

Zeemanův jev

Pavel Motal¹
SOŠ a SOU Kuřim, s. r. o.

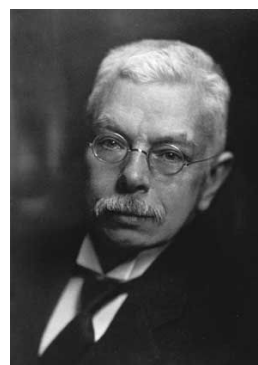
Miroslav Michlíček²
Gymnázium Vyškov

1 Abstrakt

Při tomto experimentu jsme zopakovali pokus Pietera Zeemana (nositel Nobelovy ceny v roce 1902) se štěpením energetických hladin atomů, při kterém jsem využili kadmiovou lampu v silném magnetickém poli. Touto metodou jsme měřili hodnotu Bohrova magnetonu. Výsledky porovnáváme s teoretickou hodnotou v části výsledky.

2 Úvod

Pieter Zeeman se narodil roku 1865 v Nizozemí, zajímal se zejména o chování elektromagnetického záření v magnetickém poli. Popsal chování polární záře a později publikoval práci o štěpení spektrálních čar vznikajících v magnetickém poli – tento jev byl později nazván Zeemanův jev (dále ZJ). Při jeho experimentu, který uskutečnil roku 1896 vložil zdroj světla do silného vnějšího magnetického pole a došlo k rozštěpení ostrých spektrálních čar na duplet, popř. triplet (normální ZJ). Vznik tohoto jevu popsal H. A. Lorenz pomocí klasické elektrodynamiky. Později byl jeho výklad upraven kvantovou teorií.



3 Teorie

Atom se skládá z atomového obalu a jádra. V obalu se nachází elektrony, které mají záporný náboj a v jádře se nachází protony s kladným nábojem a neutrony, které jsou neutrální. Při dalším výkladu se zaměříme na obal. Elektronový obal je popsán kvantovými čísly.

Hlavní kvantové číslo	n	1, 2, 3, ...
vedlejší (orbitální) kvantové číslo	l	0, 1, 2, ... (n-1)
magnetické kvantové číslo	m	-l, ..., +l
spinové kvantové číslo	s	$\pm 1/2$

Tab. č. 1.: přehled kvantových čísel.

Každá částice má také v určitém stavu určitou vlnovou funkci, která je řešením Schrödingerovi rovnice a možná řešení zastupují právě kvantová čísla.

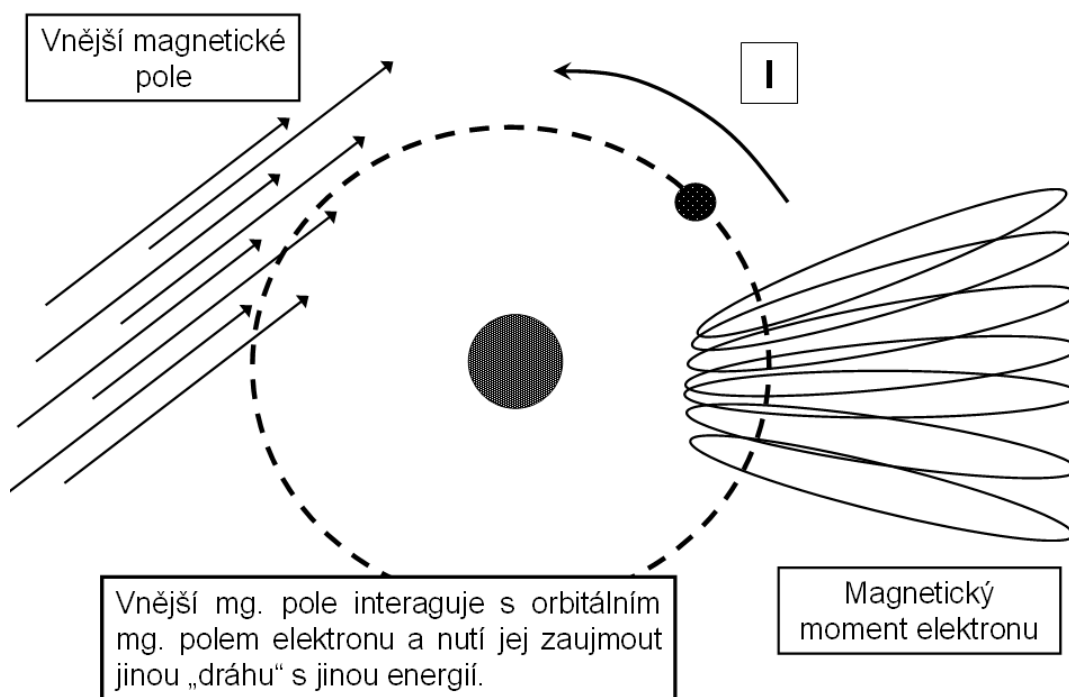
$$-\frac{\hbar}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = \frac{1}{2m} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} + \mu_B \right) \psi$$

