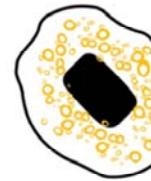
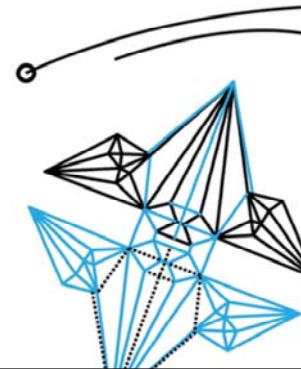


UNIVERSITEIT TWENTE.




NIEMAND BEGRIJPT DE QUANTUMMECHANICA?!
OVER DIDAKTIEK EN WERKVORMEN VOOR BEGRIP



CSG HET NOORDIK

vrobo • havo • vbo • gymnasium





INTRODUCTIE

- Even voorstellen:
 - Aernout: leskoffer
 - Kim: promotieonderzoek
- Nieuwe Natuurkunde – Quantumwereld
 - Ervaring/Didactiek/Practica/Valkuilen?

UNIVERSITEIT TWENTE.

2

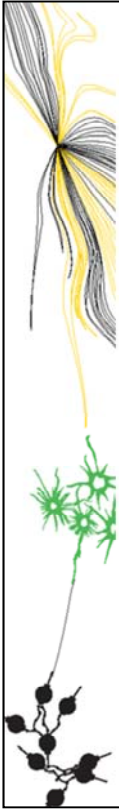
Kort voorstellen:

- Aernout – Quantumkoffer, docent Komrij, ervaring NLT-QM
- Kim – Promotieonderzoek, docent Noordik, ervaring NLT-QM

NiNa - QM verplicht, maar hoe?

- Onderwerpen
- Ervaringen
- Aanpak

Geen “perfecte manier” maar een overzicht van tools en tips...




QUANTUMKOFFER

- Subsidie uit universitaire sectorplangelden voor landelijke promotieactiviteiten natuur- en scheikunde 2014
- Budget
- Samenwerking Universiteit Twente, RUG en TU-Delft

UNIVERSITEIT TWENTE.

3



PROMOTIEONDERZOEK
BEGRIPSVORMING VAN QM-BEGRIPPEN BIJ MIDDELBARE SCHOLIEREN

- Delphistudie: de mening van experts
- Onderzoek naar begripsvorming
- Experimentele lessenseries
- Definitief lesprogramma

UNIVERSITEIT TWENTE.


4

Nu bezig met:

- Delphistudie - wat vinden experts belangrijk om te onderwijzen?
- Literatuuronderzoek - wat is er al onderzocht?

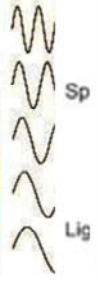
Hierna:

- Begripsvorming bij NL leerlingen
- Testen welke aanpak werkt met experimentele lessenseries
- Definitief lesprogramma

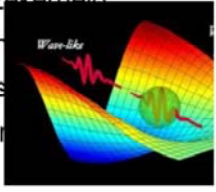


QM BEGRIPPEN

EEN GLOBAAL OVERZICHT




- Golf/deeltje-dualiteit
- Golfvergelijking
- Atoombouw
- Onzekerheid
- Spin
- Vers
- Inter



Sp

Lig



Schrödinger (1926)
(electron cloud model)

UNIVERSITEIT TWENTE.

5

Kort overzicht onderwerpen:

1. Golf/deeltje-dualiteit.

- Kleine deeltjes gedragen zich als deeltjes EN als golven.
- Zat voor een deel al in oude examenprogramma.

2. De golfvergelijking.

- Schrödinger
- Oneindige potentiaalput
- Waterstofatoom

3. Atoombouw.

- Historisch vs loskoppelen van klassiek.
- Golfvergelijking: energieniveaus, positie elektron.

4. Onzekerheid

- Onzekerheid in plaats / impuls
- Ineenstorting golf functie

5. Spin/polarisatie

- Niet in examenprogramma
- Belangrijk in actueel onderzoek

6. Verstregeling

- Informatie op afstand

7. Interpretatie

- Wat je uitlegt is vaak interpretatie
- Ook bij experts zeer verschillende visies op QM

GOLF/DEELTJE-DUALITEIT


BEGRIPPEN

Examenprogramma

- Rekenen met de de Broglie golflengte
- Fotoëlektrisch effect als bewijs voor quantisatie
- Dubbelspleet experiment beschrijven/uitleggen

Overig

- UV-catastrofe
- Elektronendiffractie




UNIVERSITEIT TWENTE.

