

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 3

Zpracoval: Jakub Juránek

Naměřeno: 10. duben 2013

Obor: UF **Ročník:** II **Semestr:** IV

Testováno:

Úloha č. 10: Zeemanův jev

1. Teorie

Zeemanův jev spočívá v rozštěpení spektrálních čar vyzařovaných atomy v magnetickém poli, které vzniká díky změně energie jednotlivých hladin způsobené vnějším magnetickým polem.

Normální Zeemanův jev nastává při přechodu mezi singletovými stavy, kde celkový spin elektronů je nulový. Budeme ho pozorovat na přechodu kadmia $3\ ^1D_2 \rightarrow 2\ ^1D_1$, kterému odpovídá červené světlo o vlnové délce 643,847 nm. Tato čára se v magnetickém poli rozštěpí na tři, přičemž rozdíl energií fotonů krajních čar od té prostředí se liší o $\pm\mu_B B$, kde μ_B je Bohrov magneton, který budeme chtít změřit, a B velikost indukce použitého magnetického pole.

Anormální Zeemanův jev nastává při přechodu mezi stavy, kde celkový spin elektronů je nenulový. Budeme ho pozorovat na přechodu kadmia $2\ ^3S_1 \rightarrow 2\ ^3P_2$, kterému odpovídá zelené světlo o vlnové délce 508,588 nm. Tato čára se v magnetickém poli rozštěpí na devět.

K pozorování čar použijeme Fabry-Perotův interferometr, který nám jednu čáru rozloží na rovnoběžný svazek fázově posunutých paprsků. Po průchodu interferometrem je interferenční obrazec Z -krát zvětšen a zobrazen spojkou s ohniskovou vzdáleností f na čip CCD kamery, kde vytvoří kružnicové proužky.

Pro poloměry r sousedních kroužků, indexy $(p+1)$ a p , jedné spektrální čáry platí vztah

$$r_{p+1}^2 - r_p^2 = 2(fZn)^2 \frac{1}{2nd\bar{\lambda}}, \quad (1)$$

kde n je index lomu interferometru pro danou spektrální čáru o vlnočet $\bar{\lambda}$.

Tento vzorec použijeme pro ověření funkčnosti Fabry-Perotova interferometru. Na pravé straně jsou pouze parametry měření, které jsou pro všechny poloměry konstantní, musí tedy být i rozdíl kvadrátů poloměrů, který si pro další označme Δ^2 , stejný pro všechny sousední dvojice kroužků.

Pro poloměry kroužků r_a, r_b dvou blízkých spektrálních čar, s vlnočty $\bar{\lambda}_a, \bar{\lambda}_b$, pak platí vztah

$$\frac{r_{b,p}^2 - r_{a,p}^2}{r_{a,p+1}^2 - r_{a,p}^2} = 2nd(\bar{\lambda}_b, -\bar{\lambda}_a), \quad (2)$$

který můžeme upravit do tvaru

$$\Delta E = E_b - E_a = \frac{r_{b,p}^2 - r_{a,p}^2}{r_{a,p+1}^2 - r_{a,p}^2} \frac{hc}{2nd}, \quad (3)$$

kde h je Planckova konstanta, c rychlost světla a E_a, E_b jsou energie fotonů jednotlivých čar.

Protože pro $r_b > r_a$ je

$$\Delta E = \mu_B B, \quad (4)$$

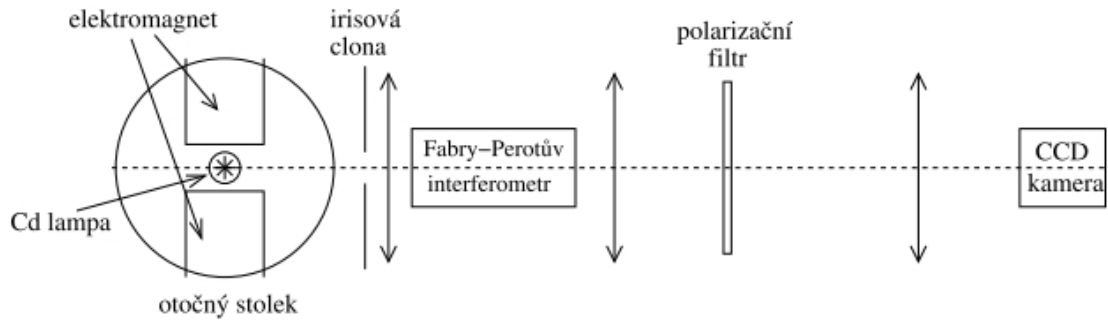
můžeme Bohrov magneton vyjádřit jako

$$\mu_B = \frac{\Delta E}{B} \quad (5)$$

Jednotlivé složky spektrálních čar jsou různě polarizovány, buď lineárně, nebo kruhově. Lineární polarizaci poznáme tak, že mezi interferometr a kameru vložíme lineární polarizátor. Je-li propustná osa kolmá na roviny polarizace, příslušný kroužek zmizí. Abychom poznali kruhově polarizované, musíme před lineární polarizátor vložit ještě čtvrtvlnnou destičku, které mění kruhově polarizované světlo na lineárně polarizované.

