

WAT DOEN WE ZONDER MODELLEN IN HET NATUURKUNDEONDERWIJS?

Zeger-jan Kock

Fontys Lerarenopleiding Tilburg en Fontys Engineering
TU/e Eindhoven School of Education

Presentatie voor WND 2023

Alfadeeltjes

$3.0 \times 10^{-10} \text{ m}$

Legenda

- Elektron
- Proton
- Neutron
- Alfadeeltje
- Positieve lading

Alfadeeltje

Energie

min max

Sporen

Energie balans

Bovenkant van de atmosfeer

In	Uit	Netto
↑	↓	↑

Energie

Sunlight

Infrarood

Broeikasgas concentratie

Hoog

Laag

2020

1950

1750

lijstijd

14.9 °C

Energie balans

Oppervlakte thermometer

Toon oppervlakte temperatuur

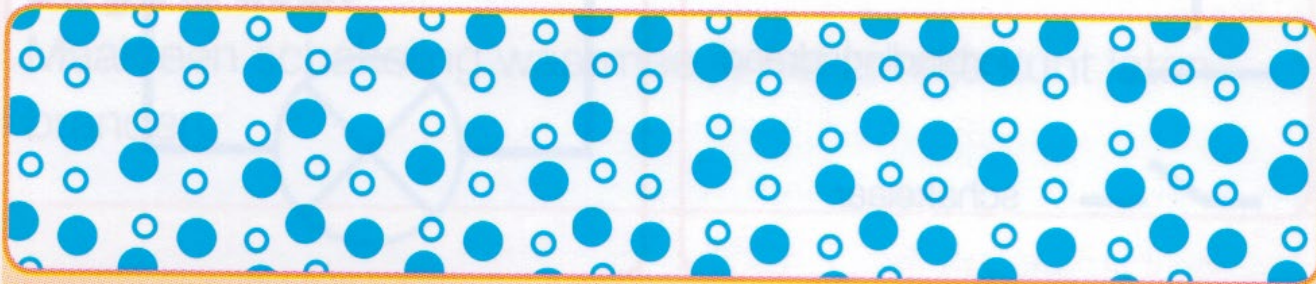


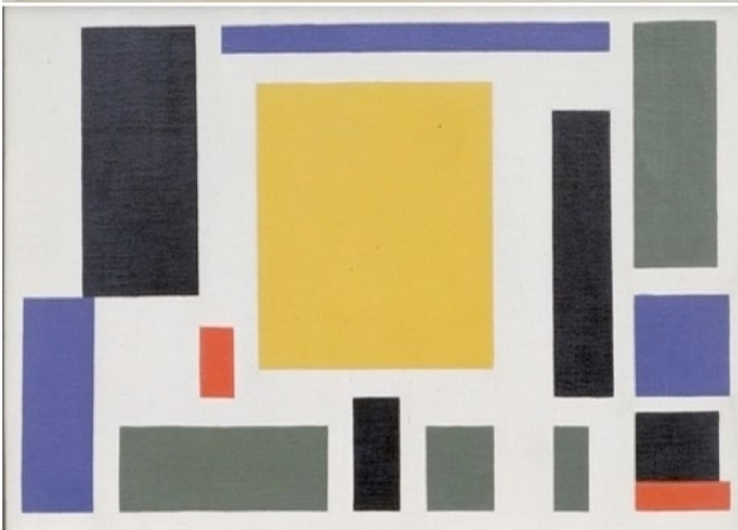
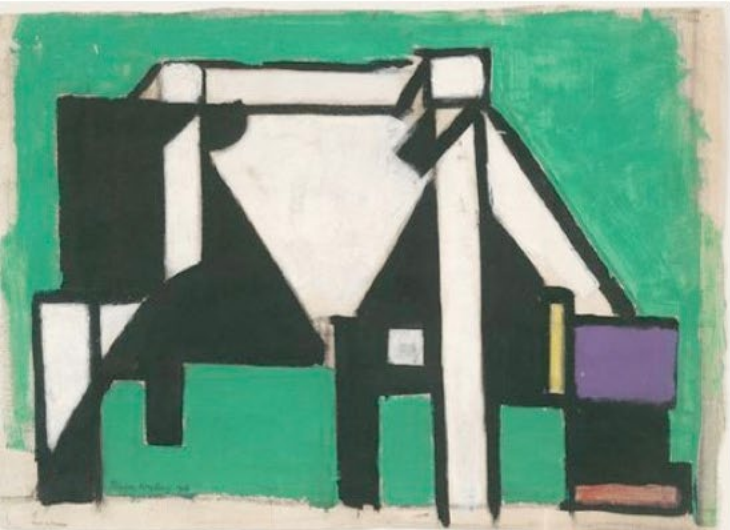
FIG 63

Elektronen (○●○) en koperdeeltjes (●●●) in een koperdraad. In werkelijkheid zijn de deeltjes veel kleiner.



