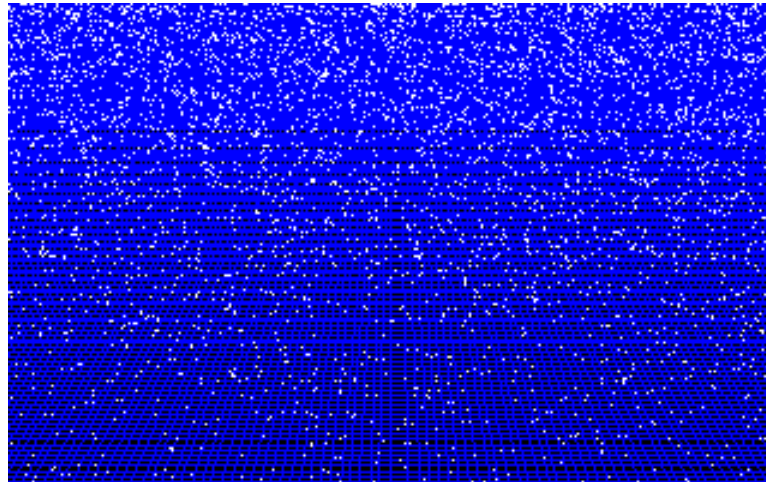


Kwantummechanica

HOVO cursus



Jo van den Brand

Lecture 1: September 22, 2016

Copyright (C) VU University Amsterdam 2016

Overzicht

- **Algemene informatie**
 - Jo van den Brand
 - Email: jo@nikhef.nl
 - 0620 539 484 / 020 592 2015
 - Nikhef, room: N3.47
- **Colleges**
 - Course information: www.nikhef.nl/~jo/kwantum
- **Boeken**
 - Dictaat
- **Zelfstudie**
 - Wiskunde: vectoren, complexe getallen, lineaire algebra
- **Response gedurende het college**

Les 1: Deeltjes en golven

- Foto-elektrisch effect
- Comptoneffect
- Model van Bohr

• **Les 2: Golfkarakter van materie**

- Golf functie
 - Opgesloten deeltje
 - Waarschijnlijkheid
- **Opgaven: zie website**

Richard Feynman 1918 - 1988

"I think I can safely say that no one understands quantum mechanics"



Dualiteit tussen deeltjes en golven

Straling wordt geklassificeerd naar golflengte. Het zichtbare gebied noemen we licht. Het gedrag van EM straling hangt van haar golflengte af

Christiaan Huygens

Nederland 1629 - 1695

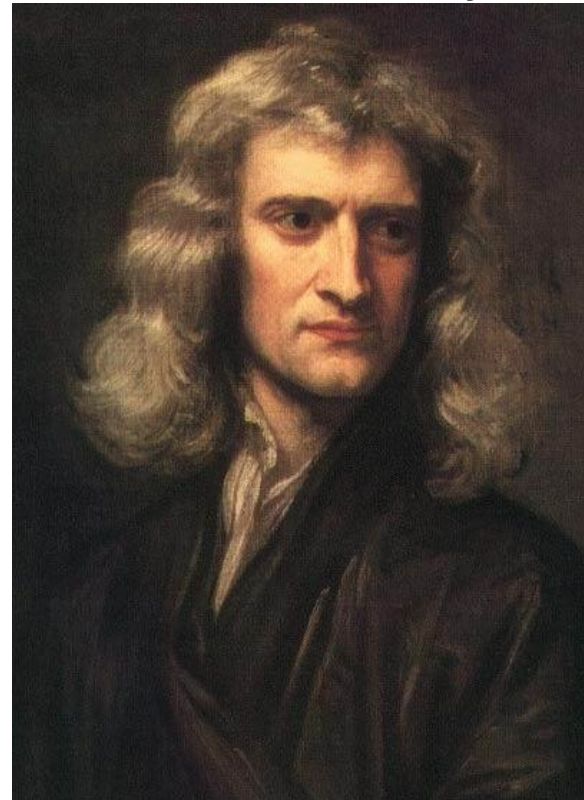
Licht bestaat uit golven



Sir Isaac Newton

UK 1643 - 1727

Licht bestaat uit deeltjes



Dynamica van deeltjes

We beginnen met Newton, maar zullen snel ook gebruik moeten maken van de special relativiteitstheorie

Verplaatsing, snelheid en versnelling

Wetten van Newton

Kracht, arbeid, energy, kinetische energie

Impuls, relatie tot kracht

Impulsmoment (van de baan)

