

### \*\*\*Kvantitativní popis Bohrova modelu atomu

[Bohrův model atomu](#) byl používán ještě před položením matematických základů [kvantové mechaniky](#). Vycházel z analogie [pohybu](#) planet kolem [Slunce](#) a byl jakousi kombinací klasické fyziky a [kvantové fyziky](#). Záporně nabitý [elektron](#) se v tomto modelu pohybuje kolem kladně nabitého jádra po [kružnicích](#). [Pohyb po kružnici](#) je způsoben [dostředivou silou](#), která je realizována v tomto případě Coulombovskou přitažlivou [silou](#). Lze tedy psát:  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2} = m_e \frac{v^2}{r}$ . Bohr dále doplnil kvantovací podmínku, kterou lze interpretovat jako požadavek, aby se na kruhovou [trajektorii](#) o poloměru  $r$  vešel celočíselný násobek de Broglieových vlnových délek:  $2\pi r = n\lambda = n \frac{h}{m_e v}$ .

Řešením obou rovnic jako soustavy pro neznámé  $r$  a  $v$  dostáváme poloměr kruhové trajektorie a [velikost rychlosti](#) oběhu elektronu kolem jádra v závislosti na  $n$ :  $r_n = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2} n^2$  a  $v_n = \frac{e^2}{2\epsilon_0 h n}$ .

Nyní je možné na základě právě odvozených vztahů určit energetické stavy [atomu vodíku](#). Je třeba znát [celkovou energii](#)  $E$  elektronu. Ta je dána [kinetickou energií](#)  $E_k$  elektronu při jeho oběhu kolem jádra a [potenciální energií](#)  $E_p$ , kterou má elektron vzhledem k jádru. Pro kinetickou energii  $E_k$  elektronu tedy je možné psát:  $E_k = \frac{1}{2} m_e v_n^2 = \frac{1}{2} m_e \frac{e^4}{4\epsilon_0^2 h^2 n^2} = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2 n^2}$ .

Podobně můžeme vyjádřit potenciální energii  $E_p$  elektronu vzhledem k [atomovému jádru](#). Záporně nabitý elektron se pohybuje v elektrickém [poli](#), které vytváří kladně nabitě atomové jádro. Potenciál kladně nabitěho atomového jádra ve vzdálenosti  $r_n$  od jádra je dán vztahem  $\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r_n}$ , kde  $Q = e$  je náboj jádra (jádro má opačný náboj než elektron). Potenciální energie záporně nabitěho elektronu je pak dána vztahem  $E_p = -e\varphi$ , což můžeme dále upravit na tvar:  $E_p = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n} = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\pi m_e e^2}{\epsilon_0 h^2 n^2} = -\frac{m_e e^4}{4\epsilon_0^2 h^2 n^2}$ .

Pro celkovou energii elektronu ve stavu  $n$  pak platí:  $E = E_k + E_p = -\frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2 n^2}$ .

Při přechodu elektronu z vyšší [energetické hladiny](#)  $E_n$  na nižší hladinu  $E_m$  elektron vyzáří [kvantum elektromagnetického záření](#) o [frekvenci](#)  $f_{nm}$ , která splňuje podmínku  $h f_{nm} = E_n - E_m$ . Pro frekvenci  $f_{nm}$  tedy platí:  $f_{nm} = \frac{1}{h} (E_n - E_m)$ . Po dosazení za [energie](#) příslušných hladin dostáváme:

$f_{nm} = \frac{1}{h} \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \left( -\frac{1}{n^2} - \left( -\frac{1}{m^2} \right) \right) = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ . Jak je vidět, tato frekvence závisí pouze [hlavních kvantových číslech](#), popisujících příslušnou energetickou hladinu, neboť zlomek  $\frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^3}$  je dán

základními fyzikálními konstantami. Po označení a dosazení dostaneme  $R = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^3} \doteq 3,290 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ , což je hodnota [Rydbergovy frekvence](#).

Podle tohoto modelu elektron obíhá kolem jádra jako [planety](#) kolem Slunce po kruhových trajektoriích (později byl model rozšířen i na trajektorie eliptické), ale poloměry těchto drah a velikosti rychlostí (resp. hodnoty energie) elektronu jsou kvantovány.

Bohrův model nepopisuje adekvátně atom vodíku (nevysvětlí např. jeho kulovou symetrii, ...), a tím spíše není vhodný pro popis složitějších [atomů](#). Byl proto vystřídán Schrödingerovým modelem a dnes má jen historický význam. Přesto je zajímavé, že podle právě odvozených rovnic dostaneme jako poloměr trajektorie s nejnižší energií právě hodnotu Bohrova poloměru a také správnou

hodnotu ionizační energie atomu vodíku  $E_1 = \frac{1}{2} m_e v_1^2 = 13,6 \text{ eV}$  .

Obrázek atomu jako malé planetární soustavy se pro svou názornost stal velmi populárním.

---

© **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.