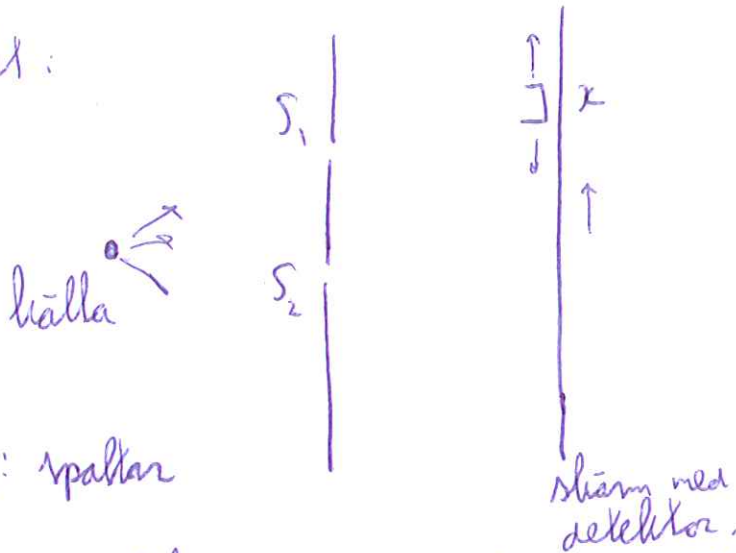


Dubbelspalt experimentet

Viktigt experiment, som visar kvantfysikens konstigheter på ett enkelt sätt. Viktigt att förstå vad som händer, och konsekvenserna!

Översikt:



S_1, S_2 : spaltar

skärm med detektor.

Vi tittar på olika system där källan skickar ut kulor (klassiska partiklar)

Partiklar, vågor eller via spalterna till skärmen, där de absorberas, eller detekteras.

- * vatten vågor (klassiska vågor)
- * elektroner (kvantmekaniska 'partiklar')

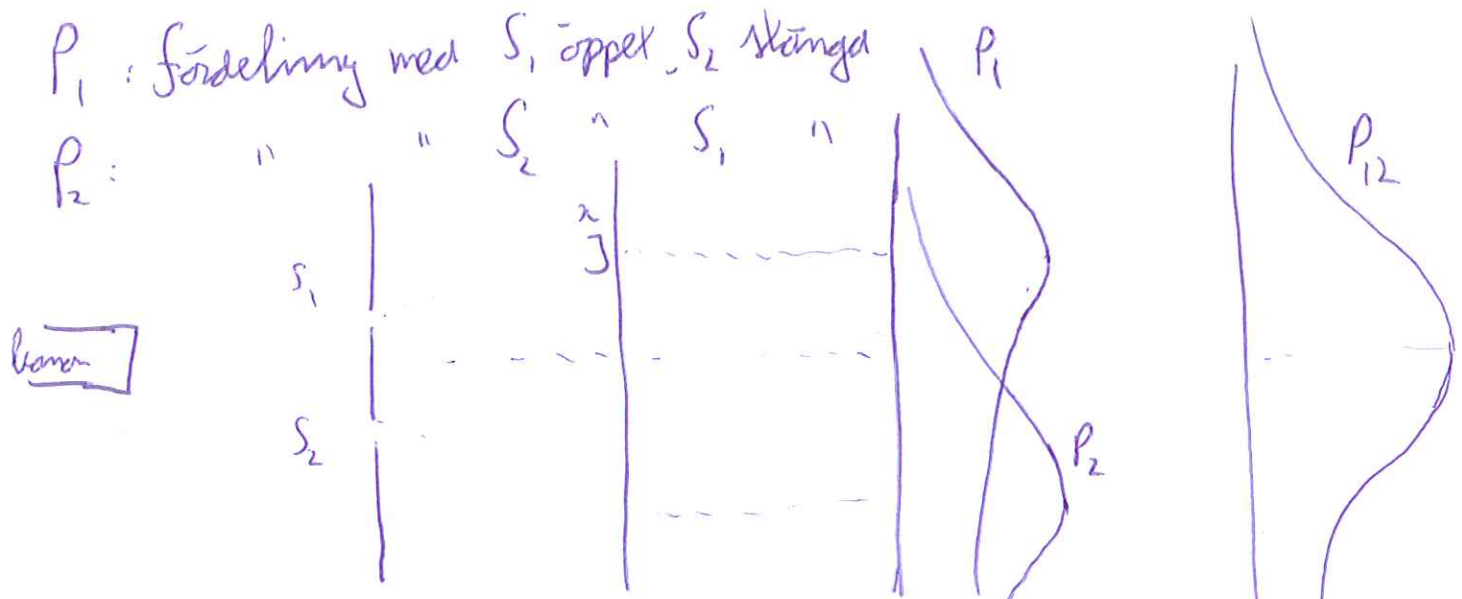
Vi kan stänga S_1, S_2 oberoende av varandra.

