

Kwantumfysica I

2008-2009

Hoorcollege vrijdag 14 november 2008



Huiswerk voor woensdag:

Zie ook studiewijzer op <http://caspar.fmns.rug.nl/teaching/>

Theorie:	Stuurstof	H1 - Alles H2 - 2.1, 2.4, 2.5, 2.6 De Broglie hypothesis, 2.7, 2.8 2.9 Double-slit experiment
	Leesstof	2.2, 2.3 2.6 Davisson-Germer experiment 2.9 deel over Hidden variables

Homework, to be made before the werkcollege

Chapter 1	1.1, 1.4, 1.9, 1.10, 1.20
Chapter 2	2.17, 2.18

Problems to work on during werkcollege

Problems	C1-2.1 - C1-2.5 will be handed out in class.
Chapter 2	2.21, 2.23, 2.33

Extra opgaven
(facultatief)

Zie tentamenbundel

Vorige college

KWANTUM MECHANICA

De essentie van het verschil tussen klassieke mechanica en kwantum mechanica betreft:

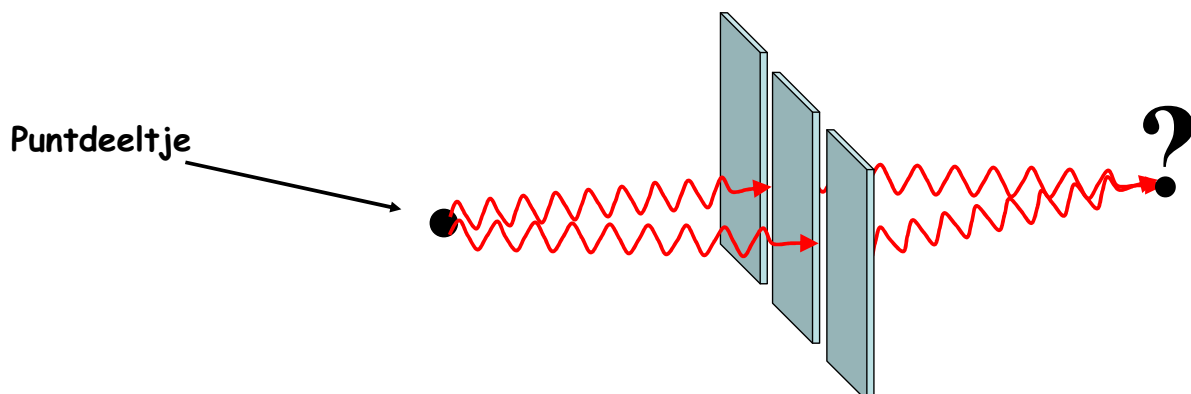
- 1) De toestand van een fysisch systeem
- 2) De tijdsevolutie van een fysisch systeem
- 3) Het meten aan een fysisch systeem

Vorige college: toestand is beschreven door golffunctie

Vandaag:

Kwantum interferentie van golffuncties
(college volgt de uitleg als in de extra leesstof uit Feynman Lectures)

Dubbele spleet experimenten.



Grote harde kogels

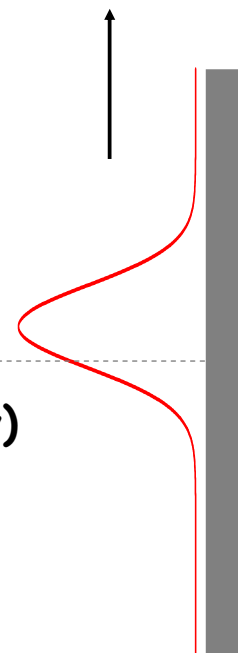
Y-richting



Bron
Alle kogels zelfde E_{kin}



$P_1(y)$



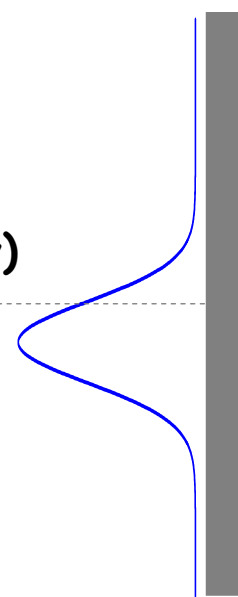
Grote harde kogels



Bron



$P_2(y)$

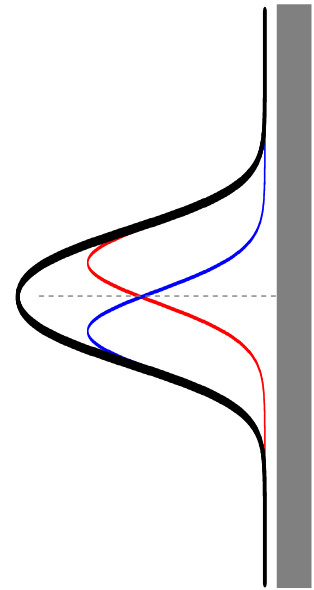


Grote harde kogels

$$P_{\text{tot}}(y) = P_1(y) + P_2(y)$$



Bron



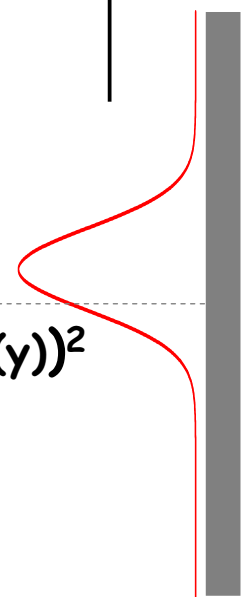
Detectie door clicks!