kde μ_B je potenciál magnetického dipólu a $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$ je Coulombovský člen, popisující

¹pavel.1@centrum.cz

²exodusf@centrum.cz

elektrické působení částic atomu. Podrobnějším řešením této rovnice se ale zabývat nebudeme. Pro další úvahy je důležité vědět, že elektrony ve valenční vrstvě mohou přecházet do vyšších (excitovaných) hladin a při návratu do základní vrstvy emitují záření charakteristické frekvence, ze které je možné určit energii záření a tedy i energetický rozdíl dvou hladin. Pro atomy s jednoduchým uspořádáním atomového obalu bez vnějších vlivů jsou energetické hladiny nerozlišené a na jejich popsání stačí hlavní kvantové číslo n , pokud ale atom umístíme do vnějšího magnetického pole, dojde k interakci vnějšího magnetického pole a magnetického momentu elektronu a musíme uvažovat i další kvantová čísla.



obr. č. 1.: Zjednodušený výklad ZJ – vnější magnetické pole ovlivňuje magnetický moment elektronu a tím změnil jeho energii a donutí ho zaujmout jinou energetickou hladinu.

U normálního Zemanova jevu, který jsme měřili, je vyzařující atom, v našem případě kadmium, energeticky vystaven tak, aby se spiny (lze ho přirovnat k vlastnímu momentu hybnosti elektronu) elektronů navzájem vyrušili a neovlivňovali experiment, jako je tomu u anomálního ZJ, kdy spolu interagují i jednotlivá magnetická pole uvnitř atomu. Při splnění této podmínky se celkový moment hybnosti rovná orbitálnímu. Z momentu hybnosti můžeme tedy určit související magnetický moment:

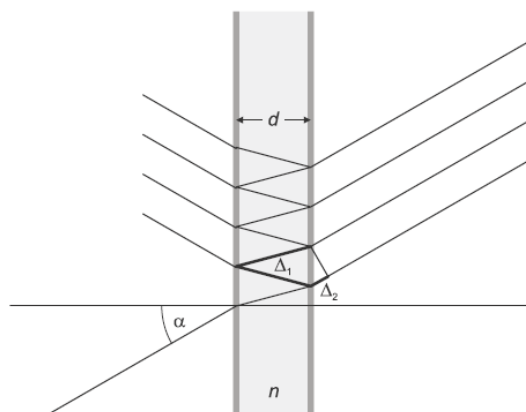
$$\mu = \frac{\mu_B}{\hbar} \mathbf{l}$$

(l je vedlejší kvantové číslo, viz tab. č.: 1) kde $\mu_B = \frac{\hbar e}{-2m_e}$ je Bohrov magneton, m_e hmotnost

