

***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 nabitého 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.