Experiment med kulor:

Källan skickar ut kulorna med osäkerhet i riktningen. Kulorna går inte runda, ~~de~~ detektorer registrerar bara hela kulor.

Vid varje x ~~med~~ räknar vi under en given tid hur många kulor hamnar där.

Så vi får sannolikheten att en kula hamnar på skärmen vid ~~ett~~ läge x . Sedan tittar vi på sannolikhets fördelningen



Om både S_1 och S_2 är öppna: vid varje x finns det en chans att en kula hamnar där via S_1 eller S_2 .

Så vi måste addera sannolikheterna: $P_{12} = P_1 + P_2$.

* kuler går inte under, detektorn registrerar hela kuler!

* $P_{12} = P_1 + P_2$ för kuler, ingen interferens

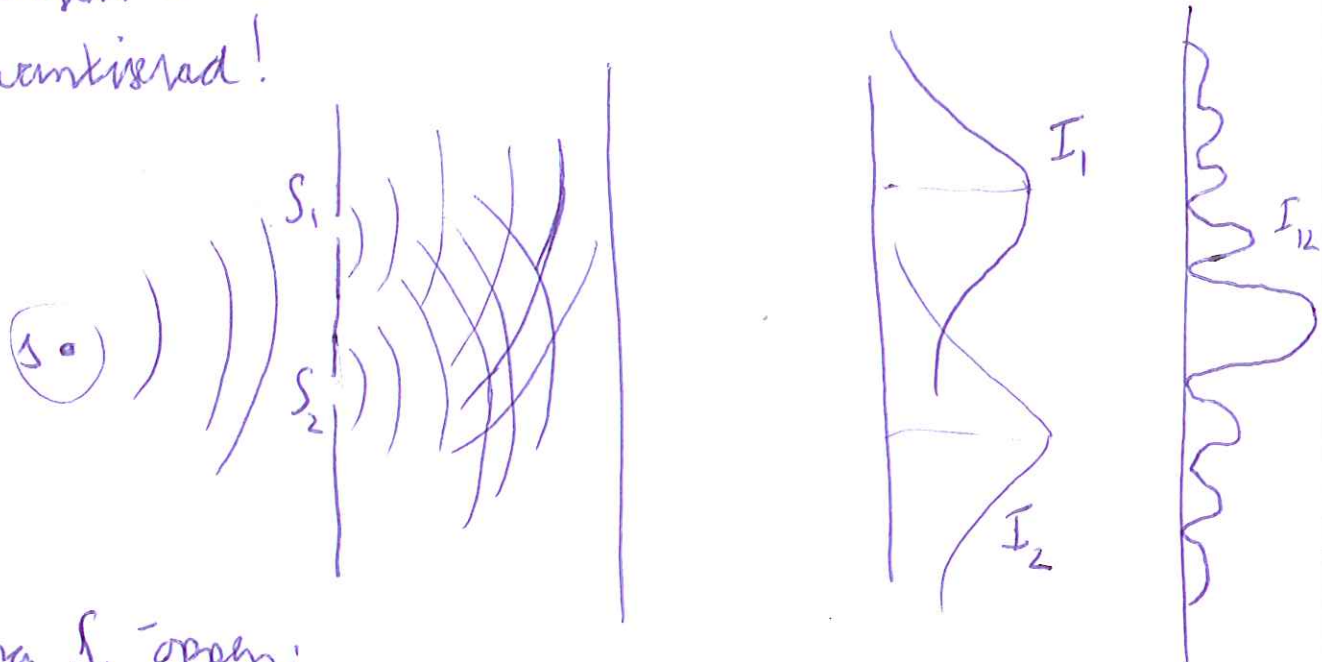
Experiment med vatten vågor:

Källan skickar vågor med samma amplitud, frekvens.