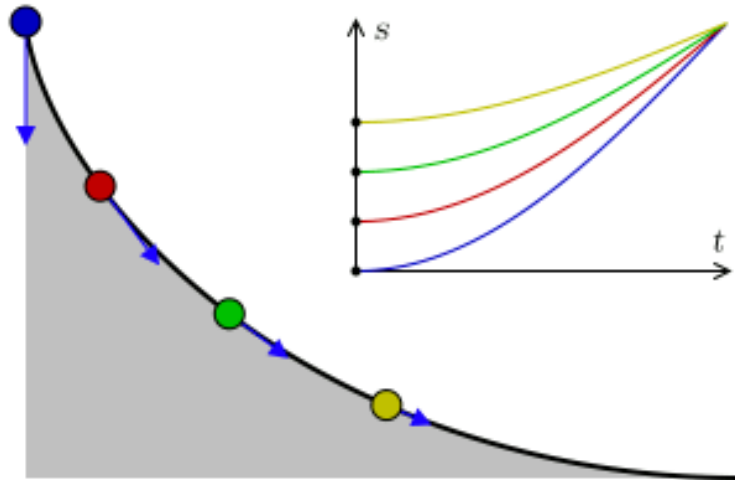
Scientists use models to represent aspects of the world for specific purposes.

(Giere, 2004, p 742)



Abstractie

Theo van Doesburg,
Compositie VIII (de
Koe); plm. 1917



NB: model klopt voor cycloïde, niet voor cirkel

Voorbeeld Idealisatie

Guidobaldo del Monte en Galileo Galileï (plm 1602)

Galileï: Ballen rollen in gelijke tijd naar beneden langs cirkelbaan

Del Monte: Experiment uitgevoerd. Klopt niet!

Galileï: Opstelling niet rond genoeg en te hobbelig

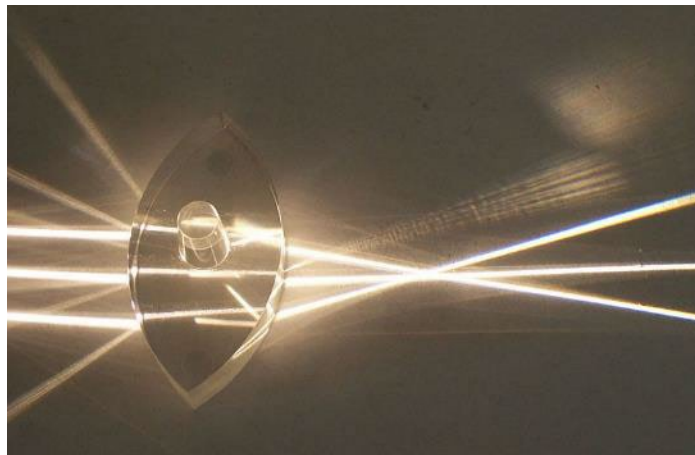
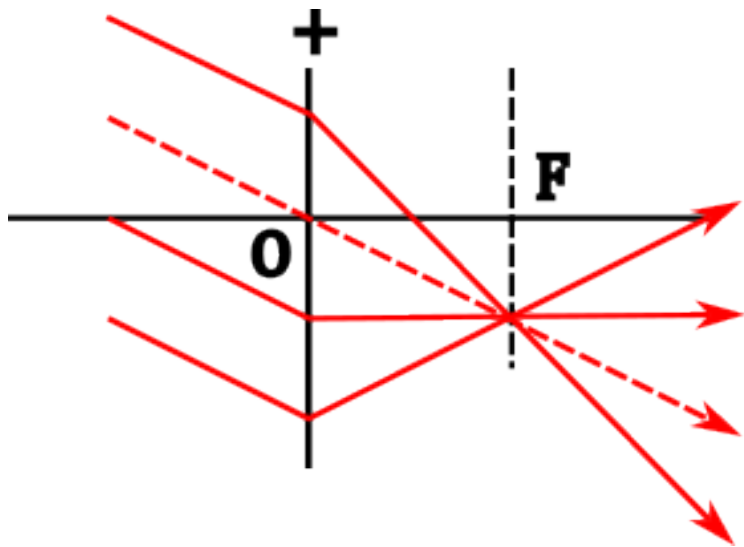
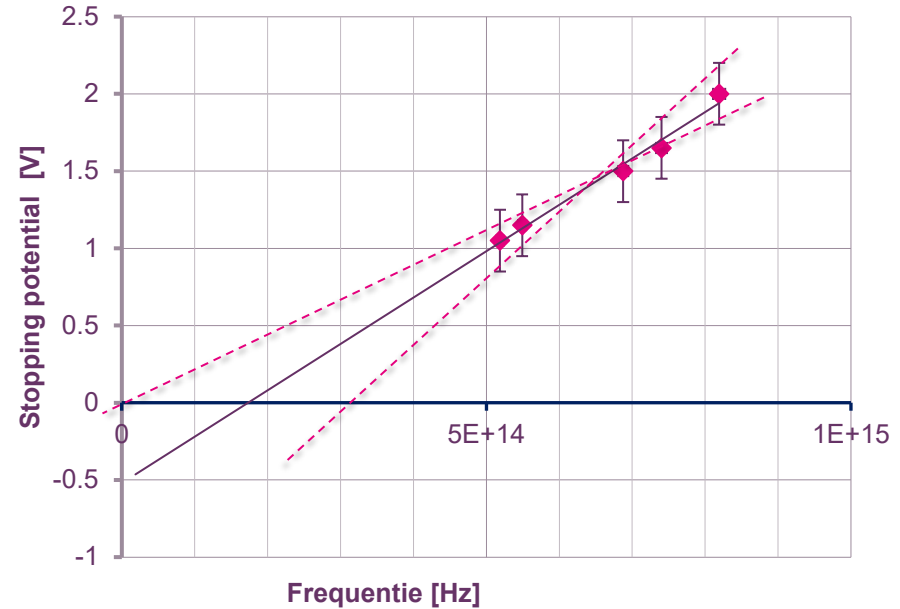
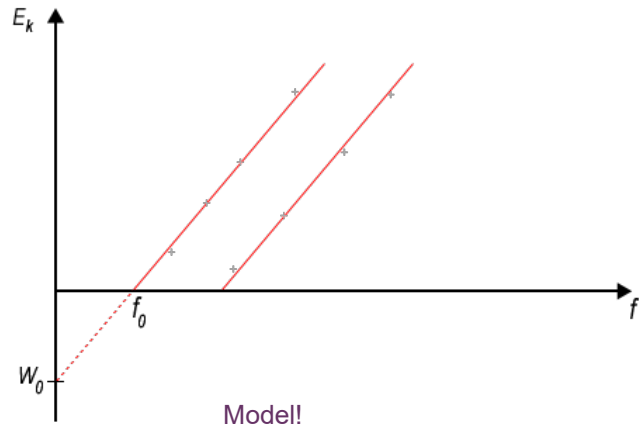
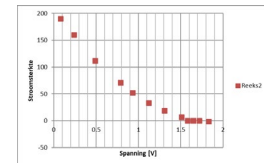