Fotonen

Einstein poneerde het bestaan van lichtdeeltjes: *lichtkwanta* of ook *fotonen*

Relatie energie, frequentie en golflengte

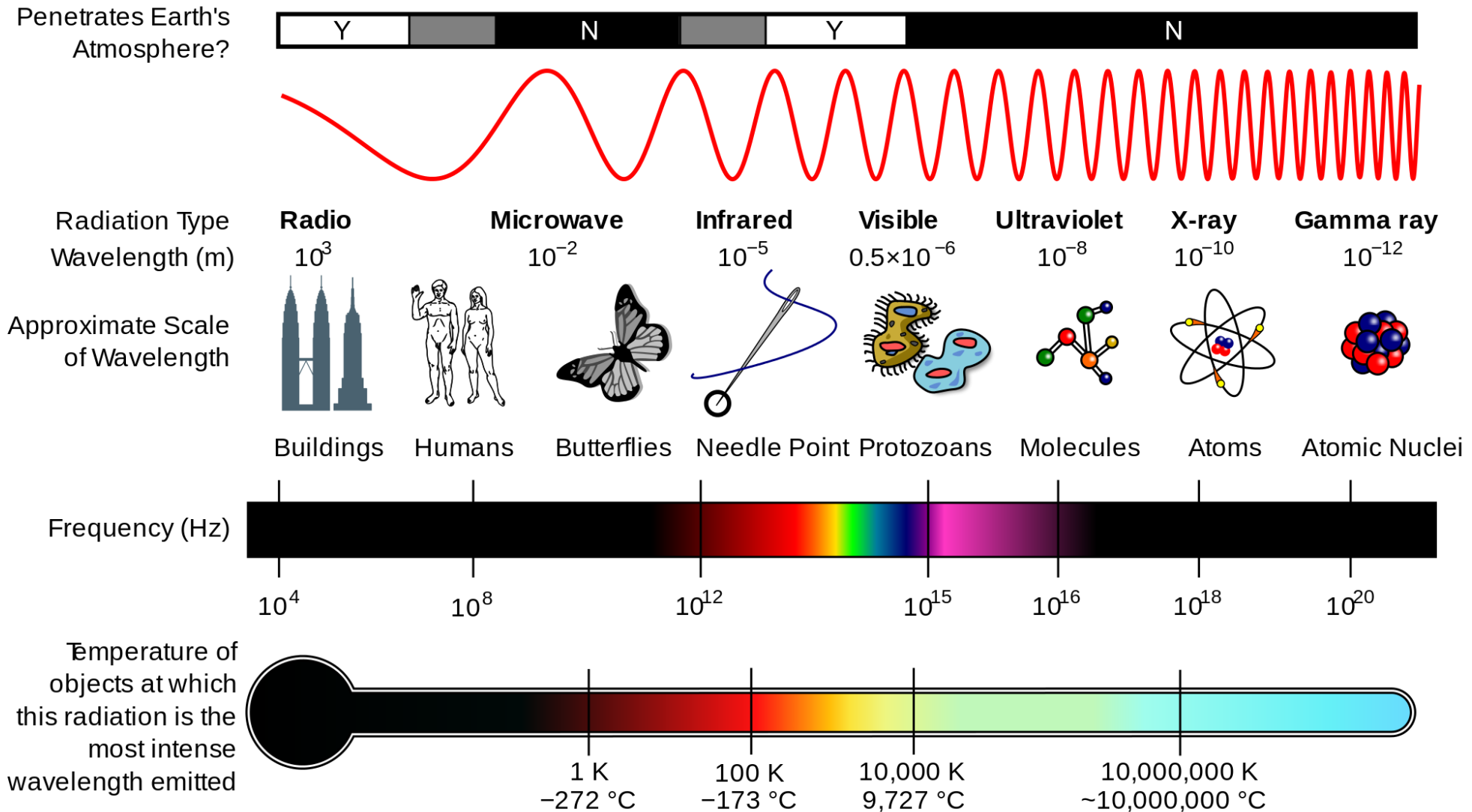
Constante van Planck

Relativistisch verband tussen impuls en energie

Impuls en golflengte: $p = h/\lambda$

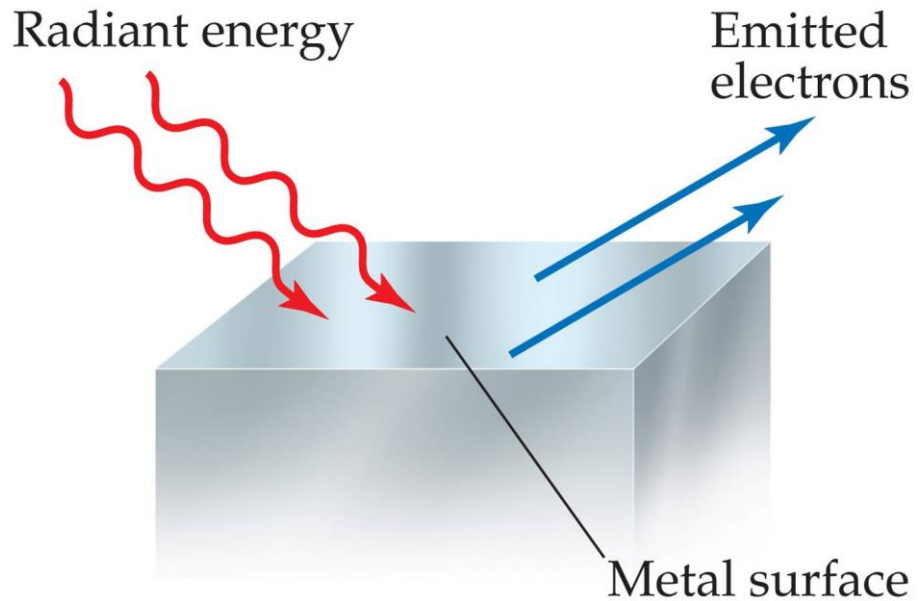
Elektromagnetisch spectrum

Straling wordt geklassificeerd naar golflengte. Het zichtbare gebied noemen we licht. Het gedrag van EM straling hangt van haar golflengte af