Skärmen absorberar vågorna, och detektorn mäter energi, eller amplitud i kvadrat, som är intensiteten.

Enklare är att använda komplexa vågor, det behövs ändå i kvantfysik, och vi kan ta reella delen.

Energien kan ta vilket positivt värde, den är inte kvantiserad!



Bara S_1 öppen:

Intensitet $I_1 = |h_1|^2$, med amplituden h_1 , komplex tal:

$$h_1 = A_1 e^{i(\omega t)}$$

$A_1(x)$: beror på x , och amplituden hos källan

$$I_1 = A_1^2(x), \text{ ser ut som } P_1 \text{ hos ditt experiment.}$$

(vi börjar från diffraction från en enda spalt).

Samma händelse med bara S_2 öppen:

$$I_2 = |h_2|^2$$

Med både S_1 och S_2 öppna: vågorna från S_1 och S_2 kan förstärka eller sväcka ut varandra!

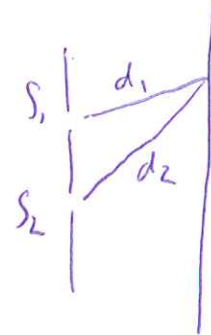
Superpositionsprincip säger att vi först måste addera vågorna, och sedan beräkna energin.

$h_{12} = h_1 + h_2$: h_1 och h_2 har faser så vi får interferens!

$$I_{12} = |h_{12}|^2 = |h_1 + h_2|^2 \neq |h_1|^2 + |h_2|^2 = I_1 + I_2$$

Maximum i I_{12} : vågorna i fas.

$$d_2 - d_1 = n\lambda, \text{ med } n \text{ heltal, } \lambda \text{ våglängden.}$$



Minimum i I_{12} : vågorna ur fas,

$$d_2 - d_1 = (n + \frac{1}{2})\lambda, \text{ med } n \text{ heltal.}$$

Vi kan beräkna I_{12} : $h_1 = A_1 e^{i\phi_1}$, $h_2 = A_2 e^{i\phi_2}$

$$I_{12} = |h_{12}|^2 = |h_1 + h_2|^2 = |A_1 e^{i\phi_1} + A_2 e^{i\phi_2}|^2$$

$$(A_1 e^{i\phi_1} + A_2 e^{i\phi_2})(A_1 e^{-i\phi_1} + A_2 e^{-i\phi_2}) = A_1^2 + A_1 A_2 e^{i(\phi_1 - \phi_2)} + A_2 A_1 e^{i(\phi_2 - \phi_1)} + A_2^2$$

$$= A_1^2 + A_2^2 + A_1 A_2 (e^{i(\phi_1 - \phi_2)} + e^{-i(\phi_1 - \phi_2)}) = A_1^2 + A_2^2 + 2 \cos \delta,$$

med $\delta = \phi_1 - \phi_2$: fas skillnaden.

$$I_1 = A_1^2, I_2 = A_2^2, \text{ så } A_1 A_2 = \sqrt{I_1 I_2}, \text{ så } I_{12} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta.$$

$$\delta = 0 \rightarrow I_{12} = I_1 + I_2; \quad \delta = \pi \text{ och } A_1 = A_2 \Rightarrow I_{12} = 0$$

Experimentet med elektroner.

Beskrivning vad som händer:

Detektorn är en geigermätare (teltax), som ger en 'klikk' när en e^- träffar den.

Källan skickar ut en e^- åt gången, så vi har aldrig två e^- .

Fler e^- mellan skärmen och detektorn.

Under experimentet hör vi en 'klikk då och då' och de är alla likadana: inga 'bråva klikks' eller så.

Elektronerna kommer fram som en klump, som kulorna!