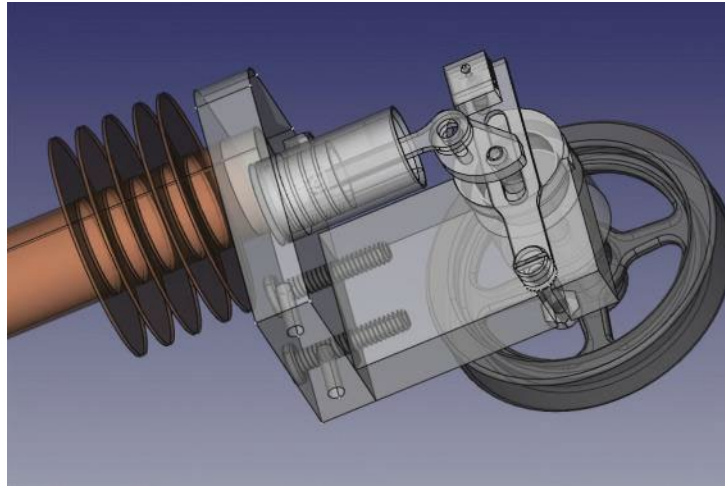
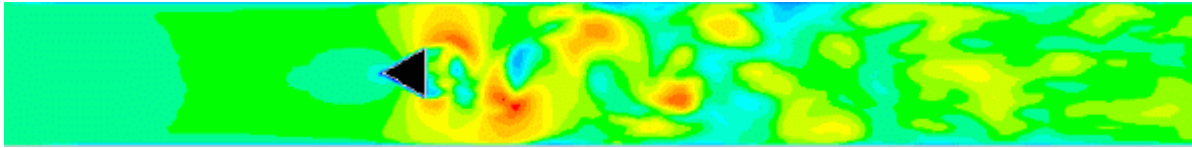
Foto-elektrisch effect (meting op school)



Volgens deze metingen: $3,5 \cdot 10^{-34} < h < 6,9 \cdot 10^{-34}$

(deel van) de echte metingen





Stretching DNA with Optical Tweezers

Bradley Holmes, Brandon Williams, Dr. Cynthia Galovich, Dr. Matthew Semak, Dr. Ruwang Sung
Department of Astronomy and Physics, University Of Northern Colorado



Abstract:

Optical tweezers are a modern day tractor beam capable of manipulating and studying the forces acting on microscopic objects. The laser is safe with biological samples; providing an non-invasive method of studying the forces acting on whole bacteria, protein coated glass beads, and more. Protein coated beads will be used to link DNA from one bead to another to study its elastic properties. One bead is firmly secured using micropipettes, while the other is manipulated using the optical tweezers. By moving the laser, this forces the DNA stretch like a spring. Our goal is to discover whether the stiffness changes with the number of base pairs, or if it remains constant regardless of the length of the DNA strand

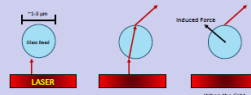
Optical Tweezers:

Optical tweezers are able to generate forces on microscopic, refractive objects by using the momentum of a laser light. Photons, the individual particles of light, are massless but they still have a momentum proportional to their wavelength given by the equation:

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Where h is Planck's constant and λ is the photon's wavelength

Laser beams are a collection of photons which travel in the same direction, therefore laser beams carry momentum as well. The optical tweezers use this property to trap objects by altering the path of the laser beam. When the laser refracts through the object, it undergoes a change in momentum. Due to the conservation of momentum a reaction force is generated, pushing the object in the opposite direction.



The incoming light has an initial momentum, light near the center of the laser is more intense. As the light refracts through the bead, its direction of motion is changed. When the light changes direction, it imparts some momentum to the glass bead.