Nu een golfverschijnsel
b.v. watergolven

Y-richting



Oscillerende bron,
monochromatisch



$$P_1(y) = (A_1(y))^2$$

We meten de Intensiteit = (Amplitude)²:
is een goede maat voor de energie-
overdracht van golfverschijnsel naar
detector (clicks van fotonen),

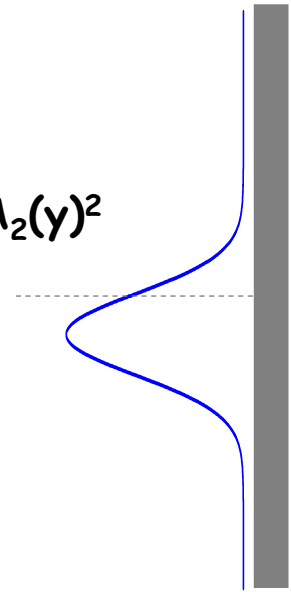
Nu een golfverschijnsel
b.v. watergolven



Bron



$$P_2(y) = A_2(y)^2$$



Nu een golfverschijnsel
b.v. watergolven

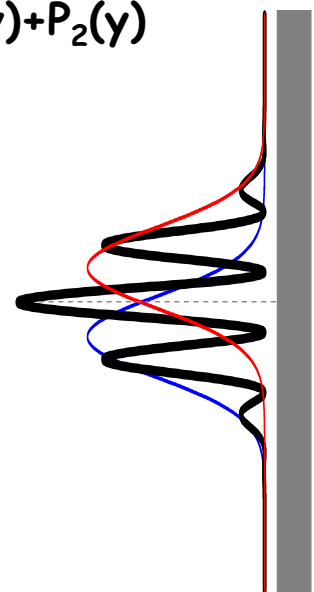


Bron

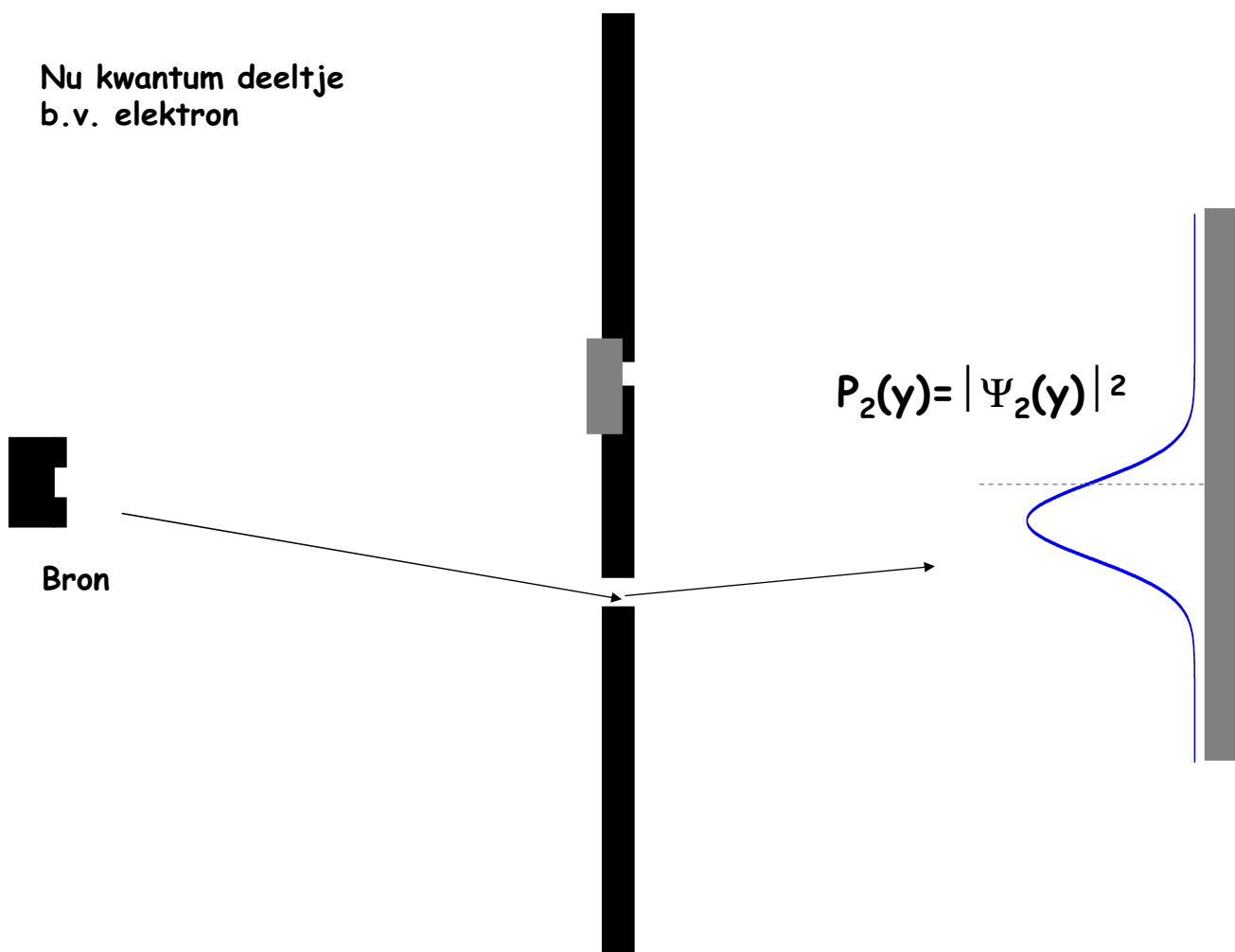
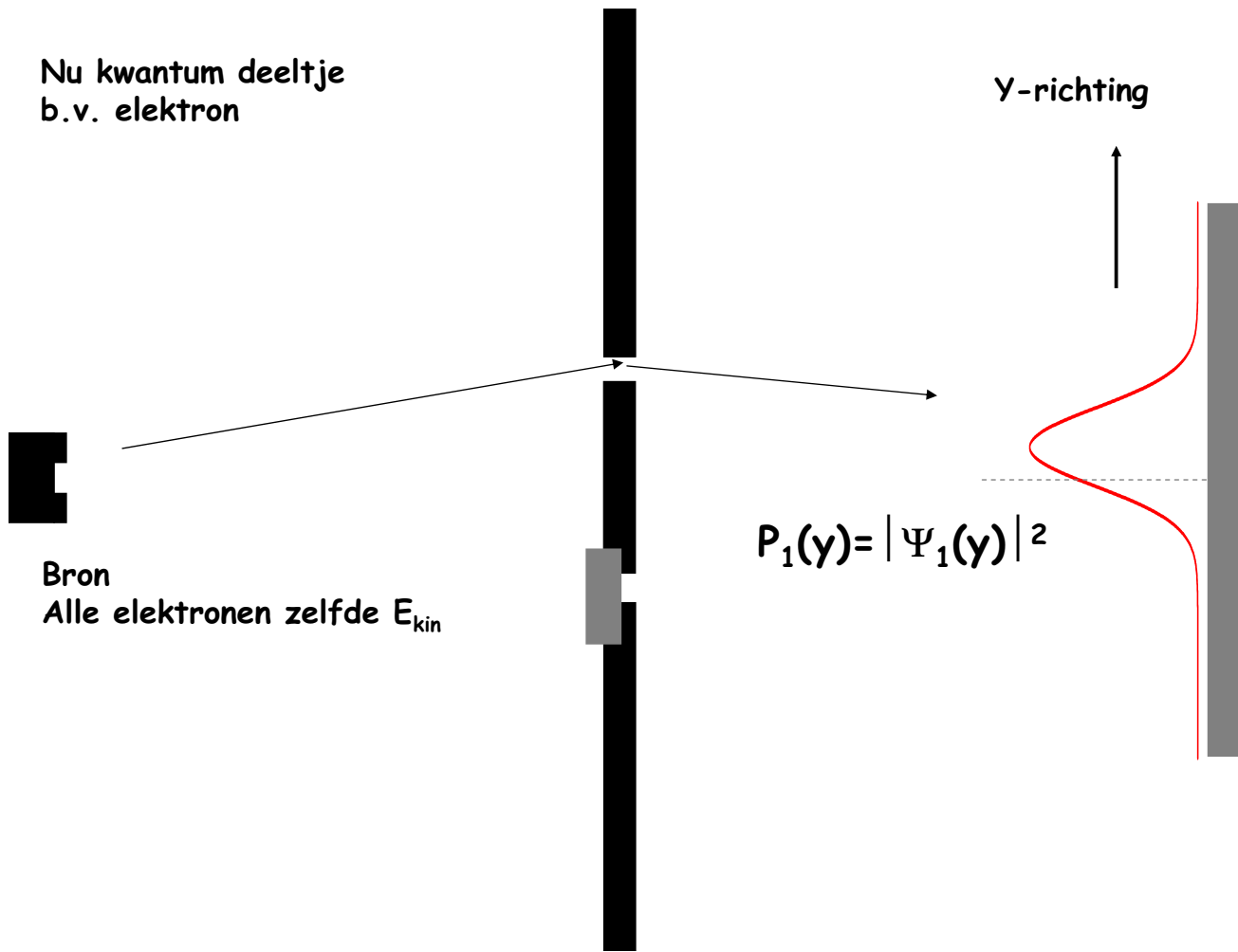