6

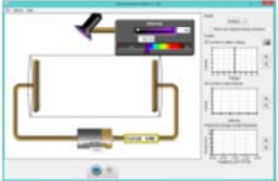

Eerst kort punten langslopen

- Moeilijk om elektron voor te stellen als golf
- Nog moeilijker om foton voor te stellen als deeltje (vaak golvend deeltje)
- v beïnvloedt golflengte ook!
- Discussie over fotoëlektrisch effect. Leerlingen hebben moeite met het begrip foton. Begin bij elektronen!!



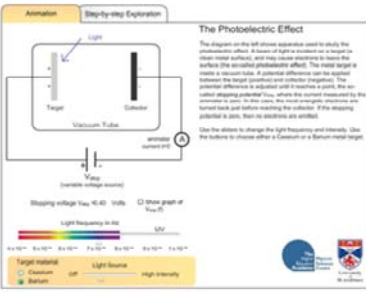
GOLF/DEELTJE-DUALITEIT SIMULATIES

PhET
<https://phet.colorado.edu/>

UNIVERSITEIT TWENTE.

St. Andrews
<http://www.st-andrews.ac.uk/physics/quvis/>



7

PhET

- Je ziet de elektronen, voordeel boven practicum met remspanning
- Losse fotonen creëren een golf en komen als punt op scherm

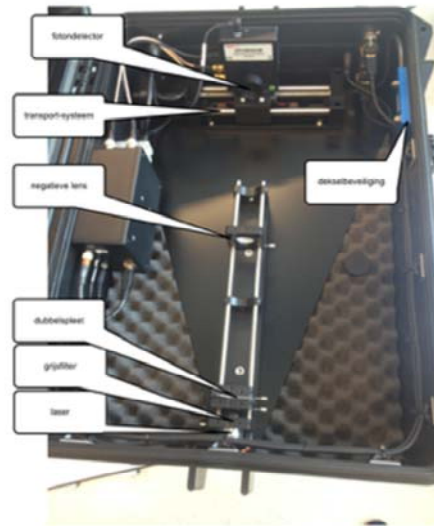
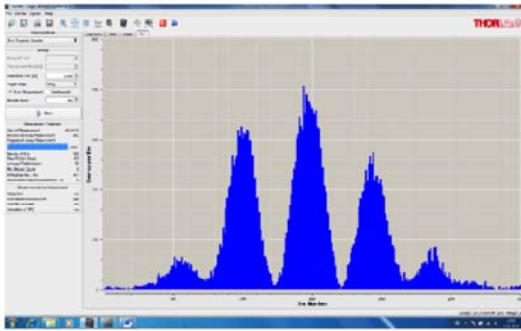
St. Andrews

- Gelijk aan practicum met remspanning

7

GOLF/DEELTJE-DUALITEIT

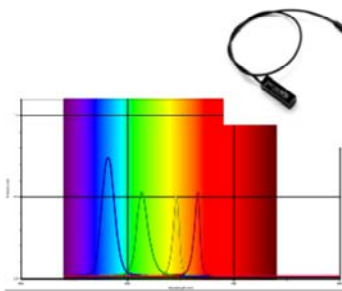
DUBBELSPLEETEXPERIMENT



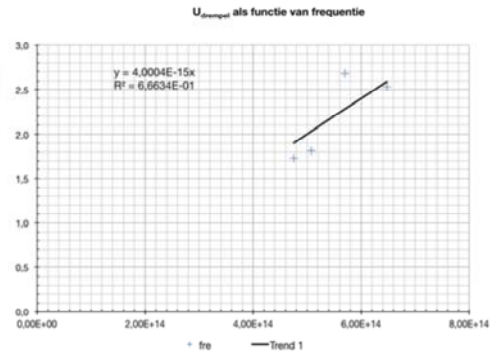
UNIVERSITEIT TWENTE.

GOLF/DEELTJE-DUALITEIT

PLANCK CONSTANTE MET LED'S



UNIVERSITEIT TWENTE.



GOLFVERGELIJKING

BEGRIPPEN

Examenprogramma

- Rekenen aan een één-dimensionale potentiaalput
- Tunneling (alfaverval/STM)

Overig

- Schrödinger vergelijking
- Kansdichtheid - $|\psi^2|$

UNIVERSITEIT TWENTE.

10


Per punt opmerkingen:

1D potentiaalput

- Leerlingen snappen niet wat er weergegeven wordt, kunnen dit niet koppelen aan werkelijkheid - Golf + energieniveau in één.
- Leerlingen snappen niet wat de potentiaal weergeeft.
- Leerlingen hebben moeite met de invloed van metingen op de golffunctie.

