

Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

## Fyzikální praktikum II



### Úloha č. 10

Název úlohy: .....Hallův jev.....

Jméno: .....Vladislav Wohlrath..... Obor: (FOF) FAF FMUZV

Datum měření: .....17. 10. 2016..... Datum odevzdání: .....

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
<b>Celkem</b>	max. 20	

Posuzoval:.....

dne: .....

## Pracovní úkoly

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 vyhodnoťte měrnou vodivost a Hallovu konstantu vzorku.
4. Vypočtete pohyblivost a koncentraci nositelů náboje.

## Teoretická část

Hlavním cílem této úlohy je změřit pohyblivost  $\mu$  a koncentraci  $n$  nositelů náboje ve vzorku polovodiče. Měřený polovodič bude vzorek germania typu n, tedy majoritními nositeli náboje jsou elektrony. Pohyblivost a koncentraci elektronů určíme ze změřené měrné vodivosti  $\sigma$  a Hallovy konstanty  $R_H$ .

Použitý vzorek je tvaru hranolu s rozměry  $t$ ,  $d$  a  $l$  a je opatřený šesti kontakty (viz obrázek 1).

Měrnou vodivost vzorku určíme z naměřené voltampérové charakteristiky. Vzorek zapojíme jako na obrázku 2 a naměříme závislost  $I_{12}$  na  $U_{34}$ . Měrnou vodivost určíme z fitu

$$I_{12} = \sigma \frac{td}{l} U_{34}. \quad (1)$$

Pro měření Hallovy konstanty vložíme vzorek procházený proudem  $I_{12}$  do pole o magnetické indukci  $B$ . V důsledku působení magnetického pole na pohybující se elektrony ve vzorku se elektrony odchýlí a mezi kontakty 5 a 6 vznikne tzv. Hallovo napětí  $U_H$ . Hallovo konstantu určíme z fitu [1]

$$U_H = R_H \frac{I_{12} \cdot B}{t}. \quad (2)$$

Vzhledem k tomu, že kontakty 5 a 6 nejsou s velkou pravděpodobností umístěny přesně symetricky, naměříme na nich při průchodu proudu vzorkem nenulové napětí i při nulové magnetické indukci. Abychom tento jev eliminovali, změříme napětí při obou polaritách magnetického pole a správnou hodnotu  $U_H$  určíme jako

$$|U_H| = |U_{56}^+ - U_{56}^-|/2. \quad (3)$$

Mezi  $R_H$  a koncentrací  $n$  platí vztah [1]

$$R_H = \frac{r_H}{en}, \quad (4)$$

kde  $e$  je náboj elektronu a  $r_H$  je tzv. rozptylový faktor. V našem případě můžeme uvažovat  $r_H = 3\pi/8$ . [1]

Ze známé  $R_H$  a  $\sigma$  můžeme vypočítat tzv. Hallovsou pohyblivost ze vztahu [1]

$$\mu = R_H \sigma. \quad (5)$$

Magnetické pole budeme realizovat elektromagnetem.

## Výsledky měření

Měření proběhlo při normálním tlaku a pokojové teplotě (přibližně 22 °C). Všechny uvedené nejistoty jsou standardní a v zápisu 10(1) znamená číslo v závorce nejistotu v řádu poslední uvedené číslice.

Proud  $I_{12}$  jsme měřili digitálním multimetrem MASTECH MY-68 a napětí  $U_{34}$  a  $U_{56}$  digitálním multimetrem METEX MXD 4660A. Proud  $I_M$  procházející elektromagnetem jsme měřili analogovým ampérmetrem s třídou přesnosti 0,5 a rozsahem 6 V.

Rozměry vzorku byly  $l = 6,000(5)$  mm,  $d = 3,350(5)$  mm a  $t = 0,720(5)$  mm.

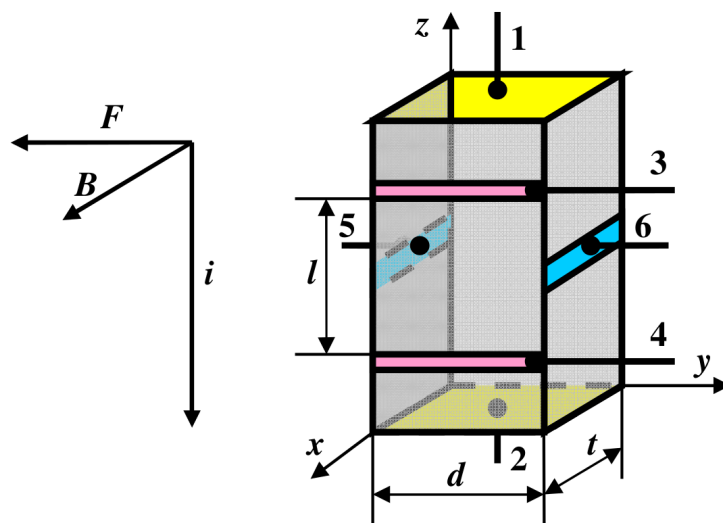
Měrnou vodivost vzorku jsme určili  $\sigma = 5,28(5)$  S m<sup>-1</sup>. Naměřená voltampérová charakteristika je uvedena v tabulce 1 a zanesena do grafu 1.

