

Några nyckelkoncept i klassisk fysik:

- Realism (i filosofisk mening)

Ett fysikaliskt system är i ett visst tillstånd som beskrivs av objektiva fakta oberoende av hur mycket av detta som vi faktiskt känner till.

- Determinism

Ett systems tillstånd i framtiden bestäms fullständigt av det nuvarande tillståndet (och eventuell yttre påverkan)

Om något ändå ser "slumpartat ut" så skulle det kunna bero på att det finns "dolda variabler" som påverkar skeendet men som vi inte direkt kan observera.

Kanske kan "slumpartade" resultat också bero på att vi inte ~~har~~ har bestämt tillståndsvariablers värden tillräckligt noggrant!

- Kausalitet (orsak och verkan)

I de flesta klassiska teorier (Newtons mekanik, Maxwells elektrodynamik) så bestämmer det nuvarande tillståndet både framtiden och det förflutna.

Undantag! irreversibla processer i termodynamik

- Lokaltitet

Tillståndsvariabler är lokaliserade i ett begränsat område i rummet

Hur kan påverkan på avstånd ske?? Elektromagnetiska fält! (vågrörelser med en ändlig hastighet \rightarrow ljsets!)

"variabler 'här' kan endast påverka variabler 'här borta' efter en viss fördröjning"

Einstein: den kan inte ^{utbreda} ~~utspela~~ sig med högre hastighet än $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Kvantfysik

Kvantfysiken uppfyller inte dessa 'självlära' antaganden

Två enkla men viktiga system i fysiken:

↳ En ~~partikels~~ fotons polarisation

↳ En elektrons spinn

Obs! (boken: "Några (tanke)-experiment")

Ljusvåg utbreder sig längs ngn. viss riktning (z-axeln) med vågvektor \mathbf{k} ($e^{i\mathbf{k} \cdot \mathbf{x}}$)

Maxwells ekv. har ett 2-dim rum av sådana lösningar

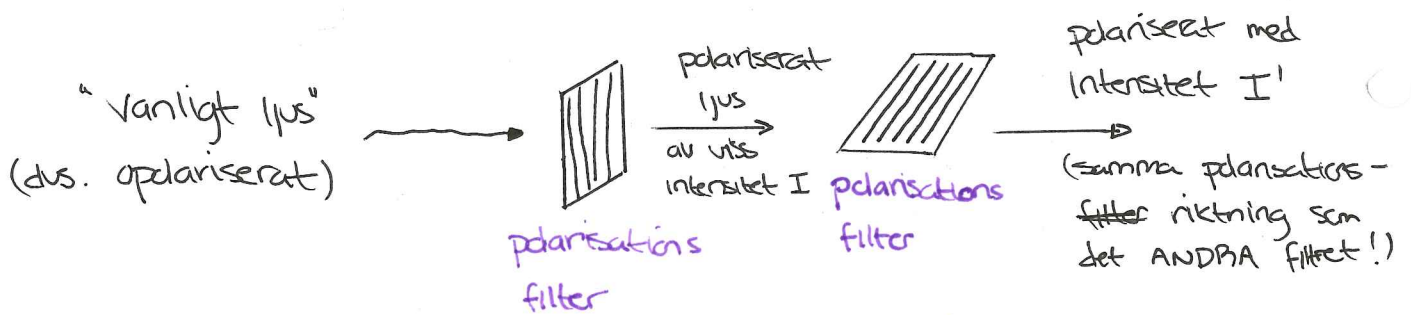
↳ två baslösningar är ex.

polarisation längs x-axeln

polarisation längs y-axeln

↳ en annan bas:

vänster cirkulärpolariserat ljus
höger cirkulärpolariserat ljus



vinkel θ mellan polarisationsriktningarna

Det visar sig att $I' = I \cos^2 \theta$

$\theta = 0 \rightarrow$ allt ljus passerar
 $\theta = \frac{\pi}{2} \rightarrow$ inget ljus passerar

Inga problem att beskriva detta i klassisk fysik!

(kontinuerliga elektromagnetiska vågor)

Men ~~te~~ kvantfysiken \rightarrow ljus är en ström av odelbara partiklar!

(fotoner = dessa odelbara partiklar)

Sannolikhet: en foton som träffar ett polarisationsfilter ~~går ant~~ kommer antingen att passera eller inte!

Ges av $P = \cos^2 \theta$

Teori: "Dolda variabler" som bestämmer detta deterministiskt?

Svar: Nej! (förklaras senare.)

En elektrons spinn

\rightarrow typ ett inre rörelsemängdsmoment,

Ban rörelsemängdsmoment

$$\mathbb{J} = \mathbf{r} \times m\mathbf{v}$$

orts-
vektor

massa

hastighet

Kan mätas i förhållande till någon referensriktning (mättriaktning) \mathbf{n}

Spinnprojektionsmätningen kan ge två möjliga resultat:

"spinn upp" \uparrow eller "spinn ner" \downarrow

En upprepad mätning med samma mättriaktning ger samma resultat! (\uparrow eller \downarrow)

(John Bell: en "moralisk" mätprocedur!)

