

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM IV

Úloha č.: A17

Název: Zeemanov jav

Vypracoval: Viktor Babjak.....stud. sk. F3..... dne: 30. 10. 2006

Odevzdal dne:

Hodnocení:

Připomínky:

kapitola referátu	možný počet bodů	udělený počet bodů
Teoretická část	0 - 3	
Výsledky měření	0 - 10	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 2	
Seznam použité literatury	0 - 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:.....

dne:.....

Pracovné úlohy:

1. Premerajte závislosť magnetickej indukcie na prúde magnetom.
2. Zo známej hodnoty indexu lomu určite veľkosť disperznej oblasti Lummerovej-Gehrckovej dosky.
3. Zmerajte rozštiepenie červenej spektrálnej čiary kadmia pre niekoľko hodnôt magnetickej indukcie. Rozštiepenie pozorujte v smere kolmom ku magnetickému poľu. Spracujte graficky.
4. Určite polarizáciu zložiek rozštiepenej čiary. To isté preveďte pri pozorovaní v smere magnetického poľa.
5. Kvalitatívne popíšte výsledku pozorovania Zeemanovho javu na zelenej čiare kadmia ($\lambda = 508,6 \text{ nm}$).

Teoretická časť:

Zeemanov jav vysvetľuje rozštiepenie spektrálnych čiar vyžarujúceho atómu pri vložení do vonkajšieho magnetického poľa. Tento jav sa dá klasicky vysvetliť s použitím predstavy harmonického oscilátora. Tento tu predstavuje elektrón v poli kvazielastickej sily. Ak je vonkajšie magnetické pole nulové, môžu elektróny kmitať v ľubovoľnom smere. Pri zapojení poľa môžu elektróny oscilovať v smere poľa alebo obiehať po kružniciach v rovine kolmej ku smeru siločiar vonkajšieho magnetického poľa.

To znamená, že spektrálna čiara by sa podľa tejto teórie mala rozštiepiť na tri. Platí, vid' [1]:

- vlnová dĺžka λ_0 strednej čiary tripletu sa zhoduje s pôvodnou vlnovou dĺžkou danej spektrálnej čiary
- pre vlnovú dĺžku krajných zložiek tripletu platí

$$I_{1,2} = I_0 \pm \Delta I \quad (1)$$

$$\Delta I = \frac{e}{m_e} \frac{I_0^2 B}{4\pi c}, \quad (2)$$

kde e/m_e je merný náboj elektrónu, B magnetická indukcia a c je rýchlosť svetla vo vákuu.

- ak pozorujeme rozštiepenie v smere kolmom ku smeru magnetického poľa, zistíme, že stredná časť tripletu je lineárne polarizovaná v smere vektoru magnetickej indukcie; obe krajné čiary sú lineárne polarizované v smere kolmom k magnetickému poľu
- ak pozorujeme svetelný zdroj v smere magnetického poľa, vidíme iba krajné zložky, ktoré sú kruhovo polarizované

Kalibračná krivka elektromagnetu

Meranie prevedieme pomocou Hallovej sondy. Pre rôzne prúdy v cievke, meriame Hallovou sondou magnetickú indukciu medzi cievkami.

Lummerova-Gehrckova doska

Využíva sa kvôli vysokej rozlišovacej schopnosti. Jednou z charakteristík tejto dosky je disperzná oblasť

$$\Delta \lambda_D = \frac{\lambda^2}{2d\sqrt{N^2 - 1}}, \quad (3)$$

kde λ je vlnová dĺžka použitého svetla, d šírka L.-G. dosky a N je index lomu materiálu dosky, pre ktorý platí

$$N = 1,44263 + \frac{7,065}{\lambda - 144}, \quad (4)$$

kde za λ sa dosadzujú hodnoty v nm .

