

## 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  $\alpha_i$  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.