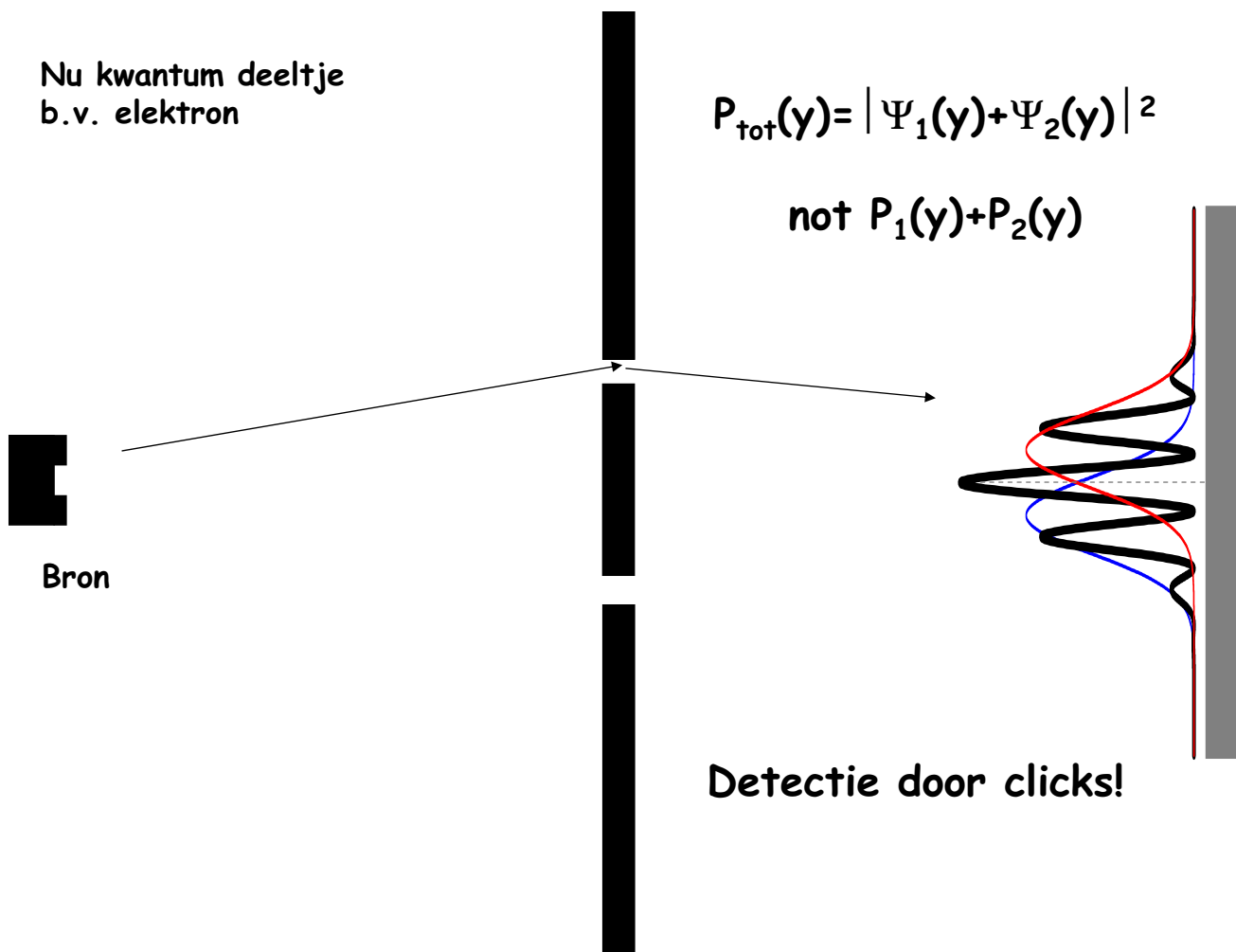
$$P_{\text{tot}}(y) = [A_1(y) + A_2(y)]^2$$