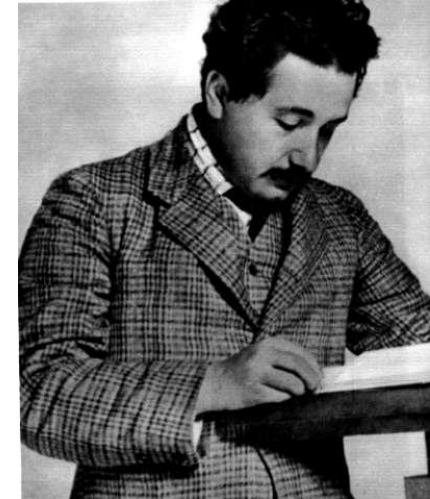


Fotoelektrisch effect

Ontdekt door Hertz in 1887 en verklaard door Einstein in 1905



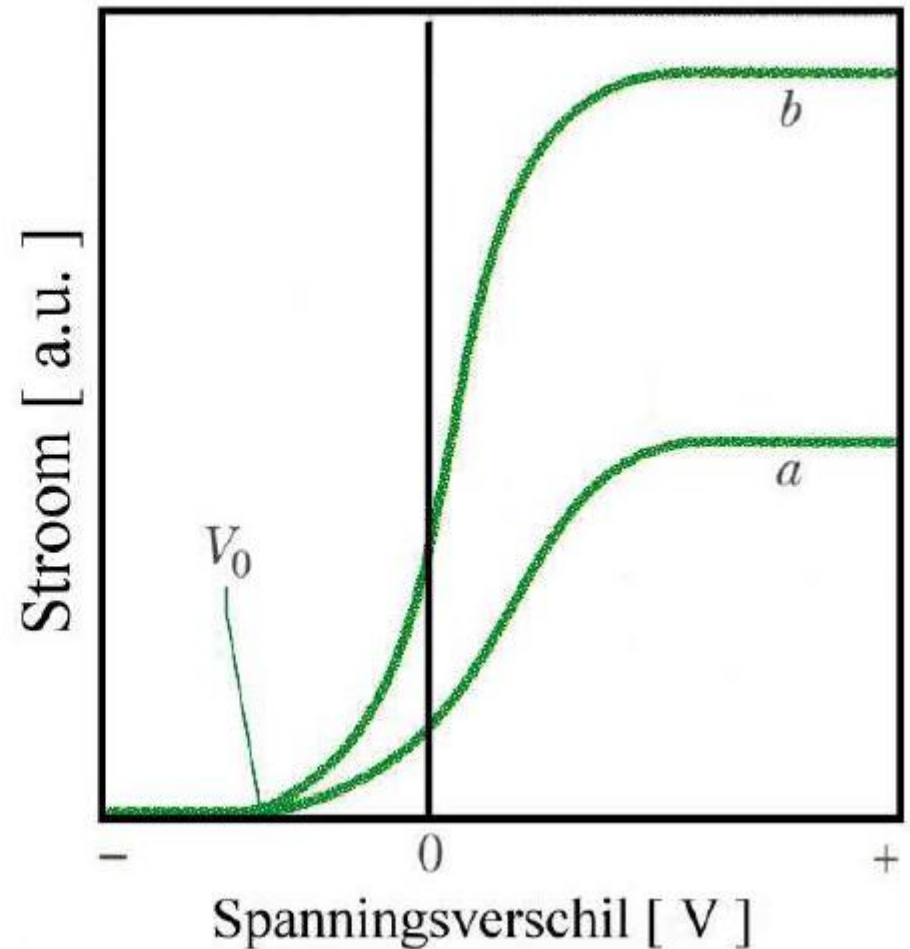
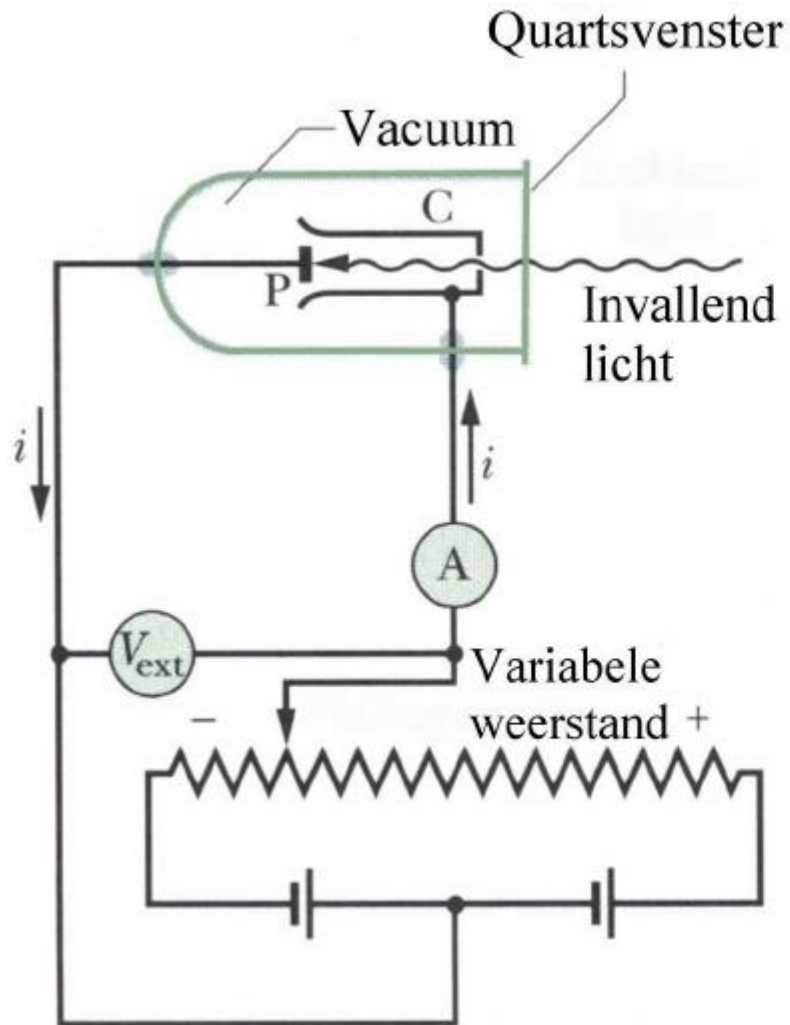
Heinrich HERTZ
(1857-1894)