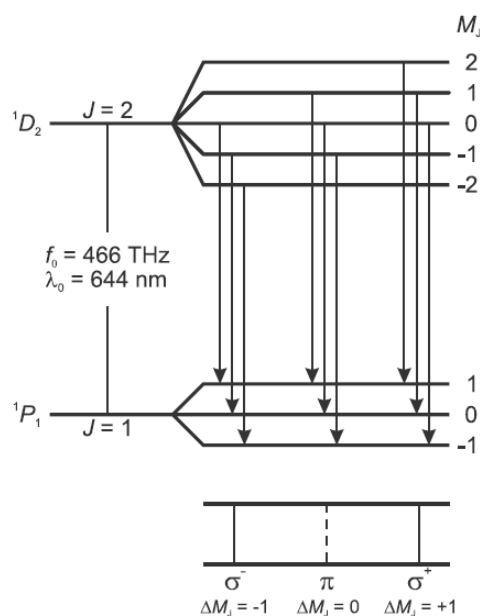
elektronu, e elementární náboj a \hbar redukovaná Planckova konstanta. Ve vnějším magnetickém poli \mathbf{B} má magnetický moment energii $E = -\mu \cdot \mathbf{B}$. Moment hybnosti v závislosti na \mathbf{B} může nabývat hodnot: $l_z = M_J \hbar$, kde $M_J = l, l-1, \dots, -l$; tedy magnetický moment nabývá jedné z $2l + 1$ možných hodnot. Energetický rozdíl mezi hladinami M_J a M_{J+1} kde: $\Delta E = -\mu_B$.

4 Experimentální část

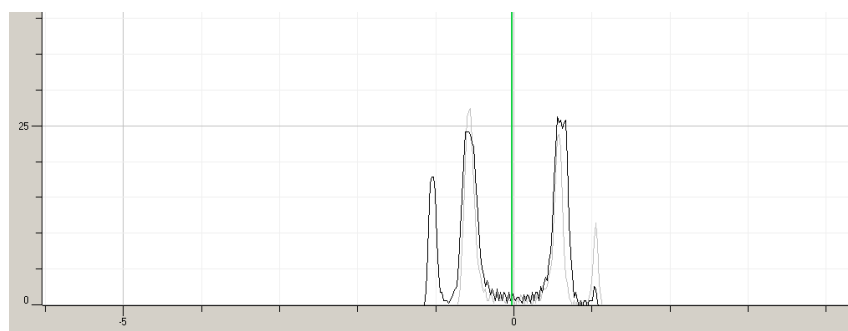
K měření jsme použili přístroj (viz Obr. č.: 6), sestávající z kadmiové lampy, dvou elektromagnetů připojených k laboratornímu zdroji napětí. Světlo z kadmiové lampy jsme soustavou čoček fokusovali, nechali projít filtrem a etalonem (prochází přes něj pouze fotony, které projdou mřížkou (viz obr.: 2, 9) a přes kameru zaznamenávali na počítači. Při tomto měření jsme také využili vlastnost ZJ. Intenzita světla ze středního přechodu M_0 (obr. č.: 3) je největší ve směru kolmém na směr magnetického pole cívek, tedy pootočením magnetů o 90° , došlo k tomu, že na spektroskop dopadalo pouze světlo z přechodů M_{-1} a M_{+1} . Zviditelnili jsme pouze okrajové části tripletu (na PC lze pozorovat dublet, z důvodu přesnějšího odečtu dat). Signál zaznamenaný kamerou jsme dále zpracovávali na počítači. Při tomto měření jsme použili program od výrobce, se kterým bylo možné studovat spektra (viz. obr. 4) a měřit rozptyl spektrálních čar.. Nejprve bylo nutné určit závislost B na I (viz obr. 5) . Při měření na PC lze pozorovat štěpení píku na dublet, při změně intenzity magnetického pole. Na ose x jsme měřili úhel jednotlivých píku, který jsme následně použili pro výpočet rozdílů energie hladin. Celkově jsme provedli měření v rozmezí od $1,5A - 8,5A$ po $0,5A$. Po zadání všech hodnot, jsme graficky pozorovali závislost rozdílů energie hladin ΔE [μeV] na intenzitě magnetického pole B [T]. Viz. obr. č.: 6.