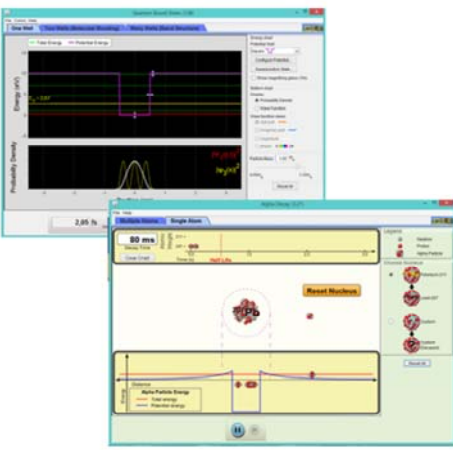
Tunneling

- Leerlingen denken dat er bij tunneling energieverlies is

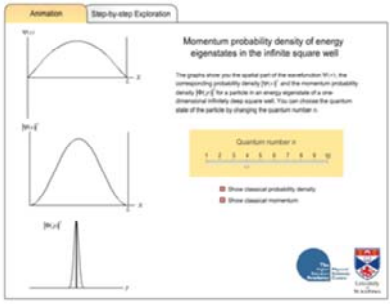


GOLFVERGELIJKING SIMULATIES

PhET



St. Andrews



UNIVERSITEIT TWENTE.

11

PhET

- Mooie weergave van verschillende “putten” en bijbehorende golffuncties, ook mooi richting het waterstofatoom
- Halveringstijd. Koppeling tussen verval en tunneling

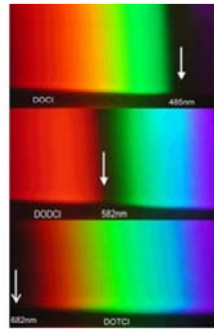
St. Andrews

- Golffunctie + kansdichtheid

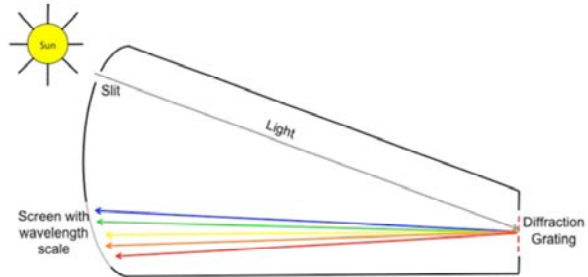
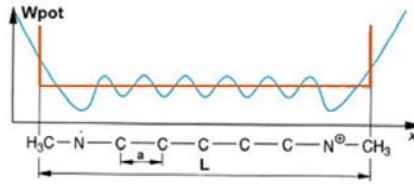



GOLFVERGELIJING/ATOOMBOWW

SPECTRA VAN KLEURSTOFMOLECULEN



UNIVERSITEIT TWENTE.





ATOOMBOW

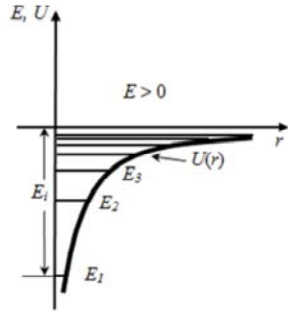
BEGRIPPEN

Examenprogramma

- (Één-dimensionale potentiaalput)
- Waterstofatoom, bohrstraal

Overig

- Uitsluitingsprincipe van Pauli
- Geschiedenis atoommodellen
- Orbitalen
- Kleuren zien
- Atoombindingen



UNIVERSITEIT TWENTE. 13

Uit onderzoek blijkt dat kunnen rekenen met QM-vergelijkingen niet leidt tot begrip (en omgekeerd) – beide aandacht geven!

Elektronenwolk voor te stellen als “Electronium”, een soort vloeistof.

Uitsluitingsprincipe van Pauli


- Spin / bosonen / fermionen

Geschiedenis van atoommodellen

- Verschil van mening of dit werkt, kan voor verwarring zorgen
- Maar: wel belangrijk voor begrip over hoe het werkt in de wetenschap en hoe modellen ontstaan?
- Leer de leerlingen dat ze in verschillende situaties verschillende modellen mogen gebruiken, maar dat ze ze niet moeten combineren.


