

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Fyzikální praktikum 3

Zpracoval: Lukáš Lejdar

Naměřeno: 22. dubna 2025

Obor: F

Skupina: Út 14:00

Testováno:

### Úloha č. 2:

### Určení měrného náboje elektronu

## 1. Úvod

Cílem praktika je zjistit měřený náboj elektronu  $e/m$ , tedy poměr mezi jeho nábojem a hmotností. Historicky byla tato veličina poprvé změřena Jhonem Thompsonem, který k tomu použil vychylování elektronového svazku pomocí elektromagnetického pole. Toto měření bude založené na podobném principu, konkrétně na pohybu elektronů v homogenním magnetickém poli.

## 2. Teorie

Měrný náboj budeme měřit na elektronech vyletujících z rozžhavené katody do prostoru elektronky. Jejich počáteční energie je relativně malá, takže celková kinetická energie každého elektronu bude odpovídat urychlujícímu napětí  $U$  podle vztahu

$$eU = \frac{1}{2}mv^2, \quad (1)$$

kde  $e$  je náboj elektronů,  $m$  jejich hmotnost a  $v$  výstupní rychlost. Skleněná elektronka je naplněná vodíkem o tlaku  $P = 1$  Pa, takže při pokojové teplotě  $T$  mají elektrony mnohem delší střední volnou dráhu, kterou můžeme přibližně spočítat podle

$$\lambda = \frac{1}{n\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2} \frac{k_b T}{P} \approx 1 \text{ cm} \quad (2)$$

kde odhad efektivního poloměru molekul vodíku je  $d \approx 0.3$  nm a  $k_b$  je Boltzmanova konstanta. Po srážce s elektronem se vodíkové atomy excitují a při následné deexcitaci emitují viditelné záření, takže za sebou svazek elektronů nechá světelnou stopu. Celá elektronka se taky nachází uvnitř dvou Hemholtzových cívek, které v ní indukují příčné magnetické pole o indukci  $\vec{B}$ . Síla  $\vec{F}$  působící na elektrony je podle Lorentzova vztahu vždy kolmá na rychlost elektronů

$$\vec{F} = -e(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (3)$$

a elektrony by se tak měli pohybovat po kružnici o poloměru  $R$ . Z velikosti dostředivého zrychlení dostáváme vztah

$$\frac{mv^2}{R} = evB \quad (4)$$

odkud už jde spočítat měrný náboj  $e/m$ , pokud změříme indukci  $B$ , výstupní rychlost  $v$  a poloměr  $R$ . Vyjádřením ze vztahů (1) a (4) dostáváme

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{R^2 B^2} \quad (5)$$

### 3. Výsledky měření

Celá soustava se skládá z jedné katody uvnitř elektronky na které můžu regulovat napětí  $U$  a dvou cívek do kterých teče proud  $I$ . Před měřením je potřeba zjistit jaká magnetická indukce  $B(I)$  je indukovaná v místech elektronky v závislost na proudu tekoucích cívkami. Tyto hodnoty jsem už dostal a uvedl je v tabulce 1.

$I$ (A)	0.50	0.70	0.90	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80
$B$ (mT)	0.36	0.52	0.68	0.74	0.90	1.06	1.20	1.36

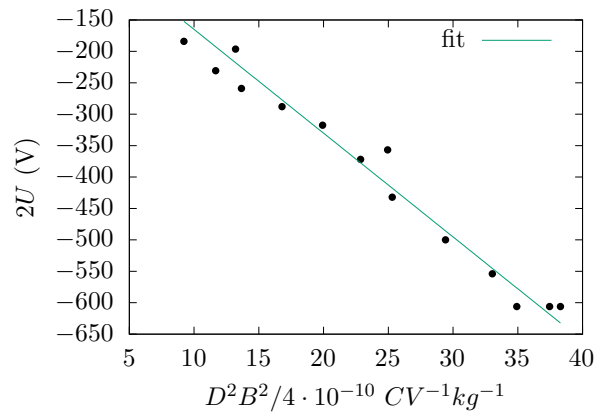
Tabulka 1: Závislost magnetické indukce na proudu tekoucím cívkami.

Při samotném měření jsem krokově měnil proud a vždy doladil napětí tak, aby vzniklá kružnice byla co největší a odečetní jejího průměru  $D$  co nejpřesnější. K měření průměru sloužilo připevněné pravítko se dvěma jezdcí, které byly nejdřív každý zvlášť posunutý do místa kde byly v zákrytu s kruhem elektronů a výsledný průměr se odečetl jako vzdálenost mezi nimi. Tímto způsobem naměřená data jsou uvedena v tabulce 2. Z nich je vykreslený graf závislosti  $2U = f(\frac{D^2}{4} B^2)$  odkud podle vztahu (5) dostávám lineární regresí měrný náboj elektronu

$$\frac{e}{m} = -(1.65 \pm 0.03) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}} \quad (6)$$

$I$ (A)	$U$ (V)	$D$ (cm)	$B$ (mT)
0.74	-92.0	11.0	0.552
0.78	-115.4	11.7	0.584
0.84	-98.2	11.5	0.632
0.94	-129.5	10.5	0.704
1.06	-144.0	10.4	0.788
1.18	-158.7	10.1	0.884
1.18	-178.4	11.3	0.884
1.32	-185.9	09.6	0.996
1.32	-216	10.1	0.996
1.42	-250	10.1	1.074
1.48	-277	10.3	1.116
1.63	-303	10.0	1.224
1.76	-303	08.9	1.328
2.01	-303	08.1	1.528

Tabulka 2: Změřené poloměry kruhu elektronů při proudu cívkami a proudu a napětí na katodě.



Graf 1: Závislost napětí  $2U$  na druhé mocnině součinu poloměru kružnice s indukcí magnetického pole podle vztahu (5)

### 4. Závěr

Z měření průměru kružnice opisované elektrony při známé rychlosti uvnitř homogenního magnetického pole jsem určil měrný náboj elektronu na  $e/m = -(1.65 \pm 0.03) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$ . Tabulková hodnota je  $e/m = -(1.7588) \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$ , takže měření přibližně vyšlo správně. Největší chybu do měření nejspíš zanáší měření poloměru kružnice, kterou nebylo jednoduché změřit přesně skrz elektronku.

## Reference

- [1] Návod k úloze [https://is.muni.cz/auth/el/sci/jaro2025/F4210/um/fp3-2\\_merny\\_naboj.pdf](https://is.muni.cz/auth/el/sci/jaro2025/F4210/um/fp3-2_merny_naboj.pdf).