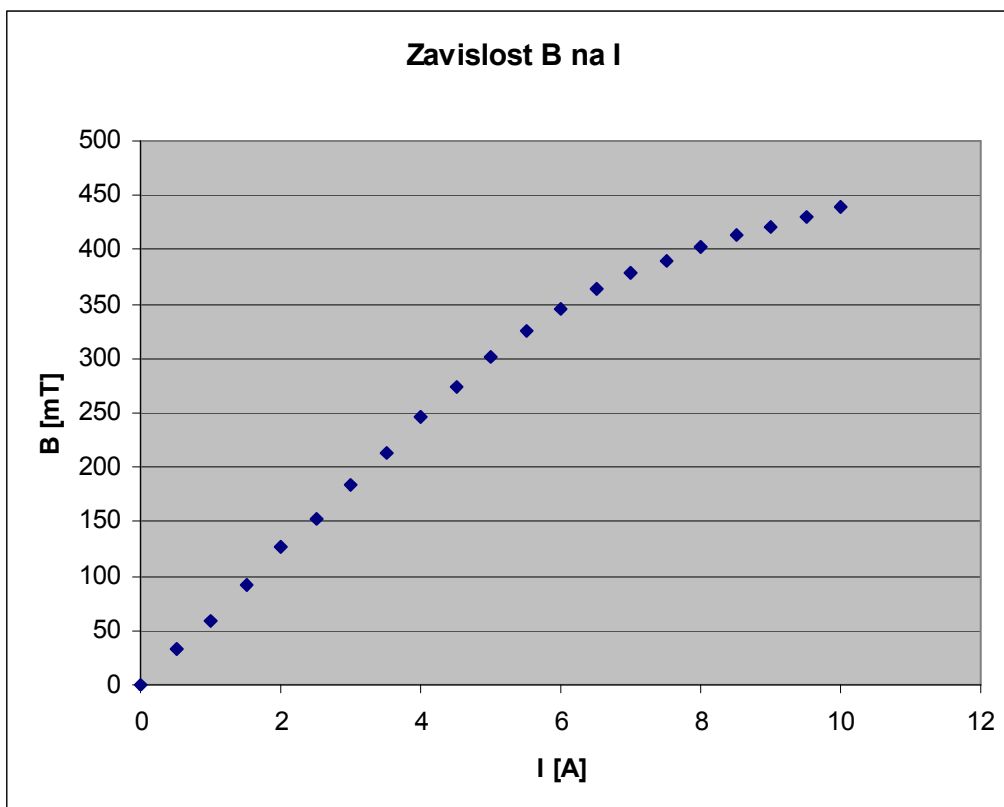
Obr.: 2
Etalon se chová jako interferenční spektrometr, přes který projdou pouze svazky s úhlem dopadu α .



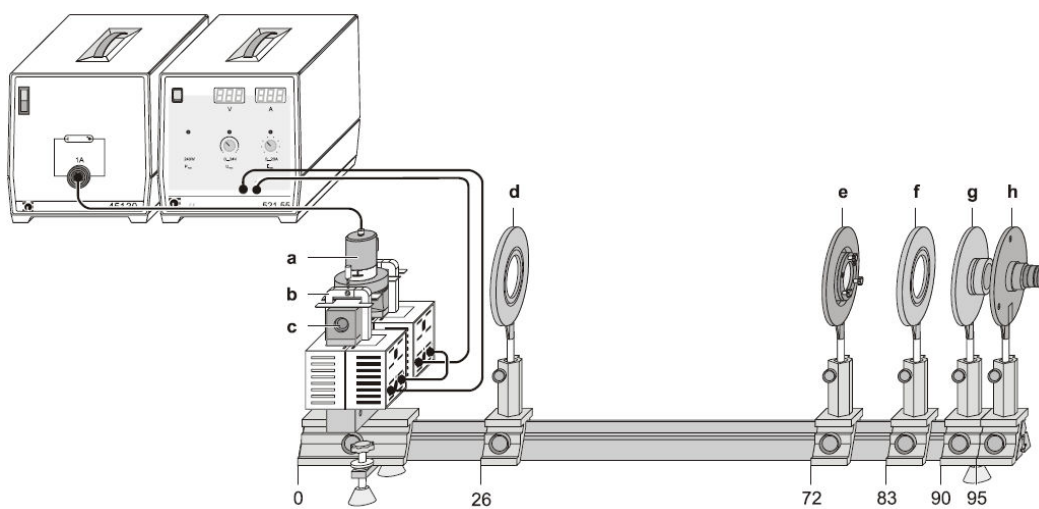
Obr. 3.: přechody rozštěpených energetických hladin.