not $P_1(y) + P_2(y)$



Detectie van geleidelijk
variërende waarden!





Conclusie:

Kwantum deeltjes bewegen als een golf,
maar worden gemeten als een kogeldeeltje - in hele happen, kwanta.

Hoe lang is de golflengte?

De Broglie

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

voor fotonen, elektronen,
...en alle bewegende massa's!

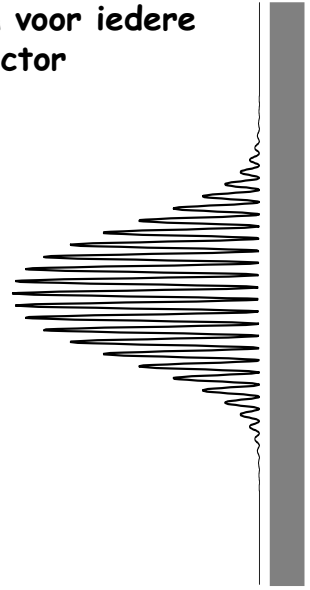
Grote harde kogels
- toch ook kwantum deeltjes?

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

p heel groot, dus
afstand tussen
max en min te
klein voor iedere
detector



Bron



.....meer redenen voor
verdwijnen inteferentie

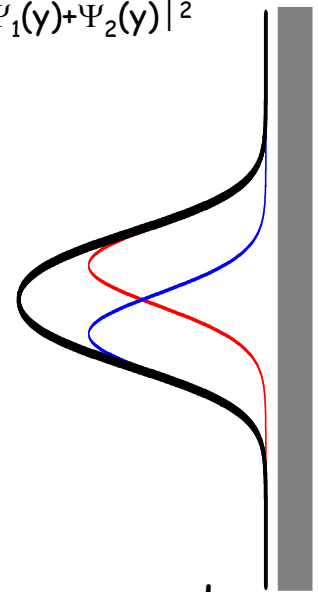
Kwantum deeltje -
Kijken door welke spleet het gaat



Bron: emissie van
electronen één voor één



Maar nu weer
 $P_{\text{tot}}(y) = P_1(y) + P_2(y) !$
en NIET meer
 $P_{\text{tot}}(y) = |\Psi_1(y) + \Psi_2(y)|^2$

