

Normální Zeemanův jev

J.a Hrcířová, Ondřej Knopp, Vojtěch Novák
G. Jaroslava Vrchlického, G. Třeboň, G. Omská

janikpotter@gmail.com, hadob43@gmail.com, toamatanui.cz@seznam.cz

16.6.2015

Abstrakt

Jedna z nejdůležitějších fyzikálních konstant je Bohrov magneton, μ_B . Velikost μ_B jsme nepřímo měřili z pozorování Normálního Zeemanova jevu na kadmiové výbojce. Tento jev jsme pozorovali dvěma podobnými způsoby a za pomoci jednoho jsme byli schopni určit správnou velikost μ_B na dvě platné číslice.

1 Úvod

Normální Zeemanův jev popisuje rozštěpení několika degenerovaných energetických hladin atomu na ten samý počet různých energetických hladin při vystavení atomu slabému externímu magnetickému poli. Toto rozštěpení se dá pozorovat na vyzařovaném spektru daného atomu, neboť po umístění atomu do slabého magnetického pole se změní i frekvence fotonů vyzařovaných po excitaci elektronu. Pozorování spektrálních čar vyzařovaného spektra, v tomto případě ve vyzařovaném spektru kadmiové výbojky, kde původně osamocené spektrální čáry se štěpí na tři.

Bohrův magneton je považován za důležitou fyzikální konstantu neboť

$$\mu_B = -\frac{e \cdot \hbar}{2 \cdot m_e}$$

kde e je náboj elektronu, \hbar je redukovaná Plankova konstanta a m_e je hmotnost elektronu. Zde je vidět, že popisuje tři jiné velice důležité fyzikální konstanty a proto je velice užitečné znát jeho velikost.

2 Metodika

Hlavní podstatou měření velikosti Bohrova magnetonu bylo změřením přibližné velikosti magnetického pole B , které působilo na kadmiovou výbojku. Dále jsme museli zjistit velikost změny energie příslušící nějaké energetické hladině $\Delta E = h \cdot \Delta\nu$, kde h je známá Plankova konstanta a $\Delta\nu$ je rozdíl ve frekvenci fotonu excitovaného z nově vzniklé hladiny vůči hladině původní, tedy před udání kadmia do magnetického pole. Pro změnu energie pak také platí vztah $\Delta E = \mu_B \cdot B$, takže hodnota Bohrova magnetonu je

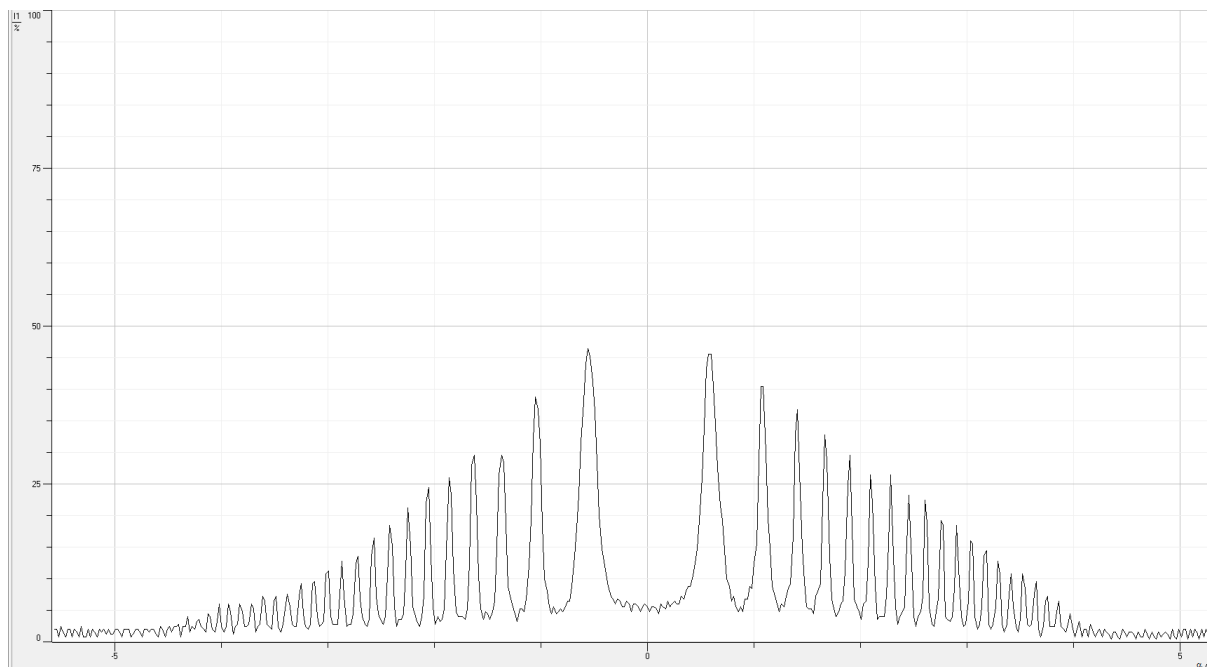
$$\mu_B = \frac{\Delta E}{B} = \frac{\Delta\nu \cdot h}{B}$$

