

# Kwantumfysica I

2009-2010

Hoorcollege vrijdag 13 november 2009



## 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

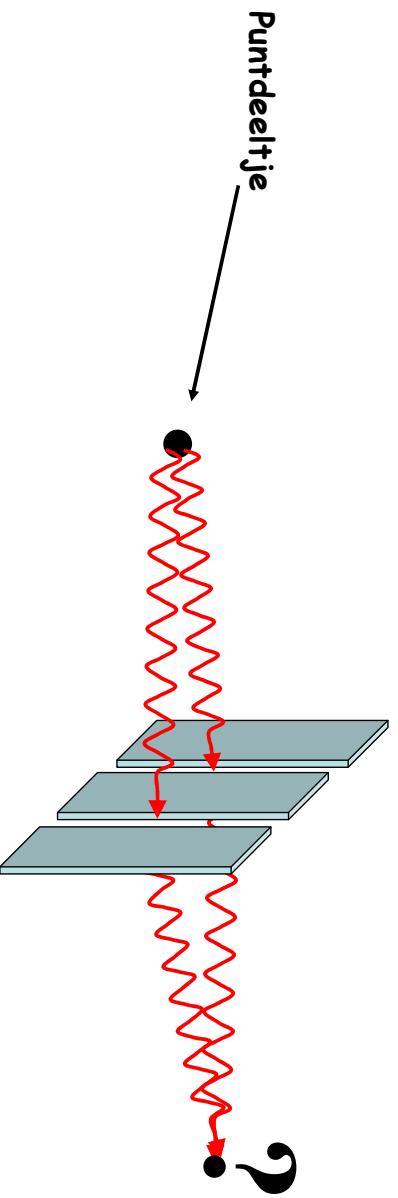
Vorige college: toestand is beschreven door golffunctie

# Vandaag:

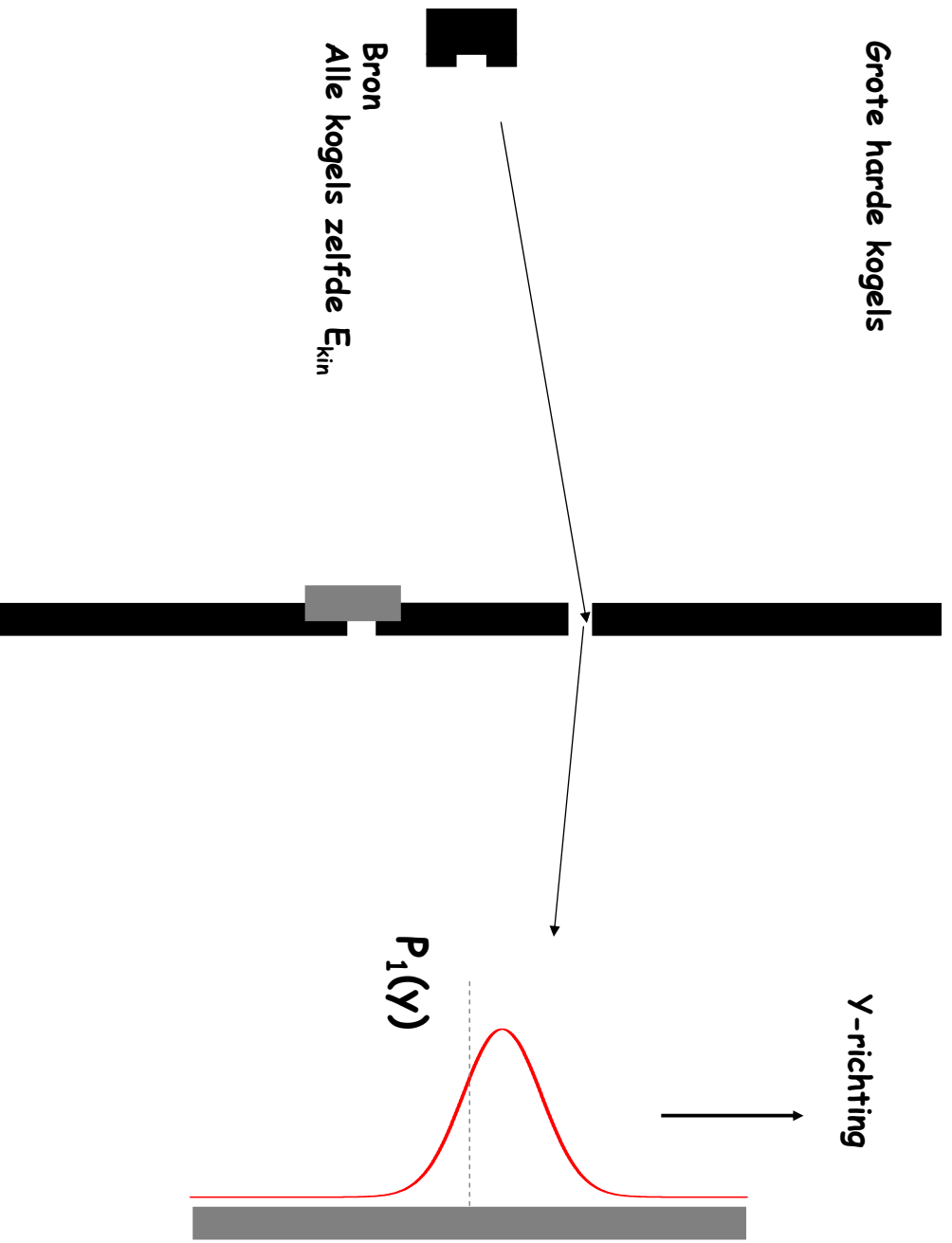
## Kwantum interferentie van golffuncties

(college volgt de uitleg als in de extra leesstof uit Feynman Lectures)

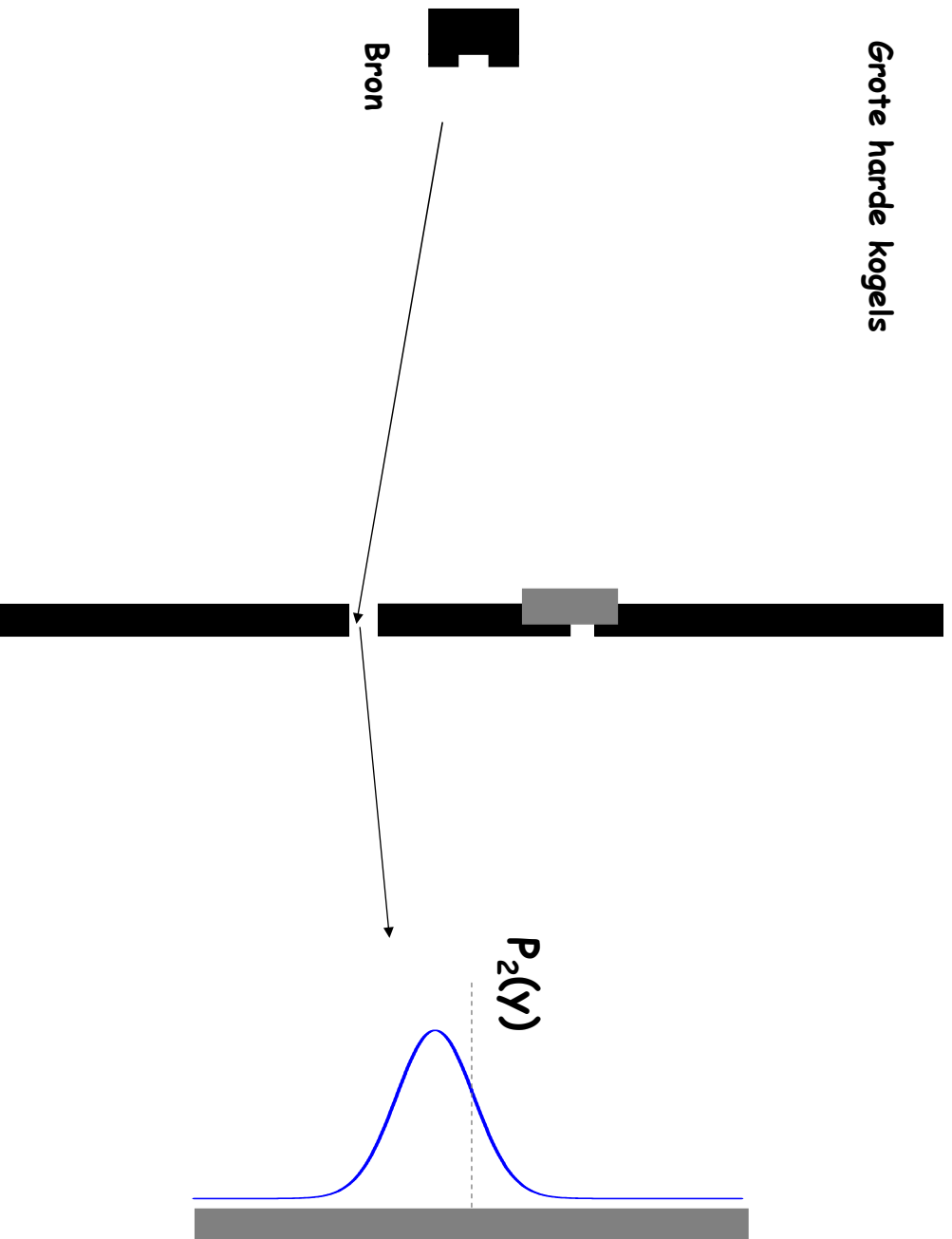
Dubbele spleet experimenten.



