Superpozice

Pojem superpozice, tj. takový stav hmoty, který v klasické fyzice neznáme, se pokusíme vysvětlit na energii elektronu v atomu. Elektron se v atomu může nacházet pouze na určitých energetických hladinách, tj. energie elektronu v atomu může nabývat pouze diskrétních hodnot a nikoliv spojitých, jak by předpovídala klasická fyzika. Tato energie je dána hlavním kvantovým číslem, které určuje stav elektronu.

Superpozice je váženým součtem (složením) několika různých stavů. Pro elektron v superpozici stavů s různou energií nemá pojem jeho vlastní energie dost dobrý smysl (jeho stav neodpovídá žádné z energetických hladin v atomu). To se projeví i při pokusech jeho energii změřit. Při měření totiž dostaneme tu jednu hodnotu energie, která vystupuje v superpozici. **Výsledky mají přitom zcela náhodný charakter** a je možné je použít dokonce jako ideální náhodný generátor. Výsledky tedy nejsou předvídatelné - jediné, co můžeme předpovědět je statistika rozložení výsledků (tj. jejich pravděpodobnost).

Název superpozice je odvozen od slova *superponován* - naložen jeden na druhý.

Měření je tedy podle kvantové teorie náhlým a nevratným zásahem do vývoje systému. Zatímco se izolovaný systém vyvíjí hladce a deterministicky (tj. předpovídatelně), v okamžiku měření v mikrosvětě se jeho stav nevyhnutelně drasticky změní. Superponovaný stav přechází na stav odpovídající konkrétní hodnotě, která byla v experimentu naměřena. Stav celého systému se tedy měřením mění.

Při matematickém popisu superpozice vyjdeme z analogie s vektory. Schopnost kvantových stavů sdružovat se do libovolných superpozic totiž připomíná geometrické vlastnosti vektorů. V matematické formulaci kvantové teorie je proto stav systému reprezentován vektorem $|\psi\rangle$ abstraktního vektorového prostoru (tzv. **Hilbertův prostor**). Každý vektor pak lze vyjádřit jako lineární kombinaci vektorů (superpozici vektorů) báze $|\varphi_i\rangle$ pro $i = 1, 2, \ldots, n$: $|\psi\rangle = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i |\varphi_i\rangle$, kde pro komplexní koeficienty α_i platí: $\sum_{i=1}^{n} |\alpha_i|^2 = 1$.

Např. pro kartézskou soustavu 0*xy* jsou vektory báze vektory $\vec{e_1} = (1; 0)$ (ležící na ose *x*) a $\vec{e_2} = (0; 1)$ (ležící na ose *y*). Pomocí nich je možné popsat (vyjádřit) všechny vektory v rovině pomocí lineární kombinace vektorů $\vec{e_1}$ a $\vec{e_2}$. Např. vektor $\vec{a} = (-2; 4)$ lze napsat jako lineární kombinaci $\vec{a} = -2\vec{e_1} + 4\vec{e_2}$.

Dimenze *n* (která je dána počtem bázových vektorů) stavového prostoru může být různá - konečná i nekonečná.

Např. energetické stavy elektronu je možné popsat pomocí čtyř kvantových čísel $|nlms\rangle$ ve stavovém prostoru elektronu; dimenze je v tomto případě nekonečná.

Jsou-li bázovými stavy $|\varphi_i\rangle$ stavy odpovídající jednotlivým (kvantovaným) hodnotám x_i veličiny *X*, je pravděpodobnost naměření výsledku x_i ve stavu $|\psi\rangle$ dána výrazem $P_{|\psi\rangle}(x_i) = |\alpha_i|^2$.

Např. pro elektron ve stavu $|\psi\rangle = \frac{\sqrt{3}}{2}|n=1\rangle - \frac{1}{2}|n=2\rangle$ bude s pravděpodobností $\frac{3}{4}$ naměřena hodnota energie odpovídající hlavnímu kvantovému číslu $n = 2$ a s pravděpodobností $\frac{1}{4}$ hodnota odpovídající $n = 2$.

Časový vývoj kvantového systému si lze představit jako spojitý pohyb stavového vektoru v prostoru stavů, při němž se jednotková délka vektoru zachovává. Důležitou vlastností kvantové evoluce (kvantového vývoje) je její **linearita**: Jestliže se stav $|\psi_0\rangle$ za čas *t* vyvine ve stav $|\psi_1\rangle$ a stav $|\kappa_0\rangle$ ve stav $|\kappa_1\rangle$, pak superpozice $\alpha|\psi_0\rangle + \beta|\kappa_0\rangle$ se vyvine v $\alpha|\psi_1\rangle + \beta|\kappa_1\rangle$.

Tyto skutečnosti se v matematickém vyjádření charakterizují tvrzením, že transformace $|\psi_0\rangle$ na $|\psi_1\rangle$ je **unitárním lineárním operátorem**.