Hľadané rozštiepenie $\Delta \lambda$ sa dá potom vypočítať zo znalosti uhlového posunu $\Delta \beta$ a uhlovej odľahlosti susedných maxím $\Delta \beta'$:

$$\Delta I = \frac{\Delta b}{\Delta b'} \Delta I_D = \frac{\Delta b}{\Delta b'} \frac{I^2}{2d\sqrt{N^2 - 1}}. \quad (5)$$

Experimentálne sa dá pomer $\frac{\Delta b}{\Delta b'}$ stanoviť na základe meraní polôh rozštiepených čiar (y_1 a z_1) a susedných maxím (x_0 a x_2) pre jedno vybrané maximum. I keď tieto čiary nie sú ekvidistantné (zachováva sa pomer vzdialenosti susedných čiar), dá sa výpočet rozštiepenia s dostatočnou presnosťou použiť vzťah

$$\Delta I = \frac{y_1 - z_1}{x_2 - x_0} \Delta I_D. \quad (6)$$

Polohy jednotlivých interferenčných maxím sa dá určiť pomocou výchylkometra.

Výsledky meraní:

Kalibrácia elektromagnetu

Premeral som závislosť magnetickej indukcie na prúde magnetom. Na meranie magnetickej indukcie som použil Hallovu sondu, pre ktorú platí $1\text{mV} = 100\text{mT}$. Napätie som meral prístrojom s triedou presnosti 1 na rozsahu 15mV (chybu merania uvažujem $0,15\text{mV}$, t.j. 15mT). Prúd som meral prístrojom s triedou presnosti 1 na rozsahu 20A (chybu merania uvažujem $0,2\text{A}$).

Použitý ampérmeter bol určený na meranie striedavých prúdov. Je teda možné, že mal stupnicu prispôbenú na meranie efektívnych (maximálnych) hodnôt. Meranie to neovplyvní, pretože stačí vedieť, že sme v tom istom stave, v akom sme pred chvíľou merali indukciu Hallovoou sondou. Skutočný prúd nás vôbec nezaujíma.

Namerané hodnoty sú uvedené v *tabuľke 1* a zobrazené v *grafe 1* – nameranú závislosť som preložil polynómom.

Tabuľka 1 – Závislosť magnetickej indukcie B na prúde magnetom I_M

I_M [A]	U_H [mV]	B [mT]
1	1,50	150
2	2,40	240
4	3,30	330
5	4,25	425
6	5,05	505
7	5,95	595
8	6,75	675
9	7,40	740
10	7,85	785
11	8,20	820
12	8,50	850
13	8,80	880
14	9,05	905

Veľkosť disperznej oblasti

Pre index lomu $N_{\text{červená}}$ červenej čiary kadmia ($\lambda_{\text{červená}} = 643,8\text{nm}$) resp. $N_{\text{zelená}}$ zelenej čiary kadmia ($\lambda_{\text{zelená}} = 508,6\text{nm}$) podľa (4) platí

$$N_{\text{červená}} = 1,45677 \pm 0,00003,$$

$$N_{\text{zelená}} = 1,462007 \pm 0,00003.$$

Pre veľkosť disperznej oblasti $\Delta\lambda_{D,\text{červená}}$ resp. $\Delta\lambda_{D,\text{zelená}}$ podľa vzťahu (3) platí

$$\Delta I_{D,\text{červená}} = (4,8424 \pm 0,0002) \cdot 10^{-11} \text{m},$$

$$\Delta I_{D,\text{zelená}} = (3,0017 \pm 0,0001) \cdot 10^{-11} \text{m}.$$

Meranie rozštiepenia

Rozštiepenie červenej čiary som zmeral pre štyri hodnoty konštantného magnetického poľa, teda pre konštantný prúd. Hodnoty magnetickej indukcie som určil podľa *tabuľky 1* resp. *grafu 1*.

Namerané hodnoty pre rôzne hodnoty magnetického poľa sú uvedené v *tabuľkách 2 – 5*. Hodnoty x_i , y_i a z_i sú uvedené v jednotkách výchylkometra. Podľa vzťahu (2) som vypočítal teoretické hodnoty $\Delta\lambda$ pre jednotlivé hodnoty magnetickej indukcie – tieto hodnoty označujem ako $\Delta\lambda_{teo}$.

