

Balmerova série vodíku

M. Horáček*, J. Navrátil**, M. Vaněk***

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

horacek.martin@seznam.cz*, pepa.navratil@gmail.com**,

vanek.m@centrum.cz***

Abstrakt

V první části práce Balmerova série vodíku se zabýváme historickými názory na stavbu atomu. Jsou zde porovnány nejdůležitější představy o atomu od starověkého Řecka až po současnost. Dále jsme se pokusili pomocí experimentální aparatury nalézt disperzní křivku optického hranolu a následně pomocí ní určit vlnové délky spektrálních čar Balmerovy série vodíku, což se nám nakonec podařilo s odchylkou 1,07–3,20% od tabulkových hodnot.

1 Úvod

Balmerova série spektrálních čar vodíku jako jediná září ve viditelném spektru světla. Prvním záměrem naší práce bylo získat hodnotu vlnové délky spektrálních čar pomocí metody nejmenších deviací. Dále jsme byli schopni pomocí naměřených dat spočítat Rydbergovu konstantu.

2 Stavba atomu

Pojmenování atom vzniklo v Řecku na základě představy, že atom je nedělitelný. S tímto názvem přišel v 5. století př. n. l. Demokritos a Leukippos. Během dalších staletí se tato teorie nerozvíjela, až v roce 1803 n. l. anglický fyzik a chemik John Dalton vypracoval atomovou teorii vycházející z následujících postulátů:

- každá látka sestává z nepatrných částic - atomů, které nelze vytvořit, rozdělit ani zničit
- atomy téhož prvku mají stejné chemické vlastnosti, hmotnost, velikost a během chemických reakcí si udržují svou identitu
- atomy různých prvků se navzájem odlišují
- spojováním atomů různých prvků vznikají složitější částice

Roku 1898 n. l. vyslovil J. J. Thompson hypotézu, že neutrální atomy mají specifickou vnitřní elektrickou strukturu. Předpokládal, že atom je tvořený kladně nabitou hmotou ve které jsou umístěné záporně nabitě částice, tento model se často nazývá „puďinkový“. Thompsonova teorie modelu atomu byla vyvrácena E. Rutherfordem roku 1911 n. l., kdy byl proveden experiment nyní známý pod názvem Rutherfordův. Spočívá v tom, že se měří vychýlení částic α , prolétajících tenkou zlatou folií. Podle Thompsona by se částice měly odchýlit od své dráhy pouze o malý úhel, jenže byly zaznamenány částice, které byly odraženy skoro nazpátek, tím bylo vyvráceno spojitě rozložení kladného náboje v Thompsonově modelu. Vzniká tedy Rutherfordův model atomu, kde je kladně nabitě jádro, v němž je soustředěna převážná část hmotnosti atomu, a elektrony pohybující se kolem jádra, nazývaný také planetární model atomu.

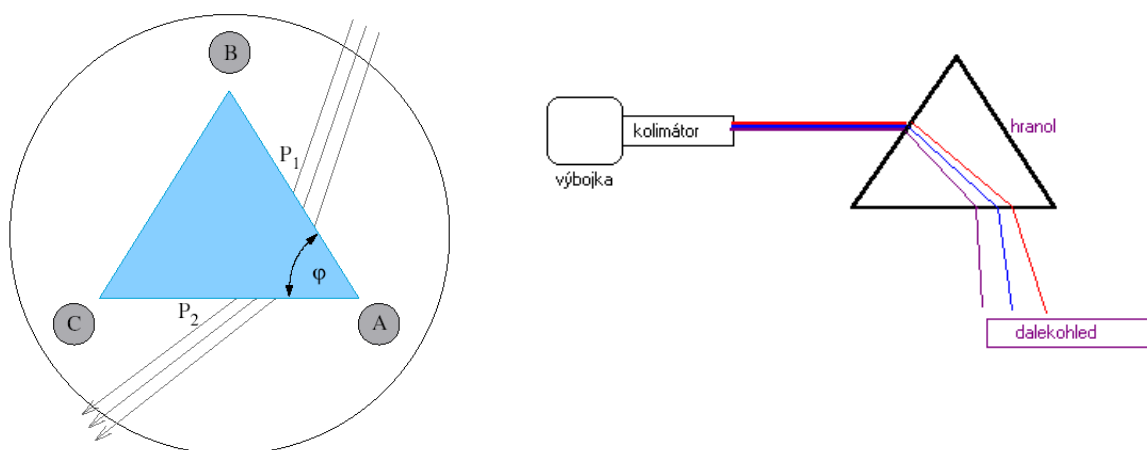
Chybu Rutherfordova modelu objevil N. Bohr, spočívá v pohybu elektronů po kruhových (také se předpokládalo, že po eliptických) drahách. Po takovéto dráze se musí částice pohybovat se zrychlením, vyzařuje energii, čímž pádem ztrácí rychlost až do té doby než spadne do jádra. Bohrov model se řídí dvěma postuláty:

- Atomy se nacházejí v energeticky ustálených stavech, ve kterých neabsorbují ani neemitují energii. Energie E_k odpovídající těmto stavům, tvoří diskrétní posloupnost a řídí se kvantovými pravidly.
- Atom emituje nebo absorbuje záření po kvantech při přechodu z jednoho stacionárního stavu do druhého.

Kvantově mechanický model atomu vyřešil nedostatky Bohrova modelu, který vycházel ještě ze zákonů klasické fyziky. Atom emituje nebo absorbuje záření po kvantech při přechodu z jednoho stacionárního stavu do druhého. V tomto modelu nelze určit přesnou dráhu elektronu, ale pouze jeho pravděpodobnostní výskyt (Heisenbergova teorie neurčitosti). Elektron se chová jako částice i jako elektromagnetická vlna (korpuskulárně vlnový dualismus).

3 Aparatura

Pro náš experiment jsme využili následující aparaturu. Hlavní částí byl goniometr S Go 1.1 (podrobný návod lze najít na internetu, viz. [1]). Dalšími pomůckami byly: štěrbinu, kolimátorový nitkový kříž, hranol, rtuťová, sodíková a vodíková výbojka a návod k úloze. Goniometr se skládal z kolimátoru, podstavce pro optický hranol, dalekohledu a odečítacím zařízení pro úhel otočení. Všechny části goniometru jsou smontovány na pevné základně a vše lze dobře polohovat. Schéma naší měřící aparatury je na obr. 2. Pro přesnost měření je důležité co nejideálnější nastavení goniometru, neboli jeho justace. V ní se je důležité především nastavit hlavní osy kolimátoru a dalekohledy kolmo k ose goniometru, dále vhodně umístit světelný zdroj a především pečlivě nastavit polohu optického hranolu. Nejdřív jsme si u optického hranolu určili 2 lámavé stěny, jejichž průsečík, tedy lámavá hrana, musí být rovnoběžná s hlavní osou goniometru. To je z toho důvodu, aby nedocházelo k prostorové disperzi mimo rovinu, ve které je dalekohled. Po zvolení lámavé hrany je potřeba změřit úhel φ , který svírají lámavé stěny (Obr. 1). My jsme s tomu použili metodu rozděleného svazku.

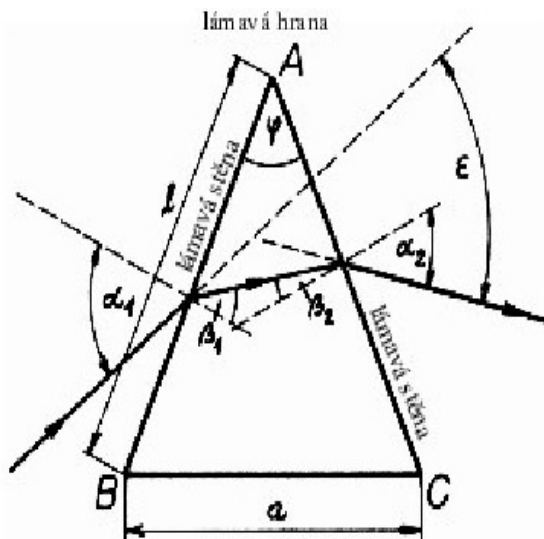


Obr.1 – schéma optického hranolu, [1, Obr. 7] Obr. 2 – schéma měřící aparatury, [2]