A gradient laser intensity generates unsymmetrical forces on the object, making the total force directed towards the center of the laser beam. This inward force can be modeled as a simple harmonic oscillator providing a way to measure external forces using the position of the bead relative to the laser center. This approximation is governed by the equation:

$$F = -kx$$

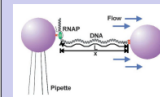
Where F is the induced force, x is the distance from the laser center, and k is the stiffness coefficient.

Using this approximation, we plan to study the stretching properties of DNA by attaching it between two refracting plastic beads.

Stretching DNA:

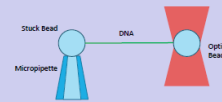
DNA is a long, elastic strand of paired nucleotides bounded by an iconic double helix backbone. These strands are stable despite their incredible length. In a typical human cell, the DNA inside the nucleus can be over a meter in length. Using DNA's ability to create interesting samples for the optical tweezers, allowing us to connect silica beads over a distance. Furthermore, proteins can be attached to the ends of DNA, letting the optical tweezers measure their mechanical properties.

For example, the transcription rate of RNA Polymerase has been studied using an optical tweezers setup ¹⁰ by attaching DNA to a glass bead and attaching the DNA to another bead coated in RNA polymerase proteins.



Stephens et al., ¹⁰
This diagram shows the setup for an experiment using RNA Polymerase (RNAP). As the RNAP processes the DNA, the tweezers record how the light bead moved over time.

The goal for the optical tweezers here at UNIC is to attempt similar experiments using protein coated beads and DNA strands. In order to attempt these experiments we will first study the elastic properties of DNA to gain experience and understand how the DNA behaves under tension.



DNA can be stretched by fixating one protein coated bead with a micropipette, and pulling on another bead with the optical tweezers. DNA will be attached to both beads using two proteins: biotin and streptavidin.

Method:

- DNA will be attached to glass beads using a method called biotinylation. Biotin is a small protein which has an extremely high affinity to streptavidin, a larger protein complex. Biotin will be attached to both the 5' and 3' ends of DNA, and streptavidin coated beads have been purchased online.
- The DNA we will use comes from the M13mp18, a widely available DNA plasmid from the M13 bacteriophage. This strand of DNA is around 7,249 base pairs long, or around 2.5 um fully stretched. The DNA will be cut using restriction enzymes.
- One bead will be fixated using a micropipette and another will be trapped using the optical tweezers. The tweezers will then stretch the DNA between the two beads and record the resulting elastic force. This process will be repeated many times to ensure accuracy.

Future Possibilities:

- This method could be used to study the binding forces between proteins. The tweezers could pull on the linked protein until the protein bond breaks, or until the DNA breaks.
- DNA Origami are folded DNA structures created using small DNA strands called staples. A variety of shapes can be created, including possible shapes which change under tension generated by the optical tweezers.
- Bacteria, organelles, and other small biological samples can be safely trapped using the optical tweezers. This allows studies on how they propel themselves and navigate their environment.

References:

- ¹⁰Stephens, John, Gijb Wolk, Robert Cardini, and Carlos Bustamante. "Single-Molecule Study of Transcriptional Pausing and Arrest by κ Cell RNA Polymerase." *Science* 287 (2000): 2479-300. Print.

Acknowledgements:

- Dr. Ann Hawkinson
- Alex Lidiak & Zachary Blocker
- Mary Grush
- Thorlabs



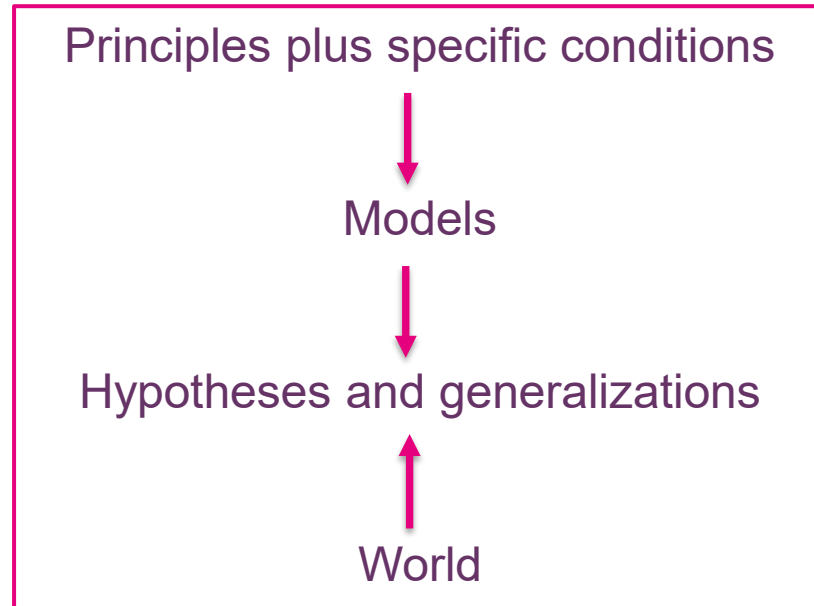


Giere (2004):

“Principles” [natuurwetten, theorieën] zeggen niet direct iets over de wereld.

Het gaat om hun functie in de constructie van modellen.

De principes helpen de structuur van modellen vorm te geven en in te perken.



