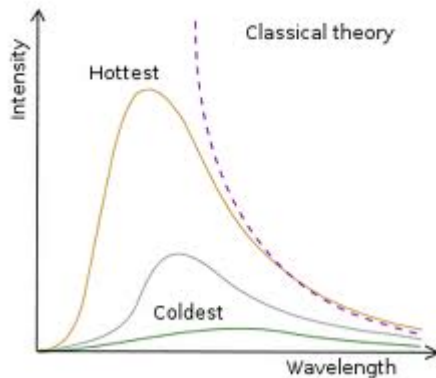
Deze wetten zijn ook universeel. Men kon bijvoorbeeld met de wetten van Newton zowel de botsing van twee biljartballen, als de baan van een gegeven planeet rond de zon, als deze van een elektron in een gegeven elektrisch of magnetisch veld beschrijven. Anderzijds wist men toen al dat de wetten van de optica, de elektriciteit, het magnetisme en van alle vormen van elektromagnetische straling hun oorsprong vonden in de vergelijkingen van Maxwell. Zo was men in staat om aan te tonen dat zichtbaar licht – zoals alle andere elektromagnetische fenomenen – zich moest gedragen als een golf, naar analogie met de golven die kunnen ontstaan aan een wateroppervlak.

3. Donkere wolken

Wetenschappelijke zelfzekerheden wankelen

Op het einde van de 19^{de} en het begin van de 20^{ste} eeuw werden enkele fysici en chemici geconfronteerd met **experimentele resultaten** die men met de bovenvermelde klassieke theorieën niet kon verklaren. Tussen de vele voorbeelden die men zou kunnen citeren, worden er drie toegelicht en gedemonstreerd :

1. Het gedrag van elektromagnetische straling uitgezonden door een **zwart lichaam**. Een zwart lichaam is een voorwerp dat alle straling die erop valt absorbeert en waarvan de



uitgezonden straling enkel van zijn temperatuur afhangt. De klassieke theorie voorspelt dat een zwart lichaam straling uitzendt – een golf – waarvan de energie toeneemt met het kwadraat van zijn frequentie. Deze **UV-catastrofe** zoals Ehrenfest het noemde, betekent dat

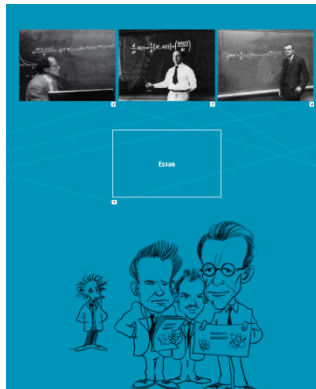
de straling uitgezonden door gelijk welk zwart lichaam dodelijk is voor gelijk welk levend wezen op aarde. Dit is natuurlijk onzin, zoals we allemaal zelf kunnen vaststellen!

2. De **lijnspectra** van atomen. Deze spectra konden toen niet begrepen worden omdat men niet beschikte over een geschikt model van **het atoom**.
3. Het fenomeen van de **radioactiviteit** waarvoor Henri Becquerel en Pierre en Marie Curie de Nobelprijs hebben ontvangen in 1903. Dit fenomeen kon toen niet verklaard worden omdat men niet beschikte over een geschikt model van **de kern** van een atoom.

Deze verschijnselen stelden enkele fysici dus voor een raadsel, aangezien de bestaande theorieën ontoereikend waren! Zowel Max Planck als Albert Einstein vonden elk een verschillend model uit om het merkwaardige gedrag van licht te kunnen begrijpen. Max Planck voerde – met veel tegenzin – het begrip **“kwantum van energie”** in. Albert Einstein opperde het idee dat licht bestaat uit een bundel van deeltjes – die veel later (in 1926) – «fotonen» zullen worden genoemd. Maar deze nieuwe begrippen werden niet op gejuich onthaald, en werden zelfs verworpen door de meerderheid van hun collega's. Voor de grote Nederlandse fysicus Hendrik Antoon Lorentz was de **toestand van de fysica in het begin van de 20ste eeuw «dramatisch»**.

