

Ústav fyzikální elektroniky PŘF MU

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 3

Zpracoval: Artem Gorodilov

Obor: Astrofyzika

Skupina: Po 14:00

Naměřeno: 5. června 2024

Testováno:

Úloha č. E: Zeemanův jev

1. Zadání

- Ověřit funkci Fabry-Perotova interferometru. Ukázat, že naměřené poloměry různých interferenčních kroužků jedné vlnové délky souhlasí s vhodným vztahem uvedeným v návodu.
- Pomocí posunu vlnočtů při normálním Zeemanově jevu zjistit velikost Bohrova magnetonu.
- Zjistit, které složky rozštěpených spektrálních čar jsou vyzařovány ve směru kolmém na indukcí magnetického pole, a které ve směru rovnoběžném. Změřit, jak jsou jednotlivé složky rozštěpených spektrálních čar polarizovány. Polarizaci stanovit pro oba směry záření (kolmý i rovnoběžný k magnetické indukci) a pro normální i anomální Zeemanův jev.

2. Teorie

2.1. Zeemanův jev

Zeemanův jev je rozštěpení spektrálních čar v magnetickém poli. Rozštěpení je způsobeno interakcí mezi magnetickým dipólovým momentem atomu a magnetickým polem. Rozštěpení spektrálních čar je dáno vztahem:

$$E_{mJ1} - E_{mJ2} = (m_{J2}g_{J2} - m_{J1}g_{J1})\mu_B B \quad (1)$$

kde E_{mJ1} a E_{mJ2} jsou energie stavů s magnetickými kvantovými čísly m_{J1} a m_{J2} , g_{J1} a g_{J2} jsou Landého faktory, μ_B je Bohrov magneton a B je magnetická indukce.

2.2. Fabry-Perotův interferometr

Pro analýzu spektrálních čar v magnetickém poli se používá Fabry-Perotův interferometr. Fabry-Perotův interferometr je optický přístroj, který využívá interference světla k měření vlnových délek. Rozdíl druhých mocnin poloměrů interferenčních kroužků (r_a a r_b) pro dvě vlnové délky s blízkými hodnotami vlnočtu ($\tilde{\lambda}_a$ a $\tilde{\lambda}_b$) je dán vztahem:

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

kde f je ohnisková vzdálenost čočky, Z je zvětšení, n je index lomu pro λ_a a d je tloušťka interferometru.

Pro určení Bohrova magnetonu se využívá vztah:

$$\mu_B = \frac{r_{a,p+1}^2 - r_{a,p}^2}{r_{b,p}^2 - r_{a,p}^2} \frac{hc}{2ndB} \quad (3)$$

kde první index i v $r_{i,p}$ označuje hlavní spektrální čáru (může nabývat hodnot a , b a c) a druhý index p označuje rozložené spektrální čáry (může nabývat hodnot 1, 2 a 3). Podrobnosti jsou uvedeny na obrázku (1).

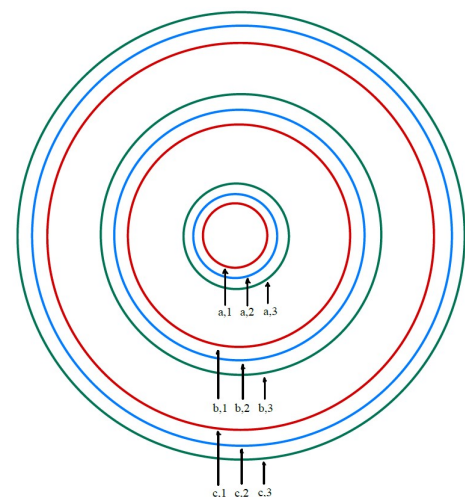


Figure (1) Schéma rozložení spektrálních čar.

