

# Balmerova série

J. Ditrich, K. Hladká

Gymnázium Ústavní, Gymnázium Karviná

katerina.hladka@hotmail.com

## Abstrakt

Práce představuje užití goniometru, optického hranolu a optické mřížky k určení energií fotonů s vlnovou délkou z intervalu viditelného světla emitovaných vodíkovou katodou. Cílem je experimentálně stanovit zmíněné vlnové délky a ověřit hodnotu Rydbergovy konstanty.

## 1 Úvod

Atomy považujeme za základní stavební jednotku hmoty v tom smyslu, že jsou chemicky dále nedělitelné – jeden atom se skládá z jádra a elektronů. Stabilita atomu je zajištěna zákony kvantové mechaniky, podle které se elektrony kolem jádra uspořádají jen na přesně daných drahách. Protože jen některé konfigurace jsou povolené, má atom jen několik povolených, od sebe oddělených energetických stavů: elektrony se nacházejí na různých energetických hladinách. První hladinu nazýváme základní, ostatní hladiny vzbuzené (excitované).

Za normálních okolností se elektrony atomu nacházejí v základním stavu. Pouze po absorpci energie (světelná, chemická atp.) se mohou dostat na vyšší energetickou hladinu. Tento stav je ale nestabilní, elektron se po krátké době vrací do základního stavu. Při tom může vyzářit elektron o určité vlnové délce/barvě/energii, které jsou pro každý atom typické a jedinečné.

To je princip emisního spektra a spektroskopie. Většina barev ale v našem okolí vzniká opačným způsobem – absorpcí, protože emise je typická pro vysoké teploty a energie, nebo nízké hustoty.

## 2 Energie elektronu

V atomární fyzice jsou za veškeré vlastnosti látek zodpovědné elektrony. Jejich energie je dána součtem kinetické energie a potenciální energie, kterou udává coulombická síla, jež má původ ve vzájemném působení mezi elektrony a jádrem a elektrony navzájem.

$$E = \frac{1}{2}mv^2 - k \frac{e^2}{r},$$

kde  $m$  je hmotnost elektronu,  $v$  je rychlost elektronu,  $k$  je coulombická konstanta,  $e$  je velikost elementárního náboje a  $r$  je vzdálenost mezi elektronem a jádrem.

Ve vodíku elektron vykonává kolem jádra pohyb po kružnici. Trajektorie tohoto pohybu je dána rovností odstředivé síly  $F_o$  a coulombické přitažlivé síly  $F_e$ .

$$F_o = F_e$$

$$\frac{mv^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2}$$

Pro rychlost elektronu tedy vyplývá, že je funkcí poloměru  $r$ .

$$v = e \sqrt{\frac{k}{rm}}$$

Pro celkovou energii elektronu v atomárním vodíku platí:

$$E = -\frac{ke^2}{2r}$$

Elektron má povahu částice i vlny. Z tohoto důvodu obvod jeho dráhy musí být celočíselným násobkem jeho vlnové délky  $\lambda$ , aby nedošlo k interferenci vlnění. Z de Broglieho vztahu pro vlnovou délku lze odvodit vztah pro poloměr trajektorie kruhového pohybu elektronu.

$$r = \frac{h^2 n^2}{4\pi^2 k m e^2},$$

kde  $n$  je celočíselný násobek vlnové délky elektronu a zároveň stupeň energetické hladiny,  $h$  je Planckova konstanta.

Celková energie elektronu atomárního vodíku je tedy dána vztahem:

$$E = \frac{-2k^2 e^4 \pi^2 m}{n^2 h^2}$$

Po dosažení hodnoty  $n$  pro první energetickou hladinu dostáváme energii  $E = -13,6$  eV, což je nejnižší možná hodnota energie elektronu atomárního vodíku. Tato hodnota je rovněž známá jako Rydbergova konstanta  $R$ .

Vztah pro energii elektronu v hladině  $n$  můžeme též vyjádřit jako:

$$E = \frac{R}{n^2}$$

### 3 Emisní spektrum vodíku

Při přechodu elektronu na vyšší energetický stav musí atom pohltit určité množství energie. Tato energie je rovná rozdílu energií daných dvou stavů.

Za normálních podmínek je atom vodíku schopen tuto energii uchovat jen v rámci jednotek nanosekund, poté ji emituje ve formě fotonu o stejné energii a na ní závislé vlnové délce pryč.

Pokud je vlnová délka tohoto fotonu z intervalu viditelného světla, jsme schopni ji pozorovat pouhým okem.

