

Zeemanův jev

Michael Jirásek; Jan Vejmolá
Gymnázium Český Brod, Vítězná 616
SPŠE V Úžlabině 320, Praha 10

m.jirasek@seznam.cz; vejmolá.jan@seznam.cz

Abstrakt:

Zeemanův jev je významný fyzikální jev, který byl objeven holandským fyzikem Pieterem Zeemanem roku 1896. Jedná se o štěpení energetických hladin elektronů ve vnějším magnetickém poli. Velikost tohoto štěpení v závislosti intenzitě pole popisuje konstanta *Bohrův magneton*, kterou jsme experimentálně určili.

1 Úvod

Pieter Zeeman roku 1896 pozoroval nestandardní chování spekter atomů je-li zdroj záření vložen do silného magnetického pole. Při zkoumání jevu zjistil, že energetické hladiny jsou závislé na vnějším magnetickém poli, a že energie potřebná pro přechod mezi hladinami je odlišná od stavu, kdy se atom nenachází v magnetickém poli.

2 Teorie

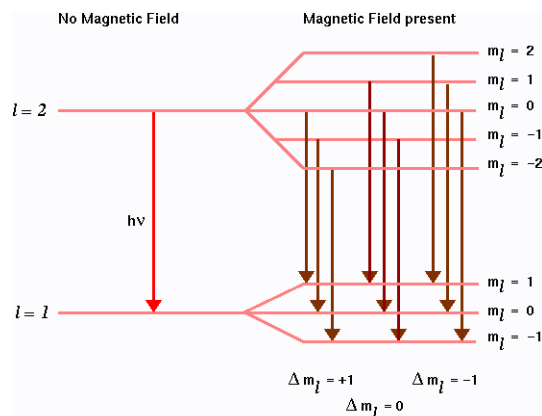
Pokud jsou elektrony excitovány, pak při deexcitaci vyzáří kvantum energie o určité vlnové délce (viz. levá část obr.1). Tyto vlnové délky jsou specifické pro daný prvek. Ovšem pokud zdroj záření umístíme do silného magnetického pole, dojde k rozštěpení energetických hladin (viz. pravá část obr.1). Je to způsobeno interakcí mezi magnetickým polem vyvolaném pohybem elektronu a vnějším magnetickým polem. Elektrony tak mají možnost nabýt širšího spektra energií. Příslušné hladiny jsou dány magnetickým kvantovým číslem. Při přechodech mezi hladinami jsou přípustné pouze změny stavu, kde se magnetické kvantové číslo mění o +1, 0, -1. Ostatní přechody jsou zakázané. To se projeví vznikem nových spektrálních čar v blízkosti čar původních. Rozdíl energie mezi stavem m_L a m_{L+1} je přímo úměrný magnetické indukci \mathbf{B} podle vztahu:

$$\Delta E = -\mu_B B \quad (1)$$

Kde μ_B je tzv. Bohrův magneton. Ten lze určit teoreticky jako:

$$\mu_B = \frac{he}{-4\pi m_e} \quad (2)$$

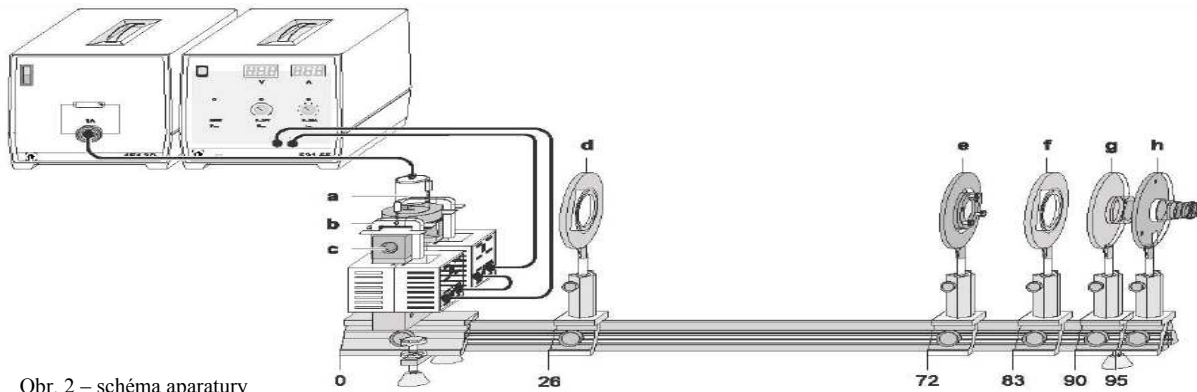
kde h je Planckova konstanta, e je elementární náboj a m_e je hmotnost elektronu.



Obr.1 – Rozštěpení energetických hladin

Experimentální aparatura:

Bohrův magneton jsme experimentálně zjišťovali pomocí aparatury znázorněnou na obr.2.