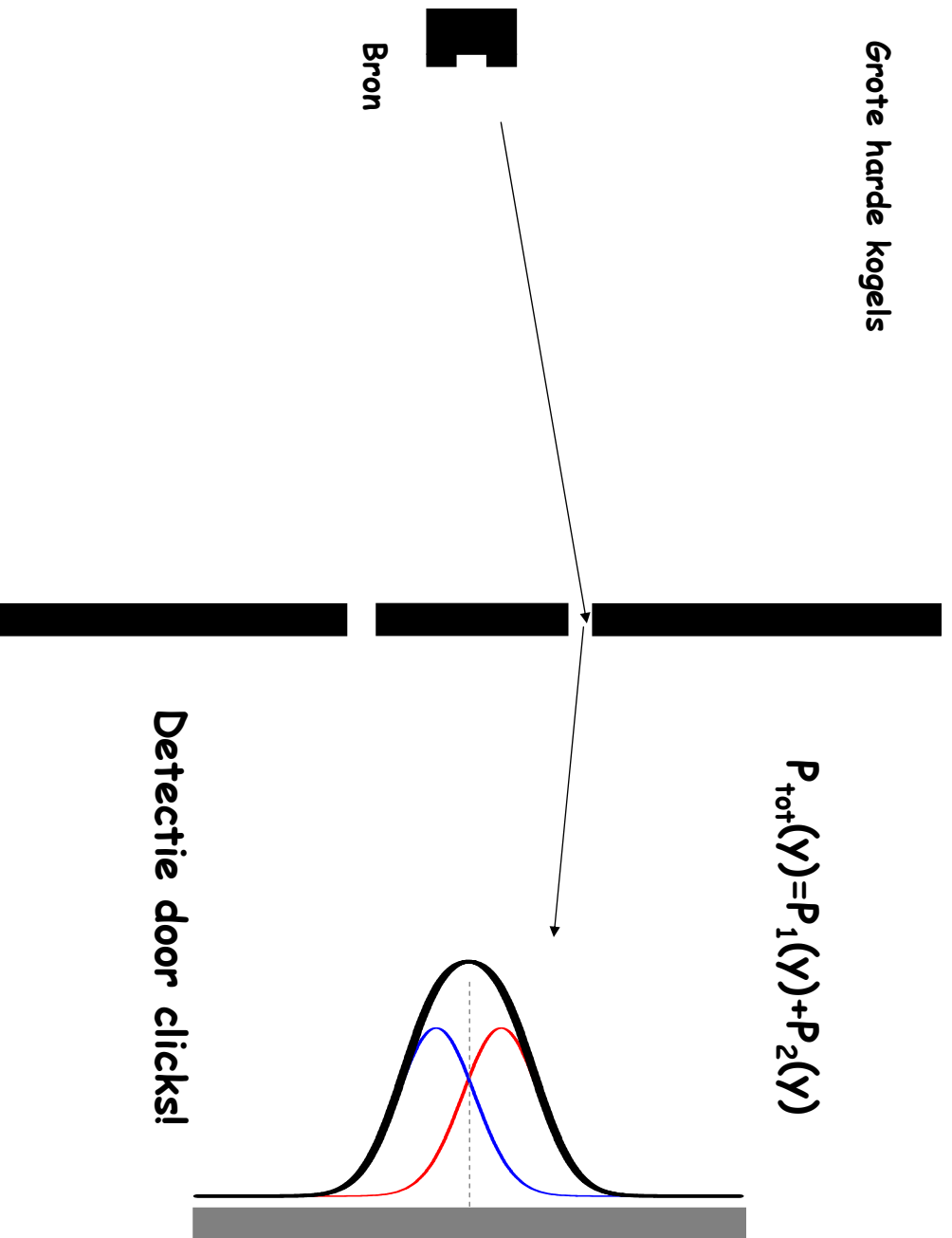
Grote harde kogels



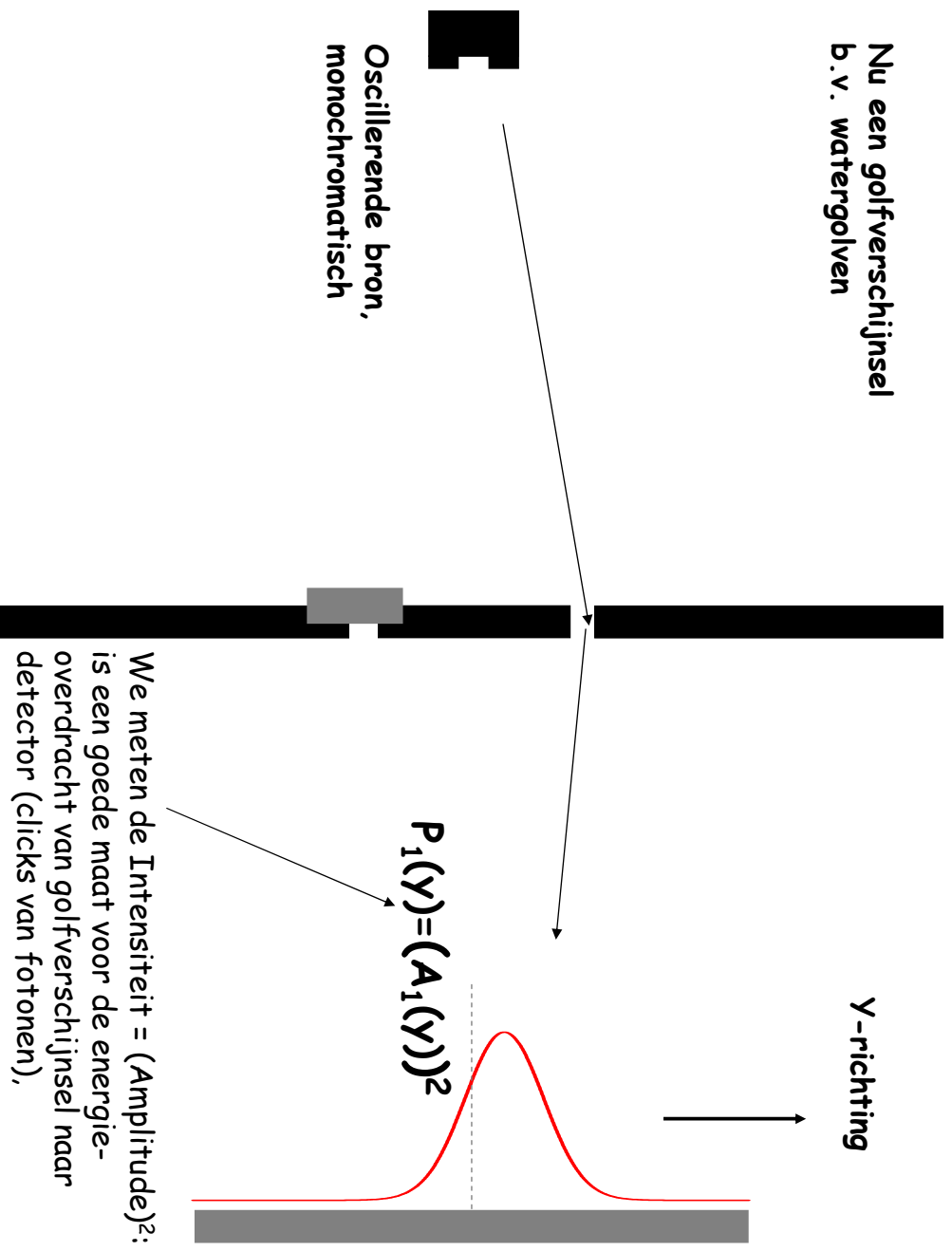
Grote harde kogels



