

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM Ústav fyziky FEKT VUT BRNO		Jméno Matyáš Peroutík			Kód 256371
		Ročník 1	Obor AMT	Skupina	Lab. skup. B
Spolupracoval Štěpán Pavlica		Měřeno dne 27. 03. 2024		Odevzdáno dne 03. 04. 2024	
Příprava	Opravy	Učitel		Hodnocení	
Název úlohy Hallův Jev					Č. úlohy 27

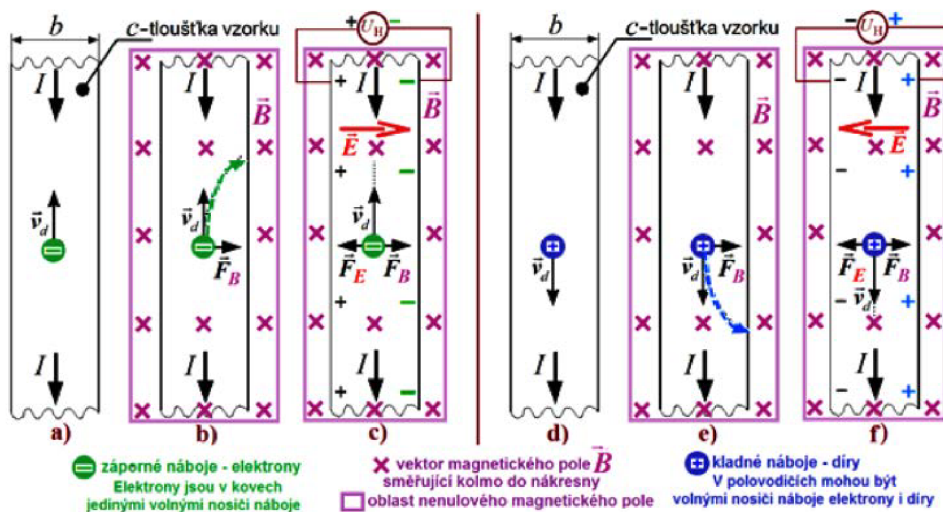
Úkol měření

1. Změřte závislost Hallova napětí na proudu vzorkem pro oba směry proudu a oba směry magnetické indukce.
2. Určete velikost Hallovy konstanty vzorku.
3. Určete, o kolik koncentrace majoritních nosičů náboje převyšuje koncentraci nosičů minoritních
4. Proměřte závislost velikosti Hallova napětí na velikosti indukce magnetického pole.

Teoretický rozbor

Halluv jev

V této sekci budeme uvažovat za vzorek tenkou měděnou destičku nebo plech o šířce b a tloušťce c a elektrickým proudem tekoucím ve směru naznačeném na *Obrázku 1a*.



Obrázek 1: Hallův jev v kovovém vzorku

Díky tomuto proudu se elektrony pohybují driftovou rychlostí \vec{v}_d . Pokud vzorek vložíme do magnetického pole, začne na elektrony působit Lorentzova síla, která lze spočítat pomocí vztahu:

$$\vec{F}_B = q\vec{v}_d \times \vec{B} \quad (1)$$

\vec{F}_B Vektor Lorentzovy síly
 q Náboj částice, na kterou síla působí
 \vec{v}_d Vektor driftové rychlosti částice
 \vec{B} Vektor magnetické indukce

Kvůli tomuto se začnou elektrony kupit na jedné straně vzorku (za předpokladu směrů mag. indukce viz. Obrázek 1b), což způsobí vznik elektrického pole, které bude další přichodící elektrony odpuzovat silou s opačným směrem, než měla síla \vec{F}_B . (viz. Obrázek 1b). Velikost této síly je dána následujícím vztahem:

$$\vec{F}_E = q\vec{E} \quad (2)$$

\vec{F}_E Vektor síly způsobené působením el. pole na částici
 q Náboj částice, na kterou síla působí
 \vec{E} Vektor elektrického pole

Po uplynutí krátkého časového okamžiku se tyto dvě síly navzájem vyruší a začnou se opět pohybovat ve svém původním směru (viz. Obrázek 1c). Oproti původnímu stavu zde přibýlo elektrické pole \vec{E} , jehož následek je vznik napětí mezi dvěma stranami vzorku. Toto napětí nazýváme Hallovo napětí a značíme ho U_H . Pro polovodiče platí stejné zákony pro záporné náboje.