Albert EINSTEIN
(1879-1955)

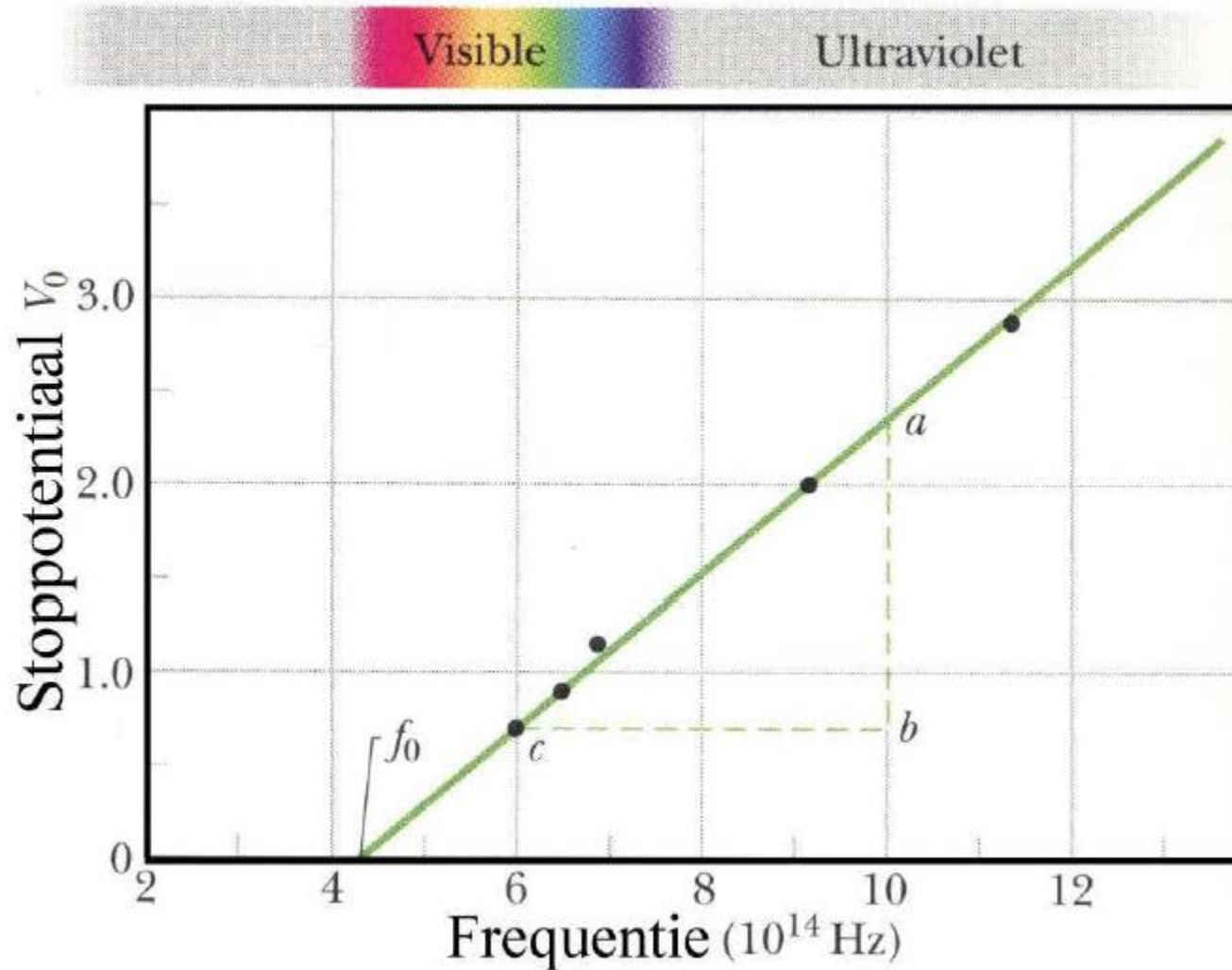
Fotoelektrisch effect

Stroom als functie van de spanning tussen kathode en collector



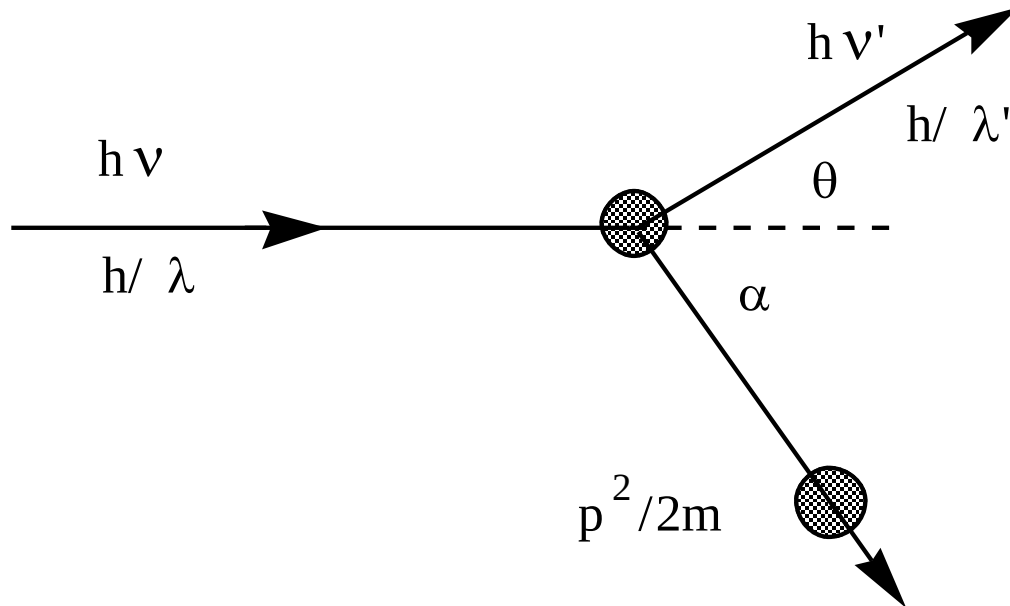
Fotoelektrisch effect

Stroom als functie van de spanning tussen kathode en collector



Comptoneffect

We biljarten met fotonen en elektronen



Energy Conservation

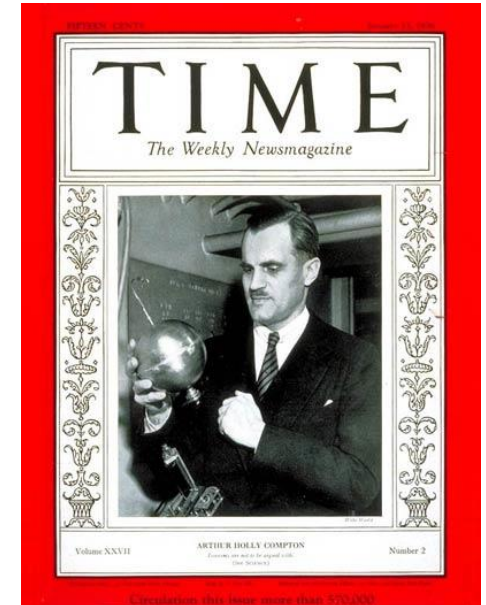