4. Revolutie!

De kwantumrevolutie en de geboorte van een nieuwe fysica



De Solvayraden hebben een cruciale bijdrage geleverd aan de kwantumrevolutie en de nieuwe inzichten in de aard van straling en materie. Tussen 1911 en 1930 heeft Ernest Solvay en na 1911 het Instituut dat hij heeft opgericht, zes keer de grootste fysici van die tijd uitgenodigd op een Solvayraad in Brussel. Op deze vergaderingen werden talrijke nieuwe begrippen aangekondigd, besproken en soms opgehelderd.

De Raad van 1911 heeft de wetenschappelijke wereld doen aanvaarden dat het revolutionaire concept van «**kwantum van energie**» heel belangrijk was, hoewel het nog niet volledig werd begrepen.

De structuur van het atoom, steunend op de modellen van J.J. Thomson, Rutherford en Bohr, werd uitgebreid besproken tijdens de Raden van **1913 en 1921**. Het is ook tijdens de Raad van 1921 dat de Britse fysicus Ernest Rutherford het bestaan van een nieuw deeltje, **later het neutron genoemd**, voorspelde.

Na de eerste wereldoorlog werden er in **1921 en 1924** twee Raden georganiseerd, die vooral gekenmerkt werden door de afwezigheid van de Duitse wetenschappers. Het zijn Solvay en Lorentz die, door hun openheid van geest en hun persoonlijke contacten, erin geslaagd zijn om na 1924 de grenzen opnieuw open te stellen voor internationale samenwerking.

In **1923** bevestigde de Amerikaan Arthur H. Compton experimenteel **het schizofrene karakter van het licht**, dat zich naargelang de omstandigheden gedraagt als een golf (zoals voorspeld door de klassieke theorie van Maxwell) of als een bundel van deeltjes («kwanta van licht» zoals voorgesteld door Einstein). Louis de Broglie postuleerde in **1924** dat dit **ook moet gelden voor het elektron**.

In 1925 formuleerde **Wolfgang Pauli** zijn **uitsluitingsprincipe**, een fundamenteel werktuig om de tabel van Mendeleev te begrijpen. In **1925** ontdekte men bovendien ook **de spin van het elektron**, een zoveelste mijlpaal in de ontwikkeling van de kwantumfysica. **De ontdekking van de spin heeft toegelaten de**

meest gekende vormen van magnetisme te begrijpen. Ferro en paramagnetisme zijn zuiver kwantumeffecten.

Maar hoe kan men de «deeltje-golf» dualiteit interpreteren? Deze vraag staat centraal in alle discussies die plaatsgrijpen tijdens de Raad van **1927**.

Voor Louis de Broglie wordt elk deeltje vergezeld door een «pilotgolf», die het deeltje als het ware «leidt». Dat is ook Einstein's idee. Voor Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg en Max Born daarentegen moet de toestand van het deeltje wiskundig beschreven worden door een «**waarschijnlijkheidsgolf**». Met deze golf kan men exact de kans te berekenen om het deeltje op een bepaald tijdstip op een bepaalde plaats in de ruimte te vinden.

Maar deze interpretatie staat mijlenver van het determinisme van de klassieke fysica! Vele fysici van die tijd hebben het moeilijk met deze «onzekerheid». Het is een ware revolutie in de beschrijving van de materie op atomaire schaal. Het planetair model van het atoom waarbij het elektron als een planeet rond de kern draait, *moet* opgegeven worden.

Het is ook in **1927** dat **Werner Heisenberg** een fundamentele eigenschap van de kwantumfysica formuleerde: het «**onzekerheidsprincipe**». Heisenberg stelde dat het onmogelijk is om *terzelfdertijd* de snelheid en de plaats van een deeltje *exact* te bepalen; Deze problematiek met betrekking tot de *meting* van een eigenschap is vandaag nog steeds heel actueel!

