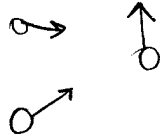


6/5: Kvantfysikens principer, 1

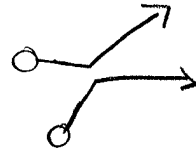
15/5: TA32

Bekanta koncept:

partiklar



kollision



vågor



interferens



repetera!
(se plenenig)

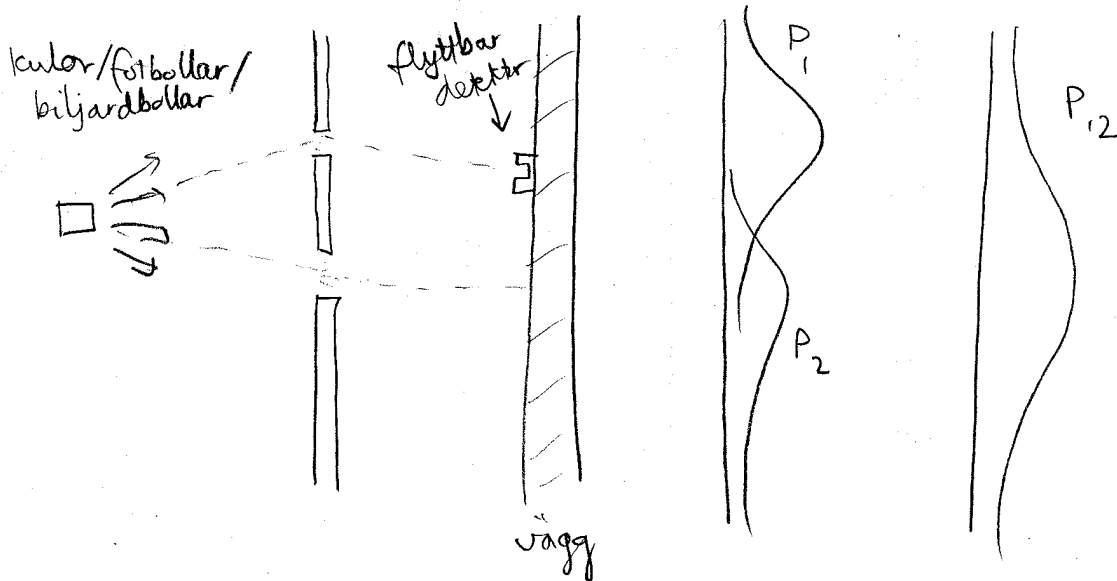
Kvantfysik: partikel-våg-dualitet

elektroner uppför sig både som partiklar och som vågor

Feynman: varken eller
(= F)

Partiklar

(varför sådana här experiment?  svårt)



$$\text{sannolikhet } P = \frac{\text{antal i detektor på 1 minut}}{\text{antal som når vägg på 1 minut}} \\ \uparrow \\ \text{eller detektor!}$$

"chans att träffa detektor"

notera:
efterklokt!

Viktigt: klumparna går inte sönder (dvs. delas upp)
"odelbara"

