

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. předpověditelně), 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 $i = 1, 2, \dots, n$: $|\psi\rangle = \sum_{i=1}^n \alpha_i |\varphi_i\rangle$, kde pro

komplexní koeficienty α_i platí: $\sum_{i=1}^n |\alpha_i|^2 = 1$.

Např. pro kartézskou soustavu 0xy 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 bázevých vektorů) stavového prostoru může být různá - konečná i nekonečná.

Např. energetické stavy elektronu je možné popsat pomocí čtyř [kvantových čísel](#) $|n, l, m, s\rangle$ ve stavovém prostoru elektronu; dimenze je v tomto případě nekonečná.

Jsou-li bázevými 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 $n=1$.

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**.

© **Encyklopedie Fyziky** (<http://fyzika.jreichl.com>); **Jaroslav Reichl, Martin Všeticka**

Licence <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/> zakazuje úpravy a komerční distribuci.