2. Měření

Aparatura, kterou použijeme pro měření, má následující schéma:



Obrázek 1: Schéma aparatury.

Nejprve proměříme funkčnost Fabry-Perotova interferometru, tedy budeme měřit při nulovém magnetickém poli. Měření provedeme pro červenou i modrou čáru. K tomuto budeme potřebovat znát indexy lomu interferometru pro tyto vlnové délky.

$$n_{\text{červená}} = 1,4560$$

$$n_{\text{zelená}} = 1,4519$$

Červené světlo

$r[\mu\text{m}]$	$\Delta^2[\mu\text{m}^2]$
0,9	3,2
2,0	3,8
2,8	3,7
3,4	3,7
3,9	4,2
4,4	

$$\Delta^2 = (3,7 \pm 0,2) \mu\text{m}^2$$

$$r(\Delta^2) = 4,3 \%$$

Zelené světlo

$r[\mu\text{m}]$	$\Delta^2[\mu\text{m}^2]$
0,9	4,0
2,2	4,8
3,1	4,1
3,7	4,8
4,3	5,5
4,9	5,2
5,4	5,7
5,9	

$$\Delta^2 = (4,8 \pm 0,3) \mu\text{m}^2$$

$$r(\Delta^2) = 5,1 \%$$

Vidíme tedy, že poloměry interferenčních kroužků docela dobře souhlasí s teoretickými vztahy.

V dalším budeme proměřovat rozštěpení spektrálních čar červené čáry kadmia. Jelikož neměříme přímo velikost indukce B magnetického pole, ale jen velikost proudu I procházejícího elektromagnety, musíme použít přepočít dle tabulky uvedené v návodu. Tyto hodnoty pro výpočet proložíme Taylorovým polynomem třetího stupně:

$$B = 23,95 + 81,92I + 6,52I^2 - 0,61I^3, \quad (6)$$

kde B je v militeslách a I v ampérech.

Také budeme potřebovat znát tloušťku Fabry-Perotova interferometru

$$d = 3 \text{ mm}$$

Měření provedeme pro několik hodnot indukce, resp. proudu.