Opačně působí tyto síly i na kladné nosiče nábojů (viz. Obrázek 1d,e,f). Pokud by bylo ve vzorku shodné množství kladných a záporných nábojů, tak by navzájem vykompenzovali elektrické pole a Hallovo napětí by bylo nulové. S tímto jevem se můžeme setkat ve vlastních polovodičích. U polovodičů typu N převažují záporné náboje a u polovodičů typu P převažují kladné náboje. Tudíž u nich hallovo napětí naměříme. U izolantů nejsou téměř žádné volné nosiče, a tudíž zde hallovo napětí také nenaměříme.

Princip metody měření

Jednoduchým odvozením z rovnováhy sil lze získat u kovů vztah pro výpočet Hallova napětí:

$$U_H = \frac{1}{nq} \frac{BI}{c} \quad (3)$$

n Koncentrace volných nosičů náboje
 q Velikost náboje nosiče
 B Velikost magnetické indukce
 I Velikost proudu protékající vzorkem
 c Tloušťka vzorku

Zlomek bez veličin B , I , c je označován jako Hallova konstanta, která je označována R_H . Pro kovy platí následující vztah:

$$R_H = \frac{1}{nq} \quad (4)$$

pro polovodiče:

$$R_H = \frac{3\pi}{8} \frac{1}{nq} \quad (5)$$

Po dosazení konstanty do vztahu můžeme vidět, že závislost je přímo úměrná jak magnetické indukci, tak i procházejícímu proudu. Díky tomu, že je jednodušší nastavovat proud, budeme při měření ponechávat magnetickou indukci konstantní.

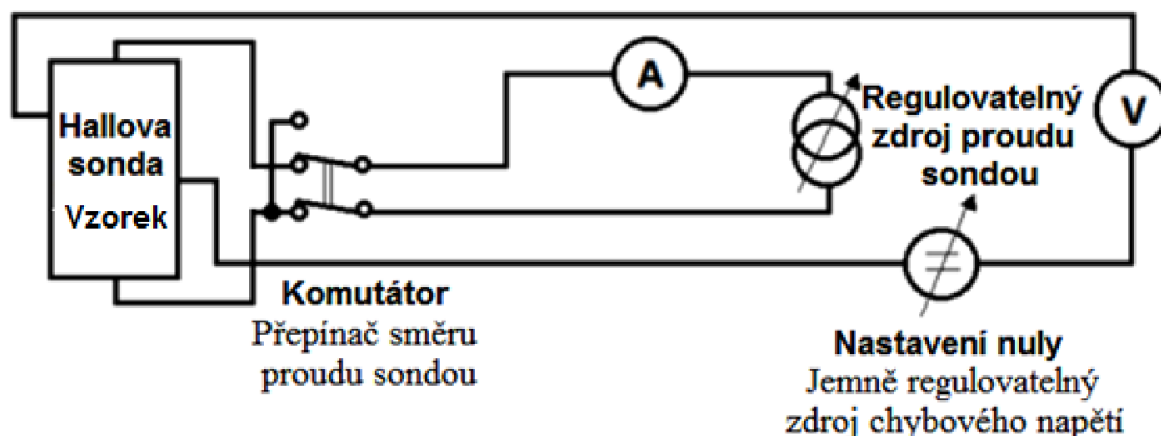
$$U_H = R_H \frac{B}{c} I = kI \quad (6)$$

Jelikož se jedná o lineární závislost a všechny veličiny až na směrnici k jsou konstanty, můžeme pomocí ní stanovit Hallovu konstantu

$$k = R_H \frac{B}{c} \quad R_H = \frac{kc}{B} \quad (7)$$

Pokud bude proud tvořen hlavně kladnými náboji, vyjde Hallova konstanta > 0 , pokud zápornými náboji tak < 0 .

