

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM II – Elektřina a magnetismus

Úloha č.: X

Název: Hallův jev

Pracoval: Pavel Brožek

stud. skup. 12

dne 19.12.2008

Odevzdal dne:

Hodnocení:

Připomínky:

Kapitola referátu	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Teoretická část	0 – 3	
Výsledky měření	0 – 10	
Diskuse výsledků	0 – 4	
Závěr	0 – 2	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval: dne

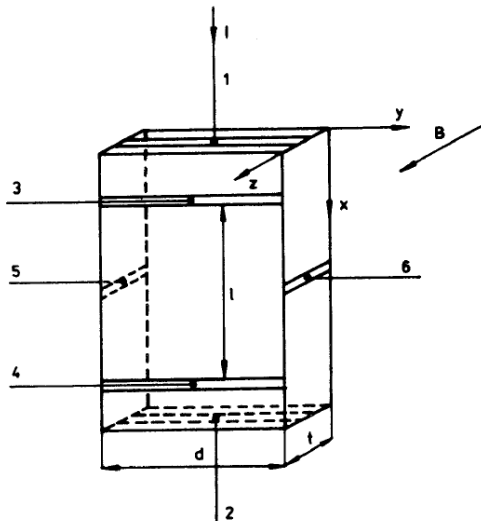
1 Pracovní úkol

1. Zjistěte závislost proudu vzorkem na přiloženém napětí při nulové magnetické indukci.
2. Zjistěte závislost Hallova napětí na magnetické indukci při dvou hodnotách konstantního proudu vzorkem.
3. Výsledky měření zpracujte graficky a vyhodnoňte měrnou vodivost a Hallovu konstantu vzorku.
4. Vypočtete pohyblivost a koncentraci nositelů náboje.

2 Teorie

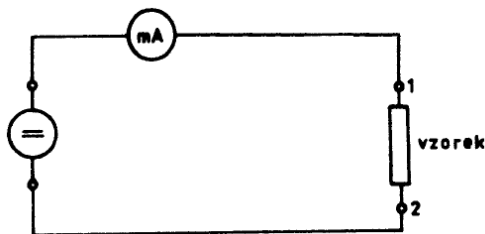
Vodivost vzorku germania (obrázek 1) můžeme určit tak, že kontakty 1 a 2 necháme protékat proud $I_{1,2}$ a měříme napětí $U_{3,4}$ mezi kontakty 3 a 4 (jedná se tedy o čtyřbodové zapojení).

Obrázek 1: Vzorek germania



Zapojení obvodu pro měření vodivosti je znázorněno na obrázku 2.

Obrázek 2: Zapojení pro měření vodivosti



Pro vodivost σ pak platí vztah

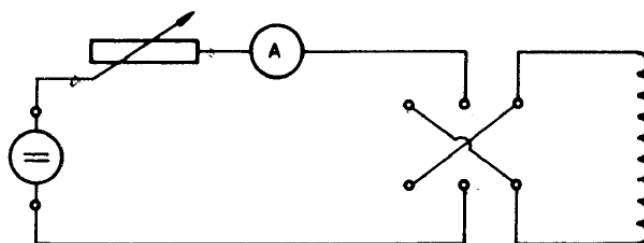
$$\sigma = \frac{l}{td} \frac{I_{1,2}}{U_{3,4}}, \quad (1)$$

kde l je délka vzorku mezi kontakty 3 a 4, t a d jsou příčné rozměry vzorku podle obrázku 1.

Ve vzorku germania je transport náboje zprostředkován elektrony. Pokud na vzorek bude působit vnější magnetické pole o magnetické indukci B ve směru podle obrázku 1 (elektromagnet zapojujeme podle obrázku 3) a vzorkem bude procházet proud I , vytvoří se na vzorku Hallovo napětí U_H mezi kontakty 5 a 6. Kontakty 5 a 6 ale většinou nejsou naletovány úplně symetricky, proto pokud vzorkem poteče proud, neměříme na nich nulové napětí i při nulové magnetické indukci, které je zřejmě ohmické, nikoli Hallovo. Naměřit skutečnou hodnotu Hallova napětí můžeme tak, že změříme napětí $U_{5,6}^{(1)}$ a $U_{5,6}^{(2)}$ mezi kontakty 5 a 6 při obou opačných směrech magnetické indukce. Absolutní hodnotu Hallova napětí pak určíme ze vztahu

$$|U_H| = \frac{|U_{5,6}^{(1)} - U_{5,6}^{(2)}|}{2} . \quad (2)$$

Obrázek 3: Zapojení elektromagnetu



Pro Hallovo napětí platí vztah

$$U_H = r_H \frac{1}{en} \frac{IB}{t} = kB , \quad (3)$$

kde r_H je Hallův rozptylový faktor, e elementární náboj, n koncentrace elektronů a k je označený koeficient úměrnosti pro účely lineární regrese. Pro vzorek germania můžeme uvažovat

$$r_H = \frac{3\pi}{8} . \quad (4)$$

Hallova konstanta je dána vztahem

$$R_H = \frac{r_H}{en} , \quad (5)$$

můžeme ji tedy určit ze vztahu (3)

$$R_H = \frac{kt}{I} . \quad (6)$$

Hallovska pohyblivost μ je dána vztahem

$$\mu = \sigma R_H . \quad (7)$$

Pro přenos chyb budu ve všech výpočtech používat podle [1] vzorec:

$$\sigma_f^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)_\mu^2 \sigma_{x_i}^2 \quad (8)$$

