

Balmerova série vodíku

Petr Dvořák, Gabriela Malenová, Martin Plajner, Jan Seifrt
SPŠ Jihlava, Gymnázium Třebíč, Gymnázium Říčany, Gymnázium
Podbořany

bezmozku@seznam.cz, malena.vy@quick.cz, sahib@centrum.cz,
janseifrt@seznam.cz

Abstrakt:

Balmerova série vodíku vedla k Bohrovu modelu atomu. Řadí se mezi základní experimenty atomové fyziky. Pokud vybudíme elektron do vyšší energetické hladiny, tak samovolně přechází do nižších stavů (asi za 10^{-8} s) za vyzáření kvanta elektromagnetického záření (fotonu) určité vlnové délky. Pokud vlnová délka leží v oblasti viditelného světla, můžeme toto světlo pomocí krystalu rozkládat na jednotlivé monochromatické složky a měřit pomocí goniometru disperzní úhel a počítat jejich vlnovou délku.

1 Úvod

A. BOHRŮV MODEL ATOMU

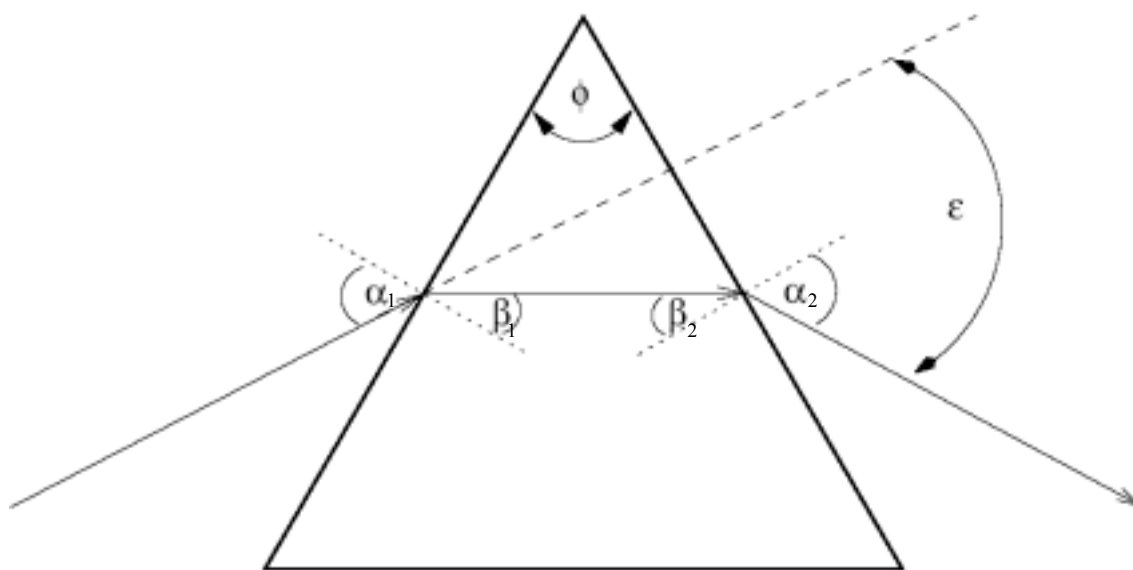
Bohr studoval struktury atomu na základě Ruthefordova objevu atomového jádra a s využitím Planckovy a Einsteinovy kvantové teorie sestavil teoretický **kvantový model atomu vodíku**. Bohrov model vychází z planetárního modelu - kolem kladně nabitého jádra krouží elektron. Elektron se může pohybovat jen po drahách, jejichž energie se rovná celistvému násobku Planckovy konstanty. Předpokládá, že se atom skládá z kladných a záporných částic, které se navzájem přitahují. Tento teoretický model dává kvalitní předpovědi jen pro jednoduché atomy s jedním elektronem, nelze jej použít pro složitější atomy.

B. SPEKTRÁLNÍ SÉRIE

Při studiu atomárního vodíku byly objeveny 4 spektrální čáry ve viditelné části spektra a byly označeny jako H_{α} , H_{β} , H_{γ} a H_{δ} . Experimentální měření prováděl švýcarský matematik a fyzik Balmer, proto se tato série nazývá Balmerova.