$$h \frac{c}{\lambda} = h \frac{c}{\lambda'} + \frac{p^2}{2m} \quad \left(v = \frac{c}{\lambda} \right)$$

Momentum Conservation (projection on x)

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'} \cos \theta + p \cos \alpha$$

Momentum Conservation (projection on y)

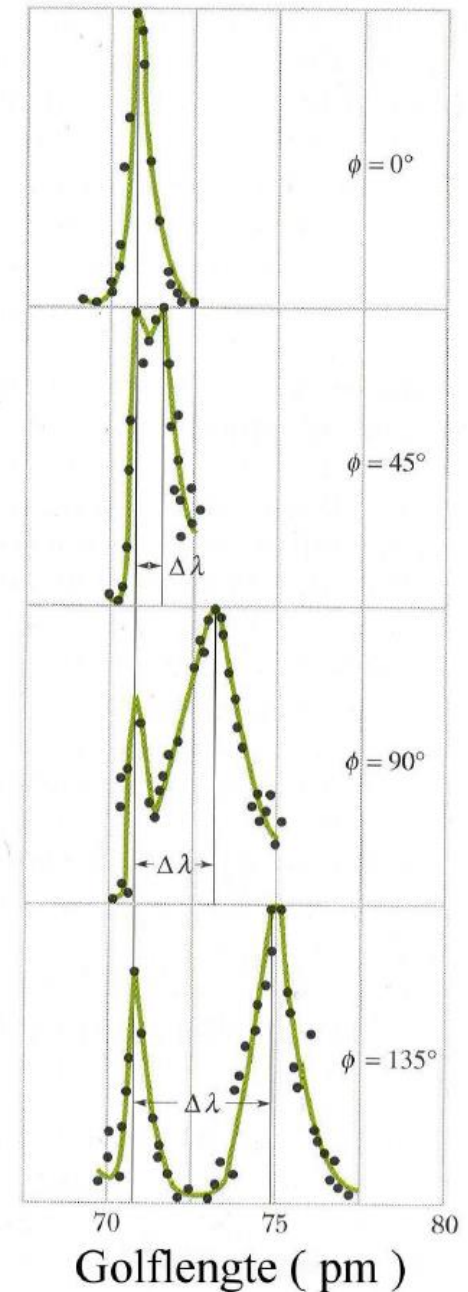
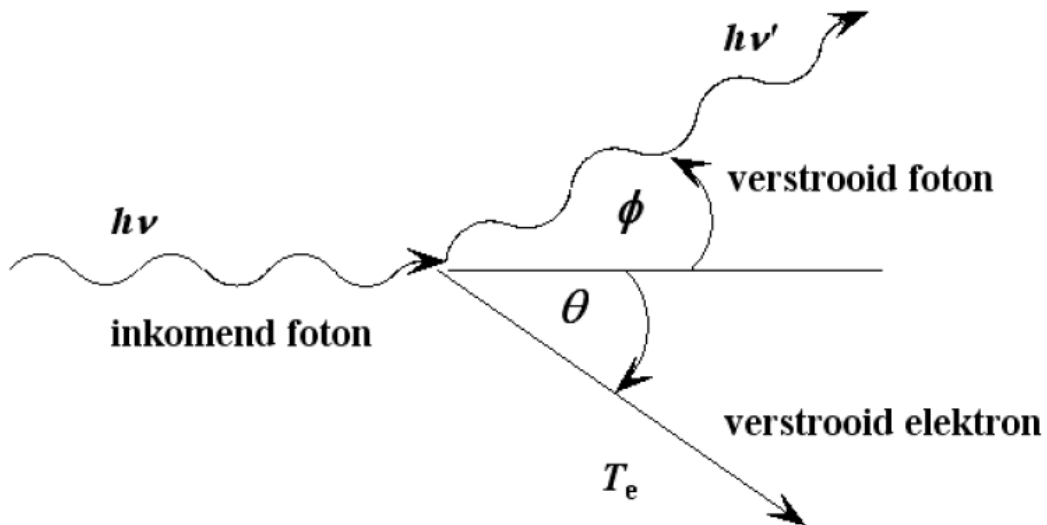
$$0 = \frac{h}{\lambda'} \sin \theta - p \sin \alpha$$



