FYS2140 - Kvantefysikk

Oskar Idland

Innhold

Del I
Historisk Utvikling

1 Bruddet med Klassisk Fysikk

1.1 Hva er Kvantemekanikk?

Kvantemekanikk forsøker å beskrive fysiske systemer på kvante nivå. Her står Schrödinger's likning sentralt.

Energikvantisering

Energi i Kvantemekanikken er ikke en kontinuerlig størrelse. Den har diskrée verdier. Dette kalles energikvantisering. Dette gjelder både fotoner og elektroner.

Bølge-Partikkel-dualitet

Vi vet ikke helt hva er partikkel er, men det vi vet er at de har egenskaper som minner om partikler og bølger. Dette kalles bølge-partikkel-dualiteten. Vi kan skyte ut fotoner i små energi pakker eller kvanter hvor de vil oppføre seg som partikler, men som en ser i dobbelspalteeksperimentet kan de likevel oppføre seg som bølger på samme tid. Da trenger vi Schrödinger's bølgeligning.

Egentilstand og superposisjon

En partikkel med kvantisert energien ϵ_n befinner seg i en tilstand som er beskrevet av bølgefunksjonen ψ_n. Dette kalles en energi-egentilstand. En partikkel kan være i flere energi-egentilstander samtidig. Dette kalles superposisjon. Vi kan tenke på Schrödinger's katt som en partikkel som er i en superposisjon av to energi-egentilstander, død og levende. Da får vi følgende:

$$\psi = c_{\text{død}} \cdot \psi_{\text{død}} + c_{\text{levende}} \cdot \psi_{\text{levende}}$$

Hvis vi måler tilstanden til katten vil vi få én av de to tilstandene. Enten død eller levende. Da ender vi opp i det som kalles *egentilstand* fra bølgefunksjonen/superposisjon. Sannsynligheten for at katten er død er da $|c_{\text{død}}|^2$ og Sannsynligheten for at katten er levende er $|c_{\text{levende}}|^2$. Det eneste Kvantemekanikken kan fortelle oss er sannsynligheten for at katten er i en tilstand, ikke om den er i den tilstanden eller ikke, før vi måler det.

Heisenberg's uskarphetsrelasjon

I klassisk mekanikk er foreksempel posisjon $\mathbf{x}$ og bevegelsesmengde $\mathbf{p}$ uavhengig størrelser. I Kvantemekanikken impliserer via Heisenberg's uskarphetsrelasjon at en ikke kan observerer begge til en vilkårlig presisjon. Dette uttrykkes via følgende formel

$$\Delta\mathbf{p}\Delta\mathbf{x} \geq \frac{\hbar}{2}$$

hvor $\Delta\mathbf{x}$ er usikkerheten i posisjon og $\Delta\mathbf{p}$ er usikkerheten i bevegelsesmengde. Dette er bare en merkbart på atomært nivå, men gjelder teknisk sett alltid.

Paulis eksklusjonsprinsipp

To fermioner (f.eks elektroner, protoner, kvarker og nøytrinoer) akn ikke befinne seg i samme tilstand (dvs. samme energi samme sted). Dette ser vi i atomer hvor elektronene fyller opp skall slik at nye elektroner må fylle opp et nytt skall.

1.2 Enheter i Kvantefysikk

Lengde

For å unngå ekstremt små eller store tall bruker vi litt smarte enheter. Kvantefysikken operer på størrelser fra 10^{-8} til 10^{18}m. Nanometer (nm) er 10^{-9}m, femtometer (fm) er 10^{-15}m og ångstrøm (Å) er 10^{-10}m / 0.1nm.

Energi

For energi brukes til vanlig Joule, men energien i kvantemekanikken er så liten som 10^{-19}J. Da bruker vi eV (elektronvolt) som er $1.602 \cdot 10^{-19}$C. Dette kommer fra at 1J er likt med $1\text{C} \cdot 1\text{V}$. Da er 1 eV den kinetiske energien et elektron får når den akselereres gjennom en potensialdifferensen på 1V.

Masse

Istedet for å bruke kg for å måle masse kan vi heller bruke MeV/c^2. Dette kommer fra likningen $E = mc^2$. Ser vi på hvileenergien til med enheten eV får vi

$$E_0^{\text{elektron}} = m_e c^2 = 5.11 \cdot 10^5 \text{eV}$$

Løser vi dette for massen m_e får vi

$$m_e = E_0^{\text{elektron}}/c^2 = 0.511 \text{ MeV}/c^2$$

Andre Konstanter

Placks konstant

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} = 4.135 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$$
$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.055 \cdot 10^{-34} \text{Js} = 6.582 \cdot 10^{-16} \text{eVs}$$
$$hc = 1240 \text{ eV nm(MeV fm)}$$
$$\hbar c = 197.3 \text{ eV nm(MeV fm)}$$

Noen ganger kan det lønne seg å gange en brøk med c oppe og nede for å få inn konstanten $\hbar c$. Utrykket under hadde medført veldig små størrelser (10^{-34} og 10^{-31}) og dermed ville det blitt vanskelig å regne med.

$$\frac{h}{m_e c} = \frac{hc}{m_e c^2} = \frac{1240\text{eV nm}}{0.511 \cdot 10^6} \approx 0.002nm$$

Coulomb-potensialet

$$V(r) = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{k_e e^2}{2}, \qquad k_e e^2 = 1.44 \text{eV nm}$$