2.1 Aparatura

Pro obě metody měření jsme použili stejnou aparaturu. Tato aparatura se skládá z kadmiové výbojky, dvou magnetických cívek, mezi které byla výbojka umístěna tak, že na její pozici bylo generováno magnetické pole. Mezi ní a pozorovacím aparátem byla vytvořena soustava čoček, jež sloužila k zaostření světla prvně na Fabry-Perotův etalon a pak zpět na pozorovací zařízení. Fabry-Perotův etalon je optické zařízení jež propouští skrz sebe světlo o různých vlnových délkách pouze pokud na něj toto světlo dopadá při určitém úhlu, který závisí právě na jeho vlnové délce. To pak v pozorovacím zařízení vytváří obrazec složený ze soustředných kružnic, kde každá z těchto kružnic má jiný poloměr a přísluší jiné vlnové délce vyzařovaného světla. Dále se zde nacházel červený filtr, s jehož pomocí jsme byli schopni odfiltrovat pouze ty vlnové délky světla, na nichž bylo pozorování Normálního Zeemanova jevu možné. Dále jsem při měření na této aparatuře používali polarizační filtr s jehož pomocí se nám podařilo odfiltrovat jednu z pozorovaných spektrálních čar a tak jsme dosáhli lepší rozlišovací schopnosti při rozlišování druhých dvou spektrálních čar.

2.2 Metoda digitální

Světelný obrazec ústící z aparatury byl zpracován za pomoci CCD kamery a příslušného softwaru VideoCom Intensities. Tento program interpretoval vytvořený obrazec tak, že vytvořil graf, který na horizontální ose zobrazoval úhel, ve kterém světlo prošlo Fabry-Perotova etalonu a na ose vertikální intenzitu tohoto světla. Za pomoci těchto dat se dá vypočíst i frekvence daného fotonu.



Obrázek 1: Graf závislosti intenzity světla na poloměru kružnice

Tento graf je už pro rozštěpené energetické hladiny. Graf je samozřejmě skoro symetrický neboť pro každou kružnici dané frekvence jsou zde dva píky. Zde jsme tedy pozorovali rozdíl mezi dvouma píky nejbližší středu soustředných kružnic. S pomocí tohoto údaje dokážeme zjistit rozdíl frekvencí mezi fotony vzniklými po emitaci elektronů z jedné z

nově vzniklých enegetických hladin vůči elektronu excitovaného z hladiny původní. Tuto hodnotu získám tak, že rozdíl frekvencí fotonů příslušící dvěma píkům nejbližě středu, které přísluší jiným frekvencím podělím dvěma. Následovně samotnou kalkulaci provedl přednastavený program VideoCom Intensities.

2.3 Metoda analogická

V tomto případě jsme místo kamery použili okulár s měřítkem uvnitř a následovně jsme pak sami pozorovali vzniklý obrazec. Z tohoto obrázku jsme pak za pomoci měřítka zjistili poloměry kružnic příslušících nově rozštěpeným energetickým hladinám. Pak pomocí vzorce jsme odhadli rozdíl frekvencí

$$\Delta\nu = \frac{c}{2 \cdot d \cdot n} \cdot \frac{\delta}{\Delta}$$

kde c je rychlost světla, $d = 4 \text{ mm}$ a $n = 1.457$ jsou parametry příslušící našemu Fabry-Perotově etalonu, δ je rozdíl poloměru nově vzniklé kružnice po zapůsobení magnetického pole od původního poloměru této kružnice, před zapůsobením magnetickým polem. Δ je rozdíl poloměrů dvou vedlejších různých kružnic na obrazci před zapůsobení magnetickým polem. Jak δ tak Δ jsme měřili na škále s nejmenším dílkem o 0.1 mm avšak nakonec je jednotka pouze otázkou přesnosti neboť Δ a δ jsou ve zlomku.