3 Výsledky měření

Chyby měření proudů a napětí jsou určeny podle použitého rozsahu měřicího přístroje a jeho třídy přesnosti a jsou do započítány do výpočtů.

Měřený vzorek germania měl následující rozměry (značeno podle obrázku 1):

$$l = (6,000 \pm 0,005) \text{ mm} \quad (9)$$

$$d = (3,350 \pm 0,005) \text{ mm} \quad (10)$$

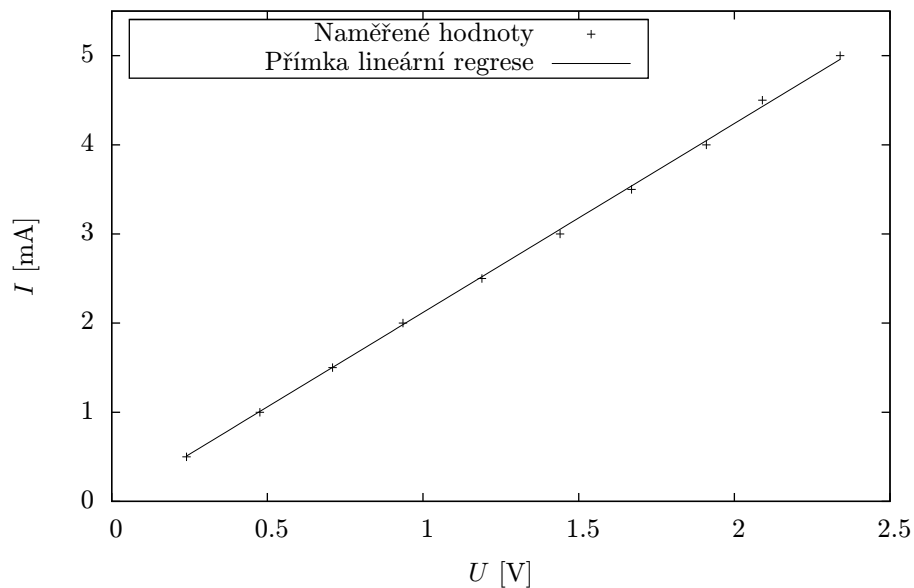
$$t = (0,720 \pm 0,005) \text{ mm} \quad (11)$$

Měřil jsem závislost proudu vzorkem I na přiloženém napětí U při nulové magnetické indukci. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1 a závislost je znázorněna na grafu 1 s regresní přímkou.

Tabulka 1: Závislost proudu na napětí při nulové magnetické indukci

U [V]	I [mA]
0,2402	0,5
0,4759	1,0
0,7093	1,5
0,9354	2,0
1,189	2,5
1,44	3,0
1,67	3,5
1,91	4,0
2,09	4,5
2,34	5,0

Graf 1: Závislost proudu vzorkem na přiloženém napětí při $B = 0$



Dále jsem měřil závislost napětí mezi kontakty 5 a 6 v závislosti na magnetické indukci při obou směrech magnetické indukce. Velikost magnetické indukce v jednotkách tesla byla dána vztahem

$$B = 0,098I_m , \quad (12)$$

kde I_m je proud elektromagnetem v ampérech. Z naměřených napětí jsem určil Hallovo napětí podle vztahu (2). Závislost jsem měřil při dvou hodnotách proudu I tekoucího vzorkem. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2, závislosti jsou vyneseny v grafu 2.

Tabulka 2: Závislost Hallova napětí na magnetické indukci

	I_m [A]	B [mT]	$U_{5,6}^{(1)}$ [mV]	$U_{5,6}^{(2)}$ [mV]	U_H [mV]
$I = 2$ mA	0,50	49	73,1	56,0	8,6
	1,00	98	82,5	47,4	17,6
	1,50	147	91,5	39,2	26,2
	2,00	196	101,0	30,8	35,1
	2,50	245	110,1	22,5	43,8
	3,00	294	119,3	14,4	52,5
	3,50	343	128,1	6,6	60,7
	4,00	392	136,1	-0,9	68,5
$I = 3,5$ mA	0,00	0	112,5	112,5	0,0
	0,50	49	131,1	102,3	14,4
	1,00	98	145,4	86,9	29,3
	1,50	147	160,0	71,6	44,2
	2,00	196	175,0	57,3	58,9
	2,50	245	190,3	43,4	73,5
	3,00	294	204,7	29,5	87,6
	3,50	343	219,2	16,1	101,6
	4,00	392	233,1	3,9	114,6