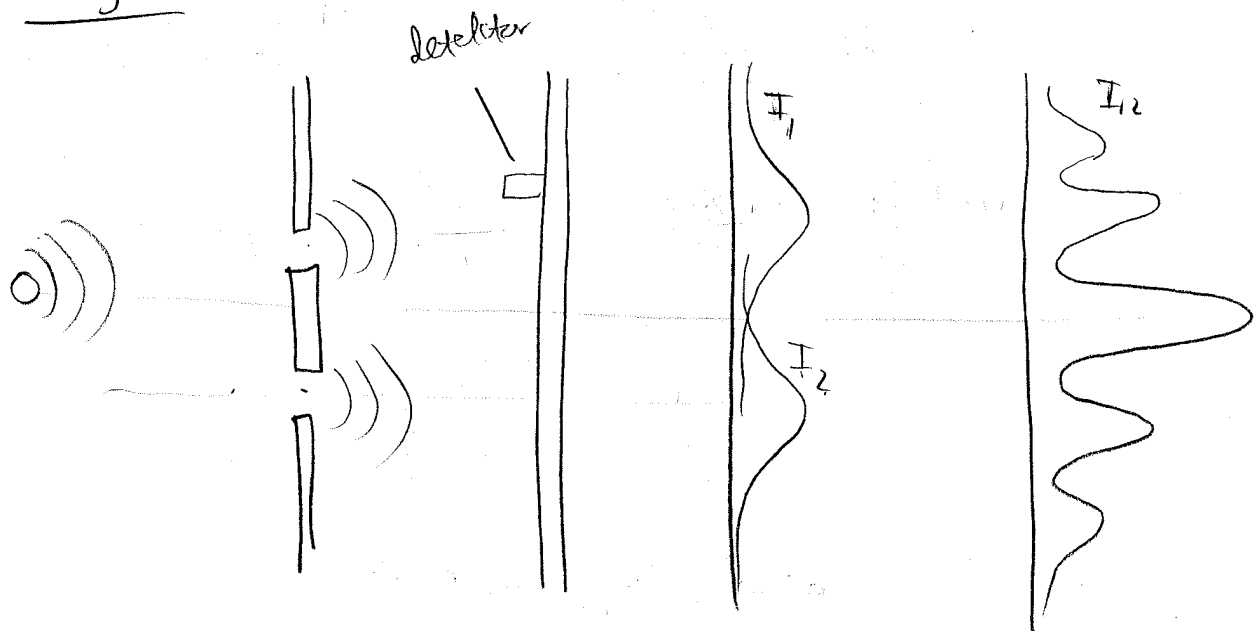
$$P_{12} = P_1 + P_2$$

Vad har vi lärt oss? Inget vi inte visste,
men vi har formulerat det tydligt.

Partiklar

- kommer i "klumpar" (enheter)
1 boll, 2 bollar, ... inte $\frac{1}{3}$ boll, 0,1 boll...
- ingen interferens — förstås

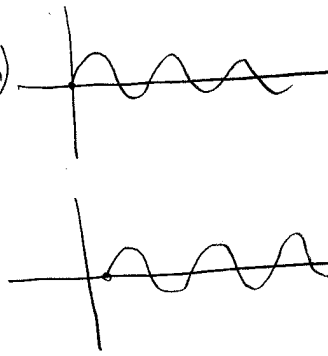
Vågor



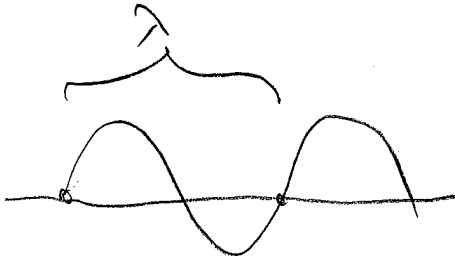
Intensitet: godtyckligt värde
(kontrastera partiklar)

Observera: $I_{12} \neq I_1 + I_2$ (jfr. $P_{12} = P_1 + P_2$)

"fas skillnad δ " (jfr. 1 dm)



harmoniska vågor
 $\psi(x,t) = A \sin(kx - \omega t + \delta)$
 fas i $x=0, t=0$



2 dm)

$$\psi = A e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \delta)}$$

Intensitet $\propto |\psi|^2 = A^2$

2 vågor i en punkt
 $\vec{r}$ vid tiden t :

$$\psi_1 = A_1 e^{i(\vec{k}_1 \cdot \vec{r} - \omega_1 t + \delta_1)}$$

$$\psi_2 = A_2 e^{i(\vec{k}_2 \cdot \vec{r} - \omega_2 t + \delta_2)}$$

vågreell

fas: $\frac{\psi_1}{|\psi_1|} = e^{i(\vec{k}_1 \cdot \vec{r} - \omega_1 t + \delta_1)} = e^{i\varphi_1}$ (dvs. utan A_1)

fas skillnad läses av från $\frac{\psi_1/|\psi_1|}{\psi_2/|\psi_2|} = \frac{e^{i\varphi_1}}{e^{i\varphi_2}} = e^{i(\varphi_1 - \varphi_2)}$

Intensitet $\propto |\psi_1 + \psi_2|^2$

$$= |A_1 e^{i\varphi_1} + A_2 e^{i\varphi_2}|^2$$

$$1 \rightarrow |e^{i\varphi_1}|^2 |A_1 + A_2 e^{i(\varphi_2 - \varphi_1)}|^2$$

$$= (A_1 + A_2 e^{i\delta}) (A_1 + A_2 e^{i\delta})^*$$

$$= (A_1 + A_2 e^{i\delta}) (A_1 + A_2 e^{-i\delta})$$

$$= A_1^2 + A_1 A_2 e^{-i\delta} + A_1 A_2 e^{i\delta} + A_2^2 e^0$$

③

Använd $e^{i\delta} + e^{-i\delta} = (\cos \delta + i \sin \delta) + (\cos \delta + i \sin(-\delta))$
 $= 2 \cos \delta$