Tenslotte werd in **1928** de **kwantumtheorie van het elektron** in zijn definitieve vorm gegoten, dankzij het werk van **Paul A.M. Dirac**. Hij voorspelde hierbij meteen ook het bestaan van het **anti-elektron** - het «**positron**».

Een opmerkelijk feit is dat de heren Pauli, Heisenberg en Dirac nog geen 30 jaar oud zijn op het ogenblik van hun grote ontdekkingen. Zij waren jonge ontdekkingsreizigers op zoek naar de kwantumrealiteit, net zoals er vandaag nog velen aan het werk zijn.

5. Balans

Welke zijn de essentiële verschillen tussen de kwantumfysica en de klassieke fysica?



De kwantumfysica biedt de mogelijkheid om de microscopische eigenschappen van de materie, en de interactie ervan met straling, correct te beschrijven. Dankzij deze nieuwe

theorie zijn de meeste mysteries waarvan sprake in het derde luik van deze tentoonstelling opgehelderd. Maar de kwantumfysica heeft de laatste decennia andere conceptuele mysteries voortgebracht, zoals bijvoorbeeld «de kat van Schrödinger», verstrengelde toestanden, ogenblikkelijke actie op afstand en kwantumteleportatie. Deze houden vele wetenschappers tot op de dag van vandaag nog bezig. Maar telkens men experimenteel probeert aan te tonen dat de kwantumfysica een verkeerde voorspelling maakt, krijgt zij keer op keer gelijk!

6. Vuurwerk

Een vuurwerk van toepassingen

De nieuwe fysica geeft vanaf de jaren 1950 aanleiding tot



honderden nieuwe toepassingen. Deze toepassingen hebben onze levenswijze en onze visie op de wereld grondig veranderd.

Dit wordt aangetoond in verschillende maatschappelijke gebieden zoals o.a. de informatie- en communicatietechnologie, de gezondheidszorg, de energieproductie en de vrijetijdsbesteding.

7. Het wetenschapsbedrijf

Wetenschap en Maatschappij

In de epiloog van deze tentoonstelling wordt er een andere blik op de wetenschap geworpen. Er wordt geschetst welke evolutie het wetenschappelijk gebeuren de laatste 100 jaar heeft doorgemaakt.

OPBOUW VAN DE TENTOONSTELLING

De tentoonstelling is opgebouwd uit 7 zones en beslaat een oppervlakte van ca. 350m².

Ze omvat

- Vijftig panelen
- Zeventien experimenten
- Negen multimediaschermen
- Zes toonkasten
- Interactieve quiz op iPod

Experimenten

Determinisme

- Deterministisch gedrag: de knikkerpiste
 - De baan van een knikker wordt volledig door de begintoestand bepaald.
- Kenmerken van golven:
 - watergolf-machine: de golflengte is de afstand tussen twee toppen.
 - vibrerende koorden : verband tussen de frequentie van een trilling en de golflengte.
- Elektrische ladingen: opwekken van vonken
 - Vonken worden gevormd door een stroom elektrische ladingen.
- Verband tussen elektriciteit en magnetisme:magnetische inductie
 - Door een elektrische geleider in het veld van een magneet te roteren, ontstaat een elektrische stroom in de geleider.
- Interferentie van watergolven: rimpeltank
 - Watergolven die een in punt samenkomen kunnen elkaar versterken of uitdoven.
- Interferentie van licht
 - Eénkleurige lichtbundels die in een punt samenkomen kunnen elkaar versterken of uitdoven

Donkere Wolken.

- Straling van een zwart lichaam
 - De kleur van de straling die een voorwerp uitzendt, wordt door temperatuur ervan bepaald.
- Spectrum van het waterstofwaterstof
 - Waterstoflicht wordt door een diffractierooster in vier lijnen gesplitst.
- Radioactieve straling
 - Alfa- en bètastralen worden door verschillende materialen verschillend geabsorbeerd, maar alfastralen altijd meer dan bètastralen.

Revolutie!