3. Měření

3.1. Ověření funkce Fabry-Perotova interferometru

Pro ověření funkce Fabry-Perotova interferometru jsme změřili poloměry interferenčních kroužků pro spektrální čáry. Dále jsme vykreslili závislost druhé mocniny poloměru kružnic na jejich pořadí $f = r^2(p)$. Poté jsme provedli lineární fitování dat, čímž jsme potvrdili lineární charakter této závislosti. Údaje jsou uvedeny v tabulce (1) a na grafu (2). Koeficient úměrnosti α :

$$\alpha = 0.081(1) \left[\frac{1}{\text{mm}^2} \right]$$

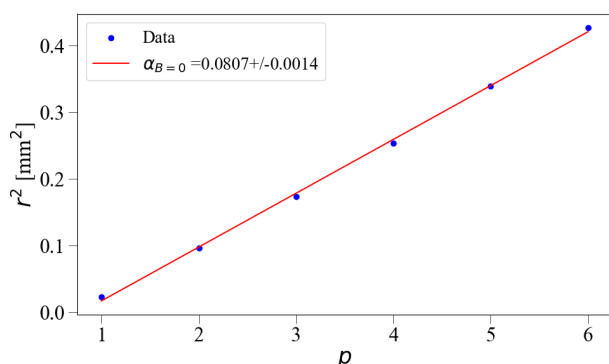


Figure (2) Závislost druhé mocniny poloměru interferenčních kroužků r^2 na pořadí p .

3.2. Bohrov magneton

Poté jsme použili údaje o závislosti $f=B(I)$, které nám byly poskytnuty. Provedli jsme fitování polynomem třetího stupně, čímž jsme interpolovali data na hodnoty I od 0 A do 10 A. Údaje jsou uvedeny v tabulce (2) a na grafu (3).

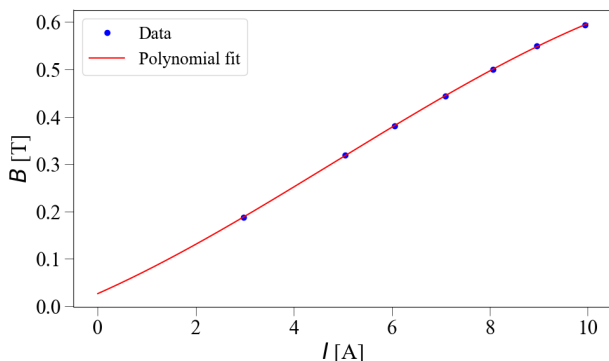


Figure (3) Závislost magnetické indukce B na proudu I .

Dále zvýšením hodnoty proudu I na cívce a následně zvýšením hodnoty magnetické indukce B bylo zjištěno, že rozdělení spektrálních čar se projeví při hodnotách $I > 3.15$ A, tj. $B > 199$ mT.

Pomocí vzorce (3) jsme vypočítali hodnoty Bohrova magnetonu pro dvojice spektrálních čar ab a bc (viz obr. (1)). Tabulkové údaje pro výpočty:

$$d = 3 \text{ [mm]} , \quad n = 1.456$$

Pro každou dvojici spektrálních čar jsme získali dvě hodnoty $\mu_{B,ab}$ a $\mu_{B,bc}$. Údaje jsou uvedeny v tabulkách (3)-(10) a na grafu (4).

Po výpočtech jsme zjistili hodnotu μ_B :

$$\mu_B = 9.8(5) \times 10^{-24} \text{ [J/T]}$$

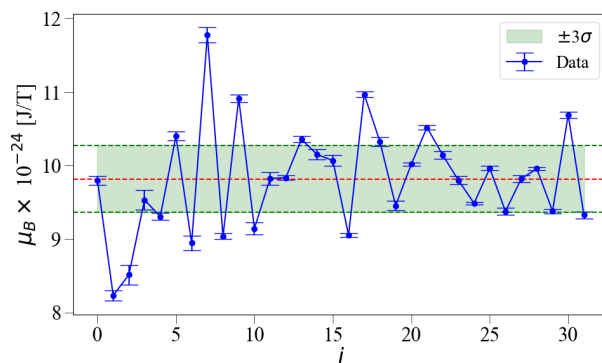


Figure (4) Hodnoty Bohrova magnetonu μ_B

3.3. Polarizace

Pro měření polarizace spektrálních čar jsme použili polarizační filtr. Pro normální Zeemanův jev směr šíření světla je kolmý na vektor magnetické indukce. Při natáčení polarizačního filtru o 0° viditelnost krajních spektrálních čar je maximální, a viditelnost centrální spektrální čáry je minimální. Při natáčení polarizačního filtru o 90° viditelnost krajních spektrálních čar je minimální, a viditelnost centrální spektrální čáry je maximální. Polarizace je tedy lineární.