Tabuľka 2 – Rozštiepenie $\Delta\lambda$ pre $B = 0,505T$

y_1	z_1	x_2	x_0	$\Delta\lambda$ [pm]	$\Delta\lambda_{teo}$ [pm]
1,360	1,415	1,260	1,520	10,24	
1,765	1,835	1,655	1,960	11,11	
2,300	2,400	2,140	2,590	10,76	
1,120	1,190	1,050	1,265	11,26	
			<i>priemer</i>	10,84	9,77
			<i>chyba</i>	0,39	

Tabuľka 3 – Rozštiepenie $\Delta\lambda$ pre $B = 0,675T$

y_1	z_1	x_2	x_0	$\Delta\lambda$ [pm]	$\Delta\lambda_{teo}$ [pm]
1,120	1,195	1,045	1,290	14,8	
1,480	1,570	1,390	1,680	15,1	
1,935	2,040	1,805	2,180	13,6	
1,775	1,850	1,680	1,980	12,1	
			<i>priemer</i>	13,9	13,1
			<i>chyba</i>	1,2	

Tabuľka 4 – Rozštiepenie $\Delta\lambda$ pre $B = 0,785T$

y_1	z_1	x_2	x_0	$\Delta\lambda$ [pm]	$\Delta\lambda_{teo}$ [pm]
1,625	1,730	1,535	1,860	15,64	
1,365	1,450	1,285	1,540	16,14	
1,780	1,880	1,680	1,990	15,62	
			<i>priemer</i>	15,80	15,19
			<i>chyba</i>	0,24	

Tabuľka 5 – Rozštiepenie $\Delta\lambda$ pre $B = 0,880T$

y_1	z_1	x_2	x_0	$\Delta\lambda$ [pm]	$\Delta\lambda_{teo}$ [pm]
1,255	1,350	1,170	1,430	17,69	
1,640	1,740	1,550	1,835	16,99	
1,950	2,075	1,820	2,190	16,36	
			<i>priemer</i>	17,01	17,03
			<i>chyba</i>	0,54	

Závislosť rozštiepenia spektrálnej čiary $\Delta\lambda$ na magnetickej indukcií B je zobrazená v *grafe 2*. Nameranými hodnotami som pomocou programu *Origin* preložil priamku, aby som overil lineárnu závislosť na magnetickej indukcií B podľa (2).

Hodnoty pre situácie, keď $\Delta b = \frac{(\Delta b)'}{3}$ a $\Delta b = \frac{(\Delta b)'}{4}$, sú uvedené v *tabuľke 6*. Rozštiepenie $\Delta\lambda$ som určil podľa (2), teoretickú hodnotu $\Delta\lambda_{teo}$ som určil podľa (5) – tieto hodnoty sú uvedené v *tabuľke 7*. (Relatívna chyba určenia I je rovnaká ako relatívna chyba určenia $\Delta\lambda$).

Tabuľka 6 – Hodnoty prúdu I pre prípady $\Delta b = (\Delta b)'/3$ a $\Delta b = (\Delta b)'/4$

$\Delta b / (\Delta b)' =$	1/3	1/4
	$I [A]$	$I [A]$
	10,6	7,6
	10,6	7,8
	10,2	7,6
	10,4	7,8
	10,3	7,4
	10,4	7,6
	10,4	7,4
	10,8	7,2
<i>priemer</i>	10,46	7,55
<i>chyba</i>	0,18	0,19
<i>relatívna chyba</i>	1,7	2,6

Tabuľka 7 – Rozštiepenie $\Delta\lambda$ pre prípady $\Delta b = (\Delta b)'/3$ a $\Delta b = (\Delta b)'/4$

	$\Delta b / (\Delta b)' = 1/3$	$\Delta b / (\Delta b)' = 1/4$
$I [A]$	10,46	7,55
$B [mT]$	784	627
$\sigma_B [mT]$	13	16
$\Delta\lambda [pm]$	15,17	12,13
$\sigma_{\Delta\lambda} [pm]$	0,26	0,31
$\Delta\lambda_{teo} [pm]$	16,14	12,11

Pri jednotlivých výpočtoch som používal hodnotu konštánt uvedené v [3].
Výsledky pozorovania úloh 4 a 5 sú uvedené v *diskusii*.

Diskusia:

Kalibrácia elektromagnetu

Zistená závislosť magnetickej indukcie B na prúde magnetom I je zobrazená v *grafe 1*. Táto závislosť zodpovedá teoretickým predpokladom krivky, ktorá popisuje nasýtenie.