Arthur Holly Compton
American
1892-1962

Comptoneffect

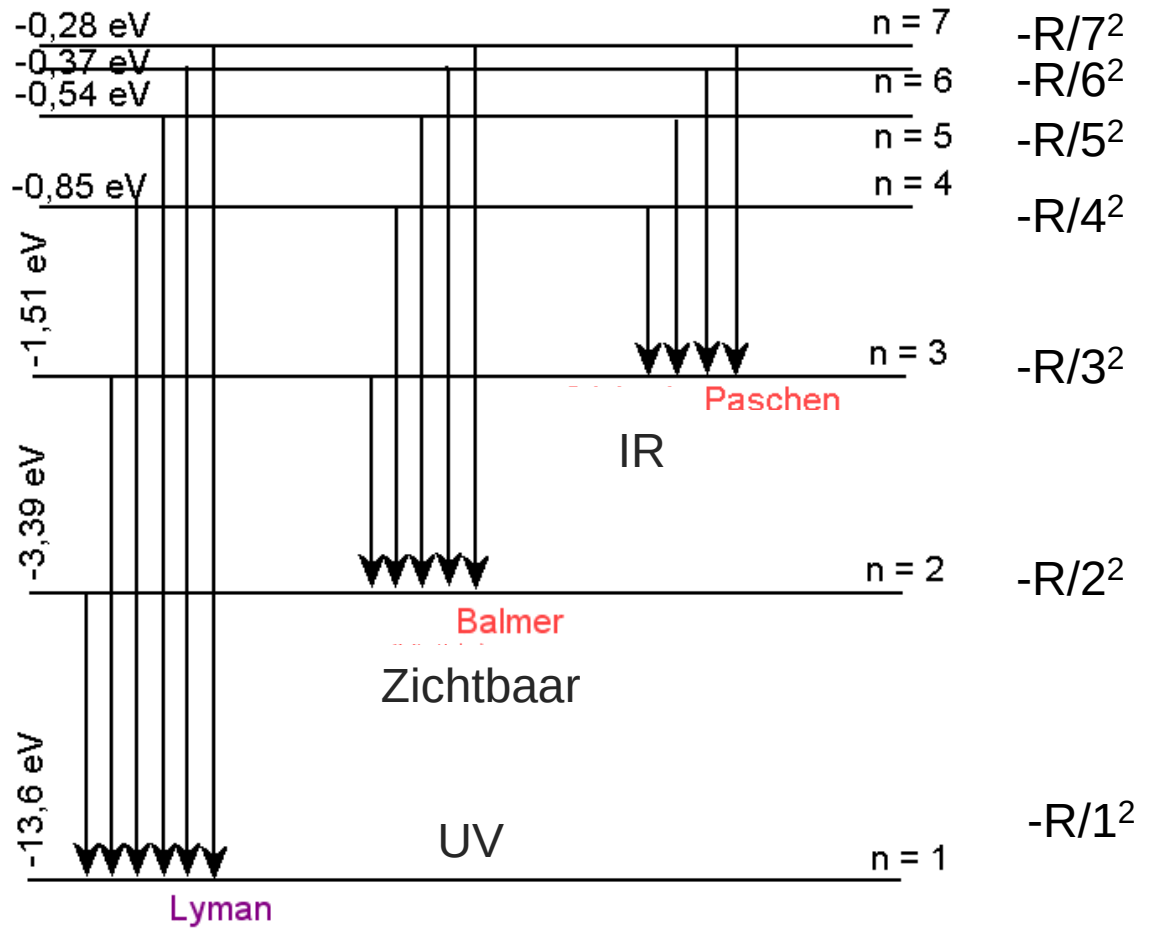
We biljarten met fotonen en elektronen



Waterstofatoom

Straling in het waterstofatoom wordt volgens kwantumgetallen uitgezonden. De niveaus hebben geen afstanden, maar volgen uit de Rydberg formule

$$\frac{1}{\lambda_{\text{vac}}} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$



