Bells teorem og skjulte variable

**Eksistensen til «skjulte variable»**

Ideen om at utfallet av et eksperiment ikke avhenger av forhåndsbestemte faktorer, men heller tilfeldighet, utfordret ikke bare fysikken da den kom. Filosofien hadde lenge diskutert om universet oppførte seg deterministisk: at resultatet av en handling er forutbestemt. Kvantemekanikken var således ikke bare en motpol til Isaac Newtons *klassiske mekanikk*. I den klassiske mekanikken kan resultatet av en handling bestemmes eksakt, gitt at man har all nødvendig informasjon.

På skolen lærer vi om en atommodell som ligner forbløffende mye på solsystemet. Forståelig, behagelig og nesten vakker enkel. Elektronene går i pene baner rundt atomkjernen. Akkurat som planetene rundt sola. Tenk deg nå at disse planetene ikke går i sirkelbaner.. Tvert om. De virker heller kaotiske og tilfeldig plasserte. Du prøver å se hvor fort planeten beveger seg. I det du gjør det, blir du plutselig usikker på hvor den befinner seg. Se igjen! Der er planeten. Men hvor fort beveger planeten seg nå? Uten at du har forstått hvorfor eller hvordan er hastigheten umulig å bestemme eksakt. Dermed kan ikke resultatet av et eksperiment bestemmes utelukkende av det en vet på forhånd. Ingenting er 100 % sikkert. Dette kalles *Heisenbergs uskarphetsrelasjon*. Et mulig spørsmål er da: «Kan det være informasjon som ikke er kjent på forhånd?», såkalte «skjulte variable». Blant andre Einstein forfektet denne forklaringen. Likevel er den rådende meningen blant fysikere i dag at dette ikke er tilfellet. Hvordan kan det ha seg?

**Einsteins paradoks**

Det sterkeste argumentet mot skjulte variable kom i 1964. John Stewart Bell forbløffet en hel verden med sin artikkel *On the Einstein Podolsky Rosen paradox*. «EPR-paradokset» som ble framsatt av Einstein, Podolsky og Rosen («EPR») i 1935, hevdet at kvantemekanikken måtte inneholde slike skjulte variable. Hvis den ikke inneholdt disse, hevdet paradokset at informasjon kunne overføres raskere enn lyset. Dermed ville kvantemekanikken bryte med Einsteins relativitetsteori. EPR så for seg at man har to partikler *A* og *B*. Partiklene påvirker hverandre så vidt før de drar i hver sin retning, langt, langt vekk fra hverandre. De er nå så langt fra hverandre at de ikke lenger påvirker hverandre eller kan kommunisere uten at informasjonen bryter «lysmuren». Hvordan vil de oppføre seg? Uskarphetsrelasjonen sier at vi kan måle posisjonen til B eksakt, men da kan vi ikke samtidig være sikre på hastigheten dens. Likevel, siden partiklene påvirket hverandre tidligere og vi vet posisjonen til B, kan vi *regne* *ut* posisjonen til A. Hvis vi nå måler hastigheten til A eksakt, kan vi så regne ut hastigheten til B. Dermed har det tilsynelatende oppstått et paradoks.

**Bølge-partikkel-tilstand**

Einstein var sterkt imot ideen om at en partikkels hastighet og posisjon ikke kunne måles eksakt samtidig. Men hva menes egentlig med dette? Kvantemekanikken postulerer at jo mer presist du måler en partikkels hastighet, jo mindre presis erposisjonen. En måte å se dette på er at partikkelen rett og slett *er* flere steder samtidig! Når man så måler partikkelen tvinger man den til å «velge» en tilstand. Resultatet av dette «valget» er igjen styrt av tilfeldigheter. EPR-paradokset

Bells artikkel er en analogi til EPR-paradokset. I stedet for variablene hastighet og posisjon, bruker han *spinntilstander*. Disse adlyder også uskarphetsrelasjonen. Se for deg at du ser på solsystemet igjen. Planetene beveger seg i sirkulære baner i et plan om sola. I dette planet peker x-aksen sidelengs og y-aksen oppover. Som i et vanlig koordinatsystem. Hvis man ser på en av planetene, kan nå nordpolen peke oppover i planet. Altså langs y-aksen. Sørpolen peker dermed nedover i planet. Vi kaller denne tilstanden «opp». Hvis det hadde vært motsatt, at nordpolen pekte nedover i planet og sørpolen oppover i planet ville vi kalt tilstanden «ned». Hvis nå østpolen peker til høyre i planet, ville den gått «oppover» langs x-aksen, mens vestpolen ville gått «nedover» langs x-aksen, altså til venstre i planet. Vi kaller også denne tilstanden «opp», men nå langs x-aksen.

En tilsvarende egenskap ved partikler er *spinn*. Dette spinnet kan enten være «opp» eller «ned», og det kan være opp eller ned langs både x-aksen, men også langs y-aksen. Som med hastighet og posisjon, gjelder uskarphetsrelasjonen. Vi kan ikke vite spinnet både langs x- og y-aksen eksakt samtidig. I Bell artikkel utvider han eksemplet til EPR ved å se på partikler som beveger seg fra hverandre i forskjellige vinkler, i motsetning til kun parallelt fra hverandre. På en utsøkt måte viser han matematisk at en fysisk teori som inkluderer skjulte variable ikke kan gjenskape kvantemekanikkens resultater eksakt. Det er rett og slett sånn at en slik teori får andre svar matematisk sett. I ettertid har fysiske eksperimenter vist at det er kvantemekanikkens resultater som er riktige. Kvantemekanikken har dermed

**Sammenfiltrede partikler**

Men hvordan løser man så EPR-paradokset? Kan informasjon reise raskere enn lyset? I v

Vår intuisjon om den fysiske verden følger oss fra fødsel til død. Vi finner det beroligende at hver eneste bevegelse vi gjør har et kjent utfall – tilvendt oss gjennom flere år med øvelse. Derfor er Newtons mekanikk så intuitiv. Du forventer at en ball skal trille ned en bakke hvis den ikke møter motstand. Tyngdekraften har utsatt den for en kraft. Kraften «trekker» ballen mot et lavere punkt. Ballen ruller. Hastigheten øker jo lenger den ruller. Sånn sett bekrefter våre første møter med fysikken våre fordommer om verden. Kvantemekanikken derimot er ved første øyekast fullstendig uintuitiv. Likevel er det den rådende teorien for hvordan ting fungerer for veldig små ting. Den stemmer så foruroligende godt med observasjonene. Det at en ikke kan vite både hastigheten og posisjonen til en partikkel er ikke intuitiv, men det har formet universet slik vi kjenner det.