

### 8.3 Måleteori

La grunntilstanden i en 1D uendelig dyp firkantboks omkring origo:

$$\Psi(x,t) = \sqrt{\frac{2}{a}} \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-iEt/\hbar}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2a}} \left( \underbrace{e^{i(\pi x/a - Et/\hbar)}}_{\text{høyre løpende bølge}} + \underbrace{e^{-i(\pi x/a + Et/\hbar)}}_{\text{venstre løpende bølge}} \right) \quad (8.38)$$

Men måles retningen, så finner man at den f.eks. løper mot høyre:

$$\Psi(x,t) = e^{i(\pi x/a - Et/\hbar)} \quad (8.39)$$

Målehandlingen kollapser bølgefunksjonen fra en superposisjon til en enkelt tilstand.

#### "København-interpretasjonen":

Partikkelen er i en ukjent tilstands superposisjon inntil målehandlingen tvinger den inn i en enkelt definitt tilstand.

Noen problemer med denne mest utbredte interpretasjonen av måling i QM:

1) La to spin-1/2-partikler i en singlett-tilstand:

$$|00\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|\uparrow\downarrow\rangle + |\downarrow\uparrow\rangle)$$

Hvis måling av nr. 1's z-komponent gir  $m_{1z} = +\frac{1}{2}$ , så medfører det at nr. 2's z-komponent må være  $m_{2z} = -\frac{1}{2}$ . Målehandlingen på nr. 1 medfører at bølgefunksjonen forandres også for nr. 2:

"Kollaps" av bølgefunksjonen fra  $|00\rangle$  til  $|\uparrow\downarrow\rangle$ , selv om partikkelen vesken var i den ene eller den andre tilstanden for måling.

Dette gjelder like godt om det er et elektronpar i en singlett-tilstand, hvor det ene elektronet blir igjen på Jorda mens det andre transporteres bort av fotoner til Alfa Centauri, 4 lysår borte.

På Jorda måler man så spinnet til det ene elektronet; umiddelbart etterpå vil man med sikkerhet måle at det andre er motsatt rettet!

De to elektronene er i superposisjonen  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow\uparrow\rangle - |\uparrow\downarrow\rangle)$  inntil ett av dem er målt, og det andre "vel" umiddelbart etterpå i motsetningsspinnstilstand til tross for avstanden 4 lysår!

Dette er Einstein-Podolsky-Rosen-paradokset

2) Enda mer ekstremt, katta til Schrödinger. Et atom-knuffall i et fast tidsintervall kan utløse en mid som dreper katta, men hvis ikke knuffall er den i live. Kjøbenhavner-interpretasjonen  $\Rightarrow$  Inntil vi åpner boksen er katta i en superposisjon:

$$|\psi_{katt}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\psi_{levende}\rangle + |\psi_{død}\rangle)$$

Observerasjonen medfører at vi f. eks. finner

$$|\psi_{katt}\rangle = |\psi_{død}\rangle$$

Slippe ekstremer medfører at man har søkt etter andre interpretasjoner.

### Skjulte variable

Denne interpretasjonen sier at QM er bare tilsynelatende probabilistisk, vi kjenner ikke den samme underliggende teorien.

(Analogi, som ikke stemmer helt; Maxwell-fordelingen av hastigheter for gassmolekyler i virkeligheten deterministisk, men den eksakte trajektorieberegninga er uoverkommelig!)

Også denne skjulte-variable-interpretasjonen har problemer:

John Stewart Bell (1964) påpekte eksperimentelle tester som kan skjele mellom Kjøbenhavner-interpretasjonen og skjulte-variable-interpretasjonen.

Sluke tester har vist at skjulte variable er inkompatibelt med observerasjoner.

### Førbehold:

Bell's arbeid gjelder lokale skjulte variable-teorier, hvor info propagerer med hastighet  $v$ , hvor  $v \leq c$

Sluke info kan propagere instantant kan skjulte-variable-teorier gi "rett" resultat, men det ville gi konsekvenser enda merkelige enn dem for Kjøbenhavner-interpretasjonen.

Mange-verdens-interpretasjonen av QM

Hugh Everett III (1937):

Etter feilbevisningen kollapser ikke! Ved hver måling deler universet seg i to separate verdener (eller flere); universet forgreiner seg uavlatelig i multiple verdener, og alle mulige utfall av en QM-måling finner sted i en av de resulterende verdenerne. I en verden lever katta videre, i en annen er den død. Verdenene kan ikke kommunisere med hverandre. Ideen vekker til dels sterke følelser, men er hittil ikke blitt motbevist.