Rozštiepenie červenej spektrálnej čiary

Červená spektrálna čiara sa rozštiepila na Zeemanovský triplet.

Rozštiepenie červenej spektrálnej čiary kadmia som určil pre štyri rôzne hodnoty magnetickeho poľa (t.j. pre štyri rôzne hodnoty prúdu magnetom). Nameraná závislosť je zobrazená na *grafe 2*. Pomocou programu *Origin* som touto závislosťou preložil priamku – z *grafu 2* vyplýva, že platí lineárna závislosť medzi rozštiepením $\Delta\lambda$ a hodnotou magnetickej indukcie B (overuje to teoretický vzťah (2)).

Veľkosť rozštiepenia som určil aj na základe určenia hodnoty magnetickej indukcie, pre ktorú sú v rovnakej vzdialenosti všetky tri zložky tripletu alebo krajné zložky tripletu (v situácii, keď strednú zložku tripletu som potlačil pomocou polarizátora). Tieto merania sú založené na subjektívnom vnímaní, no považujem ich (podľa výsledkov merania) za presnejšie ako v predchádzajúcom meraní.

Pri väčšine výsledkov rozštiepenia je nameraná hodnota väčšia ako teoretická hodnota. Pravdepodobne je to spôsobené nejakou systematickou chybou, ktorú som počas merania nedokázal odstrániť

Polarizácia zložiek rozštiepenej čiary

Na tieto pozorovania som používal štvrt'vlnnú doštičku a polarizátor.

Pri pozorovaní v smere kolmom na magnetické pole som pozoroval všetky tri zložky tripletu. Prostredná zložka je polarizovaná v smere vektora magnetickej indukcie, kým krajné zložky sú polarizované v smere kolmom na vektor magnetickej indukcie.

Pri pozorovaní v smere magnetického poľa som pozoroval len krajné zložky tripletu, ktoré sú kruhovo polarizované. Prostrednú zložku nie je vidno, pretože je lineárne polarizovaná v smere magnetického poľa a dipól nevyžaruje v smere svojej osi.

Anomálny Zeemanov jav

Zelená čiara kadmia sa vplyvom magnetického poľa štiepi podobne ako červená čiara kadmia – rozdiel je v tom, že ide o anomálny Zeemanov jav. Zelená čiara kadmia sa štiepi na viac čiar, no pozorovaním som nebol schopný určiť ich počet – no podľa teórie tu dochádza k rozštiepeniu na deväť čiar. Po prekročení určitej hodnoty magnetického poľa bolo rozštiepenie tak výrazne, že už nebolo možné rozlíšiť jednotlivé spektrálne čiary (pozoroval som súvislú zelenú plochu).

Záver:

Zmeral som závislosť magnetickej indukcie B na prúde magnetom I , viď *graf 1*.

Pre červenú ($\lambda = 643,8 \text{ nm}$) a zelenú ($\lambda = 508,6 \text{ nm}$) čiary spektra kadmia som vypočítal hodnoty indexu lomu a disperznej oblasti:

$$N_{\text{červená}} = 1,45677 \pm 0,00003, \quad \Delta I_{D,\text{červená}} = (4,8424 \pm 0,0002) \cdot 10^{-11} \text{ m},$$

$$N_{\text{zelená}} = 1,462007 \pm 0,00003, \quad \Delta I_{D,\text{zelená}} = (3,0017 \pm 0,0001) \cdot 10^{-11} \text{ m}.$$

Pre rozštiepenie červenej spektrálnej čiary kadmiového spektra som namerlal:

$$B = (505 \pm 15) \text{ mT}, \quad \Delta I = (10,84 \pm 0,39) \text{ pm}, \quad \Delta I_{\text{teo}} = 9,77 \text{ pm},$$

$$B = (675 \pm 15) \text{ mT}, \quad \Delta I = (13,9 \pm 1,2) \text{ pm}, \quad \Delta I_{\text{teo}} = 13,1 \text{ pm},$$

$$B = (785 \pm 15) \text{ mT}, \quad \Delta I = (15,80 \pm 0,24) \text{ pm}, \quad \Delta I_{\text{teo}} = 15,19 \text{ pm},$$