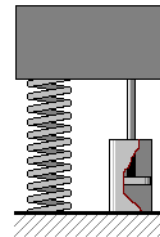
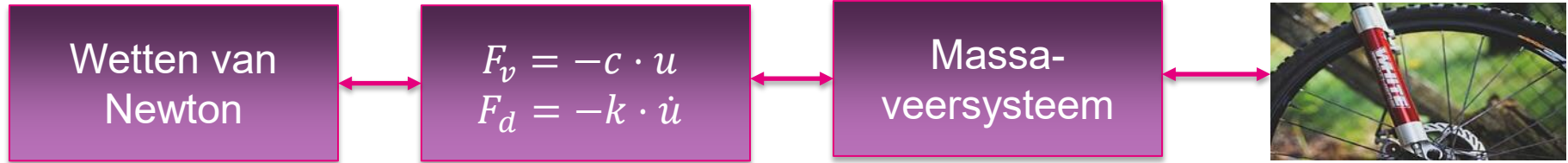
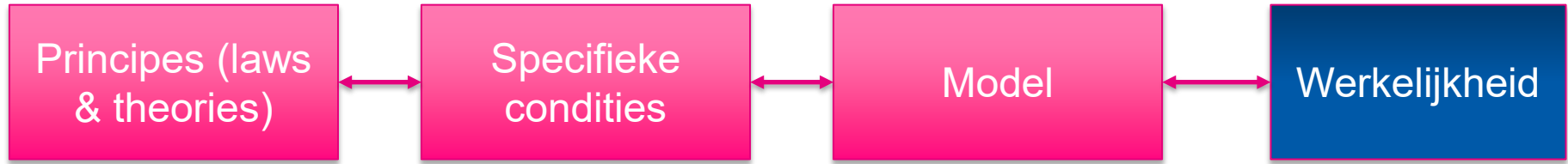
p.744


$$\vec{F} = m\vec{a}$$

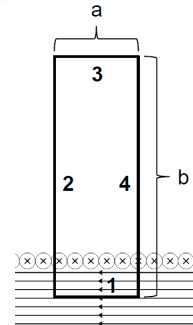
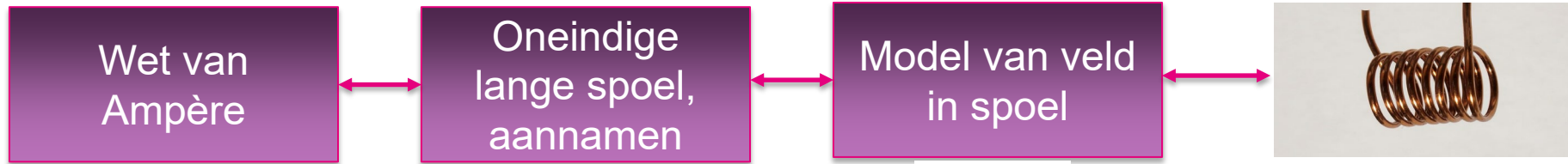
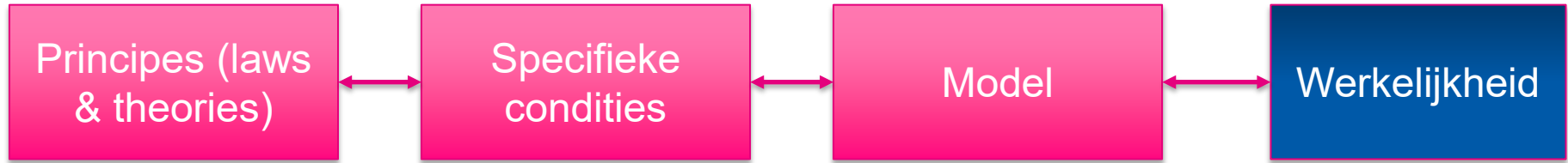
But they [Newton's Laws] do not tell us specifically what might count as a force or a mass. So we do not know where in the world to look to see whether or not the laws apply
(Giere, 2004)

“A force is a push or a pull”
(uit: boek voor IGCSE, 3^e klas)

Model-based view (1)



Model-based view (2)





Doelen

Beschrijven

Verklaren

Voorspellen

Ontwerpen

Besluiten/Adviseren

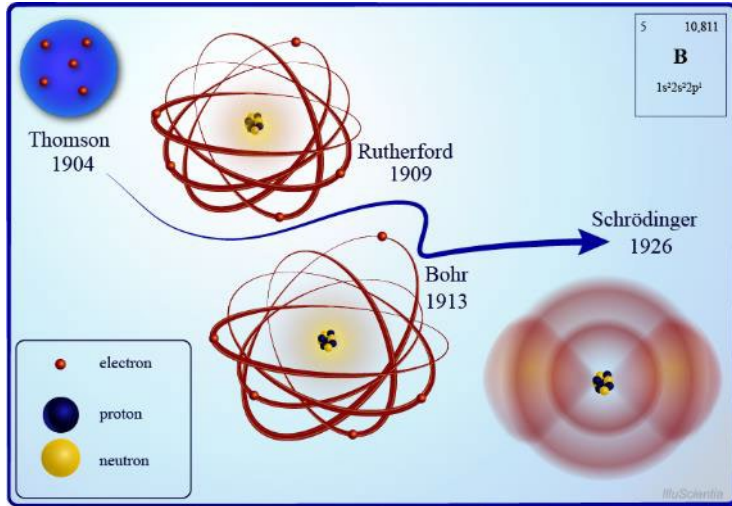
Communiceren

Sturen/Regelen



(Oh & Oh, 2011)