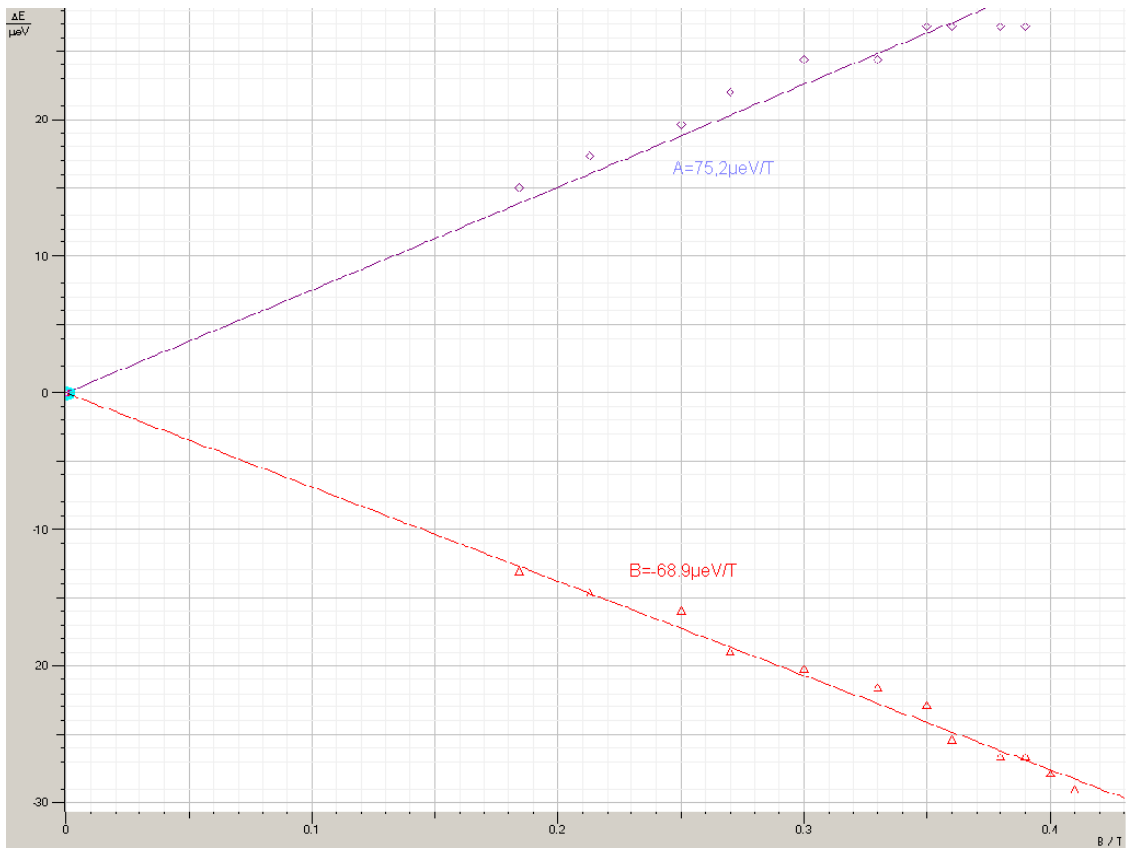
Obr. 4.: ukázka spektra.