2.4 Magnetické pole B

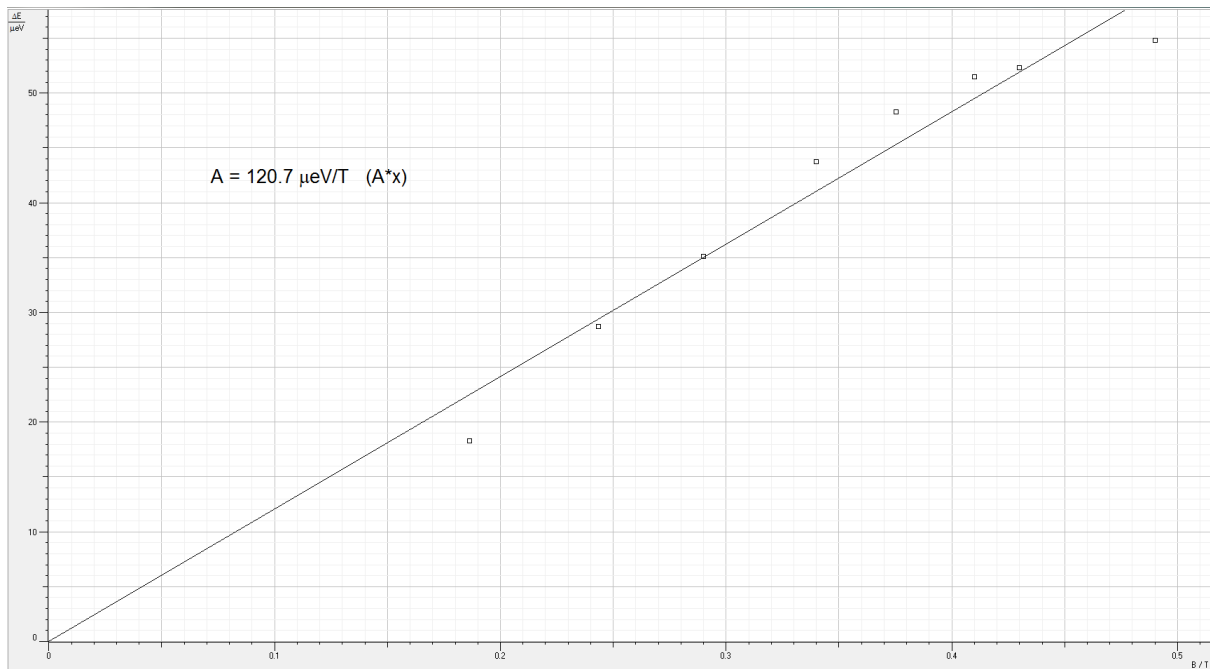
Měření magnetického pole jsme prováděli teslametrem, který jsme umístily na pozici kadmiové výbojky, která je mezi dvěma cívkama.

3 Výsledky

Následující tabulka popisuje závislost magnetického pole na proudu hnaného do cívek, který jsme přímo ovládali.

$I[\text{A}]$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9.5
$B [\text{mT}]$	60	120	180	230	300	350	380	400	430	440

Z těchto datových bodů jsme vytvořili fit polynomu 2. stupně, protože kvůli zahřívání cívek tato úměra není lineární. Předpis použitého fitu je $B = -3.3I^2 + 79.8I - 23.9$, Výsledek získaný první metodou je $\mu_B = 6.04 \cdot 10^{-05} \text{ eV} \cdot \text{T}^{-1}$. Tento výsledek, jenž nám vypočítal program VideoCom Intensities podle předem nastavených vzorců, je polovinou hodnoty uvedené v grafu, který vyjadřuje závislost mezi změnou energie a velikostí magnetického pole. Výsledek druhého postupu měření se rovná $\mu_B = 5.711 \cdot 10^{-05} \text{ eV} \cdot \text{T}^{-1}$. Hodnotu jsme získali z matematického vztahu popsánoho v teorii.



4 Diskuze

Naměřené hodnoty Bohrova magnetonu byly velmi podobné tabulkové hodnotě této konstanty. První měřící metodou pomocí programu VideoCom Intensities nebyl výsledek tak přesný jako výsledek získaný metodou, při které jsme měřili poloměry hladin, jež při pozorování na spektroskopu představují kroužky. Hodnota naměřené konstanty se lišila od kvůli chybám měření, ale tyto chyby jsou vzhledem k účelu našeho experimentu zanedbatelné.

5 Závěr

Naměřili jsme hodnoty Bohrova magnetonu první metodou $\mu_B = 6.04 \cdot 10^{-05} \text{ eV} \cdot \text{T}^{-1}$ a druhou metodou $\mu_B = 5.711 \cdot 10^{-05} \text{ eV} \cdot \text{T}^{-1}$.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat především našemu supervisorovi Bc. Radku Novotnému a FJFI za umožnění naší práce.

Reference

- [1] CVUT. *Praktika, Zeemanův Jev*. <http://praktikum.fjfi.cvut.cz/course/view.php?id=22>.