- Deeltjeskarakter van licht: foto-elektrisch effect
 - Blauw licht kan elektronen uit een metalen losslaan waardoor een elektrisch stroompje ontstaat; rood licht kan dat niet.
- Golfkarakter van het elektron
 - Een elektronenbundel die ingestraald wordt op een kristalpoeder, vormt op een fluorescerend scherm een interferentiepatroon.
- Golfkarakter van licht
 - Laserlicht dat doorheen een draaiend diffractierooster valt vormt hetzelfde interferentiepatroon als elektronen die een doorheen kristalpoeder gaan.
- Dualistisch karakter van licht experiment van Taylor

- Fotonen worden één voor één op een dubbele spleet gestuurd. Het aanvankelijke deeltjespatroon verandert geleidelijk in een interferentiepatroon.
- Deeltjeskarakter van het elektron
 - Afbuiging van elektronen in een elektrisch veld.

Balans

- Stationaire golven op een cirkel
 - Het golfkarakter van een elektron verklaart waarom elektronenbanen in het Bohr atoom van elkaar gescheiden zijn.
- Spectrum van helium
 - Het experimentele spectrum van helium wordt vergeleken met het door de kwantummechanica berekende spectrum.

Filmfragmenten en simulaties

Determinisme

- Deeltjeskarakter van een elektron
 - Elektronen laten een molentje draaien en duwen het vooruit.

Donkere wolken

- Probleem van de zwarte straler
 - Simulatie straling van zwart lichaam als functie van de temperatuur.
- Probleem van de radioactiviteit
 - Alfa-, bèta- en gammastraling in een elektrisch veld.

Revolutie!

- Deeltjeskarakter van licht
 - Mechanische analogie van het foto-elektrisch effect.
- De Solvyaraad van 1927
 - De grondleggers van kwantummechanica.

Balans

- Paradoxen van de kwantummechanica: kat van Schrödinger
 - Fragment uit *Big Bang Theory*.

Vuurwerk

- Energie en transport
 - De maglev trein.
- Beeldvorming
 - Inzoomen op een verkeerslicht tot op nanoschaal.
- Geneeskunde
 - De PET scanner.



Interactieve quiz

Het Expertisecentrum voor Digitale Media van UHasselt (EDM) realiseerde een mobiele interactieve quiz die bezoekers stimuleert om de tentoonstelling met veel aandacht te beleven. Benieuwd naar je behaalde score? Scores van elke individuele deelnemer worden (desgewenst) op een scorebord getoond.

CONCEPTIE EN REALISATIE

Een team van vorsers van de Vrije Universiteit Brussel (VUB) en van de Université Libre de Bruxelles (ULB), bijgestaan door leraars van het secundair onderwijs en ondersteund door administratief en technisch personeel van deze universiteiten en van de Internationale Solvay Instituten hebben het concept van de tentoonstelling bedacht en de inhoud ervan vastgelegd. Het team werd geadviseerd door experts uit eigen en andere universiteiten.

Algemene coördinatie: Henri Eisendrath, VUB
Adjunct algemene coördinatie: Jean Wallenborn, ULB
Hoofredactie: Gaston Moens, VUB,
Conceptuele medewerkers: Sophie Allein, KA Etterbeek, Alex Borgoo, VUB, Eduard Brainis ULB, Werner Coomans, VUB, Henk Foriers, VUB, Jan Heyninck, VUB, Caroline Verhoeven, ULB

Interactieve quiz : EDM, UHasselt

Scenografie en grafisme : Trinome

Minigids : Irina Veretennicoff, VUB

Organisatie : Internationale Instituten voor Fysica en Chemie SOLVAY
www.solvayinstitutes.be

Contact

Professor Emeritus Henri Eisendrath
Vrije Universiteit Brussel
Faculteit Wetenschappen
Pleinlaan, 2 – 1050 Brussel
@: heisendr@vub.ac.be
Tel: 02 629 34 58

Secretariaat
Mevrouw D. Bogaerts
International Solvay Institutes
ULB-Campus de la Plaine, CP 231
1050 Brussel
@ : exhibition@solvayinstitutes.be