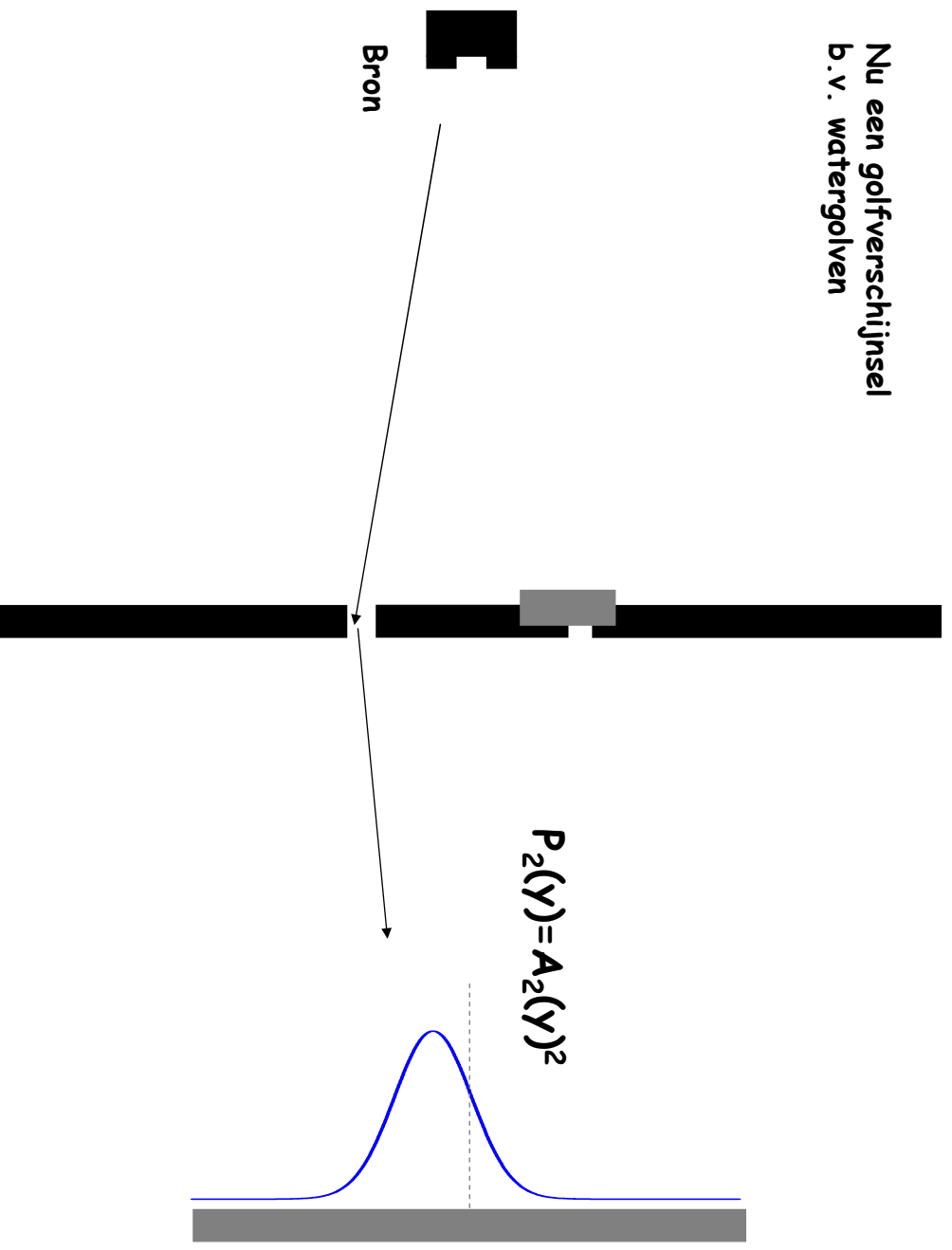
Grote harde kogels



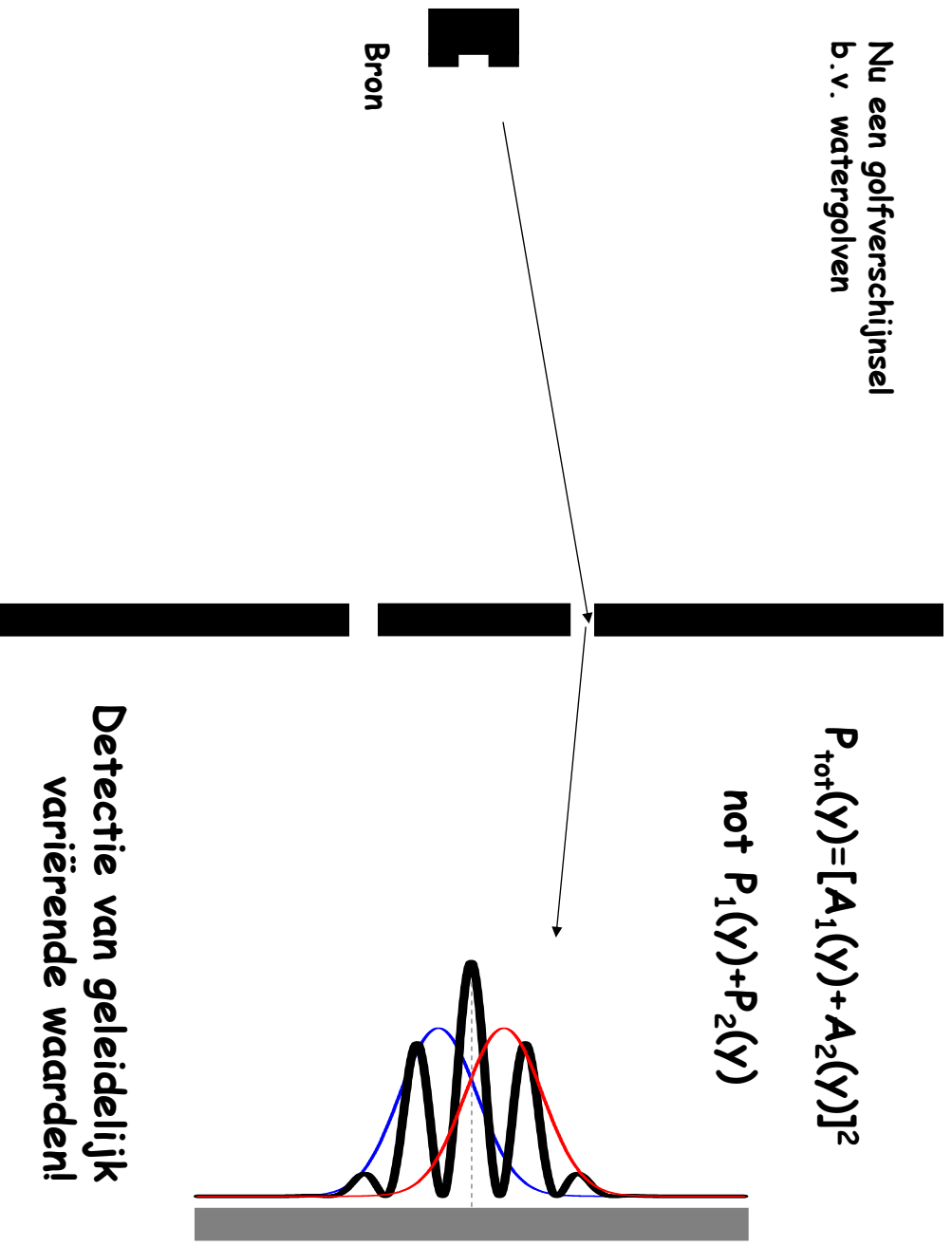
Nu een golfverschijnsel  
b. v. watergolven