$$\begin{aligned} I &= 6,04 \text{ A} \\ B &= 622 \text{ mT} \end{aligned}$$

r_a [um]	r_b [um]	r_c [um]
0,8	1,2	1,5
2,4	2,6	2,8
3,4	3,5	3,7
4,2	4,3	4,4

$$\begin{aligned} I &= 8,11 \text{ A} \\ B &= 790 \text{ mT} \end{aligned}$$

r_a [um]	r_b [um]	r_c [um]
0,6	1,2	1,6
2,3	2,6	2,8
3,3	3,5	3,7
4,1	4,3	4,5

$$\begin{aligned} I &= 6,68 \text{ A} \\ B &= 679 \text{ mT} \end{aligned}$$

r_a [um]	r_b [um]	r_c [um]
0,8	1,2	1,6
2,4	2,6	2,8
3,4	3,5	3,7
4,2	4,3	4,4

$$\begin{aligned} I &= 8,56 \text{ A} \\ B &= 819 \text{ mT} \end{aligned}$$

r_a [um]	r_b [um]	r_c [um]
0,6	1,2	1,6
2,3	2,6	2,8
3,3	3,5	3,7
4,1	4,3	4,5

$$\begin{aligned} I &= 7,15 \text{ A} \\ B &= 719 \text{ mT} \end{aligned}$$

r_a [um]	r_b [um]	r_c [um]
71	125	160
240	262	283
336	353	369
414	430	440

$$\begin{aligned} I &= 9,12 \text{ A} \\ B &= 849 \text{ mT} \end{aligned}$$

r_a [um]	r_b [um]	r_c [um]
0,6	1,2	1,7
2,3	2,6	2,9
3,3	3,5	3,7
4,1	4,3	4,5

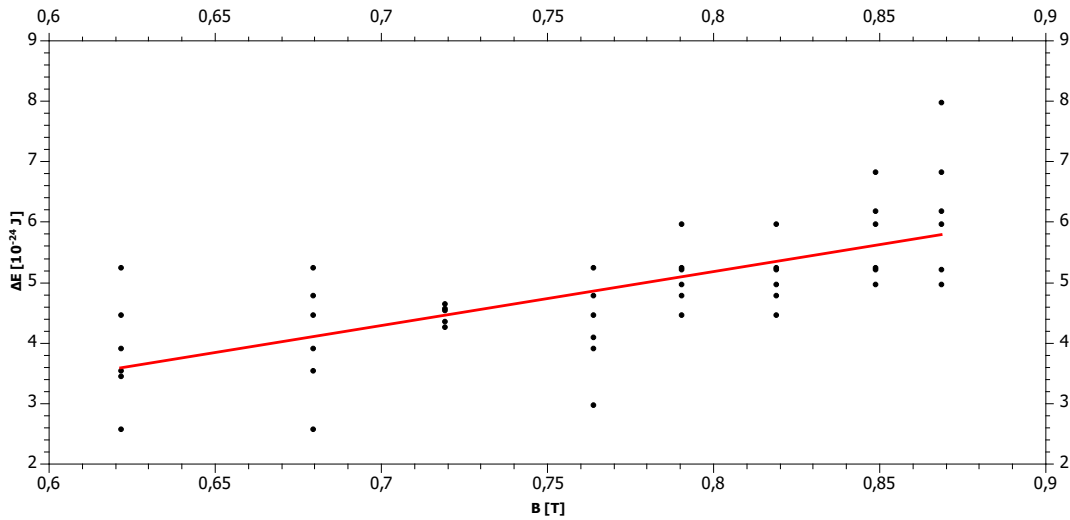
$$\begin{aligned} I &= 7,73 \text{ A} \\ B &= 764 \text{ mT} \end{aligned}$$

r_a [um]	r_b [um]	r_c [um]
0,7	1,2	1,6
2,4	2,6	2,8
3,4	3,5	3,7
4,1	4,3	4,4

$$\begin{aligned} I &= 9,58 \text{ A} \\ B &= 868 \text{ mT} \end{aligned}$$

r_a [um]	r_b [um]	r_c [um]
0,6	1,2	1,7
2,3	2,6	2,9
3,3	3,5	3,8
4,1	4,3	4,5

Pro každou hodnotu magnetické indukce spočteme pro všechny možné kombinace poloměrů kroužků rozdíly energií, vyneseme je do grafu a proložíme přímkou, jejíž směrnice bude Bohrovův magneton.



Obrázek 2: Závislost ΔE na B s proženou přímkou o směrnici μ_B

$$\mu_B = (9 \pm 1) \cdot 10^{-24} \text{ Am}^2$$

Jako poslední budeme zkoumat polarizaci jednotlivých složek spektrálních čar.

Nejprve složky červené čáry v uspořádání na schématu. Zde jsou tedy tři, přičemž použitím lineárního polarizátoru zjišťujeme, že prostřední složka je polarizovaná rovnoběžně s vektorem magnetické indukce a dvě krajní kolmo na něj.

Dále stolek s lampou a elektromagnety otočíme o 90° a opět zjistíme polarizaci jednotlivých složek. V tomto uspořádání vidíme jen dvě krajní čáry, které lineárním polarizátorem nemizí, nejsou tedy lineárně polarizované. Ujijeme tedy ještě čtvrtvlnné destičky a dostáváme, že kružnici mizí v na sebe kolmých úhlech. Obě složky jsou tedy kruhově polarizované, přičemž jedna je pravotočivě a druhá levotočivě.

Nakonec provedeme v tomto uspořádání zjištění polarizace jednotlivých složek zelené čáry. Ta má zde devět složek, přičemž použitím lineárního polarizátoru zjišťujeme, že všechny jsou polarizovány lineárně, přičemž šest z nich kolmo na vektor magnetické indukce a tři rovnoběžně s ním.

3. Závěr

Nejprve jsme provedli ověření vztahů pro Fabry-Perotův interferometr. Tyto vztahy souhlasili s naměřenými hodnotami s přesností 5 %, což odpovídá malému počtu měření a nepřesnosti označování jednotlivých kroužků.

Dále jsme proměřením normálního Zeemanova jevu na červené čáře kadmia naměřili hodnotu Bohrova magnetonu. Ten nám vyšel $(9 \pm 2) \cdot 10^{-24} \text{ Am}^2$, což odpovídá teoretické hodnotě $9,274 \cdot 10^{-24} \text{ Am}^2$. Velká nejistota je způsobena tím, že jsme poloměry dostávali v malých číslech, čili s velkou chybou zaokrouhlením, o čemž svědčí jedině měření v těch velkých.

Zajímavé je srovnání s hodnotou $(6,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-24} \text{ Am}^2$, kterou jsme dostali počítáním průměrů nejprve ΔE a pak μ_B . Je zde dobře vidět, že prvotní spočtení průměrů ΔE se projeví v menší nejistotě, zatímco obyčejné průměry neobsáhnou anulaci systematické chyby, na rozdíl od lineárního proložení s absolutním členem, který tak zde činí.

Nakonec jsme zjišťovali polarizaci jednotlivých složek. Zde jsme dostali, že jsou buď všechny polarizovány lineárně, přičemž některé rovnoběžně s vektorem magnetické indukce a některé kolmo na něj, či jsou všechny polarizovány kruhově, přičemž některé pravotočivě a některé levotočivě.