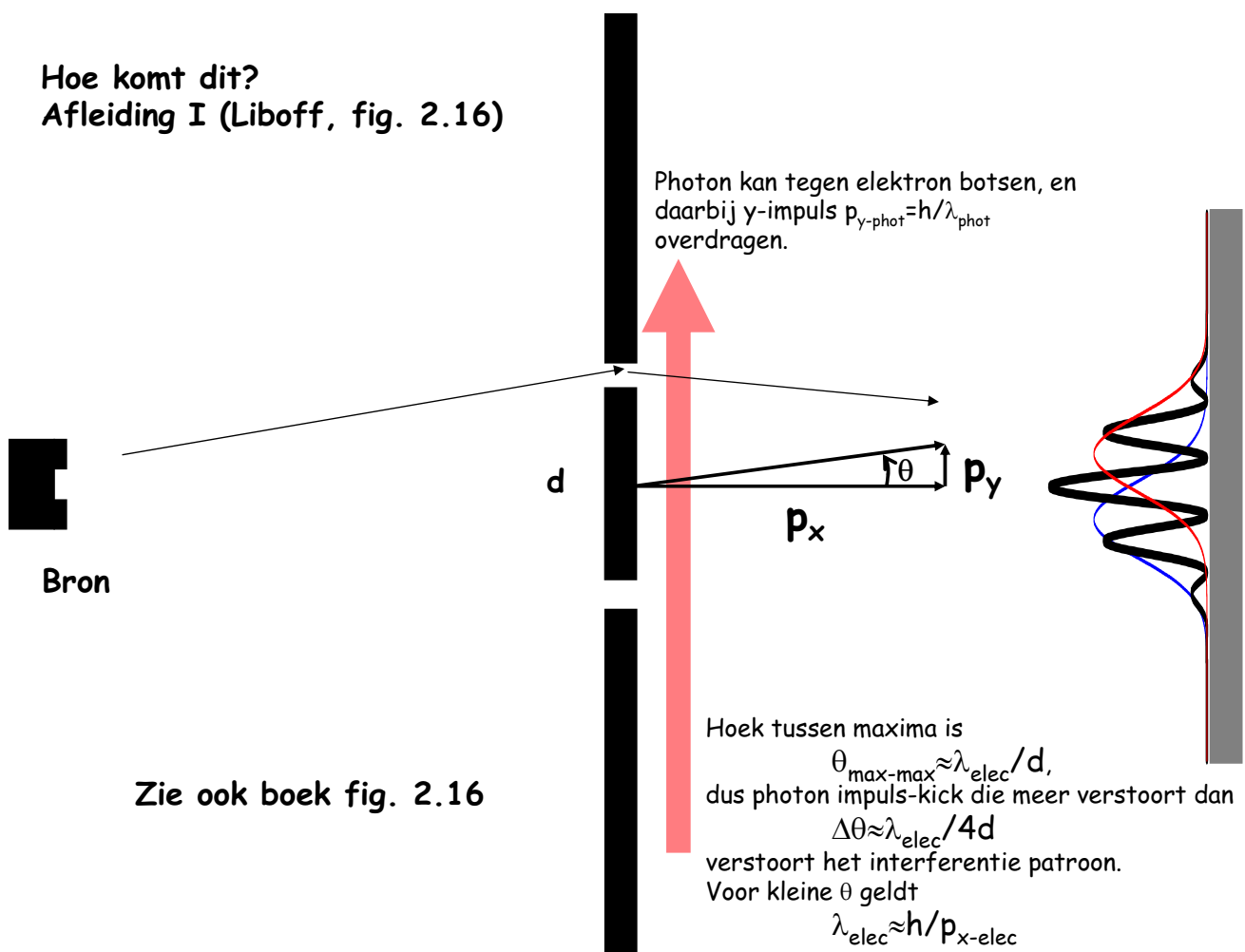


Detectie van passerende
elektronen. Altijd geheel
elektron bij één van de twee
spleten!

Conclusie:

Vastleggen door welke spleet het electron gaat
en interferentie waarnemen
kan niet tegelijk!

Hoe komt dit?



Vervolg afleiding I (Liboff, fig. 2.16)

Hoek tussen maxima is

$$\theta_{\max-\max} \approx \lambda_{\text{elec}}/d,$$

dus photon impuls-kick die θ meer verstoort dan

$$\Delta\theta \approx \lambda_{\text{elec}}/4d$$

verstoort het interferentie patroon zeer sterk.

Voor kleine θ geldt

$$\lambda_{\text{elec}} \approx h/p_{x\text{-elec}}$$

Voorkomen $p_{y\text{-elec}}$ verstoring heeft als eis

$$\Delta p_{y\text{-elec}} \approx \Delta\theta p_{x\text{-elec}} < (\lambda_{\text{elec}}/4d) \cdot p_{x\text{-elec}} \approx (h/p_{x\text{-elec}}) \cdot (1/4d) \cdot p_{x\text{-elec}} = h/4d$$

Genoeg plaats-resolutie voor bepaling elektron positie vereist

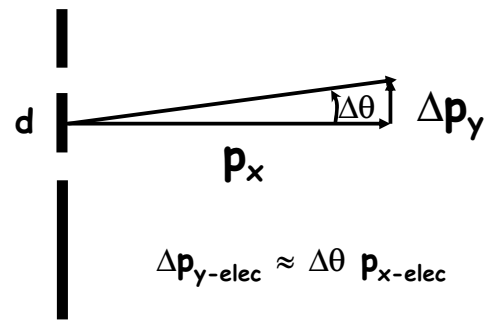
$$\Delta y_{\text{elec}} < d/4.$$

Het product van deze twee eisen samen geeft

$$\Delta p_{y\text{-elec}} \Delta y_{\text{elec}} \ll (h/4d)(d/4) = h/16.$$

Heisenberg stelt echter dat dit onmogelijk is!

$$\text{De natuur vereist ALTIJD } \Delta p_{y\text{-elec}} \Delta y_{\text{elec}} > \hbar/2 \approx h/12$$



Hoe komt dit? - afleiding II (Feynman Lectures)

Genoeg plaats-resolutie voor bepaling elektron-positie bij de spleten vereist

$$\Delta y < d/4.$$

Dit kan alleen met een photon met niet al te grote kleine golflengte,

$$\lambda_{\text{phot}} < d/4.$$

Impuls-kick van dit photon tegen electron is dus minstens

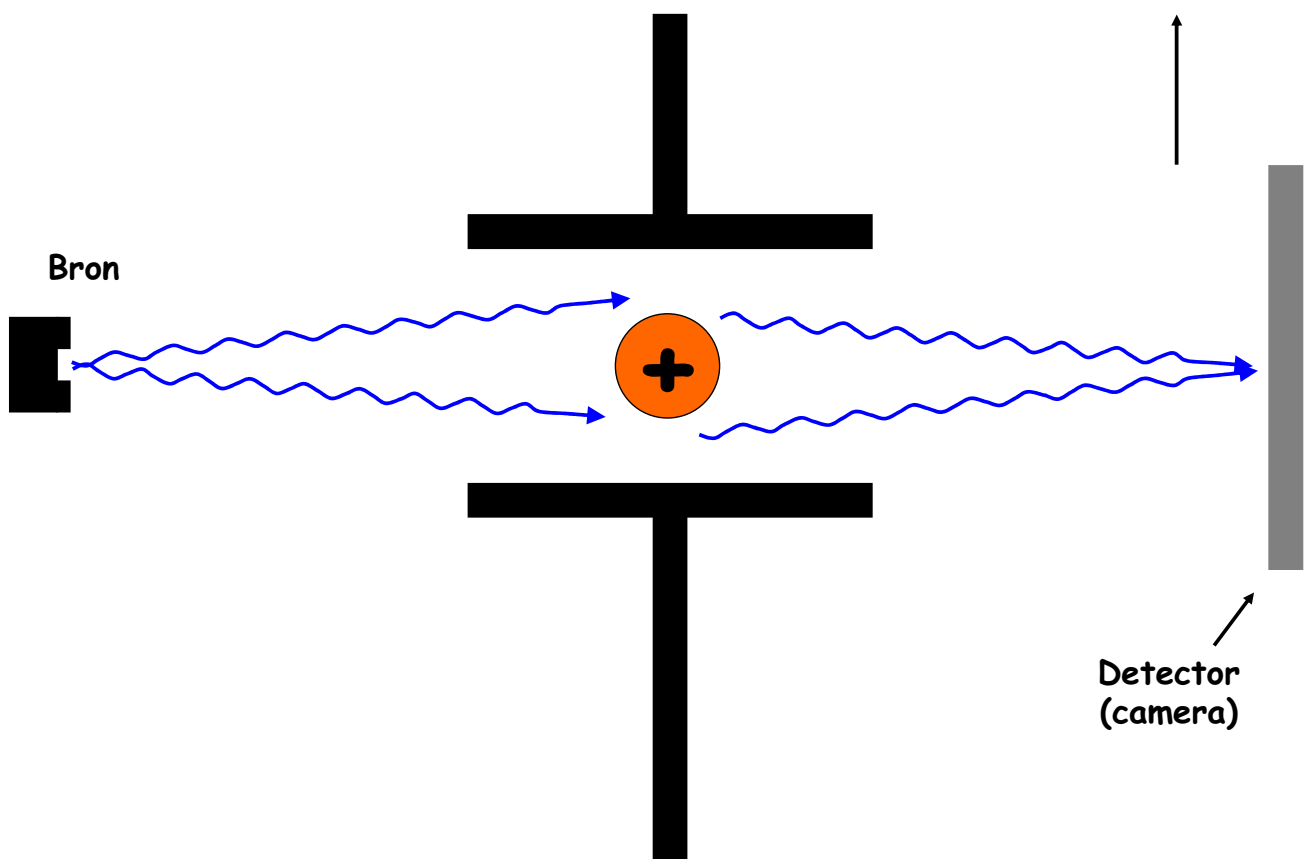
$$\Delta p_{y\text{-elec}} = h/\lambda_{\text{phot}} > 4h/d.$$