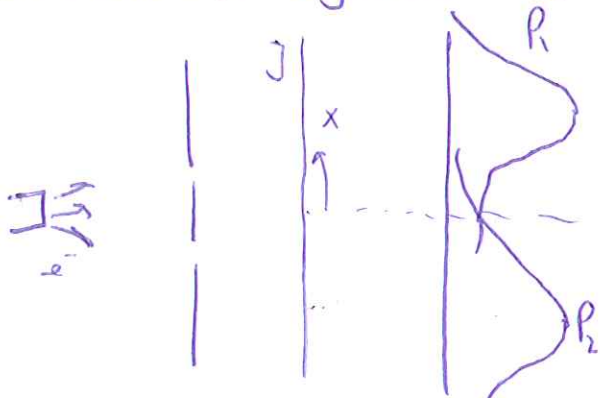
Om vi har flera detektorer: bara en åt gången som ger en 'klikk'!

Elektronerna delar inte upp sig!

Sannolikhetsfördelningar: P_1 med bara S_1 öppen

P_2 med bara S_2 öppen

P_{12} , både S_1 & S_2 öppna.



P_1 & P_2 : ser ut som experimentet med kulorna.

Vad blir P_{12} ? Man skulle ~~fövänta~~ förvänta sig $P_1 + P_2$, men

man får interferens, som med vågor!

Detta, även om e^- skickas en åt gången, och inte delar upp sig! Det är inte så att två e^- passerar S_1 & S_2 och stör varandra!

e^- delar inte upp sig, de kommer fram
'som hela partiklar'.

Kan man hitta en klassisk förklaring?

Kanske tar e^- komplicerade banor, ~~men~~ genom läde S_1 & S_2 ?

Men: det finns x där $P_{1,2}$ är mindre än till ex. P_1 med

bara S_1 öppen. Så, att öppna en spalt minskar sannolikheten

att en e^- hamnar där. På andra ställen är det

tvärtom... ~~Detta~~ Komplicerade banor är ingen lösning!

Så, för elektroner: e^- träffar skärmen som klumpor
& vi har interferens!

Fråga: kan vi på något sätt få fram vilken spalt en
enstaka e^- tog?

Bakom spalterna sätter vi en lampa, som skiner ljus
på e^- när de passerar, och detekterar ljuset, så vi
kan se vilken spalt de passerade.

Nu ser vi en 'blix' varje gång vi hör en blick, men bara
vid en spalt, så vi vet vilken det handlar om.

Vi vet sannolikhetsfördelning för varje spalt, P_1 och P_2 ,
och för varje e^- vilken spalt det handlar om. Så, för att få

$P'_{1,2}$ nu, måste vi addera P_1 och P_2 .

Detta är precis vad som händer. Med lampan på, försvinner interferens mönstret!!

Så, genom att titta vilken spalt e^- tar, förstår vi interferensen! Ljuset påverkar elektronerna.

Kan vi titta utan att förstora mönstret?

Vi kan ~~kan~~ använda ljus med lägre intensitet.

Men ljus är fotoner, varje har samma $p = \frac{h}{\lambda}$.

Så nu har vi ibland att vi hör en klick, utan att se en klick! Blixterna ser alla likadana ut.

Om vi bara tar med e^- som detekteras, utan att de gav en klick, då har vi interferens igen!

Kanske kan vi ta ljus med mindre energi, lägre frekvens, längre våglängd. Då ser vi att för λ tillräckligt stor, att vi har interferens igen.

Men nu har vi ett annat ~~to~~ problem: ljus med lång våglängd har sämre upplösning förmåga, så vi vet inte längre vilken spalt e^- tog!!

Då får vi tillbaka interferens!

Vi kan inte göra något experiment, som visar interferens, och där vi samtidigt vet vilken spalt varje e^- passerade.

Om vi tittar, vet vi vilken spalt, ingen interferens, om vi inte tittar, har vi interferens, men är det obestämd vilken spalt e^- passerade!

Heisenbergs obestämbarhetsrelation i detta samband: det är ~~omöjligt~~ omöjligt att göra ~~något~~ något exp, som visar interferens, och där vi vet vilken spalt e^- passerade! Mycket viktig, allmän princip, som är nödvändig för kvantmekanikens konsistens!