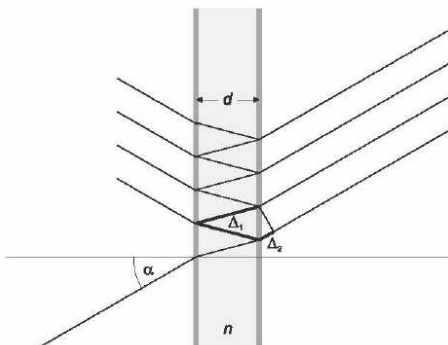


Obr. 2 – schéma aparatury

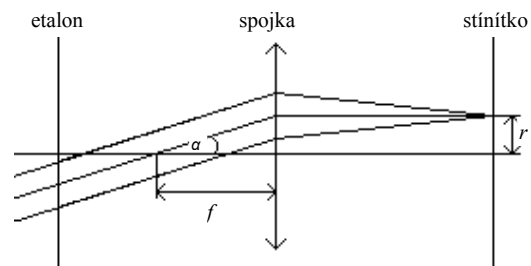
- a Kadmiová výbojka
- b Svorky
- c Magnetické póly
- d Spojná čočka, $f = 150\text{mm}$
- e Fabry-Perotův etalon
- f Spojná čočka, $f = 150\text{mm}$
- g Barevný filtr (červený)
- h Mikroskop resp. kamera videocom

Fabry-Perotův etalon:

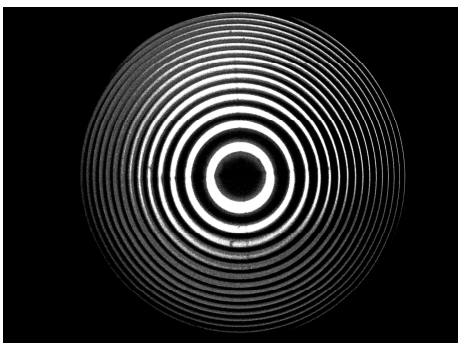
Etalon je zařízení sloužící k vytvoření interferenčních obrazců, fungující na principu několikanásobného odrazu (viz. obr. 3). Paprsky z etalonu je třeba usměrnit do jednoho bodu, tak, aby vznikly interferenční obrazce ve tvaru kružnic. Z jejich poloměrů a ze známé ohniskové vzdálenosti čočky f) pak lze spočítat úhel, pod kterým etalon paprsky propouští a tím i jejich vlnovou délku (viz rovnice 3 a 4). Na obr. 6 lze pozorovat změnu, která nastane v důsledku působení vnějšího magnetického pole.



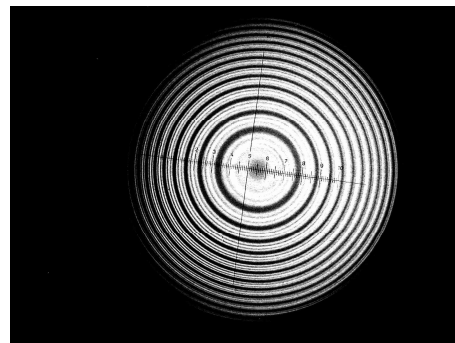
Obr.3 – schéma průchodu paprsků F-P. etalonem



Obr. 4 – zjednodušené schéma trajektorie paprsků po průchodu etalonem



Obr.5 – spektrální čáry



Obr.6 – rozštěpené spektrální čáry

Abychom byli schopni určit energeticky rozdíl (ze vztahu 1) stavu m_L a m_{L+1} je nutné znát vlastnosti Fabry-Perotova etalonu. Známe-li je, je možné odvodit podmínku interference

$$k\lambda = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \quad (3)$$

(d – tloušťka etalonu, n – index lomu skla etalonu, α – úhel dopadu paprsku, k – řád interference).

Úhel dopadu jsme schopni určit z poloměru interferenčních kružnic (který měříme) a ohniskové vzdálenosti spojné čočky podle vztahu (viz. obr. 4):

$$\alpha = \arctg \frac{r}{f} \quad (4)$$

Poté již stačí udělat rozdíl vlnové délky stavu m_L a m_{L+1} a přepočítat na energii podle vztahu:

$$\Delta E = hc \left(\frac{1}{\lambda_{mL}} - \frac{1}{\lambda_{mL+1}} \right) \quad (5)$$