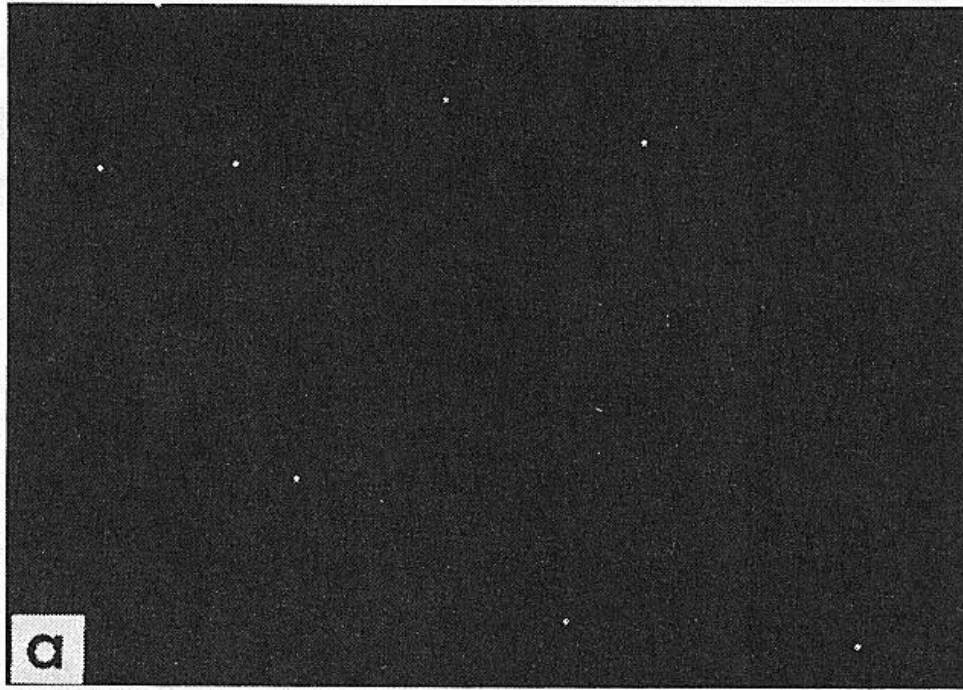
Dit is meer $\Delta p_{y\text{-elec}}$ dan wat nodig is om de interferentie te verstoren (zie vorige slide).

Recent onderzoek

Nog steeds kwantumfysica
aan het leren...

Met elektronen microscoop





Y-richting →

Bron: A. Tonomura, *Annals of the New York Academy of Sciences* 755, p. 227 (1995).

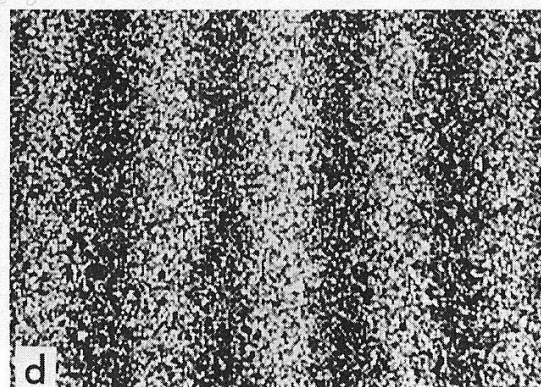
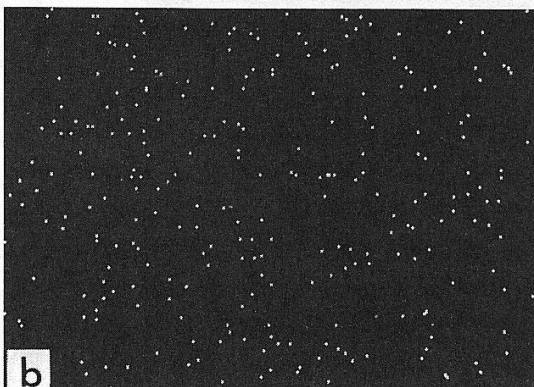
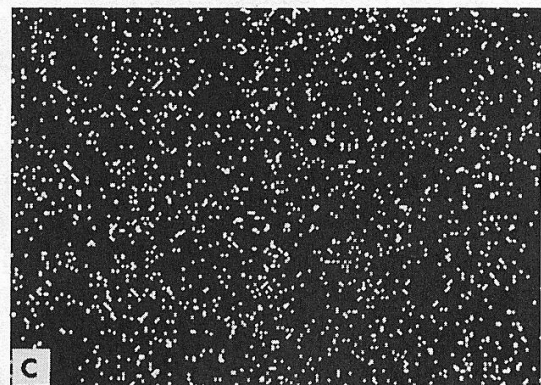
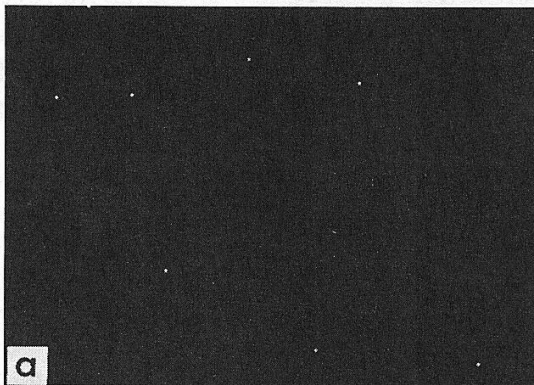


FIGURE 2. Single-electron buildup of the electron interference pattern: (a) $N = 8$, (b) $N = 100$, (c) $N = 3000$, and (d) $N = 100,000$.

