

Pozorování normálního Zeemanova jevu

Kristýna Haismanová¹, Oliver Pospíšil²
Gymnázium Václava Beneše Třebízského, Slaný¹
Gymnázium PRIGO, Ostrava²
tyna.haiso@seznam.cz¹, oliver.pospisil44@gmail.com²

Abstrakt:

V posledních zhruba 150 letech se ne jeden významný vědec zasadil o bližší prozkoumání struktury atomu. K našemu současnému poznání přispěl v roce 1896 také Pieter Zeeman. Naším cílem bylo zopakovat pokus, za který mu v roce byla 1902 udělena Nobelova cena. Pomocí Fabry-Pérotova etalonu jsme pozorovali rozštěpení energetických hladin atomu v magnetickém poli neboli Zeemanův jev. Naměřili jsme vzdálenosti jednotlivých rozštěpených hladin a následně ze zjištěných hodnot vypočítali přibližnou hodnotu Bohrova magnetonu. Seznámili jsme se tak s jednou ze základních konstant udávajících vlastnosti vesmíru jako takového.

1 Úvod

Jedním z nástrojů poskytujících hlubší vhled do stavby atomu je spektroskopie. Zabývá se měřením energetických přechodů v atomech, z nichž můžeme zjistit jejich vlastnosti, např. energetické hladiny, charakteristické vlnové délky, spin, dobu života, aj. Důležité informace podávají zejména měření za nestandardních podmínek – např. v magnetickém poli.

Měříme záření emitované při přechodu z vyšší energetické hladiny na nižší, hladiny jsou bez přítomnosti magnetického pole degenerované. Aplikujeme-li na atom magnetické pole, dojde k rozštěpení energetických hladin vlivem orientace magnetického momentu elektronů, tudíž pozorujeme rozštěpení pozorované spektrální čáry (viz Obrázek 1).

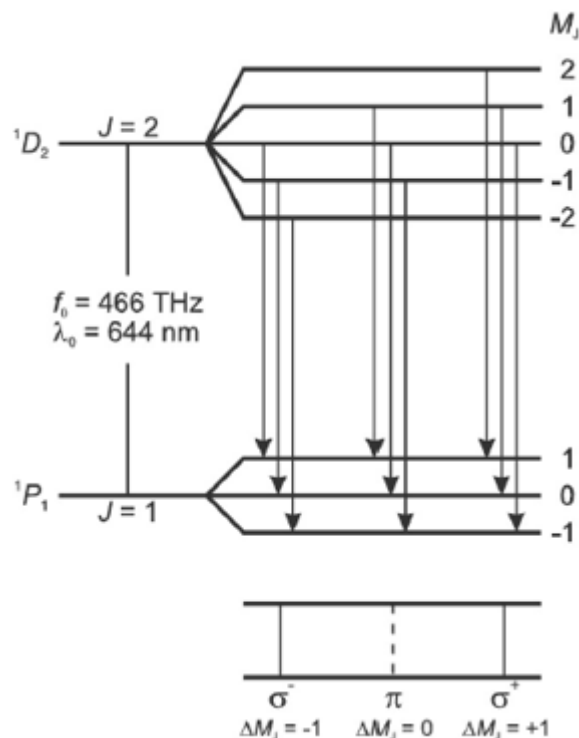
Velikost rozštěpení lze charakterizovat pomocí Bohrova magnetonu. Ten získáme ze vztahu (1)

$$\Delta E = \mu_B * B, \quad 1)$$

kde B velikost magnetického pole, ΔE je energie emitovaného fotonu při přechodu z vyššího energetického stavu na nižší. V našem experimentu užíváme optickou sestavu s Fabry-Pérotovým etalonem, v němž dojde k odrazu části procházejícího světelného paprsku. Odražený paprsek je emitován rovnoběžně s prošlým a liší se rozdílem optických drah, světlo vycházející z etalonu interferuje a my poté pozorujeme výsledný obrazec. Díky tomu lze rozdíl energetických hladin ΔE v našem experimentu vyjádřit vztahem (2)

$$\Delta E = \frac{c * h}{2 * d * n} * \frac{\delta}{\Delta'} \quad 2)$$

kde Δ je rozdíl optických drah, pokud atom není v magnetickém poli, δ rozdíl optických drah, je-li aplikováno magnetické pole, d je tloušťka etalonu a n je index lomu etalonu.



Obrázek 1: Rozštěpení energetických hladin vlivem vnějšího magnetického pole v atomu kadmia

2. Měření

a) Průběh experimentu

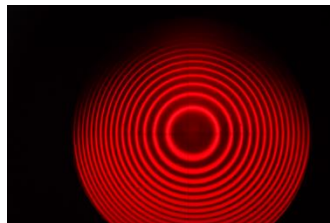
Nejprve jsme změřili referenční hodnoty magnetického pole lineárně závislé na zvoleném proudu či napětí. Následně jsme sestavili aparaturu (viz Obrázek 2) skládající se z mikroskopu, dvou spojek, filtru propouštějícího pouze červené světlo, Fabry-Pérotova etalonu, čtvrtvlnové destičky, kadmiové výbojky, dvou cívek generátoru proudu / napětí. Jelikož je světlo vycházející z výbojky polarizované, použili jsme také polarizační filtr. Poté jsme při nulovém magnetickém poli pozorovali degenerované energetické hladiny elektronového obalu. Při přítomnosti magnetického pole se jednoznačně odlišili tzv. diskrétní stavy. V obou případech jsme na číselné ose mikroskopu odečítali poloměry jednotlivých soustředných kružnic značících maxima. (viz Obrázek 3) Tentýž postup jsme aplikovali také při otočení výbojky o 90° .