Orbitalen/kleuren/atoombindingen

- Verband Na/Sk
- Conceptueel: orbitalen (alleen vinden leerlingen dit lastig te koppelen aan de werkelijkheid), combinaties van “doosjes” voor lagere energieniveaus

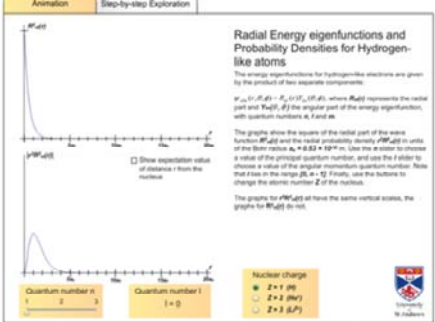


ATOOMBOW SIMULATIES

PhET



St. Andrews



UNIVERSITEIT TWENTE.

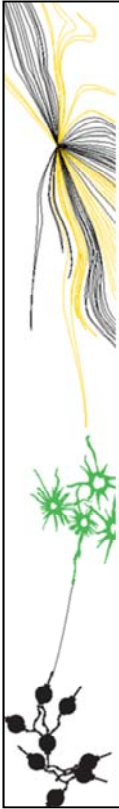
14

PhET

- Vergelijken wat verschillende atoommodellen voorspellen

St. Andrews

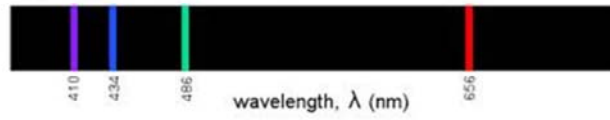
- Kansdichtheid bij waterstofatoom




ATOOMBOW

SPECTRUMLIJNEN WATERSTOFLAMP

Hydrogen Emission Spectrum



$$E_n = -\frac{13,6}{n^2}$$



ONZEKERHEID

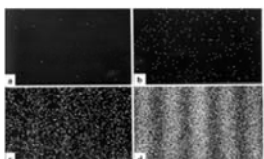
BEGRIPPEN

Examenprogramma

- **Onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg toepassen**

Overig

- Kansdichtheid - $|\psi^2|$
- Invloed van **meten**



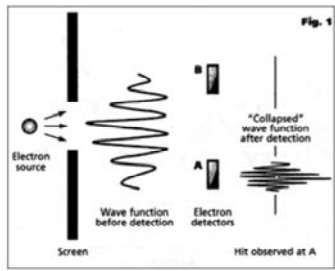


Fig. 1

UNIVERSITEIT TWENTE.

16

Misconcepties:

- Onzekerheid wordt veroorzaakt door **externe invloeden**
- Onzekerheid wordt veroorzaakt door **meetfouten**
- Onzekerheid wordt veroorzaakt door **een verstoring** (van het meten)

Leerlingen vinden het moeilijk om onzekerheid als een **interne eigenschap** van een quantumdeeltje te zien.

Geef aandacht aan de vier manieren om **kansdichtheid** te benaderen:

- Reflectie/transmissie
- Energie
- De plaats van een deeltje
- De verdeling van een groep deeltjes



ONZEKERHEID SIMULATIES

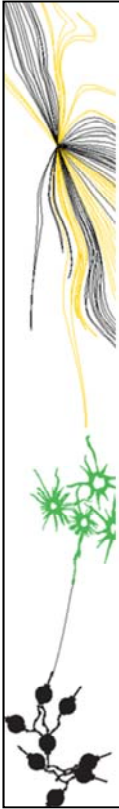
St. Andrews

Simulation **Step-by-step Explanation** quantumphysics.iop.org [University of St. Andrews](http://www.st-and.ac.uk) **IOP** Institute of Physics

Interferometer experiments with photons, particles and waves

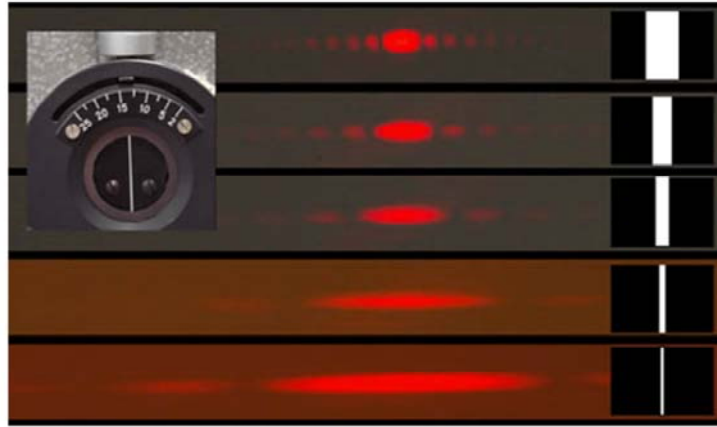
When a single photon (a quantum particle) is sent through the apparatus, the beam splitter divides the associated probability amplitude equally into both paths. The probability amplitude is reduced by a factor of $\sqrt{2}$ to preserve the total probability. The photon is shown as semi-transparent whenever it exists in this superposition state of being in both paths. Beware: the beam splitter does not divide the energy of the input photon into two photons, each with half the energy of the input – only one of the detectors will fire after absorbing the full energy of the input photon.