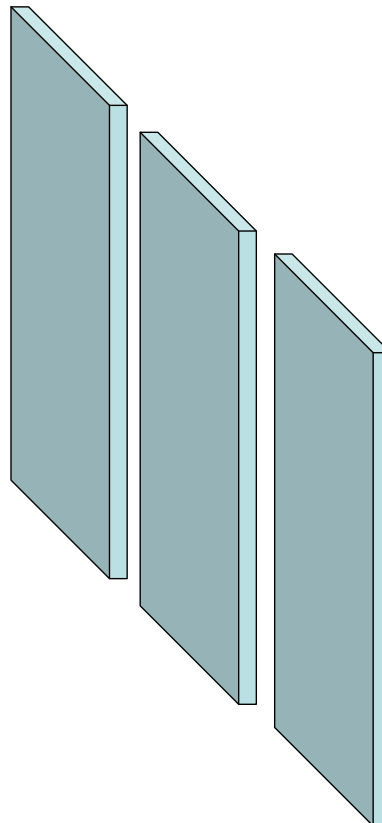
Conclusie:

Een kwantum deeltjes interfereert met zichzelf - hier gaat het niet om interferentie tussen golven van twee verschillende deeltjes.

Bij meting van de positie aan een breed golffront in y-richting geeft de uitkomst een zeer specifieke y-waarde.

Can we show double-slit quantum interference with chairs?

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



Center of mass motion of the chair

Wave Nature of Biomolecules and Fluorofullerenes

Lucia Hackermüller, Stefan Uttenthaler, Klaus Hornberger, Elisabeth Reiger, Björn Brezger,*
Anton Zeilinger, and Markus Arndt

Institut für Experimentalphysik, Universität Wien, Boltzmannngasse 5, A-1090 Wien, Austria[†]
(Received 7 April 2003; published 28 August 2003)

letters to nature

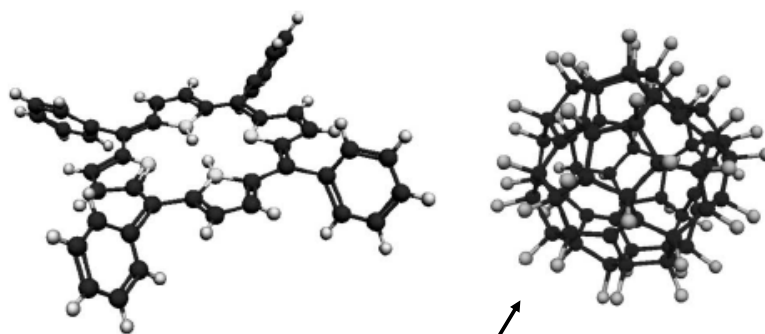
Decoherence of matter waves by thermal emission of radiation

Lucia Hackermüller, Klaus Hornberger, Björn Brezger*,
Anton Zeilinger & Markus Arndt

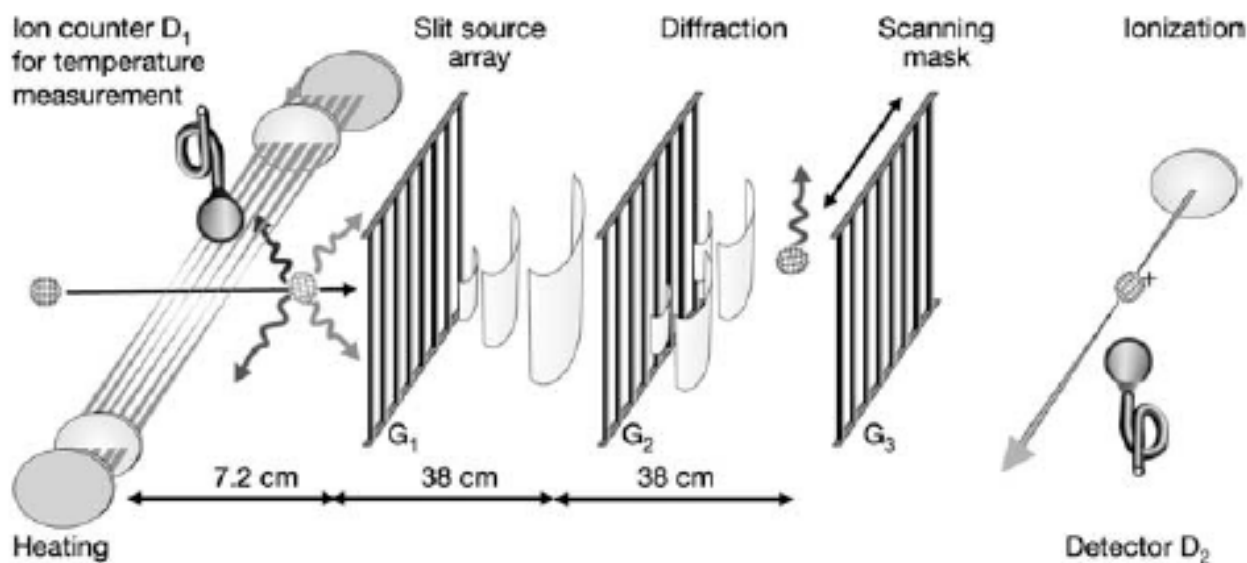
[†]*Institut für Experimentalphysik, Universität Wien, Boltzmannngasse 5, A-1090 Wien, Austria*