2 Balmerova série a měření Rydbergovy konstanty

A. ZJIŠTĚNÍ DISPERZNÍCH ÚHLŮ Hg, INDEXU LOMU KRYSTALU



ϵ – je disperzní úhel, což je úhel odklonu jednotlivých spektrálních paprsků

ϕ – vnitřní úhel hranolu, α_1 – úhel dopadu, β_1 , β_2 – vnitřní úhel lomu, α_2 – vnější úhel lomu

Využíváme Snellova zákona lomu:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} \quad (1)$$

Disperzní úhel je nejmenší tehdy, když se $\alpha_1 = \alpha_2$; $\Rightarrow \epsilon = 2\alpha - \phi$, $\beta_1 = \beta_2 = 30^\circ$; $\phi = 60^\circ$;

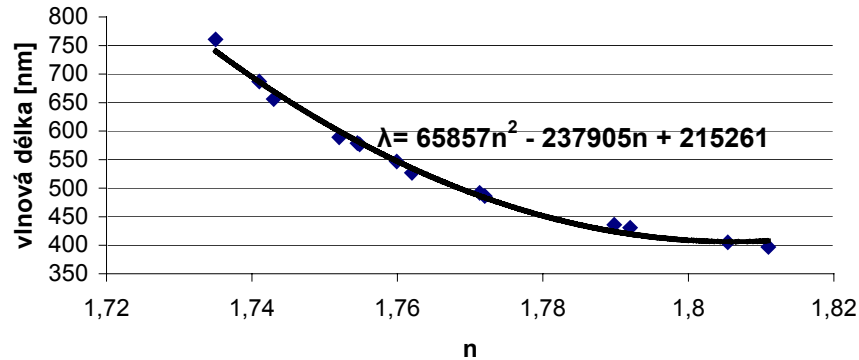
Neboť n_1 je pro vzduch rovno 1 vyplývá: $n = \frac{\sin\left(\frac{\epsilon + \phi}{2}\right)}{\sin \beta} \Rightarrow$

$$n = 2 \sin\left(\frac{\epsilon + \phi}{2}\right) \quad (2)$$

Vzorcem (2) jsme vypočítali indexy lomu jednotlivých spektrálních čar o určité vlnové délce. Index lomu je obecně funkcí vlnové délky $n=n(\lambda)$ a to dosti složitou, takže jsme použili rtuťovou výbojku, u které známe vlnové délky jednotlivých čar, jako kalibrační. Do kalibračního grafu jsme dále zahrnuli tabulkové hodnoty závislosti indexu lomu flintového těžkého skla, ze kterého je hranol vyroben, a výsledek je uveden v Grafu závislosti vlnové délky na indexu lomu. Tuto křivku jsme profitovali kvadratickou funkcí a její rovnice je:

$$\lambda = 65857n^2 - 237905n + 215261 \quad (3)$$

Graf závislosti vlnové délky na indexu lomu



B. BALMEROVA SÉRIE A VÝPOČET RYDBERGOVY KONSTANTY

Měřili jsme disperzní úhly spektrálních čar atomárního vodíku, ze kterých jsme vypočítali indexy lomu podle (2). A z rovnice, která vyšla v grafu, jsme dopočítali vlnovou délku jednotlivých čar podle (3). Výsledky jsou uvedeny v tabulce.

Vodík	Červená	Tyrkysová	Fialová
Disperzní úhel	61°27'47''	64°49'50''	66°55'32''
Index lomu	1,74467	1,77265	1,78929
Vlnová délka (nm)	655,6547	480,364	425,0141

Čtvrtá čára spektra se již nalézá příliš blízko ultrafialovému záření a není v goniometru viditelná.