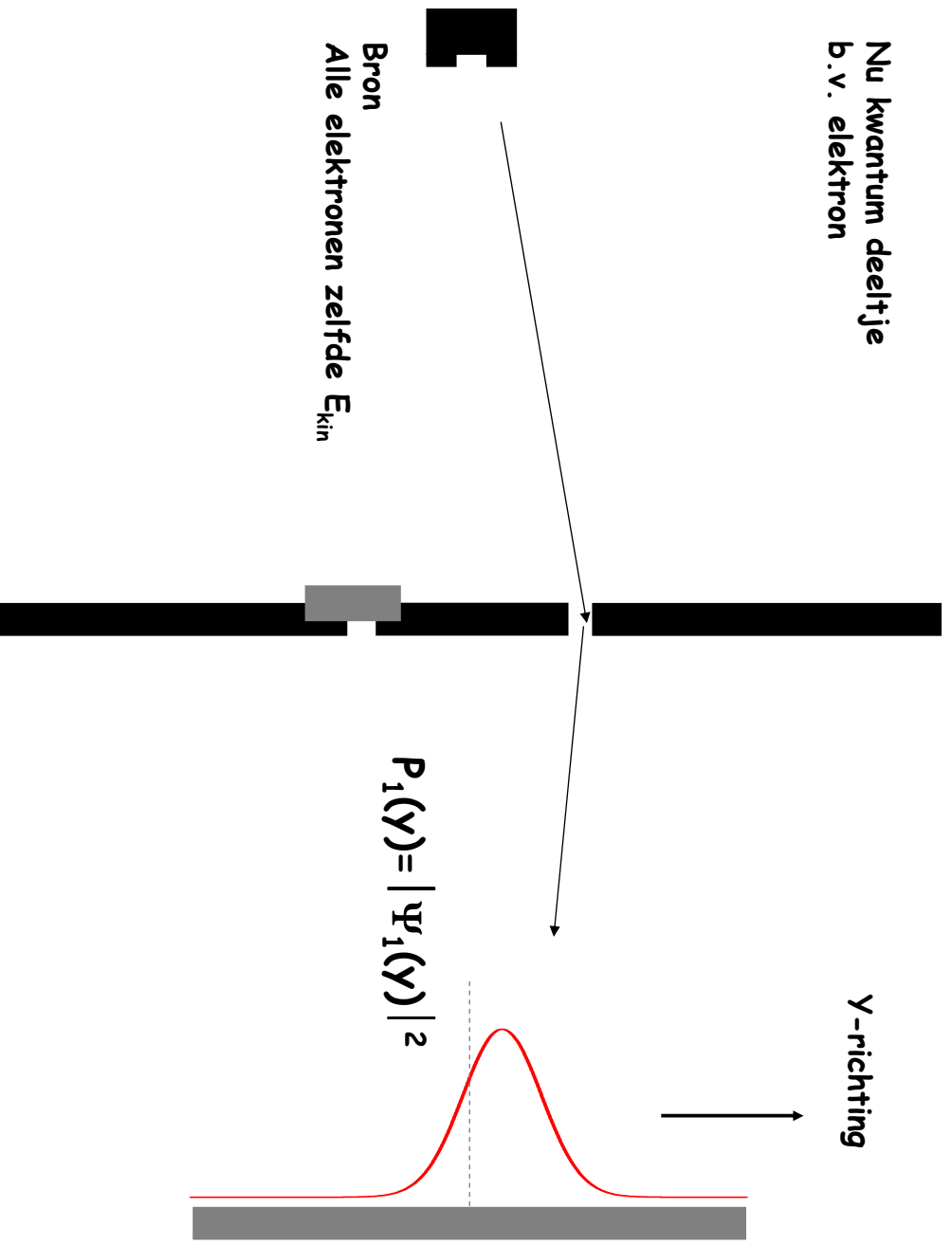
Nu een golfverschijnsel  
b. v. watergolven



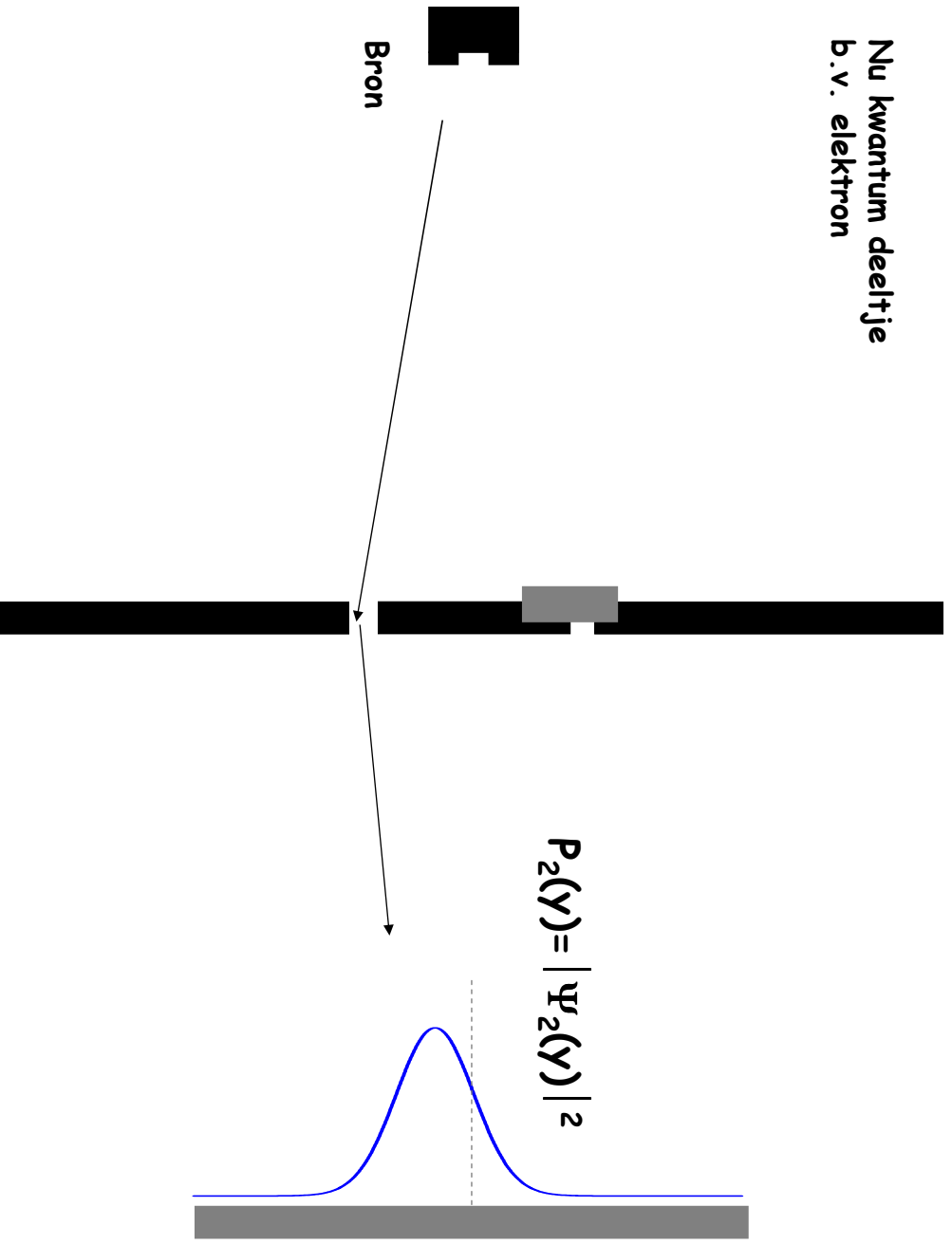
Nu een golfverschijnsel  
b.v. watergolven