*Present address: Fachbereich Physik, Universität Konstanz, D-78457 Konstanz, Germany

Nature **427**, 711 (Feb. 2004)



1632 atomic mass units



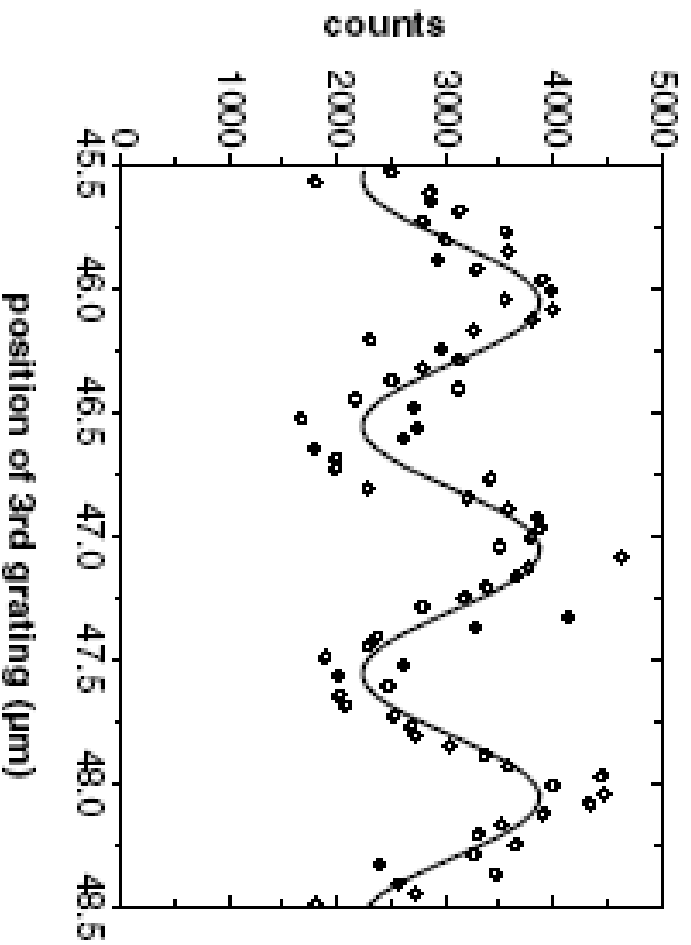
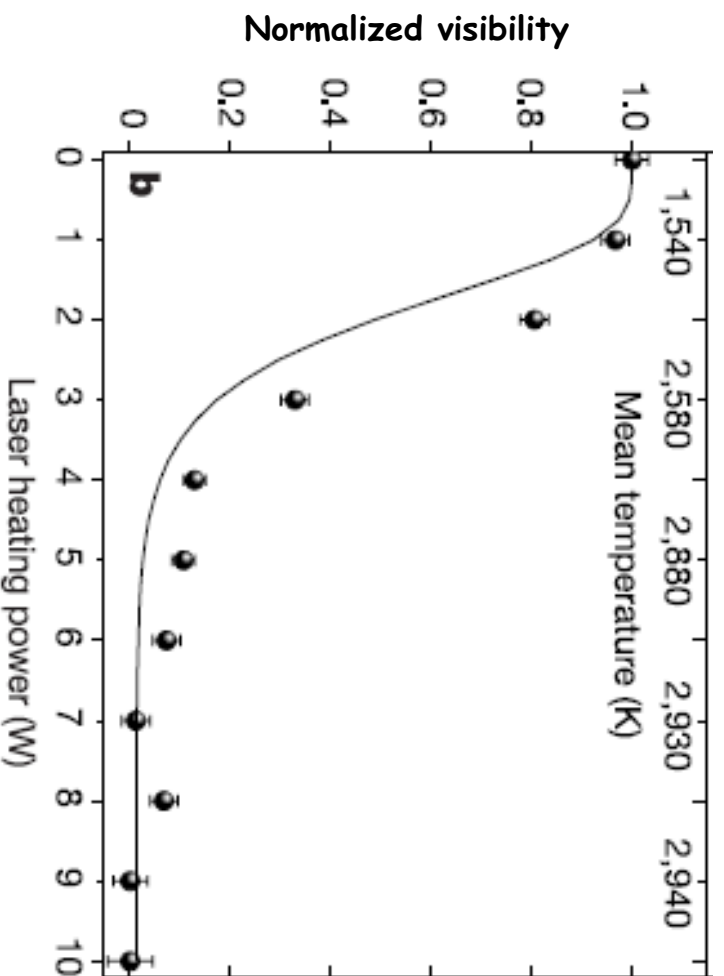


FIG. 4. Quantum interference fringes of $C_{60}F_{48}$. The beam has a mean velocity of $v_m = 105$ m/s and a velocity spread (FWHM) of $\Delta v/v_m = 20\%$.



Waarom verdwijnt de interferentie als de temperatuur van de moleculen hoger wordt?

Het deeltje zendt zwarte straling uit, en maakt daarmee waarneembaar langs welk traject het vliegt: (T omhoog, λ kleiner, plaats-informatie preciezer).

Het is niet nodig dat wij (wij mensen of zo) die straling ook daadwerkelijk zelf meten.

Als er maar iets in het universum is veranderd, dat informatie bevat over het gevlogen traject, dan verdwijnt de interferentie.

Samenvatting:

1. Zowel deeltjes als fotonen worden beschreven door golf functies.
2. De golf functies kunnen interfereren met zichzelf.
3. (Gebrek aan) kwantuminterferentie nog steeds hot onderzoek.

Youtube rules: Goede samenvatting door Dr. Quantum,
zie <http://www.youtube.com/watch?v=DfPeprQ7oGc>

Volgende college:

Postulaten van kwantumfysica, formele opbouw theorie.