Schéma zapojení



Obrázek 2: Obvodové schéma aparatury s hallovou sondou

Naměřené hodnoty

Tloušťka Hallova vzorku $c = 0,6 \text{ mm}$

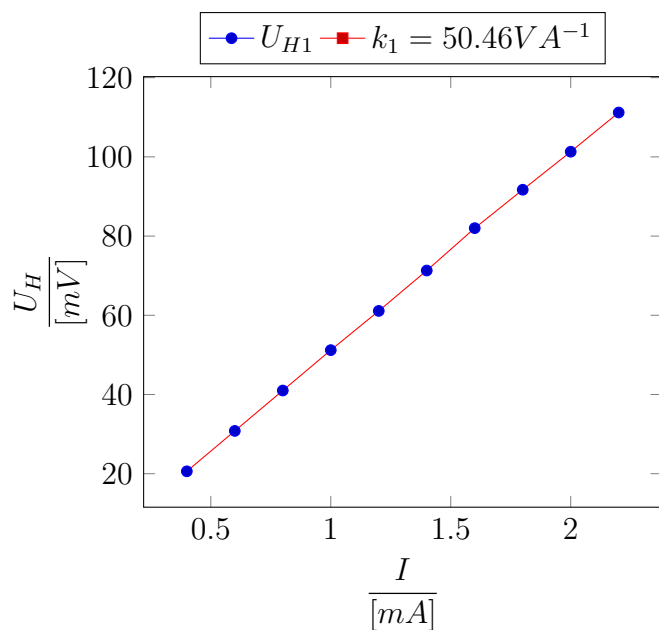
		Kombinace			
		A-0	A-180	B-0	B-180
Komutátor		Nahore A	Nahore A	Dole B	Dole B
úhel		0°	180°	0°	180°
č	I [mA]	U_{H1} [mV]	U_{H2} [mV]	U_{H3} [mV]	U_{H4} [mV]
1	2,2	111,2	-112,1	-110,7	112,5
2	2,0	101,3	-102,3	-100,8	102,7
3	1,8	91,7	-93,0	-91,4	93,3
4	1,6	82	-82,6	-81,3	83,0
5	1,4	71,3	-72,5	-70,9	72,8
6	1,2	61,1	-62,4	-60,7	62,7
7	1,0	51,2	-51,5	-50,7	51,8
8	0,8	41,0	-41,9	-40,8	42,5
9	0,6	30,8	-31,4	-30,4	31,7
10	0,4	20,6	-20,4	-20,3	20,7

Měřeno pro $I = 2,2 \text{ mA}$

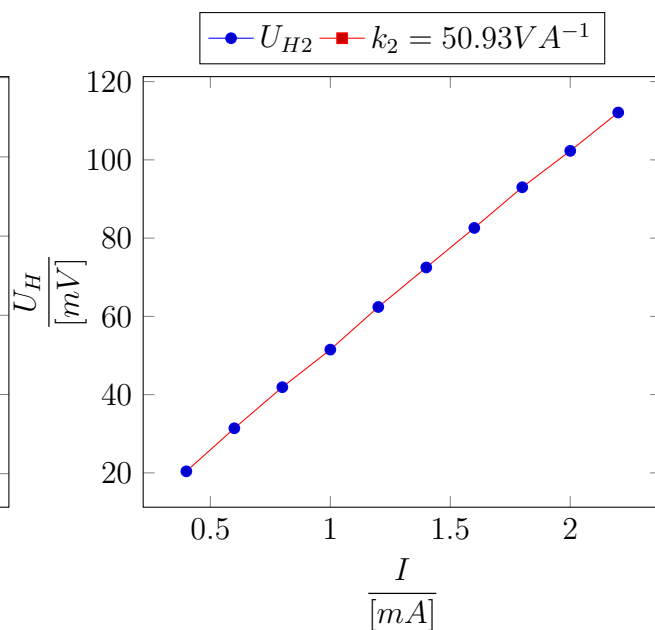
úhel [°]	B [mT]	U_H [mV]	úhel [°]	B [mT]	U_H [mV]
0	0,0	10,3	180	0,0	4,0
10	12,2	24,2	190	-12,2	-12,0
20	23,9	42,2	200	-23,9	-32,9
30	35,0	60,7	210	-35,0	-53,1
40	45,0	74,9	220	-45,0	-68,6
50	53,6	90,8	230	-53,6	-87,4
60	60,6	99,9	240	-60,6	-99,4
70	65,8	107,4	250	-65,8	-106,4
80	68,9	112,1	260	-68,9	-112,1
90	70,0	114,8	270	-70,0	-113,2
100	68,9	113,5	280	-68,9	-111,0
110	65,8	109,6	290	-65,8	-105,0
120	60,6	102,2	300	-60,6	-96,5
130	53,6	92,7	310	-53,6	-84,5
140	45,0	78,7	320	-45,0	-71,8
150	35,0	63,8	330	-35,0	-53,4
160	23,9	43,4	340	-23,9	-33,6
170	12,2	28,2	380	-12,2	-9,9