Pro případ, kde směr šíření světla byl rovnoběžný se směrem magnetické indukce, použili jsme čtvrtvlnné destičky, která posouvá fázi o $\delta = \pi/2$, před polarizačním filtrem natáčením polarizačního filtru o 45° byl viditelný vnější kroužek. Při natáčení o -45° byl viditelný vnitřní kroužek. To je dáno tím, že po převedení na lineární polarizaci má středová čára opačný směr oproti rozštěpeným čarám, tj. emitované světlo ve směru magnetické indukce je polarizováno lineárně, ale střední spektrální čára má polarizaci kolmo na krajní rozštěpené čáry. Polarizace je tedy kruhová, přičemž jeden typ čar je pravotočivý a druhý levotočivý. Po převedení na lineární polarizaci mají opačný směr.

Při anomálním Zeemanově jevu spektrální čáry jsou rozloženy na devět čar kroužků.

K výpočtu veličin a jejich nejistot byla použita knihovna Uncertainties pro Python [1]. Chyby byly rozšířeny o Studentův koeficient (2-Tail Confidence Level) s ohledem na stupně volnosti pro každou hodnotu, pro interval spolehlivosti 99.73%.

4. Závěr

Byla ověřena funkce Fabry-Perotova interferometru. Při $B = 0$ T byla zjištěna hodnota $\alpha = 0.081(1)$ [1/mm²], což potvrzuje lineární charakter závislosti r^2 na pořadí p .

Byla zjištěna hodnota Bohrova magnetonu $\mu_B = 9.8(5) \times 10^{-24}$ [J/T]. Tabulková hodnota Bohrova magnetonu je $\mu_B = 9.274 \times 10^{-24}$ [J/T] [2]. Rozdíl mezi tabulkovou hodnotou a hodnotou získanou v experimentu je $0.5(5) \times 10^{-24}$ [J/T]. Rozdíl je docela malý, což znamená, že hodnoty jsou v souladu.

Byla zjištěna polarizace spektrálních čar. Pro normální Zeemanův jev byla zjištěna lineární polarizace kolmo k magnetické indukci. Při použití čtvrtvlnné destičky z posunem $\delta = \pi/2$ byla zjištěna kruhová polarizace ve směru magnetické indukce.

Odkazy

[1] Uncertainties, Dostupné online: <https://pypi.org/project/uncertainties>

[2] Bohrův magneton, Dostupné online: <https://www.vedantu.com/physics/bohr-magneton>

5. Appendix

5.1. Tabulka naměřené hodnoty poloměrů interferenčních kroužků r při $I = 0$ A

p	r [mm]	r^2 [mm ²]
1	0.1515	0.023
2	0.3105	0.0964
3	0.4166	0.1736
4	0.5029	0.2529
5	0.5822	0.339
6	0.653	0.4264

5.2. Data závislosti magnetické indukce B na proudu I

I [A]	B [mT]
2.97	188.0
5.05	319.0
6.06	381.0
7.1	444.0
8.06	500.0
8.96	549.0
9.95	594.0

5.3. Tabulka naměřených hodnot Bohrova magnetonu μ_B pro $I = 3.15$ A

p	r_a [mm]	r_b [mm]	r_c [mm]	$\mu_{B,ab} \times 10^{-24}$ [J/T]	$\mu_{B,bc} \times 10^{-24}$ [J/T]
1	0.1363	0.308	0.4127	9.80+/-0.06	8.51+/-0.13
2	0.1585	0.317	0.4224	8.23+/-0.07	9.53+/-0.13
3	0.1748	0.3271	0.4307		