$$B = (880 \pm 15) \text{ mT}, \quad \Delta I = (17,01 \pm 0,54) \text{ pm}, \quad \Delta I_{\text{teo}} = 17,03 \text{ pm},$$

$$B = (784 \pm 13) \text{ mT}, \quad \Delta I = (15,17 \pm 0,26) \text{ pm}, \quad \Delta I_{\text{teo}} = 16,14 \text{ pm},$$

$$B = (627 \pm 16) \text{ mT}, \quad \Delta I = (12,13 \pm 0,31) \text{ pm}, \quad \Delta I_{\text{teo}} = 12,11 \text{ pm}.$$

Zistená závislosť rozštiepenia $\Delta\lambda$ na magnetickej indukcii B je zobrazená v *grafe 2*.

Polarizácia jednotlivých zložiek tripletu je v súlade s teóriou.

Pre zelenú spektrálnu čiaru kadmia som pozoroval anomálny Zeemanov jav.

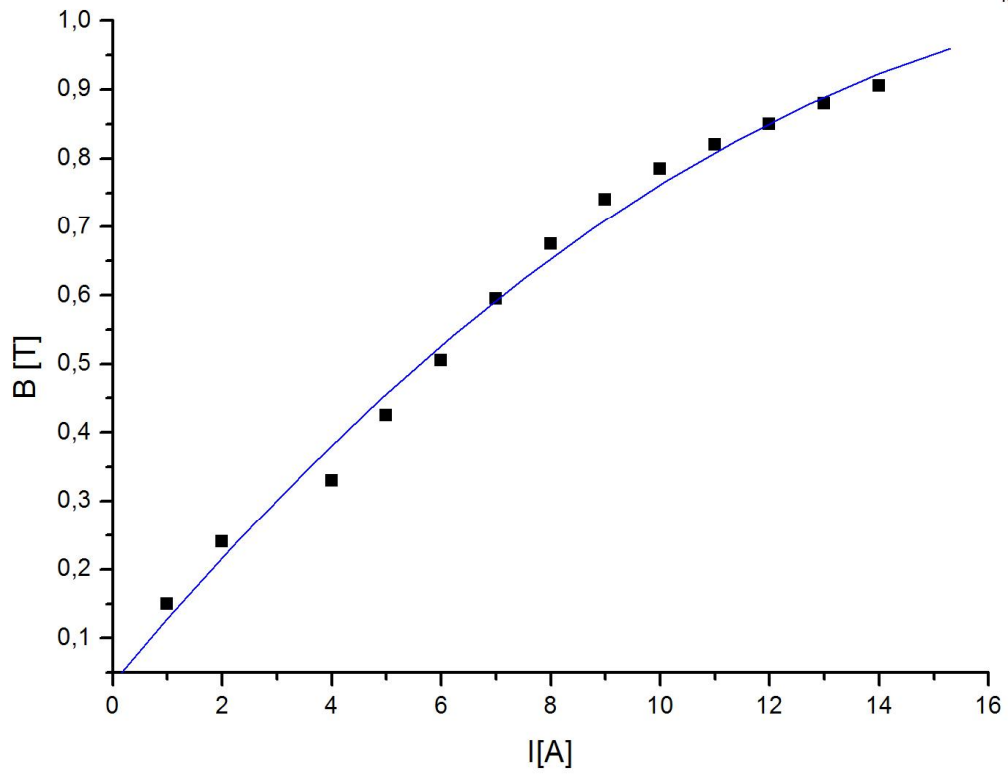
Literatúra:

[1] Študijný text k úlohe A14; <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>

[2] English, J.; Zpracování výsledků fyzikálních měření, Praha, 1999

[3] Mikulčák, J., Klimeš, B. Široký, J., Šůla, V., Zemánek, F.; Matematické fyzikální a chemické tabulky, Prometheus, Praha 1997

Graf 1 - Závislosť magnetickej indukcie B na prúde magnetom I_M



Graf 2 - Závislosť roaštiepenia červenej spektrálnej čiary $\Delta\lambda$ na hodnote magnetickej indukcie B