Lineární regresí jsem určil měrnou vodivost vzorku

$$\sigma = (5,27 \pm 0,04) \text{ m}^{-1}\Omega^{-1} . \quad (13)$$

Lineární regresí jsem určil koeficient úměrnosti k ve vztahu (3) mezi magnetickou indukcí a Hallovým napětím pro oba proudy.

$$k_2 = (177,0 \pm 0,7) \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-2} \quad (14)$$

$$k_{3,5} = (296 \pm 1) \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-2} \quad (15)$$

Ze vztahu (6) jsem určil Hallovu konstantu vzorku jako průměr Hallových konstant vypočítaných pro dva různé proudy.

$$R_H = (0,063 \pm 0,002) \text{ m}^3\text{A}^{-1}\text{s}^{-1} \quad (16)$$

Ze vztahů (5) a (7) jsem určil koncentraci elektronů n a Hallovskou pohyblivost μ :

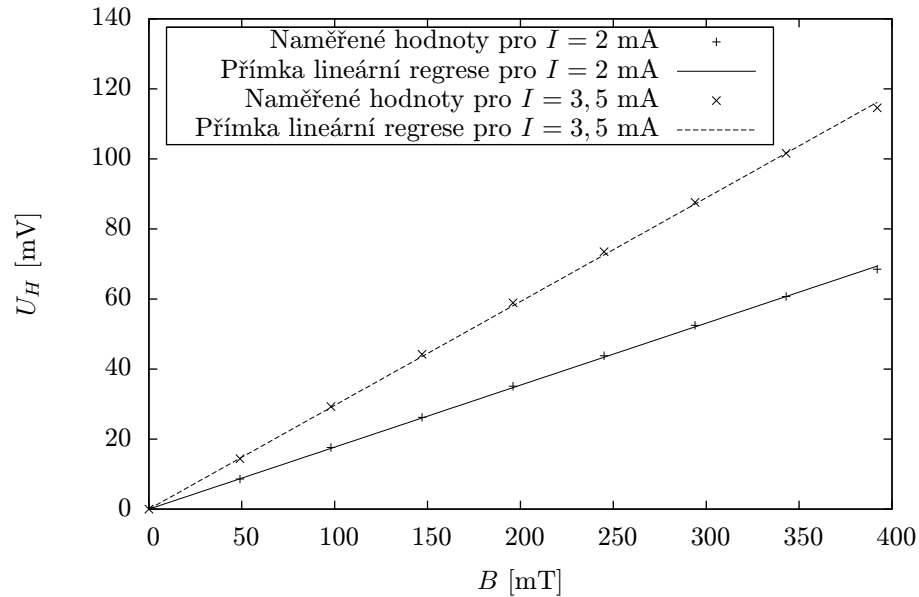
$$n = (117 \pm 4) \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3} \quad (17)$$

$$\mu = (0,33 \pm 0,01) \text{ m}^2\text{s}^{-1}\text{V}^{-1} \quad (18)$$

4 Diskuse výsledků

Závislost proudu vzorkem na přiloženém napětí při nulové magnetické indukci je podle předpokladu lineární, což je dobře vidět na grafu 1. Stejně tak závislost Hallova napětí na magnetické indukci je

Graf 2: Závislost Hallova napětí na magnetické indukci



také lineární, jak je vidět z grafu 2. Největší chybu do měření vneslo určení proudu procházejícího vzorkem při zapnutém magnetickém poli a to z důvodu, že dostupný ampérmetr neměl vhodný rozsah pro měření proudu 3,5 mA, a proto byla relativní chyba měření tohoto proudu velká.

5 Závěr

Zjistil jsem závislost proudu vzorkem na přiloženém napětí při nulové magnetické indukci (tabulka 1, graf 1). Dále jsem zjistil závislost Hallova napětí na magnetické indukci při dvou hodnotách konstantního proudu vzorkem $I = 2$ mA a $I = 3,5$ mA (tabulka 2, graf 2).

Určil jsem měrnou vodivost vzorku

$$\sigma = (5,27 \pm 0,04) \text{ m}^{-1}\Omega^{-1}, \quad (19)$$

Hallovu konstantu vzorku

$$R_H = (0,063 \pm 0,002) \text{ m}^3\text{A}^{-1}\text{s}^{-1}, \quad (20)$$

koncentraci a pohyblivost nositelů náboje

$$n = (117 \pm 4) \cdot 10^{18} \text{ m}^{-3} \quad (21)$$

$$\mu = (0,33 \pm 0,01) \text{ m}^2\text{s}^{-1}\text{V}^{-1}. \quad (22)$$

Reference

- [1] J. English: Úvod do praktické fyziky I, Matfyzpress, Praha 2006
- [2] R. Bakule, J. Šternberk: Fyzikální praktikum II - Elektřina a magnetismus, SPN, Praha