UNIVERSITEIT TWENTE.



ONZEKERHEID

LASER MET ENKELE SPLEET





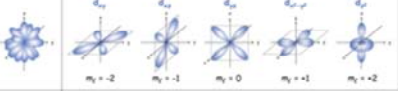




UNIVERSITEIT TWENTE.




SPIN / POLARISATIE BEGRIPPEN





- **Kwantumgetallen**
 - n : energieniveau
 - l : vorm orbitaal
 - m_l : oriëntatie orbitaal
 - m_s : spin / symmetrie

- **Uitsluitingsprincipe van Pauli**
- **Supergeleiding**
- **Quantumcomputer**

Orbitals and sub-orbitals of Bound Electrons					
$l=0$ s					
$l=1$ p					
	$m_l = -1$	$m_l = 0$	$m_l = +1$		
$l=2$ d					
	$m_l = -2$	$m_l = -1$	$m_l = 0$	$m_l = +1$	$m_l = +2$

 $\leftrightarrow |1\rangle$  $\leftrightarrow |0\rangle$

   $\leftrightarrow |0101\rangle \leftrightarrow |5\rangle$

    $\leftrightarrow |4\rangle + |5\rangle$


qubits can be in a superposition of all the classically allowed states

UNIVERSITEIT TWENTE.

19

Kwantumgetallen makkelijke start.

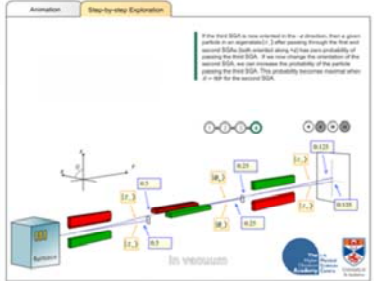
Spin belangrijk voor hedendaagse toepassingen en een compleet beeld van het atoommodel.

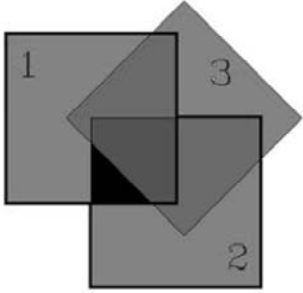


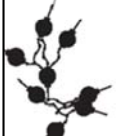
SPIN / POLARISATIE

SIMULATIE/PRACTICUM

St. Andrews







UNIVERSITEIT TWENTE.

20

Koppeling tussen spin en polarisatie kan gebruikt worden om spin concreter te maken.

VERSTRENGELING

BEGRIPPEN

- Teleportatie
- Cryptografie


Alice's bit sequence	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0
Bob's detection basis	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Bob's measurement	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Sifted key	1	-	-	1	0	0	-	1	0	0	-	1	-	0

UNIVERSITEIT TWENTE.

21


Teleportatie: onderzoek met twee kleuren licht, 1 kleur langs object, andere niet. De kleur die er niet langsging bevatte toch de informatie.

Cryptografie -> decoderingsleutel



INTERPRETATIE

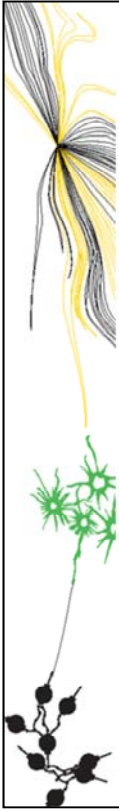
- Kopenhagen interpretatie (orthodox)
 - Voordat je meet is het elektron nergens / ineenstorting golf functie
 - Golf functie geeft kans aan - $|\Psi^2|$
- De Broglie / Bohm interpretatie (realist)
 - Het elektron was altijd al op de gemeten plek
 - Deeltje wordt "geleid" door golf functie
- De invloed van nadruk op interpretatie voor begripsvorming



UNIVERSITEIT TWENTE.

22

Als er geen aandacht aan interpretatie wordt besteedt, interpreteren de meeste leerlingen QM als realist. Willen wij dit?



TENSLOTTE

- Ondersteuning door leskoffer
- Informatie/deelname onderzoek

VRAGEN? DISCUSSIEPUNTEN?