4 Postup měření

Samotné měření jednotlivých spektrálních čar jsme tedy prováděli pomocí aparatury (Obr. 2). Přitom jsme se snažili nalézt tzv. úhel ϵ , minimální deviace paprsku. To znamená, že zlomený paprsek jde uvnitř hranolu kolmo k ose úhlu lámavé hrany a poté vystupuje pod stejným úhlem, pod kterým do hranolu vstoupil. Jeho deviace od původního směru bude minimální. V praxi jsme to provedli tak, že jsme v dalekohledu sledovali určitou spektrální čáru známé vlnové délky. Pohybovali jsme hranolem tak, aby

se spektrální čára pohybovala jedním směrem. V určité poloze se tento posuv zastavil a při stejném směru posuvu hranolu se čára začala pohybovat druhým směrem (Obr. 3). Toto jsme provedli symetricky po obou stranách osy goniometru a zjistili úhel ε . Dalším úkolem bylo zjistit disperzní závislost, neboli index lomu v závislosti na vlnové délce. Disperzní křivku jsme získali následujícím postupem. Pro jednotlivé známé vlnové délky jsme postupně naměřili úhly minimální deviace. Poté jsme podle vztahu (Obr. 3) vypočetli jednotlivé indexy lomu. Vhodnou aproximací jsme pak našli křivku pro celou oblast viditelného světla.



Minimální deviace paprsku – ε_0 .

$$\frac{\sin\left(\varepsilon_0 + \frac{\varphi}{2}\right)}{\sin\frac{\varphi}{2}} = n$$

Obr. 3 – úhel minimální deviace na hranolu, vztah pro index lomu n , [4]

5 Výsledky měření

Z naměřených hodnot úhlů pro Na a Hg výbojku jsme sestavili tabulku, a pomocí vzorce pro výpočet indexu lomu získali hodnoty indexu lomu pro různé hodnoty vlnové délky. Dále jsme použili vzorec

$$n = n_n + \frac{C}{(\lambda - \lambda_n)} \quad [3].$$

Do něj jsme postupně dosadili vypočítaný index lomu pro Na, Hg výbojku a z tabulek hodnoty vlnových délek příslušejících jednotlivým spektrálním čarám. Následně jsme použili program GnuPlot a pomocí metody nejmenších čtverců určili tři konstanty n_n , λ_n a C a tedy získali disperzní vztah $n = n(\lambda)$.

Získanou křivku vidíte na Obr. 4. Nyní již bylo snadné dopočítat z úhlů nejmenší deviace naměřených pro jednotlivé spektrální čáry vlnovou délku čar. Výsledek vidíte v Tabulce 1.

Tabulková hodnota (nm)	Naměřená hodnota (nm)	index lomu
648,570	655,638	1,7485
470,470	486,048	1,7797
422,310	433,871	1,7977