Zpracování hodnot

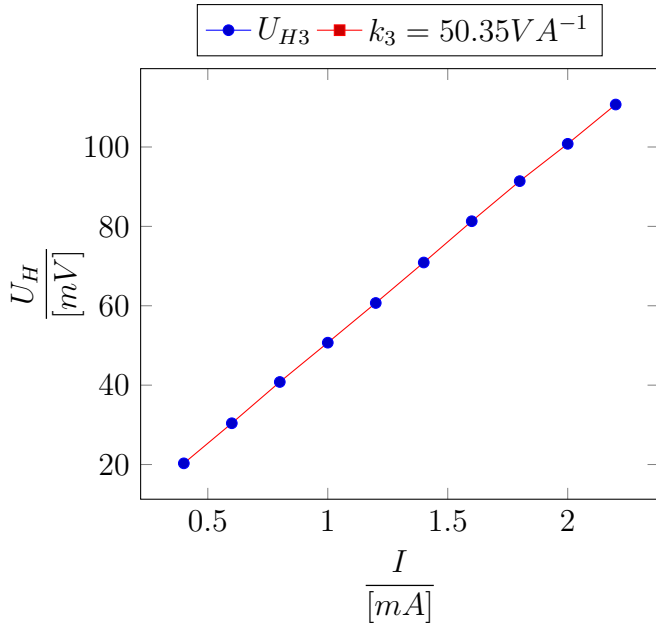
Grafy závislosti Hallova napětí na protékajícím proudu při indukci 70mT



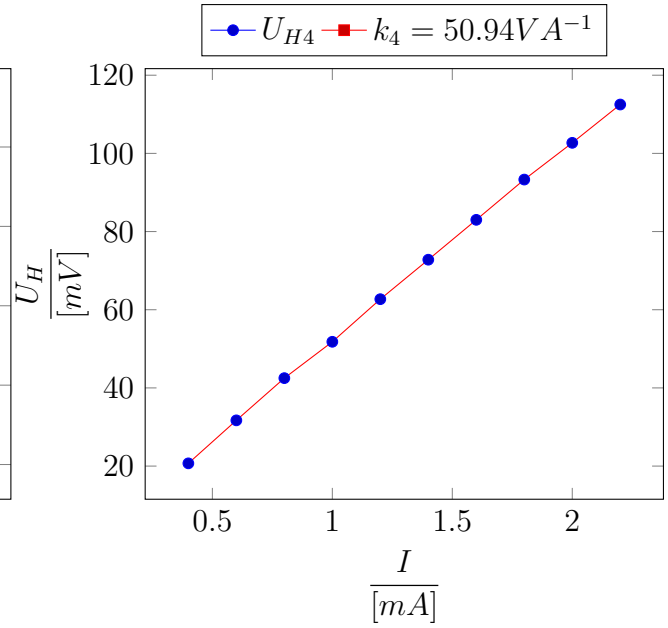
Obrázek 3: Komutátor nahore, úhel 0



Obrázek 4: Komutátor nahore, úhel 180



Obrázek 5: Komutátor dole, úhel 0



Obrázek 6: Komutátor dole, úhel 180

Z těchto grafů jsme regresí získali 4 směrnice k , ze kterých se dá vyvést její průměrná hodnota pomocí studentova rozložení.

$$\begin{aligned}\bar{k} &= \frac{\sum k_i}{n} \doteq 50.67 \text{ V A}^{-1} \\ s^2 &= \frac{\sum (\bar{k} - k_i)^2}{n-1} \doteq 0.9567 \text{ V}^2 \text{ A}^{-2} \\ s &= \sqrt{\frac{\sum (\bar{k} - k_i)^2}{n-1}} \doteq 0.3093 \text{ V A}^{-1} \\ \delta(k) &= t_{4;0.95} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \doteq 0.5091 \text{ V A}^{-1} \\ \delta_r(k) &= \frac{\delta(k)}{\bar{k}} \doteq 0.01005 \\ k &= (50.7 \pm 0.5) \text{ V A}^{-1}\end{aligned}$$

Následně se dá pomocí vztahu (7) spočítat Hallova konstanta:

$$\overline{R_H} = \bar{k} \frac{\bar{c}}{B} \doteq 0.4343 \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$$

A následně také chyba výpočtu Hallovy konstanty:

$$\delta(R_H) = \sqrt{\left(\frac{\partial R_H}{\partial k} \delta(k)\right)^2 + \left(\frac{\partial R_H}{\partial c} \delta(c)\right)^2 + \left(\frac{\partial R_H}{\partial B} \delta(B)\right)^2} \doteq 0.03645 \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$$

$$\delta_r(R_H) = \frac{\delta(R_H)}{\overline{R_H}} \doteq 0.08394$$

Poté můžeme odvodit skutečnou velikost Hallovy konstanty:

$$R_H = (0.43 \pm 0.04) \text{ m}^3 \text{ C}^{-1}$$

Dále můžeme pomocí vztahu (5) určit, o kolik převyšuje koncentrace majoritních nosičů koncentraci nosičů minoritních.