\rightarrow dvs: samma mätning med samma inställning \rightarrow samma resultat

Om vi först mäter i mättriaktningen \mathbf{n} och sedan en annan riktning \mathbf{n}' ??

\rightarrow samma mätresultat (\uparrow eller \downarrow) med sannolikhet $P = \cos^2 \frac{\theta}{2}$

och motsatt mätresultat med sannolikhet $1 - P = \sin^2 \frac{\theta}{2}$

där $\theta = \arccos \mathbf{n} \cdot \mathbf{n}' =$ vinkeln mellan \mathbf{n} och \mathbf{n}'

(Jfr. exemplet med polarisationsfiltren! vi har en sannolikhetsfördeln. även nu.)

$\left\{ \begin{array}{l} \theta = 0 \quad (|n = |n'|) : \text{Alltid samma resultat} \\ \theta = \pi \quad (|n = -|n'|) : \text{Alltid motsatt resultat} \end{array} \right.$

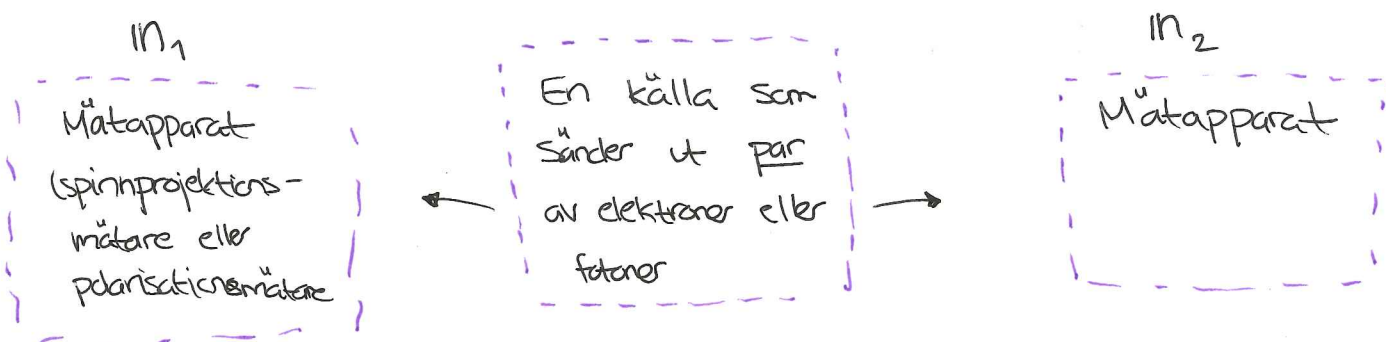
Elektroner har spin $\frac{\hbar}{2}$!

Experiment med två partiklar

Einstein - Podolsky - Rosen	1935 (EPR)	tankeexperiment
David Bohm	1952	analyserade noggrant
John Bell	1964	förfinade genialitet
Alain Aspect & Co.	1980 →	

↳ verkliga experiment som bekräftar kvantfysiken och visar att den klassiska fysiken är otillräcklig

uppställningen:



Mätningarna beslutas i sista ögonblicket så att all information inte kommer fram till den andra mätplatsen

Man upprepar experimentet ett stort antal gånger och bekräftar mätningarna och resultat

Låt $\lambda = \sum$ "dolda variabler" inbyggda i partiklarna

Mätresultatet för resp. mätapparat borde bara påverkas av λ och resp. mätning (och ev. slump) men (*)
inte den andre mätapparatens mätning

Låt $P_{\uparrow\uparrow}(n_1, n_2)$ osv. vara sannolikheten för olika mätresultat

Bilda korrelationen $E(n_1, n_2) = P_{\uparrow\uparrow}(n_1, n_2) + P_{\downarrow\downarrow}(\) - P_{\uparrow\downarrow}(\) - P_{\downarrow\uparrow}(\)$

För enkelhetens skull: mätapparaterna kan bara ha mätning n_1 och n'_1 resp. n_2 och n'_2 .

När vi har tillräcklig statistik för alla kombinationer, bilda

$$B(n_1, n'_1, n_2, n'_2) = |E(n_1, n_2) + E(n_1, n'_2) + E(n'_1, n_2) - E(n'_1, n'_2)|$$

vanlig matematik och statistik samt våra antaganden (*)

visar att $B \leq 2$ (Bells Olikhet)

Men i kvantfysiken kan man för lämpliga val av n_1, n_2, n'_1, n'_2 få B större \rightarrow maximalt $B = 2\sqrt{2}$
verkliga experiment bekräftar kvantfysiken!