Ontwikkeling



Quantity of electricity

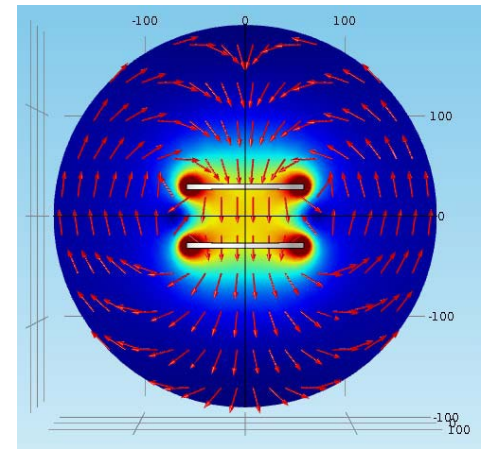
“...when a person closed a circuit by touching the knob and the outer wall of the [Leyden] jar, a **shock proved a passage through a body of a quantity of electricity**, but the jar showed no tension anymore. [...]

Here scientists employed to hydrostatic analogy in which quantity of electricity corresponded to quantity of water and tension, the hydrostatic pressure.” (Kipniss, 2009, p354)

“Multiplicity”

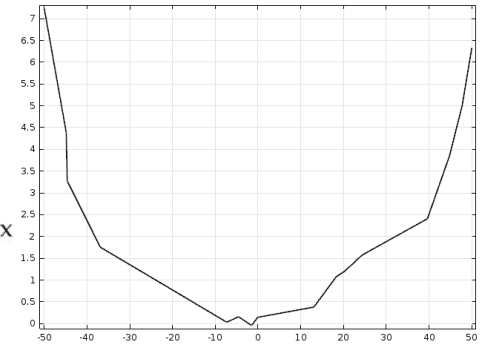
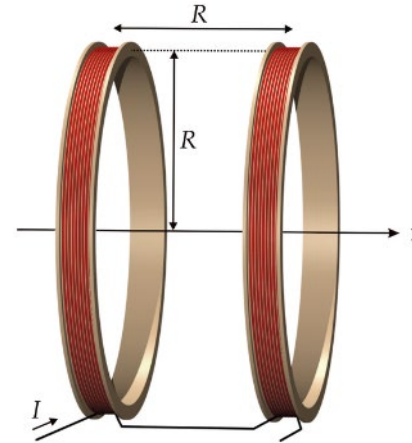
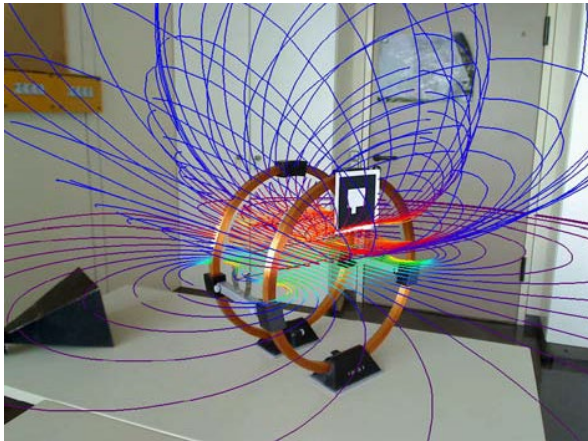
$$B(z) = \frac{\mu_0 N I R^2}{2} \left\{ \left[R^2 + \left(z + \frac{R}{2} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} + \left[R^2 + \left(z - \frac{R}{2} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} \right\} \quad (3)$$

(Baranova & Baranov, 2014)



(Baranova & Baranov, 2014)

(Buchau et al., 2009)



The inhomogeneity of the magnetic field in Helmholtz coils

(Baranova & Baranov, 2014)

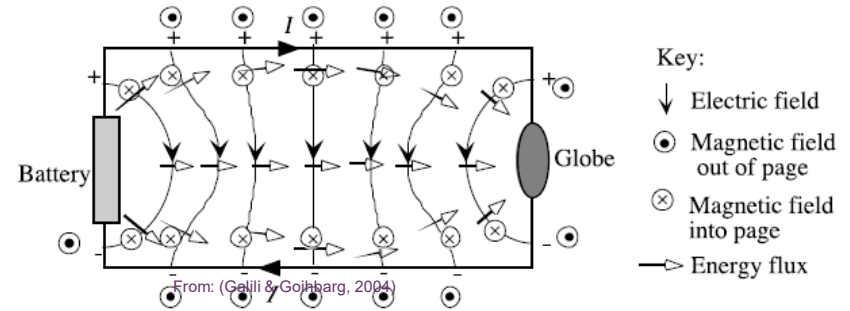
Ansgar Hellwig, [CC BY-SA 2.0 DE](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Helmholtz_coils.png), via Wikimedia Commons

Zijn sommige modellen beter dan andere?

<https://wikikids.nl/Elektriciteit>

Elektriciteit is een vorm van energie van bewegende elektronen. Dat zijn kleine deeltjes die deel uitmaken van een atoom.