Všechny energetické přechody mezi druhou a vyšší energetickou hladinou nazýváme Balmerova série, která jako jediná obsahuje fotony s vlnovou délkou z intervalu viditelného světla. Konkrétně se jedná o přechody z třetí, čtvrté, páté a šesté energetické hladiny na druhou.

Dle hodnot energií vyzářených fotonů lze teoreticky pozorovat červenou, azurovou, modrou a fialovou barvu.

Při dodávání energie do atomů vodíku se vždy excituje jen část elektronů. Nejvíce se jich excituje na třetí energetickou hladinu, množství elektronů vybuzených na vyšší energetické hladiny klesá geometrickou řadou. Z tohoto důvodu má většina fotonů z viditelného spektra vlnovou délku odpovídající červené barvě. Protože se jednotlivé monofrekvenční složky skládají, výsledná barva vodíkové výbojky emitující záření je růžová.

## 4 Experimentální měření

Pro určení energií vyzářených fotonů viditelného světla jsme užili rtuťovou výbojku, vodíkovou výbojku, goniometr, optický hranol a optickou mřížku.

Nejprve bylo třeba určit fyzikální vlastnosti optického hranolu, který vyzářené světlo výbojek rozkládal na monofrekvenční složky. K tomuto účelu jsme užili rtuťovou výbojku a znalost jejího emisního spektra. Z dat pozorovaných na goniometru pro každou monofrekvenční složku emitovanou rtuťí jsme určili úhel  $\varepsilon$ , pod kterým jednotlivé druhy fotonů opouštěly prostředí optického hranolu. Znalost emisního spektra rtuťí nám dovolila vypočítat energie těchto fotonů. Následně jsme odvozovali vztah mezi energií fotonů, které prochází užitým optickým hranolem a úhly metodou lineární regrese.

Experimentálně jsme odvodili vztah:

$$E = 17,63533392\varepsilon - 12,680110$$

Po dosažení naměřených úhlů, pod kterými opouštěly optický hranol některé monofrekvenční složky viditelného světla emitované vodíkem, jsme byli schopni vypočítat energii těchto fotonů, z ní pak vlnové délky.

K experimentálnímu měření jsme kromě optického hranolu užili též optickou mřížku, kterou jsme situovali na goniometr kolmo ve směru dopadajících fotonů. Optická mřížka způsobila, že se růžové světlo emitované vodíkovou výbojkou rozložilo do jednotlivých interferenčních maxim jeho složek.

Díky vztahu mezi mřížkovou konstantou  $d = \frac{1}{600} \text{ mm}$  a pozorovanému úhlu na goniometru  $\varepsilon$  jsme dle vztahu

$$\lambda = d \sin \varepsilon$$

určili vlnovou délku složek emitovaného světla.

Zpětně jsme z naměřených dat mohli ověřit hodnotu Rydbergovy.

Pro ověření Rydbergovy konstanty jsme vycházeli z předpokladu, že energetický rozdíl mezi dvěma hladinami  $n_1$  a  $n_2$  se rovná energii vyzářeného fotonu.

$$\frac{hc}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \Rightarrow R = \frac{hc}{\lambda} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

kde  $c$  je rychlost světla ve vakuu a  $n_1 = 2$  pro Balmerovu sérii.

## 5 Výsledky

	Tabulková hodnota	Teoretická hodnota námi vypočítaná	Hodnota dle experimentu s optickým hranolem	Hodna dle experimentu s optickou mřížkou
Červená	656,3 nm	657 nm	617 nm	660 nm
Azurová	486,1 nm	487 nm	491 nm	488 nm
Modrá	434,0 nm	435 nm	433 nm	436 nm
Fialová	410,2 nm	410 nm	406 nm	nepozorována

Pro Rydbergovu konstantu vyšla hodnota  $13,510 \pm 0,007$  eV.

## 6 Shrnutí

Naměřené hodnoty vlnových délek se od tabulkových liší z důvodu nedostatků použitých přístrojů a použité metodiky.

Nedostatky přístrojů spočívaly v neúplné homogenosti a anizotropii užitého optického hranolu, velké mřížkové konstantě užitých optických mřížek a schopnosti skla (například v okuláru a objektivu goniometru) částečně pohlcovat záření z katod.

Nedostatky metodiky byly způsobeny nedostatečným zatemněním laboratoře či subjektivním pozorováním měřených hodnot.

## 7 Poděkování

Děkujeme Fakultě jaderné a fyzikální inženýrské ČVUT za poskytnutí laboratoře a potřebných nástrojů a panu Ing. Michalu Špačkovi za konzultace.

## 8 Reference

[1] NIST Atomic Spectra Database Lines Data  
<http://physics.nist.gov/cgi-bin/ASD/lines1.pl>