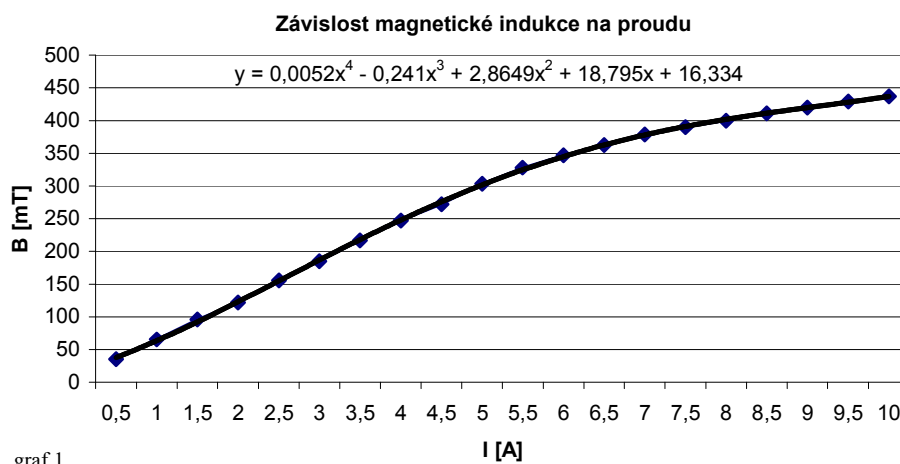
(h – Planckova konstanta, c – rychlost světla)

3 Měření

Postup měření:

1. Změřili jsme závislost magnetické indukce B na proudu I protékající cívkami
2. Připravili jsme aparaturu k měření
3. Provedli jsme vlastní měření s kadmiovou výbojkou
4. Vyhodnotili jsme výsledky měření

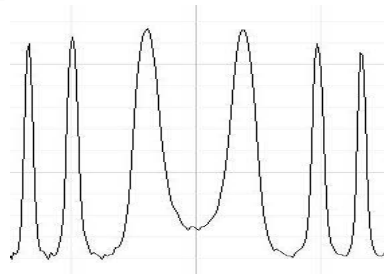
Závislost B na I :



Námi naměřené hodnoty dávají spojitou funkci, ale její přesný zápis, by bylo obtížné vypočítat. Proto jsme naměřené hodnoty proložili polynomem 4. stupně.

Měření vlnové délky:

Vlnovou délku jsme měřili pomocí kamery videocom, která zaznamenávala intenzitu záření v závislosti na poloměru interferenčních kružnic. Píky na obr.7 znázorňují interferenční kružnice. Minoritní píky u hlavních píků na obr.8 znázorňují rozštěpení energetických hladin magnetickým polem.



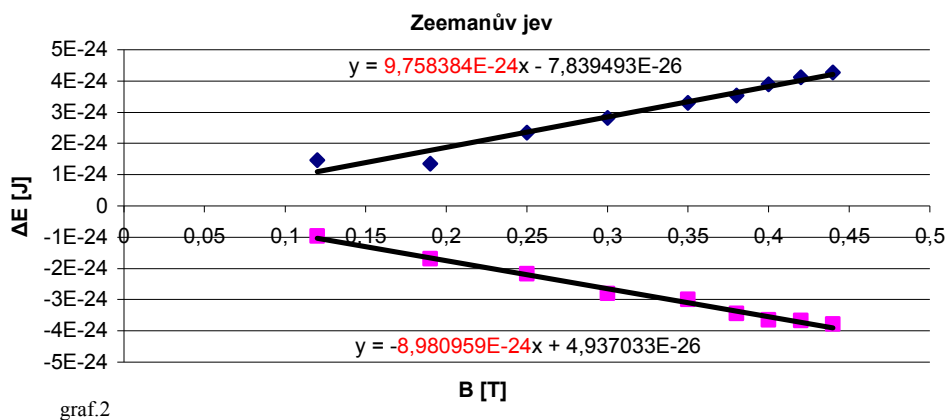
Obr. 7 – záznam spektra bez mag. pole



Obr. 8 – záznam spektra při rozštěpení

Výsledky měření:

Provedli jsme měření pro rozdílně silná magnetická pole a do grafu jsme zaznamenali pro každé pole změnu energie mezi stavy m_L a m_{L+1} . Zjištěné body jsme proložili přímkou jejíž směrnice (vyznačená červeně) je hledaný Bohrov magneton (viz rovnice 1).



graf.2

Teoretická hodnota Bohrova magnetonu je:

$$\mu_B = 9,274 \cdot 10^{-24} \text{ JT}^{-1}$$

Námi změřené hodnoty jsou:

$$\mu_B = 9,758 \cdot 10^{-24} \text{ JT}^{-1}$$

$$\mu_B = 8,981 \cdot 10^{-24} \text{ JT}^{-1}$$

Pozn.: Pro určení průměru a odchylky je hodnot příliš málo.

4 Závěr

Námi zjištěný Bohrov magneton se liší od teoretické hodnoty v průměru o 1%, což můžeme považovat za velice přesné měření.

Poděkování

FJFI za projevenou důvěru

Supervizorovi za péči a pomoc

Reference:

- [1] POSPÍŠIL, V.: *JDP3_Fyz_09_Atomova_jaderna_fzyika.ppt*, 2009, snímky14-23
- [2] LEYBOLD DIDACTIC GMBH.: *Observing the normal Zeeman effect in transverse and longitudinal configuration*, Leybold Didactic GmbH
- [3] <http://wikipedia.org>