$$n = \frac{3\pi}{8} \frac{1}{R_H q} \doteq 1.69 \cdot 10^{19} m^{-3}$$

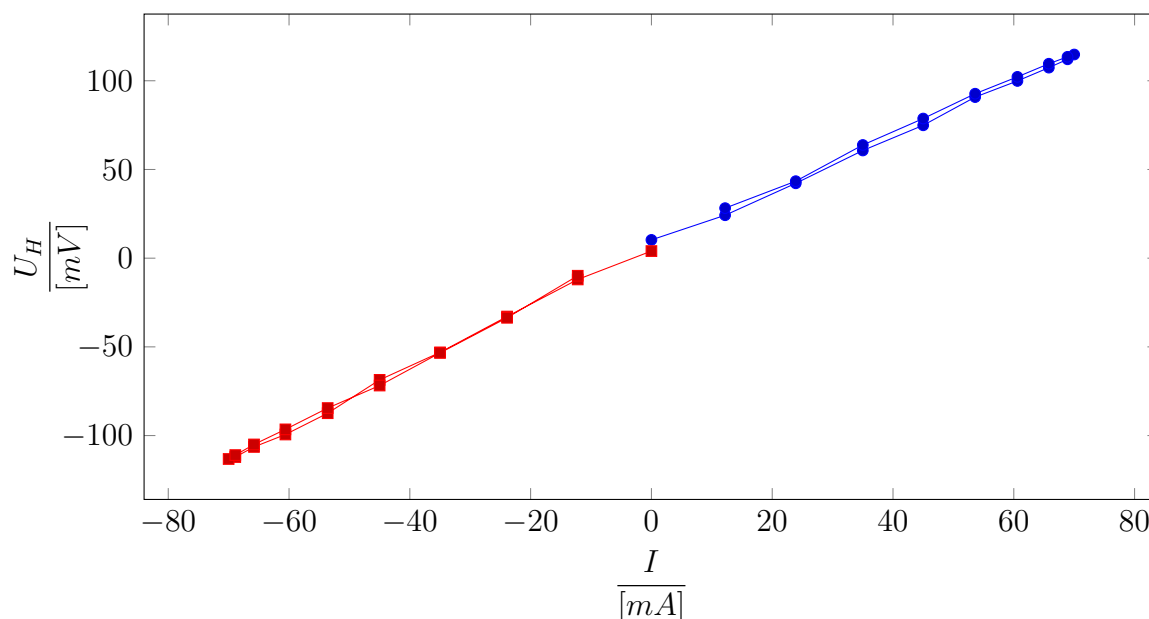
Relativní chyba bude stejná jako byla u Hallovy konstanty. Poté výsledná koncentrace bude:

$$n = (1.69 \pm 0.14) \cdot 10^{19} m^{-3}$$

Legenda k výpočtům

\overline{k}	Průměrná hodnota směrnic grafů
s^2	Rozptyl směrnic grafů
s	Směrodatná odchylka směrnic grafů
$\delta(k)$	Absolutní chyba směrnice grafů
$\delta_r(k)$	Relativní chyba směrnice grafů
k	Hodnota směrnice grafů
$\overline{R_H}$	Průměrná hodnota Hallovy konstanty
$\delta(R_H)$	Absolutní chyba Hallovy konstanty
$\delta_r(R_H)$	Relativní chyba Hallovy konstanty
R_H	Velikost Hallovy konstanty
$t_{4;0.95}$	Koeficient Studentova rozložení 3.292
$\delta_r(c)$	Relativní chyba tloušťky vzorku
$\delta_r(B)$	Relativní chyba kalibrovaného mag. toku
q	Náboj jednoho elektronu $1.602 \cdot 10^{-19} C$
n	Koncentrace mioritních nábojů

Závislost Hallova napětí na mag. indukci při konst. proudu 2.2mA



Závěr

Při tomto měření jsme zjistili hodnotu Hallovy konstanty vzorku $R_H = (0.43 \pm 0.04)m^3C^{-1}$. Dále jsme naměřili, že koncentrace majoritních nosičů (elektronů) převyšuje koncentraci minoritních nosičů (děr) o $n = (1.69 \pm 0.14) \cdot 10^{19}m^{-3}$. Z grafu závislosti Hallova napětí na magnetické indukci při konstantním proudu 2.2mA můžeme sledovat, že závislost je téměř lineární.

Chyby měření pravděpodobně vznikly teplotní bilancí, nebo možným pootočením ukazatele aktuálního úhlu pootočení. Dalším zdrojem chyby mohly být vysoké tolerance součástek, nebo nepřesností hodnot v kalibrační tabulce. Nejvyšší chyby se objevovali u závislosti Hallova napětí na mag. indukci poblíž nulové magnetické indukce.