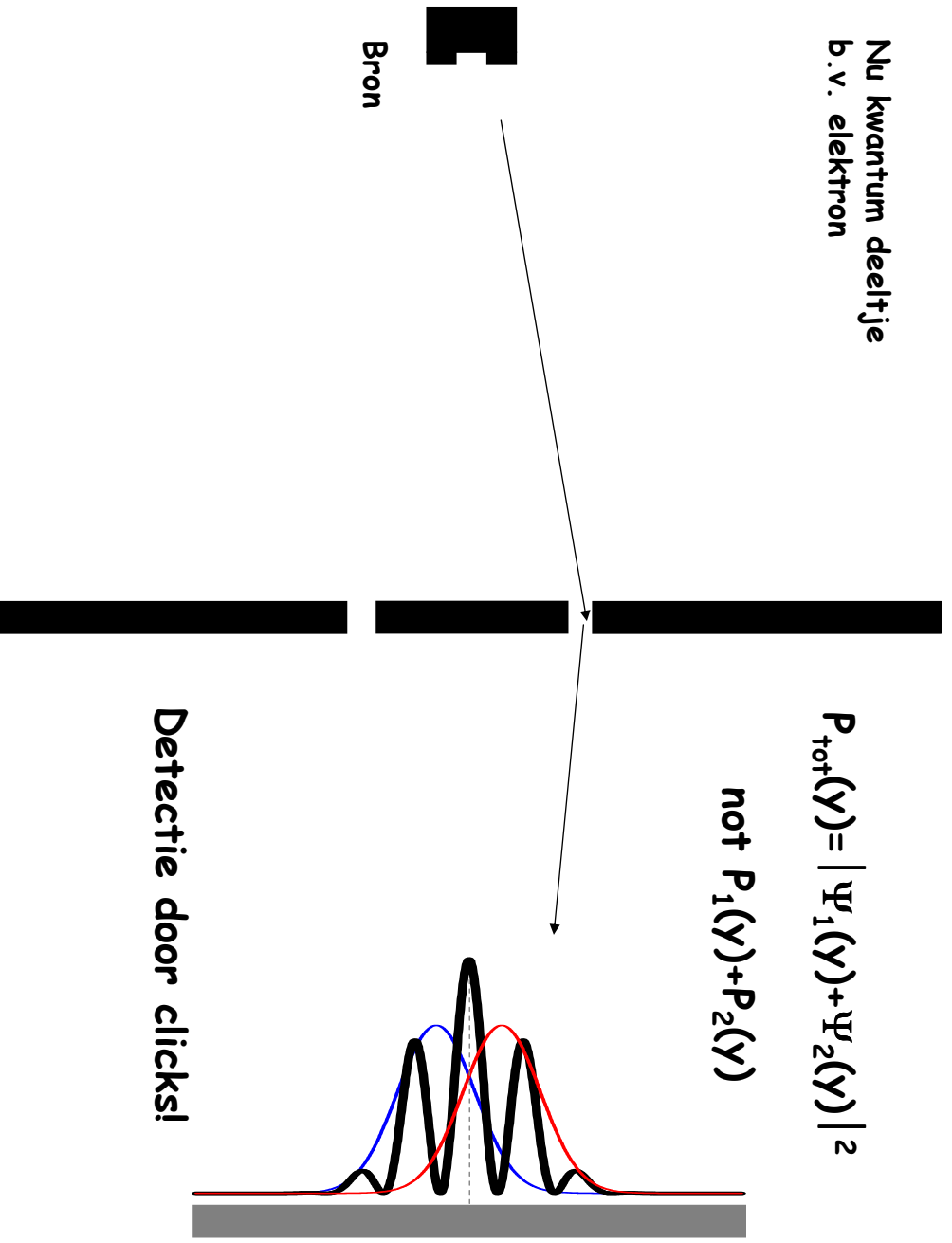
Nu kwantum deeltje  
b.v. elektron



Nu kwantum deeltje  
b. v. elektron



Nu kwantum deeltje  
b. v. elektron



## Conclusie:

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

Hoe lang is de golflengte?

De Broglie

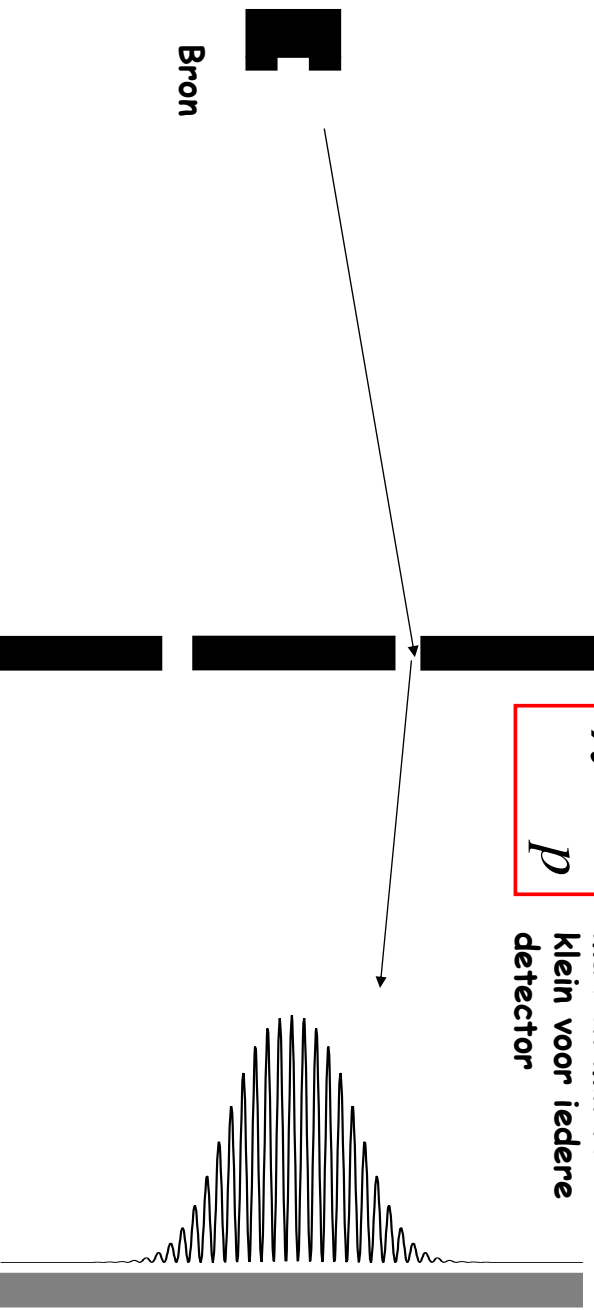
$$\lambda = \frac{h}{p}$$

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

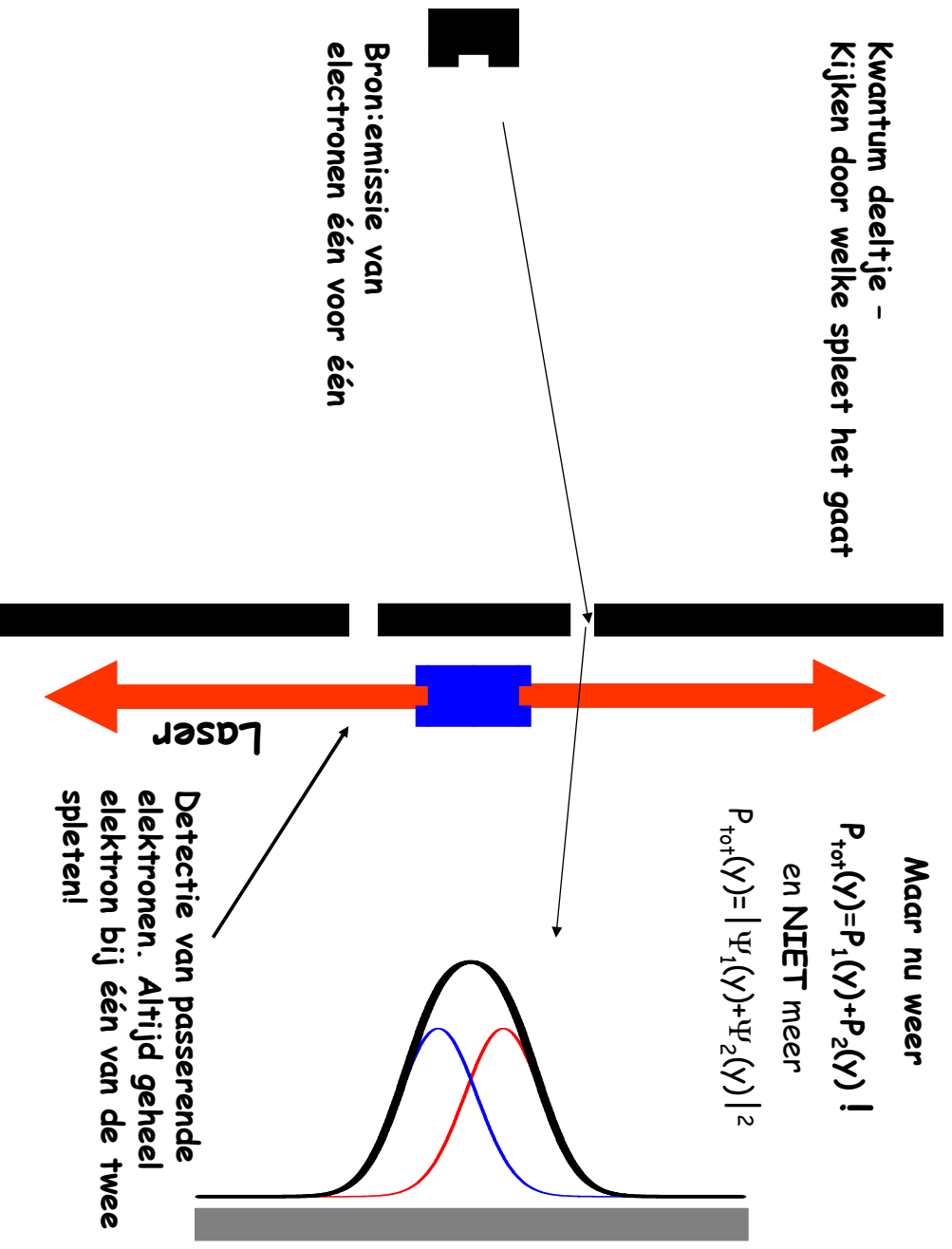
Grote harde kogels  
- toch ook kwantum deeltjes?

