**Úloha č. 5. Určení Rydbergovy konstanty**

**Pracovní úkoly:**

1. Okalibrujte spektrograf pomocí sodíkové lampy

2. Změřte vlnové délky čar Balmerovy serie vodíku/deuteria

3. Vypočtěte Rydbergovu konstantu a z ní vypočtěte Planckovu konstantu

**Teorie:**

Balmerova série je série spektrálních čar ve spektru atomů vodíku, které vznikají při přechodu elektronů mezi druhou energetickou hladinou a vyššími hladinami. Je pojmenována po J. J. Balmerovi (1825 - 1898), který zjistil, že existuje jediná hodnota, která má vztah k hodnotám vlnových délek vodíkového spektra ve viditelné oblasti. Tato hodnota je 364,506 82 nm. Balmerův vzorec lze použít pro výpočet vlnové délky absorpčních a emisních čar vodíku podle vzorce:

$λ\_{n}=B\left(\frac{n^{2}}{n^{2}-2^{2}}\right)$, (5.1)

kde *λn* je vlnová délka, *B* = 364,506 802 nm, *n* je přirozené číslo větší než 2.

V roce 1888 fyzik Johannes Rydberg zobecnil Balmerův vzorec pro všechny čáry vodíku:

, (5.2)

kde *RH* je Rydbergova konstanta vodíku, která je rovna *4/B* v Balmerově vzorci.

V nejjednodušším Bohrově modelu atomu vodíku je hmotnost jádra vzhledem k hmotnosti elektronu považována za nekonečnou, takže střed pohybu elektronu leží ve středu jádra. Bohrův model atomu pak předpovídá vlnové délky čar přechodů mezi hladinami vodíku:

$\frac{1}{λ}=R\_{\infty }\left(\frac{1}{m^{2}-n^{2}}\right)=\frac{m\_{e}e^{4}}{8ε\_{0}^{2}h^{3}c}\left(\frac{1}{m^{2}-n^{2}}\right)$, (5.3)

kde *R∞* je Rydbergova konstanta atomu s nekonečně hmotným jádrem, *m* a *n* jsou přirozená čísla, *me* je klidová hmotnost elektronu, *e* elementární náboj, *ε0* permitivita vakua a *c* rychlost světla ve vakuu.

Upřesnění Bohrova modelu beroucí v úvahu konečnou hmotnost jádra pak dává vztah mezi *RH* a *R∞* ve tvaru

$R\_{H}=\frac{R\_{\infty }}{1+^{m\_{e}}/\_{M}}$, (5.4)

kde *M* je skutečná hmotnost jádra vodíku.

**Postup měření:**

**A) Kalibrace spektrometru**

1. Na stoleček do osy otáčení ramene spektrometru položte držák s mřížkou (hranolem), kolmo ke směru paprsku.

2. Přisuňte sodíkovou lampu ke vstupní stěrbině spektrometru a rozsviťte (vypínač na oranžové krabici fy Leybold Didactic).

3. Nastavte úhel spektrometru tak, aby dalekohled a kolimační trubice byly v přímce. Podívejte se do okuláru dalekohledu, nastavte si vyhovující velikost štěrbiny a zaostřete dalekohled.

4. Nastavte dalekohled tak, abyste měli čáru z lampy na záměrném kříži v okuláru. Pokud je záměrný kříž špatně vidět, přisviťte si zespoda svítilnou. Na úhloměru odečtěte nulovou hodnotu. Na začátku měření si vyberte buď levý, nebo pravý číselník. Ten pak používejte až do konce měření.

5. Pomalu posouvejte rameno spektrometru až uvidíte spektrální čáry různých barev. Mělo by jít o první difrakční maxima spektra sodíku. Pro kalibraci spektrometru nás zajímají 2 jasné žluté čáry velmi blízko u sebe, jde o tzv. sodíkový dublet. Posuňte rameno tak, že záměrný kříž bude přesně na jedné čáře, odečtěte úhel a zaznamentejte. Totéž proveďte pro druhou čáru. Pokud vidíte pouze jednu čáru, zužte štěrbinu a doostřete. Pokud ani poté nerozlišíte 2 čáry, zaznamenejte polohu čáry a k výpočtu pak použijte průměrnou hodnotu vlnových délek sodíkového dubletu (vizte bod 6).

6. Posouvejte rameno dál, až uvidíte maxima 2. řádu a podobně jako v bodu 5 odečtěte a zapište jejich hodnoty. Polohy maxim jsou dány vztahem

, (5.5)

kde *d* je mřížková konstanta (tu touto kalibrací určujeme), *ϑ* je úhel difrakce, který odečítáme z úhloměru, *m* je řád difrakce a *λ* vlnová délka světla. V případě sodíkového dubletu *λ(D1)*=589,592 nm, *λ(D2)*=588,995 nm.

7. Vraťte rameno spektrometru do nulové polohy a posouvejte opačným směrem než na začátku a opět odečtěte hodnoty pro 1. a 2. maxima sodíkových čar. Úhel, který potom dosadíte do vztahu pro difrakci určíte z

, (5.6)

kde *ϑL* je úhel naměřený vlevo od nulové polohy a *ϑP* úhel naměřený vpravo od nulové polohy. Pokud během přesunu z levé do pravé pozice překročíte hodnotu 0/360°, připočtěte k příslušnému úhlu 360°.

**B) Pozorování Balmerovy série**

8. Vypněte sodíkovou lampu. Zapněte H2 (D2) spektrální trubici. (Na zadní straně držáku/zdroje.) Nastavte rameno spektrometru do nulové polohy a postavte spektrální trubici do nejvhodnější polohy (aby se čára v dalekohledu jevila co nejjasnější. Podobně jako v bodě 5 pomalu posouvejte rameno jedním směrem a hledejte spektrální čáry. Zhruba 3 až 4 (podle kvality spektrální trubice a nastavení spektrometru) nejjasnější čáry jsou čáry Balmerovy serie. Odečtěte jejich hodnoty. Pak pokračujte k difrakci 2. řádu a opět odečtěte hodnoty. Stejný postup zopakujte i na druhou stranu.

**C) Vyhodnocení měření**

9. Vypočtěte mřížkovou konstantu *d* (popř. i počet vrypů na mm). Pak z naměřených úhlů určete vlnové délky *λn* Balmerovy série.

10. Čáry, které jste naměřili, by měly splňovat následující vztah:  Dosazením *n* (*n*=3 červená čára, *n*=4 zelená atd.) a *λn* určete *RH* (*RD*).

11. Pro určení Rydbergovy konstanty *R∞*, proveďte klasickou korekci na konečnou hmotnost jádra vodíku:  a deuteria , kde *mp*=1,672621777x10-27 kg je hmotnost protonu (tj. jádra vodíku), *md*=3,34358348x10-27 kg je hmotnost deuteronu (tj. jádra deuteria) a *me*=9.10938215x10-31 kg je hmotnost elektronu.

12. Vypočtěte *R∞* z Balmerovy serie vodíku (deuteria) a určete chybu měření. Srovnejte s tabulkovou hodnotou. Ze vztahu  a znalosti *me*, rychlosti světla ve vakuu *c*=299 792 458 ms-1 a permitivity vakua *ε0*=8.8541878176x10-12 Fm-1 vypočtěte hodnotu Planckovy konstanty. Srovnejte s tabulkovou hodnotou.