Z experimentálního odvození platí, že:

$$\lambda = \frac{n^2}{n^2 - 4} \cdot B \quad n \in \mathbb{Z}^+ \quad (4)$$

(4) vynásobíme Planckovou konstantou a upravíme:

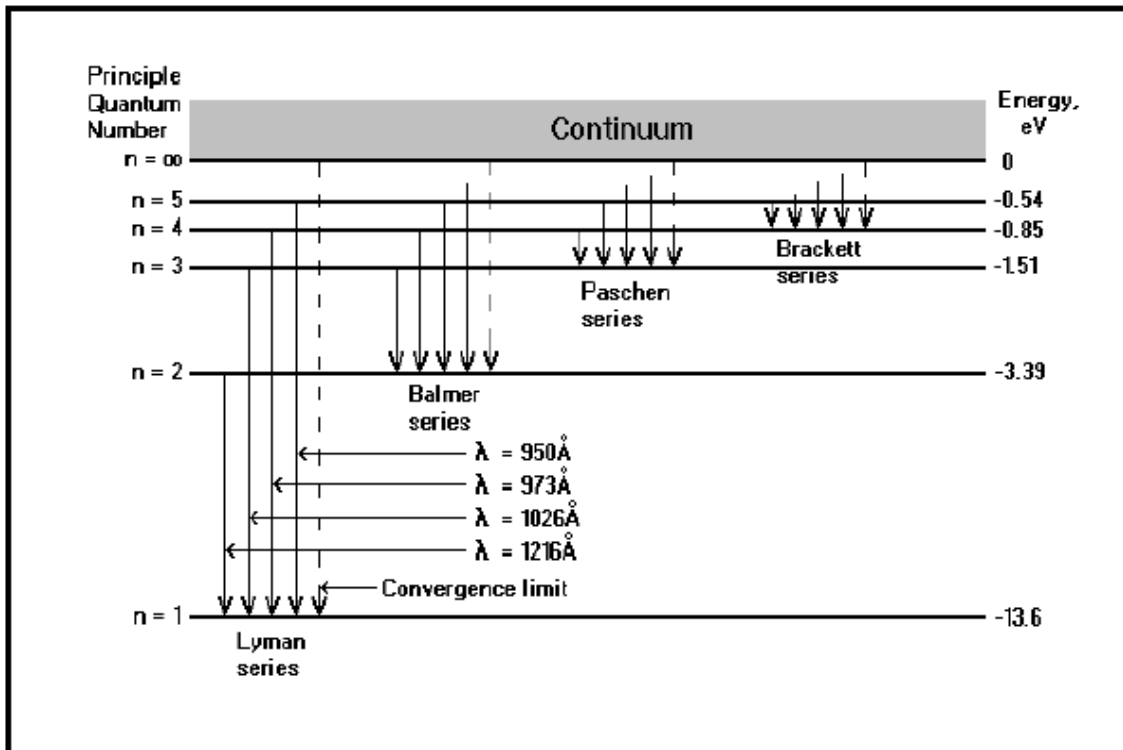
$$hf = \frac{c \cdot (n^2 - 4)}{Bn^2} h \quad (5)$$

(5) použijeme pro výpočet Rydbergovy konstanty následujícím způsobem:

Pro excitaci platí: $E_m - E_n = \frac{hc}{B} \cdot \left(1 - \frac{m^2}{n^2}\right) = \frac{4hc}{B} \cdot \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ za $4/B$ zavádíme Rydbergovu

konstantu (R). Využitím (5) dostáváme :

$$R = \frac{1}{\lambda \cdot \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)} \quad (6)$$



Pro Balmerovu sérii vodíku platí $m=2$; $n=3$ (červená), $n=4$ (tyrkysová), $n=5$ (fialová).

Po dosazení naměřených hodnot do vztahu (6) dostáváme průměrnou hodnotu Rydbergovy konstanty

$$R = 1,1067 \cdot 10^7 \pm 0,007631 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

3 Shrnutí

Naměřená hodnota Rydbergovy konstanty se liší o $0,0097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$ od hodnoty $1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$ což je asi jedno procento. Prakticky jsme ověřili spektrální čáry vodíku (vlnová délka 655,6547 nm; 480,364 nm; 425,0141 nm), čtvrtá je příliš slabá.

Poděkování

Děkujeme hlavně našemu supervisorovi Davidu Tlustému a organizátorům FYZTYDu.

Reference:

- [1] DAVID TLUSTÝ *PRAKTIKA Z FYZIKY*, 2002
- [2] H. HAKEN, H. C. WOLF *THE PHYSICS OF ATOMS AND QUANTA*; Sixth Edition; 2000
- [3] E.V.ŠPOLSKIJ *ATOMOVÁ FYSIKA*; Technicko-vědecké vydavatelství Praha; 1952