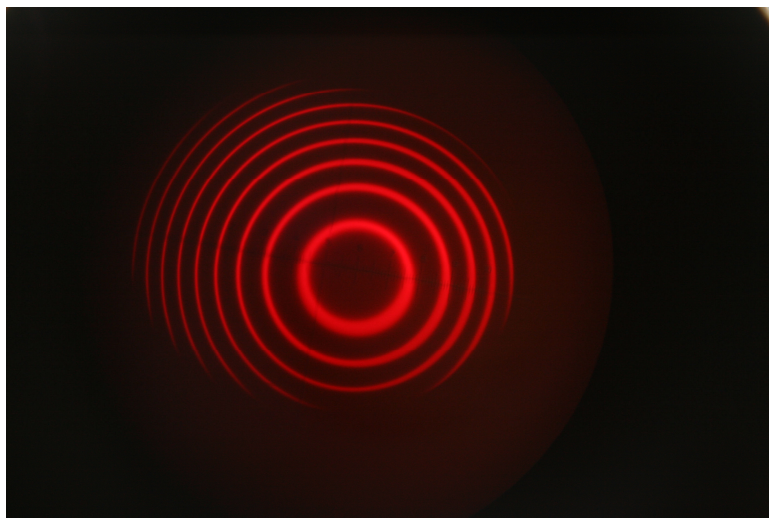
Obr. 5.: Závislost intenzity magnetického pole B na velikosti přiváděného proudu I.



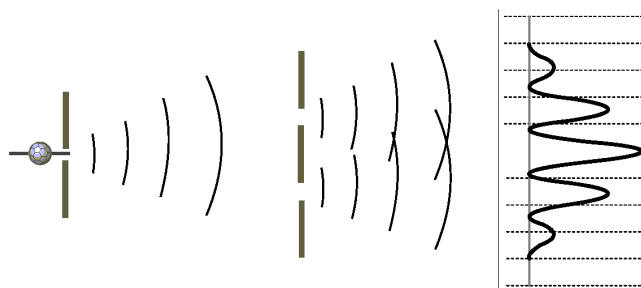
Obr. 6.: Schéma zapojení aparatury.



Obr. 7.: grafické zobrazení výsledku. Graf zobrazuje rozdíl energetických hladin v závislosti na magnetickém poli. Směrnice přímky udává Bohrův magneton z rovnice $\Delta E = \mu_B B$.



Obr. č.: 8: pohled do mikroskopu na kruhové spektrum bez magnetického pole.



Obr. č.: 9: dvouštěrbinový experiment
(zdroj: http://psaci.misto.cz/_MAIL_/fyzika/kvant/zajimavosti.html)

5 Výsledky

Námi naměřená hodnota Bohrova magnetonu je $\mu_B = 72,05 \mu\text{eVT}^{-1}$. Teoretická hodnota je $57,9 \mu\text{eVT}^{-1}$. Tedy naše odchylka činí 24%.

6 Závěr

Při našem měření jsme provedli celkem 16 měření, u kterých se nám podařilo velice přesně změřit velikost Bohrova magnetonu pomocí Zemanova jevu. Při srovnání našich výsledků s teoretickou hodnotou nám vyšla poměrně velice přesně.

7 Poděkování

Na tomto místě bychom chtěli poděkovat organizátorům Fyzikálního týdne 2008 za možnost účasti na této skvělé akci, FJFI ČVUT za poskytnutí zázemí a hlavně našemu supervizorovi Ing. Vladimíru Pospíšilovi za jeho vedení a cenné rady.

8 Použité zdroje

- [1] Příručka: *Observing the normal Zeeman effect in transverse and longitudinal configuration*, Id-didactic GmbH
- [2] *Feymanovy přednášky z fyziky*, Fragment 2002, ISBN 80-72004212.
- [3] internet: *Wikipedie*, <http://cs.wikipedia.org/>.
- [4] internet: *Zeemanův jev*, http://artemis.osu.cz/mmfyfz/am/am_4_2.htm.
- [5] internet: *Zeemanův jev*, http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_417.pdf.