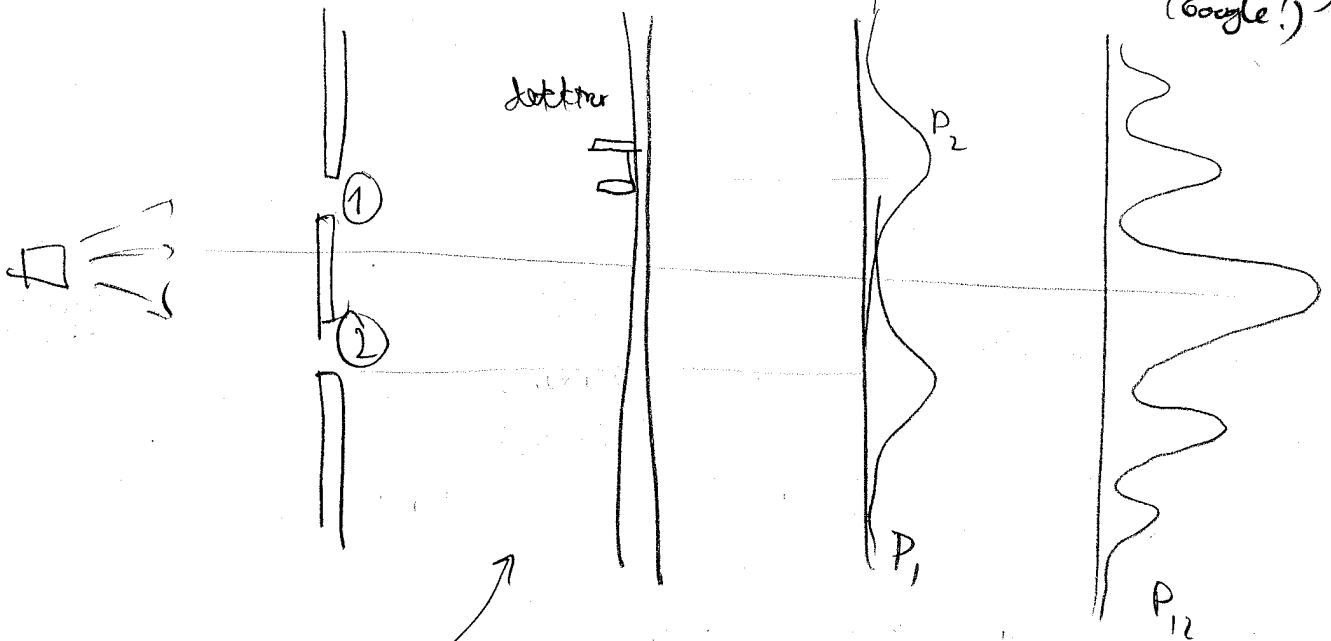
$\Rightarrow I_{12} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta$

$\downarrow A_1^2$
 $\uparrow A_2^2$

Elektroner

boyan
1961, 1989

Hitachi double slit: nästa gång
(Google!)



en räkna "klick"

(jfr. Geiger-räkare)

medelvärde!

elektron = partikel

$\Rightarrow$ Rimlig ide: elektroner gick genom antingen ① eller ②

Problem med idén:

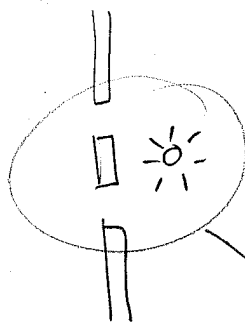
$$P_{12} \neq P_1 + P_2$$

Ledning: observera att P_{12} ser ut som $(\gamma_1 + \gamma_2)^2$
från vågorna

Men elektronerna går en och en?

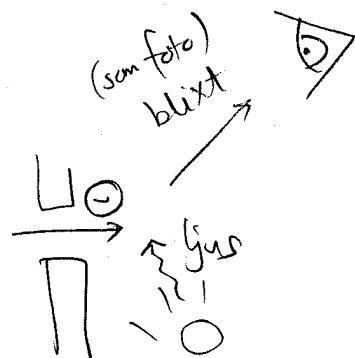
Testa i experiment

lägg till ljuskälla



får nu P'_1, P'_2

— som för kulorna!



när vi observerar elektronerna, störs de på något sätt.

Förbättring 1: Sänk I

när I går under en viss gräns —
ingen blix!

$\Rightarrow$ ljus är också "klumpar", och lägre
 $I \Rightarrow$ färre och färre klumpar

$\nearrow$ FOTONER

Förbättring 2:

Lägre energi per foton?

Sänk frekvens ω
(= öka våglängd λ)

När $\lambda = O(d)$ "stor blick"

(jfr. vattenvågor och liten sten)



Inget fungerade:

fundamental begränsning i möjligheter

att göra experiment: Heisenbergs osäkerhetsrelation

Regler

(1) $P = |\psi|^2$ ^{komplex tal} (jfr. $I \propto |\psi|^2$ för vågor)

(2) interferens när vi inte mäter explicit
vilket hål: $P = |\psi_1 + \psi_2|^2 \neq P_1 + P_2$

(3) mäter vi vilket hål: $P_{12} = P_1 + P_2$

Förhållande odds !

16 uppg. i kompendiet !

Närta gång - ner detaljer