

Balmerova série atomu vodíku

Miroslav Tomášek, Lukáš Jarosil, Radek Kříček
(Gymnázium Vysoké Mýto, Gymnázium Sokolov, Gymnázium Děčín)
m.tomasek@gvmyto.cz, jarosil@seznam.cz, rkriccek@seznam.cz

Abstrakt:

Balmerova série je soubor čar ve spektru atomu vodíku, které vznikají při přechodu elektronů z vyšších energetických hladin na hladinu druhou. Právě tyto čáry se jako jediné nacházejí ve viditelné části jeho spektra. Změřením jejich vlnových délek je možné odvodit stavbu elektronového obalu vodíku i hodnoty energií jednotlivých vrstev.

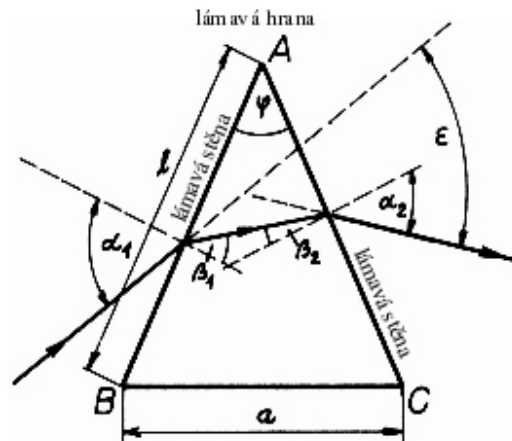
1 Úvod

Původní lidské představ o stavbě atomu měly podobu „planetárního systému“ – byly inspirované strukturou naší sluneční soustavy. Elektronů měly obíhat po kruhových drahách kolem atomového jádra – elektron, pohybující se se zrychlením (v našem případě dostředivým), však ztrácí energii zářením. Vázané elektrony by se tak ve zlomku sekundy musely zřítit na atomové jádro. Nový atomární model formuloval roku 1913 dánský fyzik Niels Bohr, inspirovaný pracemi E. Rutherforda, M. Plancka a A. Einsteina, a vhodným důkazem jeho platnosti je právě studium Balmerovy série vodíku.

2 Postup měření

Naším cílem bylo změřit vlnové délky spektrálních čar Balmerovy série. Nejprve tedy bylo třeba zjistit vztah mezi indexem lomu a vlnovou délkou. K tomu jsme využili spektrum rtuti, složené z dostatečného množství emisních čar. Pro každou čáru, jejíž vlnovou délku jsme znali, jsme zjistili index lomu. Výsledná data jsme v počítačovém programu Gnuplot proložili funkcí znázorňující disperzní závislost. Pokud známe disperzní závislost hranolu, můžeme z naměřených úhlů libovolných spektrálních čar (v našem případě Balmerovy série atomu vodíku) vypočítat vlnovou délku těchto čar.

Měření lámavého úhlu φ jsme prováděli na přístroji s názvem goniometr. Změřili jsme úhel mezi paprsky odraženými od dvou sousedních stran hranolu. Lámavý úhel je roven jeho jedné polovině. Následně jsme změřili úhel ε , o který se světelný paprsek odchýlí po průchodu hranolem. Z těchto dvou veličin dokážeme získat index lomu na základě následujícího nákresu:



V situaci, kdy $\alpha_1 = \alpha_2$, je ϵ nejmenší (označme ho ϵ_0) a platí:

$$\frac{\sin\left(\frac{\epsilon_0 + \varphi}{2}\right)}{\sin(\varphi/2)} = n,$$

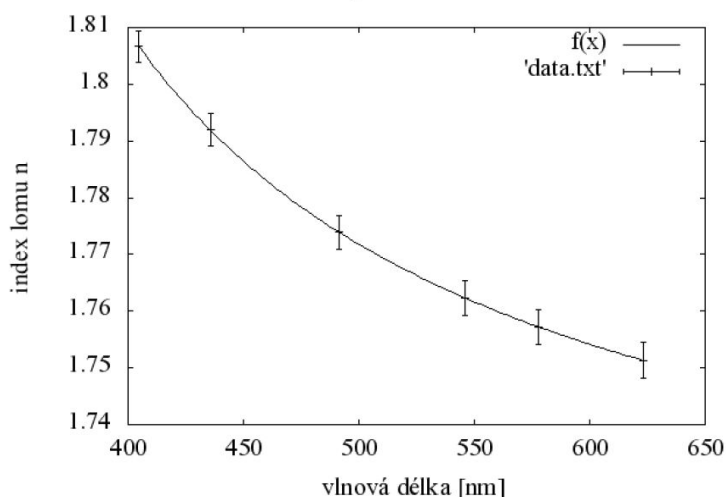
Dále jsme měřili odchylky ϵ_0 pro jednotlivé spektrální čáry rtuti, jejichž vlnová délka nám byla známa. Tak jsme pro tyto vlnové délky získali příslušný index lomu.

λ [nm]	<i>levý</i>			<i>pravý</i>			ϵ_0 [°]	n
	°	'	"	°	'	"		
404,656	109	22	24	247	3	26	68,842	1,807
435,833	111	17	22	245	8	34	66,927	1,792
491,607	113	32	18	242	52	52	64,671	1,774
546,074	114	57	36	241	28	32	63,258	1,762
577,960	115	33	13	240	53	0	62,665	1,757
623,440	116	15	22	240	10	32	61,960	1,751
Červená	116	40	22	239	46	28	61,551	1,748
Modrá	113	22	40	243	4	14	64,846	1,775
Fialová	111	11	52	245	14	47	67,024	1,793

Tabulka 1

Na základě těchto měření jsme sestrojili zmiňovaný graf disperzní závislosti, znázorňující vztah mezi vlnovou délkou a indexem lomu:

Graf 1: Disperzní závislost hranolu



Všechny látky vykazují disperzi, tj. jejich index lomu je závislý na vlnové délce světla $n=f(\lambda)$. Graf 1 znázorňuje disperzní závislost hranolu, který jsme při měření použili. Je vyroben z těžkého flintového skla, takže jak vidíme z tabulky 1, jeho index lomu je vysoký, což nám umožňuje rozlišit i velmi blízké čáry. Naměřená disperzní závislost je:

$$n = 1,70524 + \frac{18,4725}{\lambda - 222,52}$$

Dále jsme změřili index lomu pro tři nejvýraznější čáry Balmerovy série, jak dokládá tabulka 1. Z naměřené disperzní závislosti jsme spočítali hodnotu jejich vlnových délek.

barva	Naměřené hodnoty	tabulkové hodnoty [1]
červená	656,23 nm	656,28 nm
zelená	486,17 nm	486,13 nm
fialová	433,84 nm	434,05 nm

Tabulka 2

Z naměřených hodnot je možno potvrdit Bohrov model elektronového obalu – energie fotonů (odvíjející se od jejich vlnové délky) je totiž stejná jako rozdíl energií dvou vrstev

v obalu, mezi kterými elektron „přeskočil“ při deexcitaci. Dále platí vztah $\nu = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$,

kde R je tzv. Rydbergova konstanta, m hladina, na kterou elektron klesá a n hladina, ze které se uvolňuje. Pro Balmerovu sérii je m rovno 2 (existuje více druhů sérií, ale mimo viditelnou část světla). Potom pro n rovno nekonečnu a $m = 1$ se ν rovná R , tedy R je energie potřebná k uvolnění elektronu z atomu v základním stavu, tj. ionizační energie. Z naměřených hodnot jsme vypočítali Rydbergovu konstantu

$$R = 10973145 \text{ m}^{-1}, \text{ což odpovídá ionizační energii } 13,603 \text{ eV}$$

3 Shrnutí

Měření čar v Balměrově sérii je tedy dobrým způsobem, jak ověřit Bohrovu představu o stavbě atomu a zrekonstruovat strukturu jeho elektronového obalu zjištěním hodnoty Rydbergovy konstanty. Existence Balmerovy série tak dokazuje, že energie elektronu v atomovém obalu je kvantována a stává se tak jedním z důkazů kvantové mechaniky.

Poděkování

Na tomto místě bychom rádi poděkovali fakultě FJFI ČVUT a našemu supervizorovi Davidu Tlustému za věnovaný čas a energii.

Reference:

[1] HORÁK, Z. *Praktická fyzika*, SNTL Praha, 1958, str. 590-591.