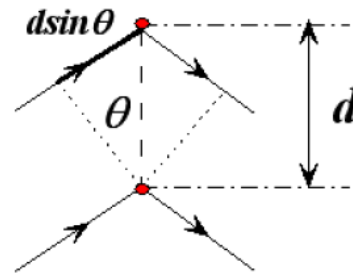
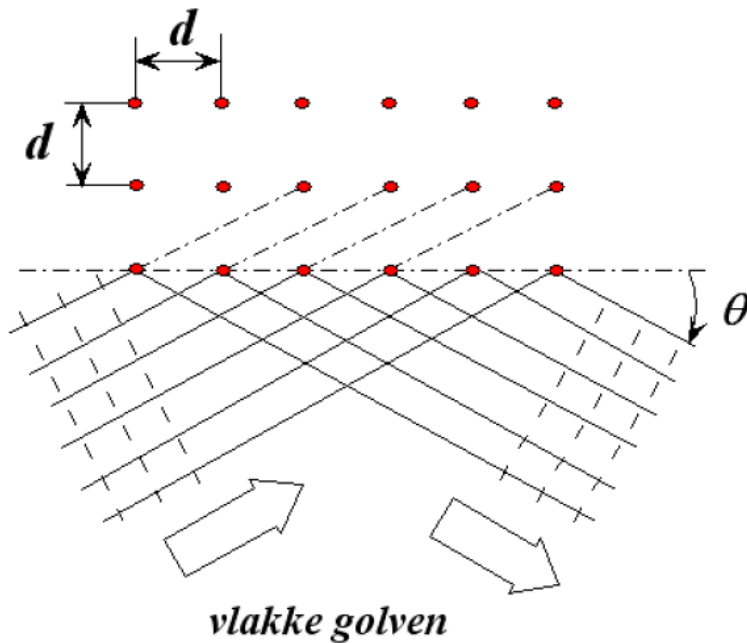
Emissiespectrum

$R = 13.6 \text{ eV}$

Louis de Broglie 1892-1987

Als licht zowel golf- als deeltjesgedrag vertoont, dan geldt dat wellicht ook voor materie

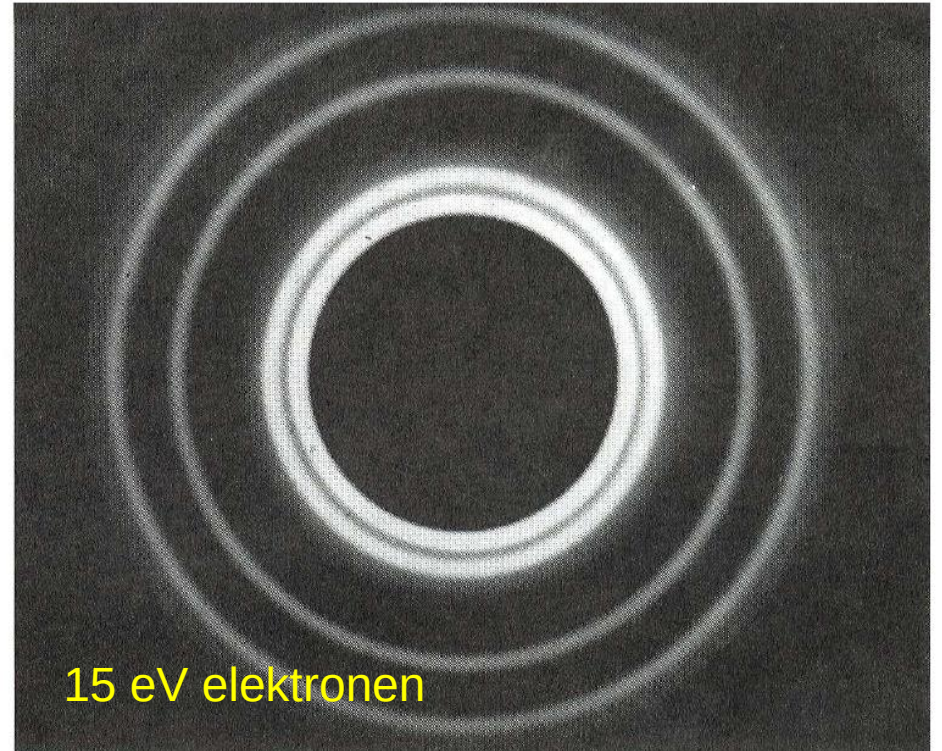
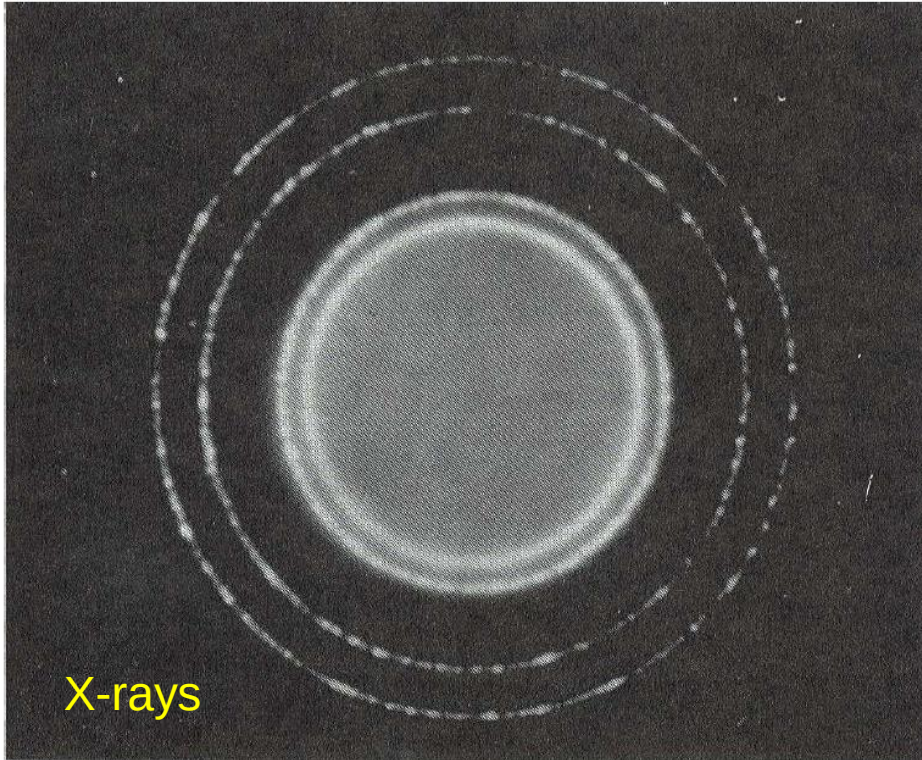
De relatie $\lambda p = h$ geldt zowel voor licht als materie