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

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



.....meer redenen voor  
verdwijnen interferentie



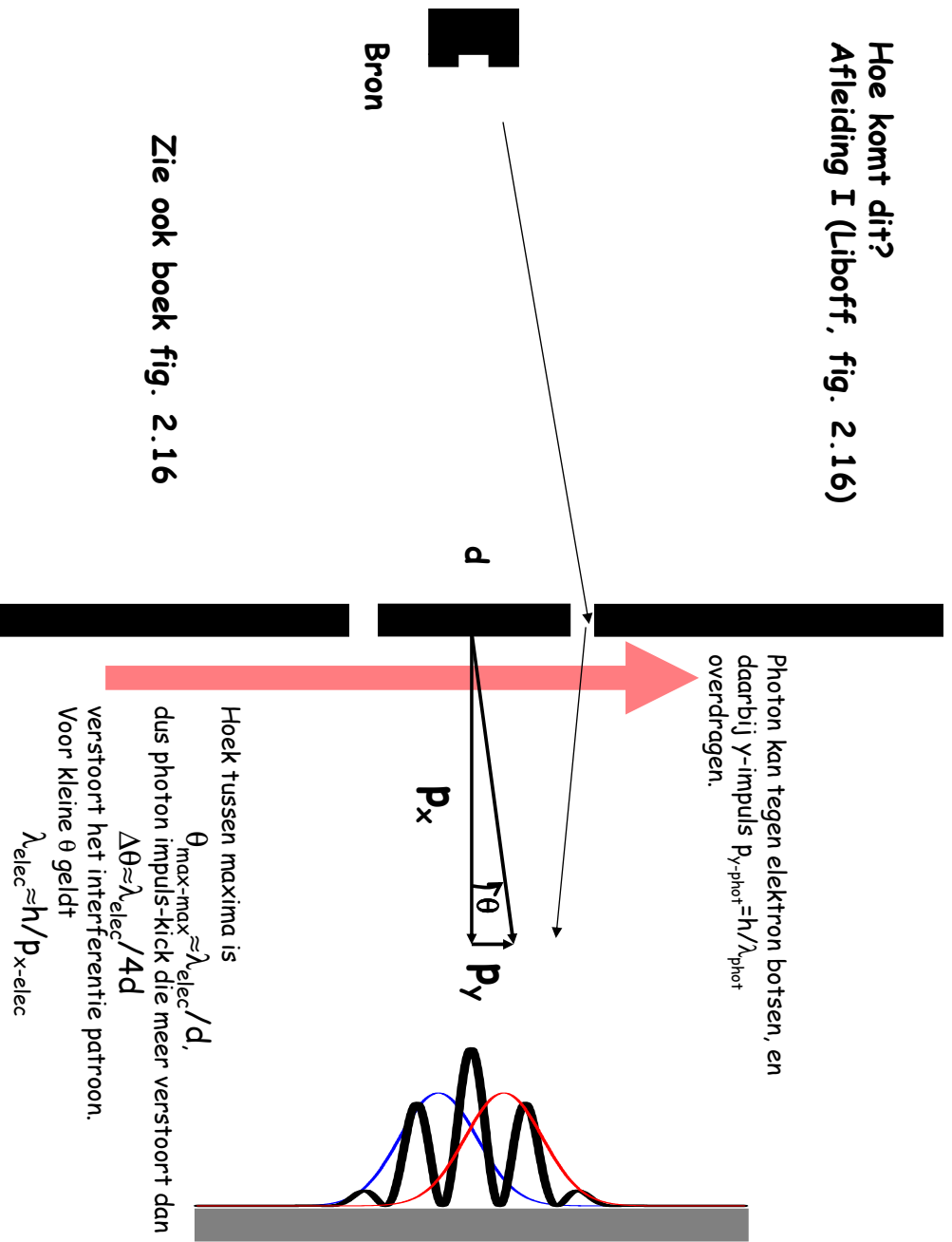
**Conclusie:**

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

Hoe komt dit?



## Hoe komt dit? Afleiding I (Liboff, fig. 2.16)



Zie ook boek fig. 2.16

## Vervolg afleiding I (Liboff, fig. 2.16)

Hoek tussen maxima is  $\theta^{\text{max}} \approx \lambda_{\text{elec}}/d$ , dus photon impuls-kick die  $\theta$  meer verstooft dan  $\lambda_{\text{elec}}/4d$  verstooft het interferentie patroon zeer sterk. Voor kleine  $\theta$  geldt

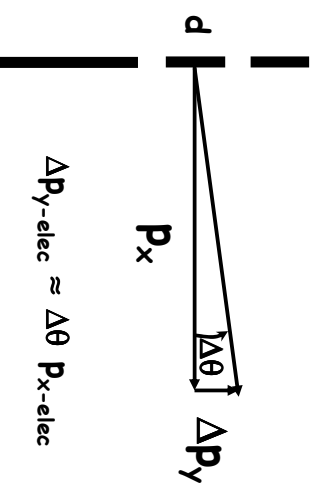
Voor  $\lambda_{\text{elec}} \approx h/p_{x\text{-elec}}$  verstoring heeft als eis  $\Delta p_{y\text{-elec}} \approx \Delta \theta p_{x\text{-elec}} < (\lambda_{\text{elec}}/4d) \cdot p_{x\text{-elec}} \approx (h/p_{x\text{-elec}}) \cdot (1/4d) \cdot p_{x\text{-elec}} = h/4d$

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!

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



## 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

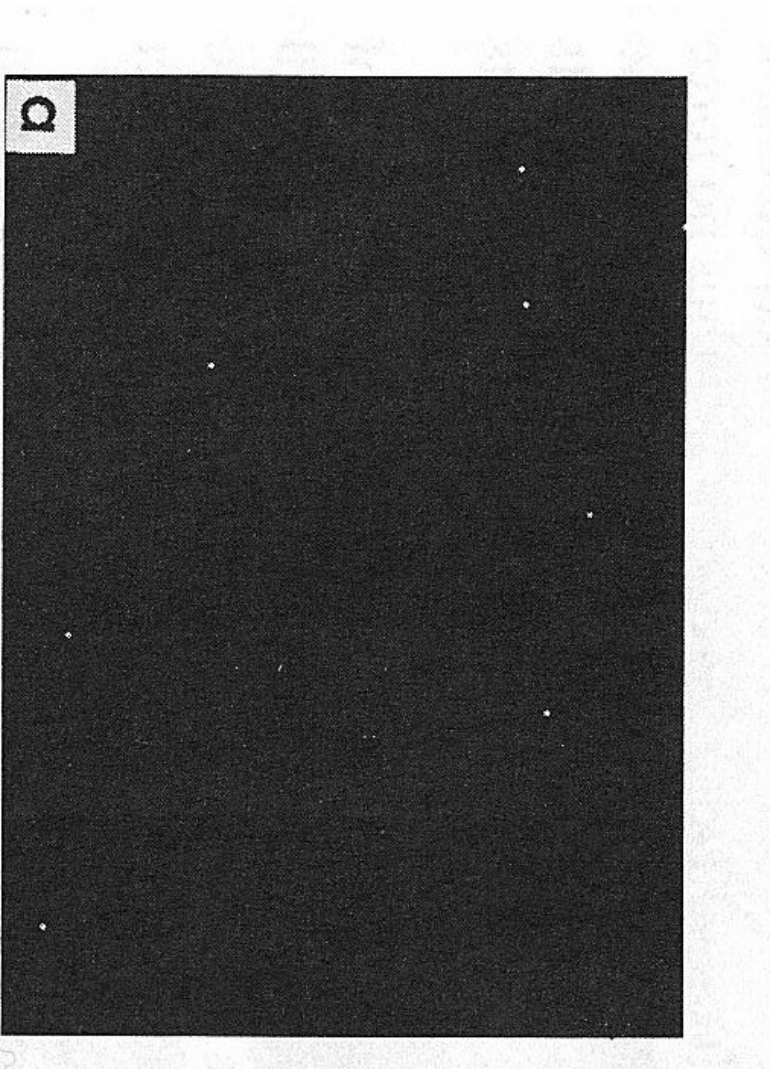
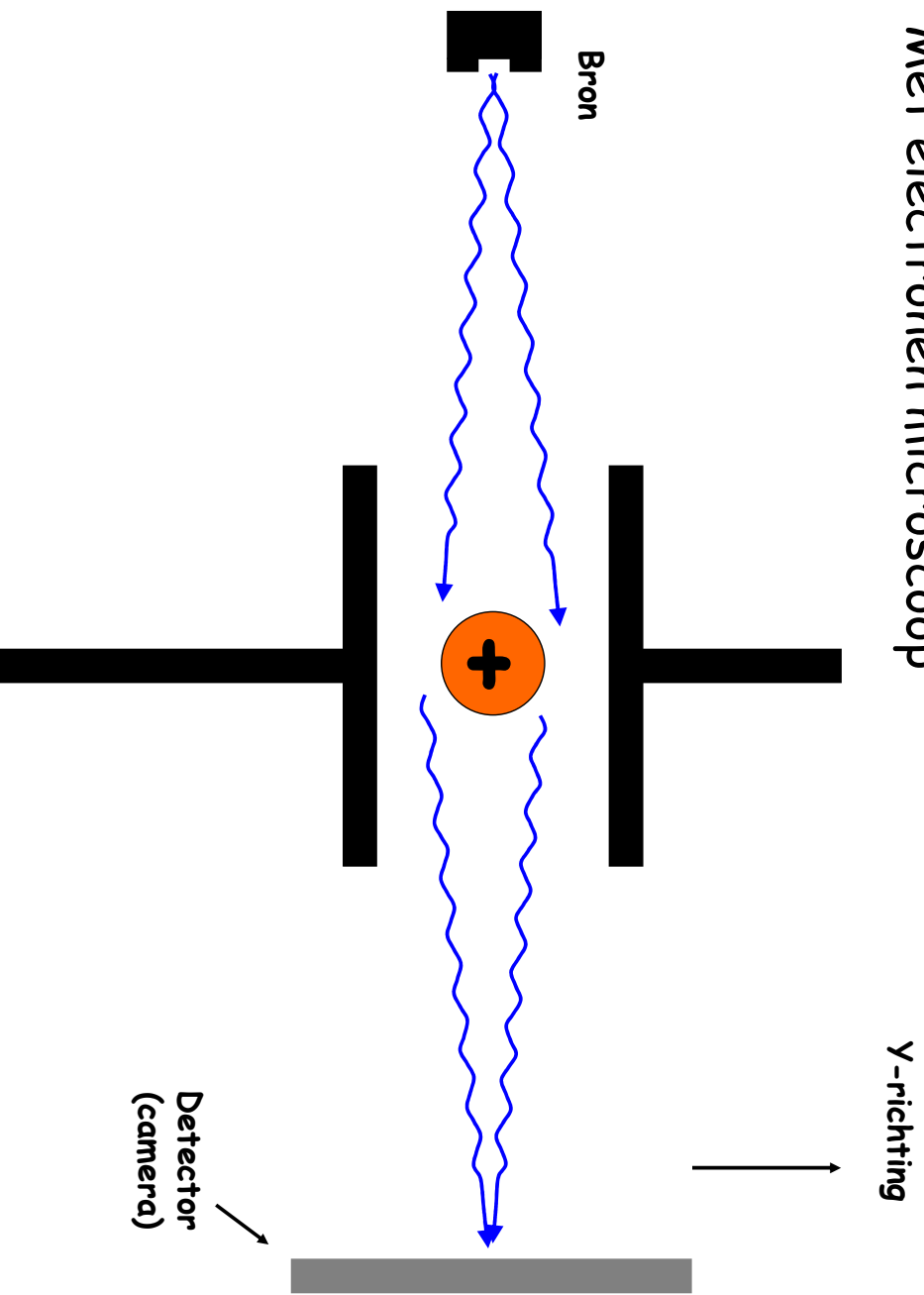
$$\Delta p_{y\text{-elec}} = h/\lambda_{\text{phot}} > 4h/d.$$