Tabulka 1: Výsledné hodnoty indexu lomu a spektrálních čar u Balmerovy série

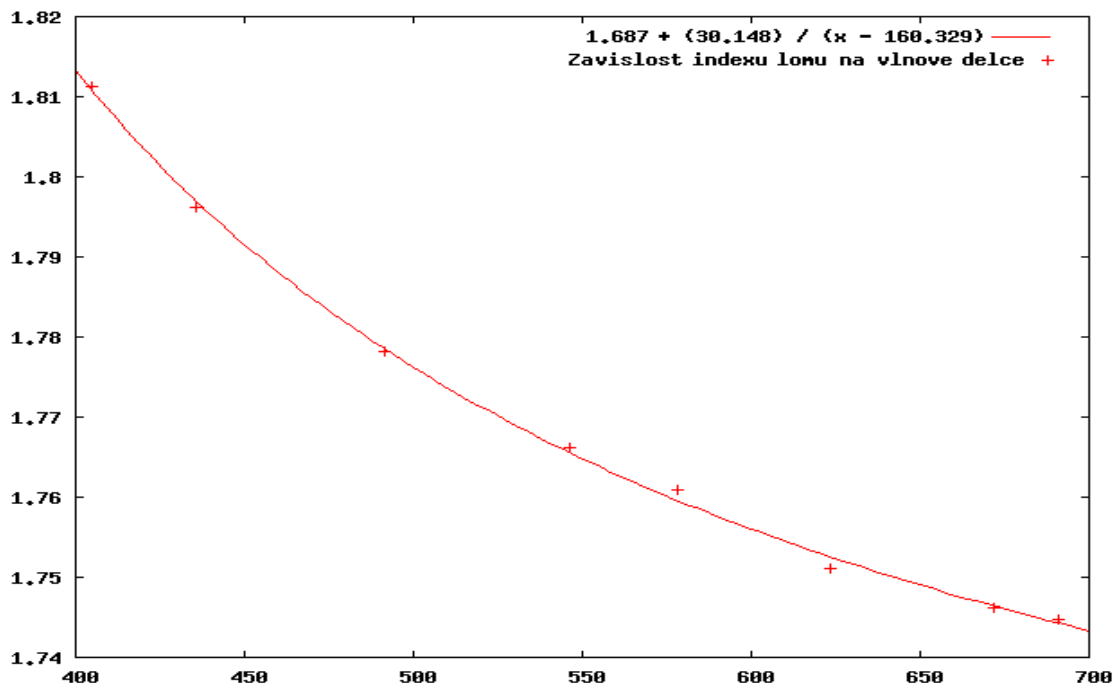
Ze znalosti vlnové délky spektrálních čar můžeme určit hodnotu Rydbergovy konstanty, která je důležitá při výpočtu atomárních hladin. Pro výpočet použijeme vztah

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad [4]$$

, kde m, n jsou jednotlivé energetické hladiny (1,2, ...), R je Rydbergova konstanta a λ je vlnová délka spektrální čáry. R určíme lineárním fitováním v programu GnuPlot.

Hodnota Rydbergovy konstanty vyšla: $(112,399 \pm 0,704) \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}$

Tabulková hodnota Rydbergovy konstanty je: $(109,737 \pm 0,317) \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}$. [5]



Obr 4: Závislost indexu lomu na vlnové délce a naměřené hodnoty indexu lomu

6 Závěr

Podařilo se nám změřit Balmerovy spektrální série, s relativně dobrou přesností, u červené čáry s odchylkou 1,07%, u modré 3,20% a u fialové 2,73%. Protože jsme z důvodů veliké náročnosti nezměřili lámavý úhel hranolu, použili jsme hodnotu, kterou naměřil jeden člen našeho týmu v rámci Fyzikálního týdne. Také se nám podařilo vypočítat hodnotu Rydbergovy konstanty.

Poděkování

Na úplný závěr bychom chtěli poděkovat panu Ing. Svobodovi za organizaci fyzikálního semináře a za ochotu a pomoc při experimentu.

Reference

- [1] <http://fyzport.fjfi.cvut.cz/Hardware/Goniometr/goniometr.pdf>
- [2] J. Navrátil, M. Horáček, 2007, Obr. vytvořen přímo pro toto proceedings
- [3] FJFI ČVUT, Balmerova série, <http://praktika.fjfi.cvut.cz/Balmer/node6.html>
- [4] FJFI ČVUT, Balmerova série, <http://praktika.fjfi.cvut.cz/Balmer/node4.html>
- [5] Jiří Bureš, Fyzikální konstanty, <http://www.converter.cz/prevody/konstanty.htm>