b) Zpracování výsledků měření

Zjištěná data jsme využili nejprve k výpočtu Δ a δ . Následně jsme podle vztahu (1) určili o kolik se při přechodu z jednotlivých energetických hladin změnila energie pro různé hodnoty B . Vlivem zachování momentu hybnosti se uskutečnily pouze přechody π (původní energetická hladina), σ^+ (u projekci do +1, znázorněno vnějšími kružnicemi) a σ^- (při projekci do -1, znázorněno vnitřními kružnicemi). Nakonec jsme podle vztahu (2) určili přibližnou hodnotu Bohrova magnetonu a také velikost chyby (viz Tabulka 2).



Obrázek 2: Aparatura



Obrázek 3: Interferenční maxima

konstanty	
n	1,457
d [m]	0,004
c [m.s ⁻¹]	300 000 000
h [J.s]	6,626x10 ⁻³⁴
e [C]	1,602x10 ⁻¹⁹
Δ [μ m]	5,520833

Tabulka 1: Základní použité konstanty

Bez posunu aparatury				
B (T)	δ_1^+	δ_1^-	δ_2^+	δ_2^-
0,21000	0,98750	0,86250	0,90750	0,58000
0,24000	0,98750	0,86250	0,90750	0,58000
0,28500	1,09313	0,86250	0,90750	0,58000
0,37000	0,98750	0,86250	0,90750	0,86250
	μ_{B1}^+	μ_{B1}^-	μ_{B2}^+	μ_{B2}^-
	$14 \cdot 10^{-24}$	$12 \cdot 10^{-24}$	$13 \cdot 10^{-24}$	$9 \cdot 10^{-24}$
	$12 \cdot 10^{-24}$	$11 \cdot 10^{-24}$	$11 \cdot 10^{-24}$	$7 \cdot 10^{-24}$
	$12 \cdot 10^{-24}$	$9 \cdot 10^{-24}$	$10 \cdot 10^{-24}$	$6 \cdot 10^{-24}$
	$8 \cdot 10^{-24}$	$7 \cdot 10^{-24}$	$8 \cdot 10^{-24}$	$7 \cdot 10^{-24}$

Aparatura o 90° posunutá				
B (T)	δ_1^+	δ_1^-	δ_2^+	δ_2^-
0,21000	1,64	0,36	1,86	0,58
0,24000	4,14	0,36	1,86	1,14
0,28500	1,64	0,36	1,86	1,14
0,37000	1,64	0,36	1,86	1,14
	μ_{B1}^+	μ_{B1}^-	μ_{B2}^+	μ_{B2}^-
	$24 \cdot 10^{-24}$	$5 \cdot 10^{-24}$	$27 \cdot 10^{-24}$	$27 \cdot 10^{-24}$
	$53 \cdot 10^{-24}$	$5 \cdot 10^{-24}$	$24 \cdot 10^{-24}$	$24 \cdot 10^{-24}$
	$17 \cdot 10^{-24}$	$4 \cdot 10^{-24}$	$20 \cdot 10^{-24}$	$20 \cdot 10^{-23}$
	$13 \cdot 10^{-24}$	$3 \cdot 10^{-24}$	$15 \cdot 10^{-24}$	$16 \cdot 10^{-24}$

Průměr všech μ_B^+ (J/T)	Průměr všech μ_B^- (J/T)
$(18 \pm 2) \cdot 10^{-24}$	$(10 \pm 2) \cdot 10^{-24}$

Tabulka 2: Zpracované hodnoty pro výpočet Bohrova magnetonu

konstanty	
n	1,457
d [m]	0,004
c [m.s ⁻¹]	300 000 000
h [J.s]	$6,626 \cdot 10^{-34}$
e [C]	$1,602 \cdot 10^{-19}$
Δ [μm]	5,520833

Tabulka 1: Základní konstanty

3. Shrnutí

Diskuze

Při porovnání skutečné hodnoty Bohrova magnetonu plynoucí ze vztahu (3),

$$\mu = \frac{e\hbar}{2m_e}, \quad 3)$$

kde e je elementární náboj, \hbar je redukovaná Planckova konstanta, m_e je hmotnost jednoho elektronu, s našimi naměřenými a vypočítanými daty jsme si všimli, že zatímco výsledek určený ze σ -přechodů v rámci chyby odpovídá skutečnosti, výsledek počítaný z δ -přechodů je od opravdové hodnoty Bohrova magnetonu výrazně odchýlen. Domníváme se, že příčina pramení z přesnějšího určení poloměru menších kružnic, neboť maxima s větším poloměrem se lidskému oku jevila poněkud rozostřená. Dalším negativně ovlivňujícím faktorem může být nepřesnost a špatné zaostření čoček a nedostatečné zastínění a z toho plynoucí horší viditelnost jednotlivých mikrometrů.

Poděkování

Rádi bychom tímto poděkovali především naší supervizorce Ing. Dagmar Bendové. Dále děkujeme Ing. Vojtěchu Svobodovi, Csc., Fakultě Jaderné a Fyzikálně inženýrské a všem organizátorům Týdne vědy na Jaderce 2018.

Reference:

Encyklopedie fyziky: Zeemanův jev [online]. [cit. 2018-06-19]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1632-zeemanuv-jev>