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

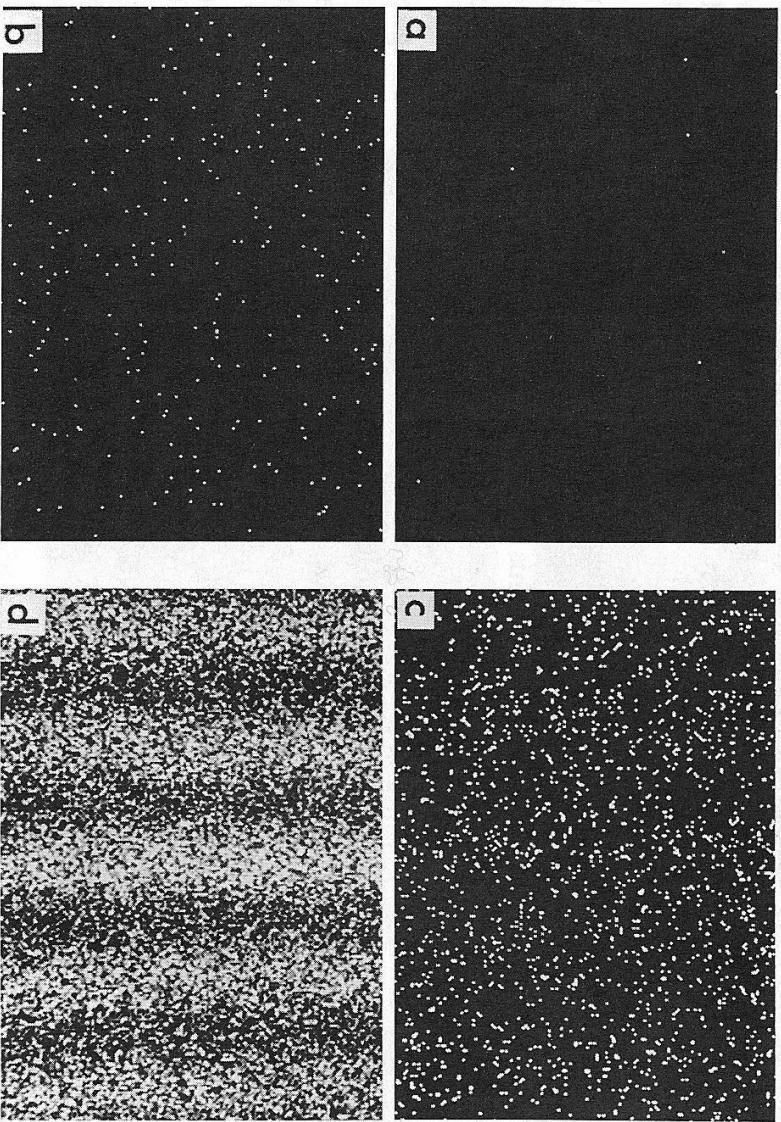
# Recent onderzoek

**Nog steeds kwantumfysica  
aan het leren...**

# Met elektronen microscoop



Y-richting  $\longrightarrow$



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

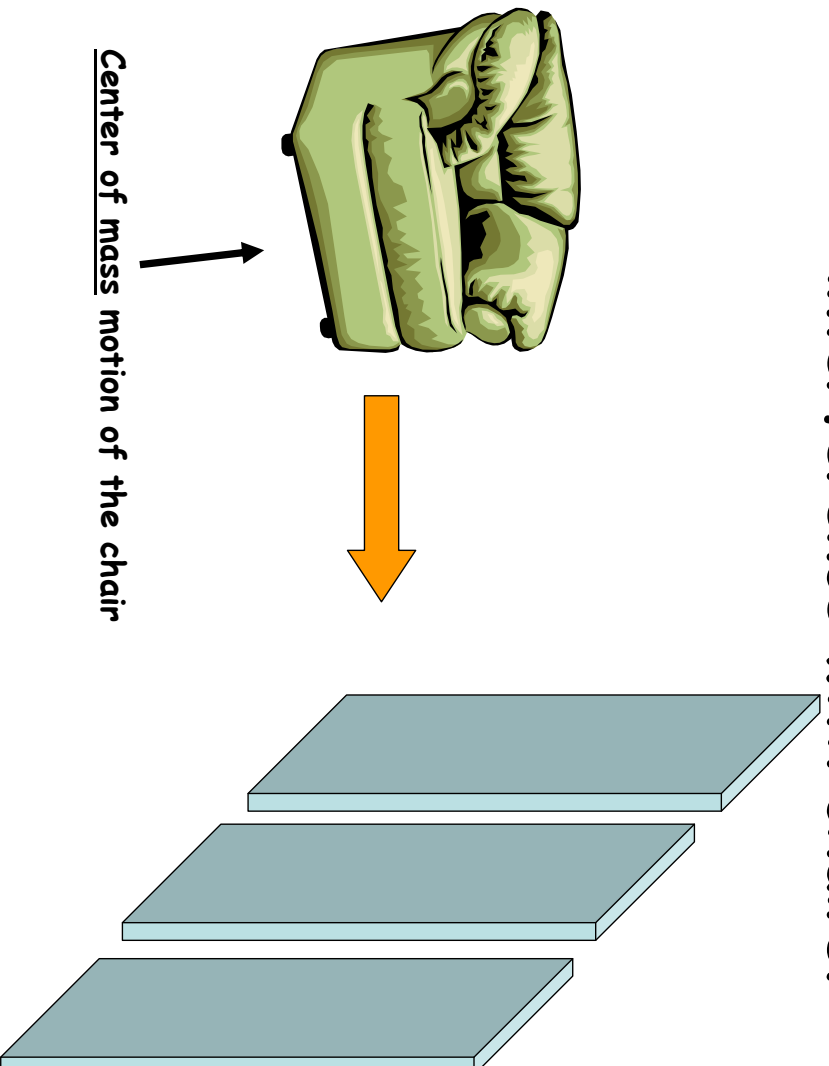
## **Conclusie:**

**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

VOLUME 91, NUMBER 9

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending  
29 AUGUST 2003

## 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, Boltzmanngasse 5, A-1090 Wien, Austria*<sup>†</sup>  
(Received 7 April 2003; published 28 August 2003)

letters to nature  
.....