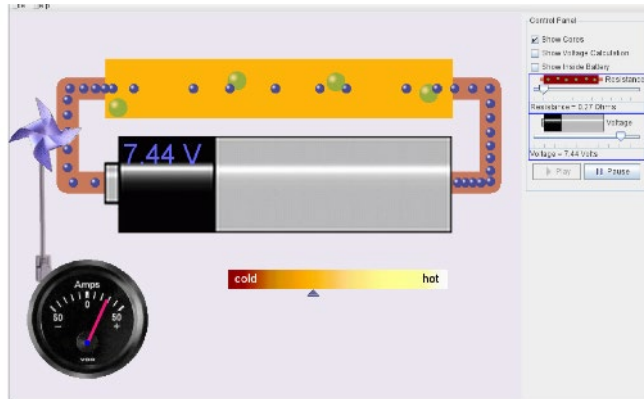
Elk elektron heeft een kleine elektrische lading. Als elektronen zich verplaatsen, komt er energie vrij. Dat is elektriciteit.



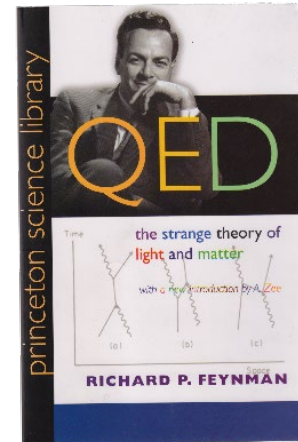
- Key:
- ↓ Electric field
 - Magnetic field out of page
 - ⊗ Magnetic field into page
 - Energy flux

Figure 7. Sketch of field directions and energy flux for the plane region enclosed by the circuit

(Sefton, 2002)



<https://phet.colorado.edu/en/simulations/battery-resistor-circuit6>





Tekstboekstudie gebruik van modellen over elektriciteit

8 criteria m.b.t. de beschrijvende tekst

- 1 Beschrijft een aspect van de wereld.
- 2 Maakt abstracties, idealisaties en simplificaties expliciet (onderscheid model en werkelijkheid)
- 3 Gebruikt een analogie
- 4 Bespreekt historische ontwikkeling van model
- 5 Verwijst naar modellen uit eerdere of latere schooljaren
- 6 Bespreekt theoretische begrippen en hun relaties
- 7 Refereert aan doel van een model.
- 8 Gebruikt verschillende modellen van hetzelfde fenomeen

8 criteria m.b.t. taken en activiteiten

- 9 Redeneren met concepten uit model
- 10 Beredeneren van verwachte uitkomst vóór een experiment
- 11 Aandacht vragen voor precisie en 'fit' van model
- 12 Model construeren of evalueren
- 13 Berekeningen uitvoeren mbv model.
- 14 Aandacht voor verschillende modellen van hetzelfde fenomeen
- 15 Model gebruiken om beslissingen te nemen, advies te geven of (technische) systemen te manipuleren
- 16 Simulaties gebruiken





Tekstboekstudie gebruik van modellen over elektriciteit

8 criteria m.b.t. de beschrijvende tekst

- 1 Beschrijft een aspect van de wereld.
- 2 **Maakt abstracties, idealisaties en simplificaties expliciet (onderscheid model en werkelijkheid)**
- 3 Gebruikt een analogie
- 4 **Bespreekt historische ontwikkeling van model**
- 5 **Verwijst naar modellen uit eerdere of latere schooljaren**
- 6 Bespreekt theoretische begrippen en hun relaties
- 7 **Refereert aan doel van een model.**
- 8 Gebruikt verschillende modellen van hetzelfde fenomeen

8 criteria m.b.t. taken en activiteiten

- 9 Redeneren met concepten uit model
- 10 Beredeneren van verwachte uitkomst vóór een experiment
- 11 **Aandacht vragen voor precisie en 'fit' van model**
- 12 **Model construeren of evalueren**
- 13 Berekeningen uitvoeren mbv model.
- 14 Aandacht voor verschillende modellen van hetzelfde fenomeen
- 15 **Model gebruiken om beslissingen te nemen, advies te geven of (technische) systemen te manipuleren**
- 16 **Simulaties gebruiken**

stroom geleiden en noem je *isolatoren*. Bekende isolatoren zijn plastic, glas en hout.

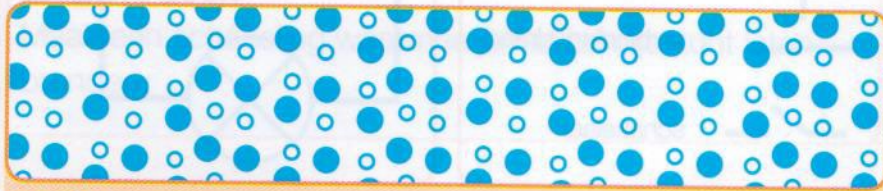


FIG 63

Elektronen (○○○) en koperdeeltjes (●●●) in een koperdraad. In werkelijkheid zijn de deeltjes veel kleiner.