5.4. Tabulka naměřených hodnot Bohrova magnetonu μ_B pro $I = 4.13$ A

p	r_a [mm]	r_b [mm]	r_c [mm]	$\mu_{B,ab} \times 10^{-24}$ [J/T]	$\mu_{B,bc} \times 10^{-24}$ [J/T]
1	0.131	0.3028	0.4127	9.30+/-0.05	8.94+/-0.10
2	0.1584	0.3158	0.4215	10.40+/-0.06	11.78+/-0.10
3	0.1843	0.332	0.4317		

5.5. Tabulka naměřených hodnot Bohrova magnetonu μ_B pro $I = 4.98$ A

p	r_a [mm]	r_b [mm]	r_c [mm]	$\mu_{B,ab} \times 10^{-24}$ [J/T]	$\mu_{B,bc} \times 10^{-24}$ [J/T]
1	0.1245	0.299	0.4078	9.04+/-0.04	9.14+/-0.08
2	0.1572	0.3148	0.4228	10.91+/-0.05	9.82+/-0.08
3	0.1895	0.3315	0.4333		

5.6. Tabulka naměřených hodnot Bohrova magnetonu μ_B pro $I = 5.99$ A

p	r_a [mm]	r_b [mm]	r_c [mm]	$\mu_{B,ab} \times 10^{-24}$ [J/T]	$\mu_{B,bc} \times 10^{-24}$ [J/T]
1	0.1135	0.2929	0.4051	9.834+/-0.033	10.15+/-0.07
2	0.1574	0.3146	0.4223	10.36+/-0.04	10.07+/-0.07
3	0.1937	0.335	0.4368		

5.7. Tabulka naměřených hodnot Bohrova magnetonu μ_B pro $I = 7.19$ A

p	r_a [mm]	r_b [mm]	r_c [mm]	$\mu_{B,ab} \times 10^{-24}$ [J/T]	$\mu_{B,bc} \times 10^{-24}$ [J/T]
1	0.1051	0.2898	0.4009	9.053+/-0.027	10.32+/-0.06
2	0.1553	0.3157	0.4188	10.968+/-0.035	9.45+/-0.06
3	0.2013	0.3374	0.4383		

5.8. Tabulka naměřených hodnot Bohrova magnetonu μ_B pro $I = 8.22$ A

p	r_a [mm]	r_b [mm]	r_c [mm]	$\mu_{B,ab} \times 10^{-24}$ [J/T]	$\mu_{B,bc} \times 10^{-24}$ [J/T]
1	0.0925	0.2864	0.3969	10.018+/-0.024	10.14+/-0.05
2	0.1582	0.3149	0.4195	10.518+/-0.033	9.80+/-0.06
3	0.2061	0.3406	0.4407		

5.9. Tabulka naměřených hodnot Bohrova magnetonu μ_B pro $I = 9.22$ A

p	r_a [mm]	r_b [mm]	r_c [mm]	$\mu_{B,ab} \times 10^{-24}$ [J/T]	$\mu_{B,bc} \times 10^{-24}$ [J/T]
1	0.0875	0.2841	0.3986	9.485+/-0.021	9.38+/-0.05
2	0.1573	0.3143	0.4207	9.962+/-0.030	9.82+/-0.05
3	0.2072	0.3431	0.442		

5.10. Tabulka naměřených hodnot Bohrova magnetonu μ_B pro $I = 9.90$ A

p	r_a [mm]	r_b [mm]	r_c [mm]	$\mu_{B,ab} \times 10^{-24}$ [J/T]	$\mu_{B,bc} \times 10^{-24}$ [J/T]
1	0.0827	0.2805	0.3948	9.956+/-0.021	10.69+/-0.04
2	0.1596	0.3165	0.4186	9.379+/-0.028	9.33+/-0.05
3	0.2091	0.3441	0.4438		