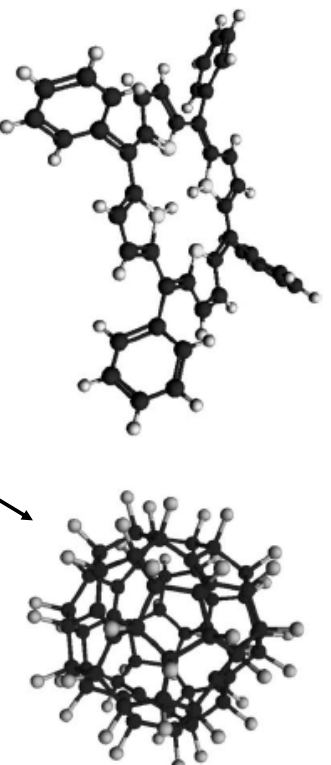
### Decoherence of matter waves by thermal emission of radiation

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

<sup>†</sup>*Institut für Experimentalphysik, Universität Wien, Boltzmanngasse 5,  
A-1090 Wien, Austria*

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

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



1632 atomic mass units

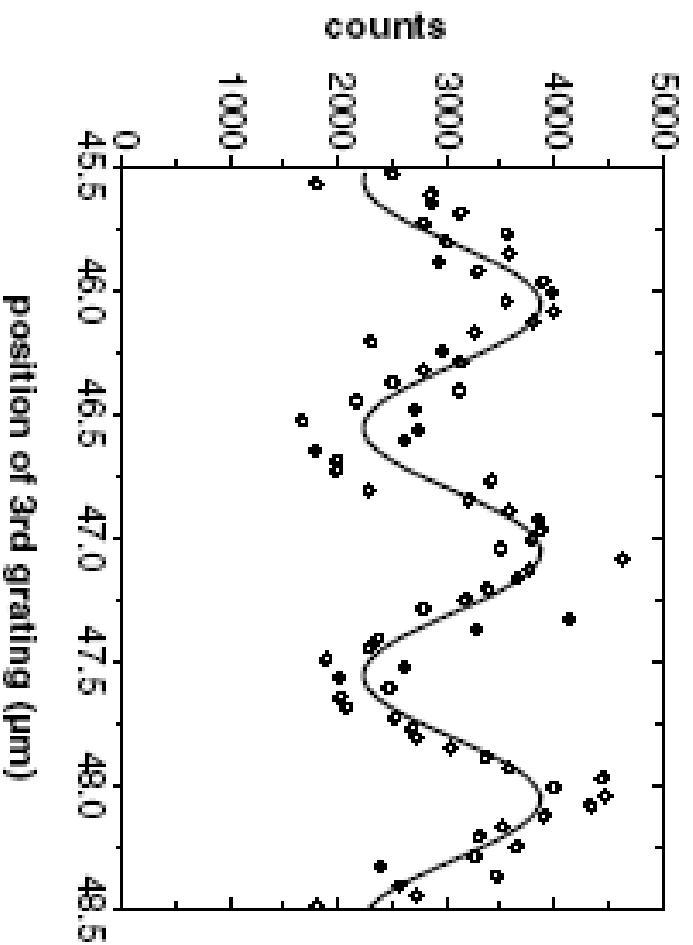
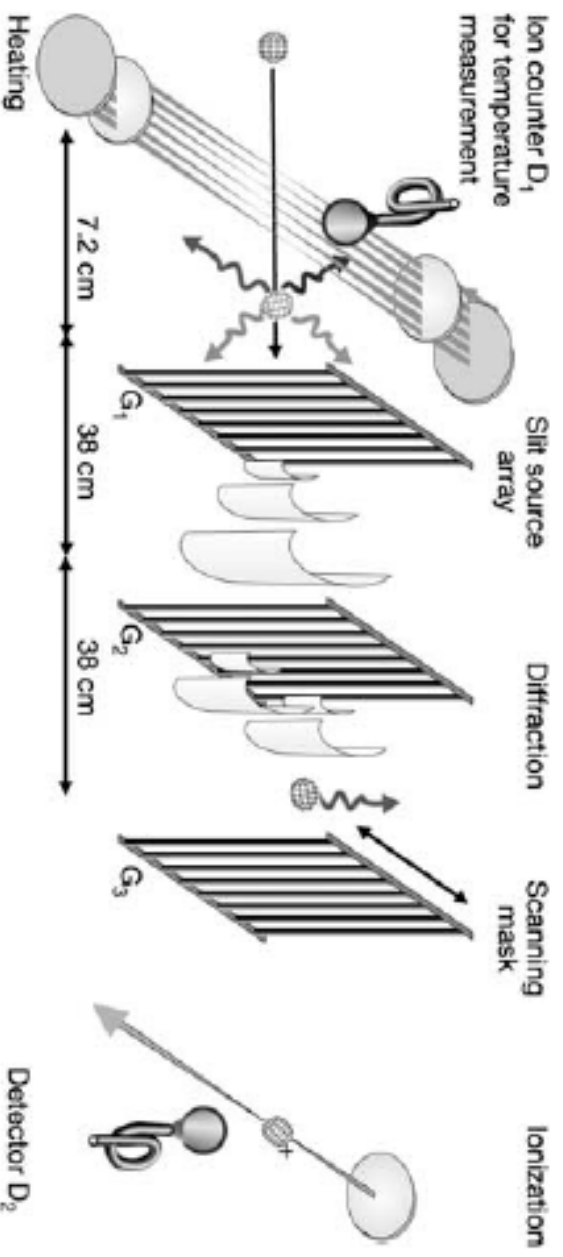
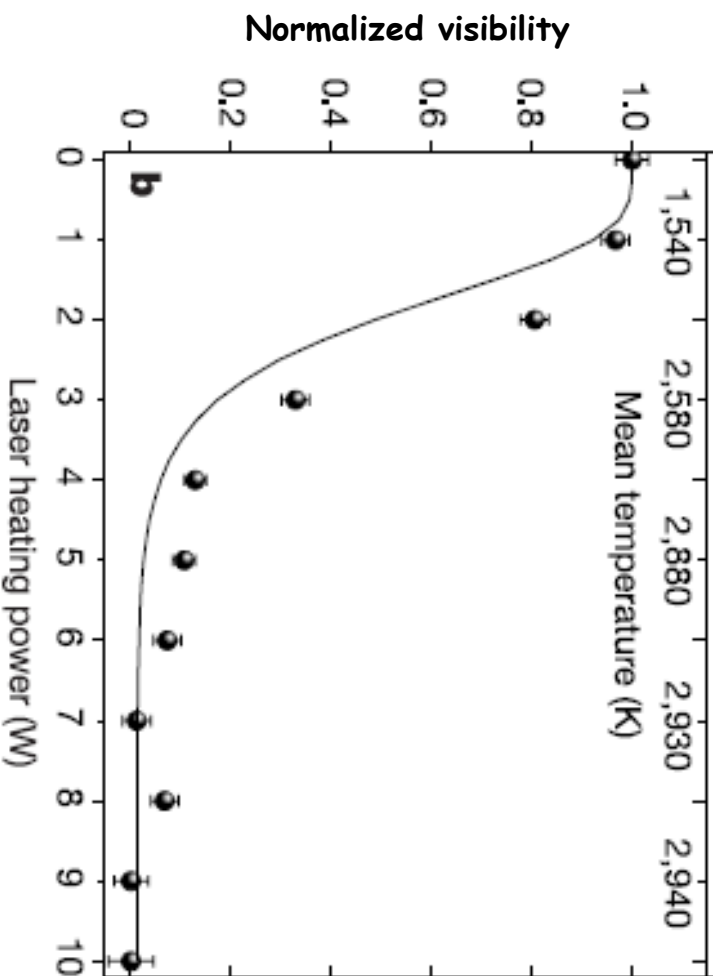


FIG. 4. Quantum interference fringes of C<sub>60</sub>F<sub>48</sub>. The beam has a mean velocity of  $v_m = 105$  m/s and a velocity spread (FWHM) of  $\Delta v/v_m = 20\%$ .



**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,  $\lambda$  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 photonen 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=DfPeprQ7o6c>

## Volgende college:

Postulaten van kwantumfysica, formele opbouw theorie.