Criterion 2:
Maakt abstracties, idealisaties en
simplificaties expliciet (onderscheid model
en werkelijkheid)

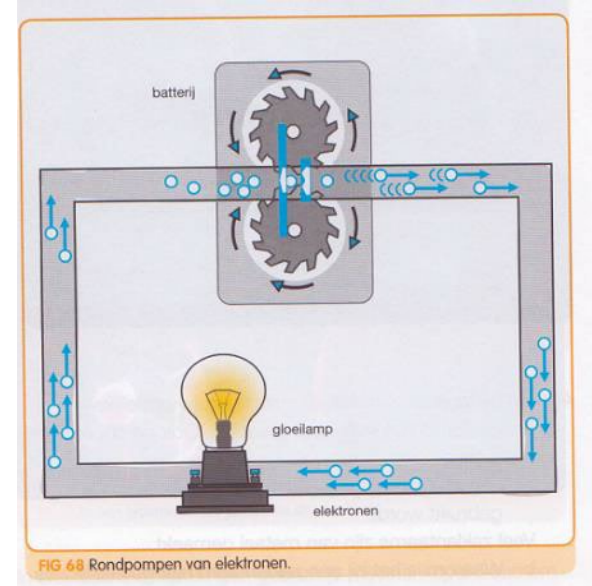


FIG 68 Rondpompen van elektronen.

Criterion 3:
Gebruikt een analogie



Conclusies

Beschrijvende tekst

- Veel: theoretische begrippen en relaties (beschrijven/verklaren)
- Als feiten, niet als model
- Historische ontwikkeling: vooral atoommodellen
- Weinig: verwijzing naar eerdere / latere modellen in onderwijs
- Weinig: relatie submicroscopische / macroscopische modellen elektriciteit

Taken en activiteiten

- Veel: conceptuele begrippen / relaties / berekeningen
- Weinig: construeren / evalueren / beslissen / adviseren/sturen-regelen
- Wel: Dynamische modellen

Beperkingen:

- Één serie boeken van één uitgever
- Daadwerkelijk gebruik niet bestudeerd



My hope is that by not abstracting away from the *activity of doing science* one may achieve a better understanding of the nature of modern science.

(Giere, 2004, 752)

Werken met Modellen is een “21st century skill”

(Gravemeijer, 2012)

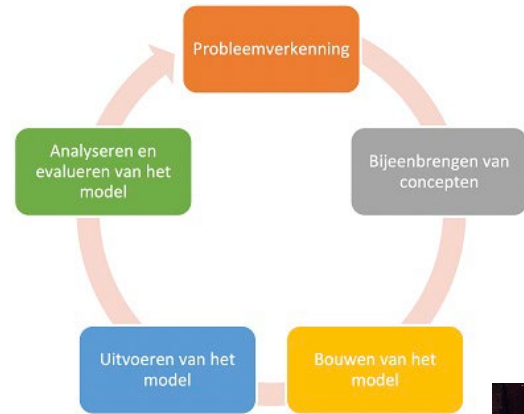


NVOX maart 2021

Joris Melis / Mencia de Mendoza Lyceum, Breda, Zeger-Jan Kock / Fontys Lerarenopleiding Tilburg; Eindhoven School of Education en Erik Woldhuis / SLO, Amersfoort

Dynamisch modelleren in 4vwo

Concepten leren begrijpen met dynamisch modelleren

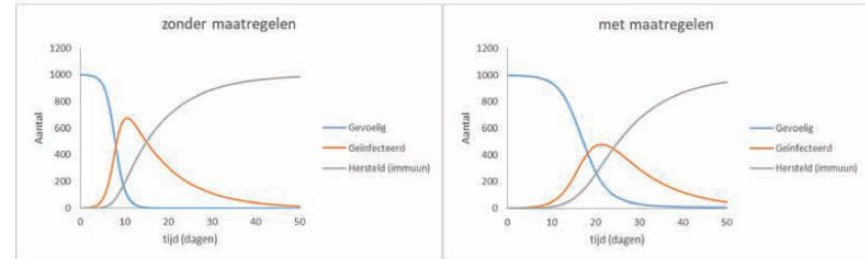


NVOX september 2020

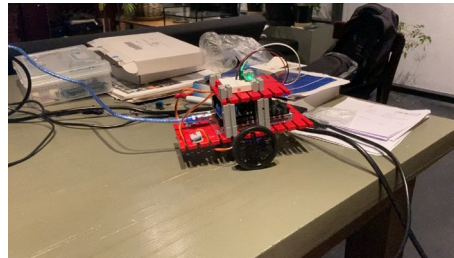
Stefan Bosmans / redactie

Het SIR-model en Corona

Modelleren in het biologieonderwijs



Figuur 2 Het verloop van de gemodelleerde epidemie zonder en met maatregelen die de infectie snelheid halveren.



Ontwerpen en construeren, mechatronica (PW?)





NVOX, oktober 2022

Ed van den Berg / Vrije Universiteit Amsterdam en Onne Slooten / Amsterdams Lyceum

Modeling Instruction

Een didactiek voor leren redeneren met begrippen en bewijsmateriaal

Developing and Using Multiple Models to Promote
Scientific Literacy in the Context of Socio-Scientific Issues
(Ke et al., 2021)

- Multi-disciplinair: ook sociale dimensies meenemen





Wat doen we zonder modellen in het natuurkundeonderwijs?

Bijna alles

Maar vaak impliciet

1. Onderwijs: modellen van toenemende complexiteit
2. Modelbegrip van begin af aan belangrijk
3. Modellen deel van “Nature of Science”
4. Toenemend belang in maatschappij
5. Verschillende manieren om te werken met modellen

Dank u voor uw aandacht!