$$2d \sin \theta = m\lambda, \quad \text{voor } m = 1, 2, 3, \dots$$

Louis de Broglie 1892-1987

Als licht zowel golf- als deeltjesgedrag vertoont, dan geldt dat wellicht ook voor materie



Golffunctie

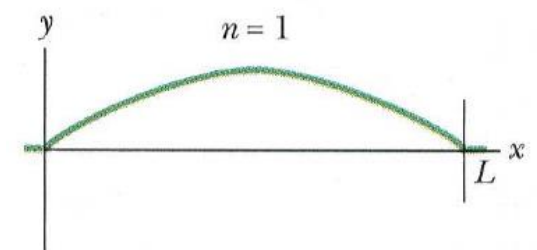
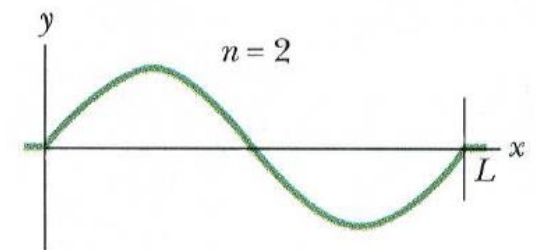
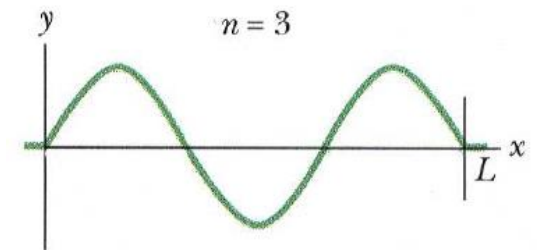
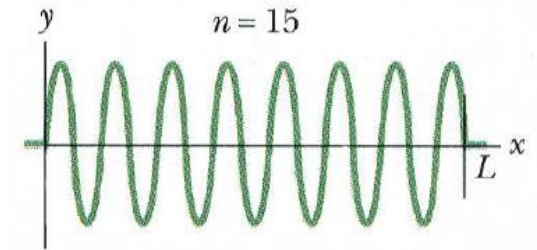
Materiegolven worden beschreven door een *golffunctie*

Lopende (vrije) golven hebben willekeurige golflengte

Staande (opgesloten) golven zijn discreet

$$\lambda = \frac{2L}{n}, \quad \text{voor } n = 1, 2, 3, \dots$$

$$\nu = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2L}n, \quad \text{voor } n = 1, 2, 3, \dots$$



Deeltje opgesloten in een potentiaalput

Materiegolven worden beschreven door een *golffunctie*

Stel je voor: straling tussen twee spiegels

Licht is een elektromagnetisch golf

Amplitude van elektrisch veld is $E(x) = \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$

Verdwijnt voor $x = 0$ en $x = L$

Energiedichtheid is $u = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2$

Dit geeft de dichtheid van fotonen

We weten de waarschijnlijkheid waar een foton is, maar niet precies waar het foton is. Het is een statistische interpretatie

Waarschijnlijkheid $\psi^*\psi dx$ is de kans het deeltje aan te treffen tussen x en $x+dx$

$$E = T = \frac{p^2}{2m}$$
$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{hn}{2L}$$
$$E_n = n^2 \frac{h^2}{8mL^2}, \quad \text{voor } n = 1, 2, 3, \dots$$