Magnetické pole buzené elektromagnetem mělo indukci

$$B(T) = 0,098 \cdot I_M(A) \quad (6)$$

Změřili jsme Hallovu konstantu  $R_H = 0,061(1)$  m<sup>3</sup> A<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2 a zaneseny do grafu 2. Hodnoty  $U_{56}^+$ ,  $U_{56}^-$  neuvádíme, pouze  $U_H$ , stejně tak místo  $I_M$  uvádíme pouze  $B$ , tyto hodnoty jsou k nahlédnutí v záznamu z měření.

Podle (5) jsme vypočítali Hallovsou pohyblivost  $\mu = 0,324(3)$  A m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup> a podle (4) koncentraci nositelů náboje  $n = 1,07(1) \cdot 10^{20}$  m<sup>-3</sup>.

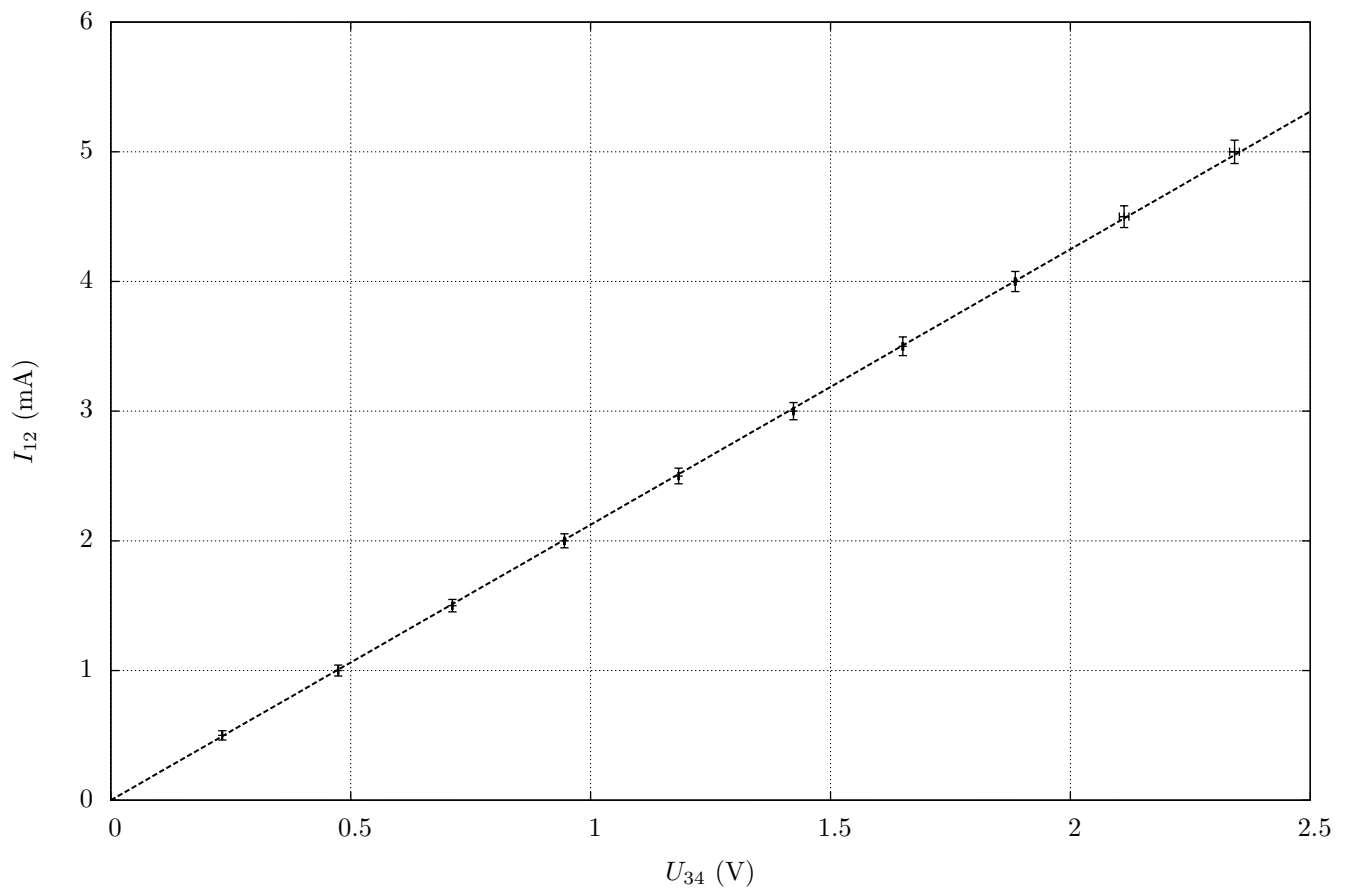


Obrázek 1: Označení rozměrů a kontaktů na měřeném vzorku (převzato z [1])

Obrázek 2: Zapojení pro měření měrné vodivosti

$U_{34}$ (V)	$I_{12}$ (mA)
0,232(2)	0,50(4)
0,474(2)	1,00(5)
0,712(2)	1,50(5)
0,946(3)	2,00(6)
1,183(3)	2,50(7)
1,423(3)	3,00(7)
1,651(3)	3,50(8)
1,885(3)	4,00(8)
2,11(2)	4,50(9)
2,34(2)	5,00(9)

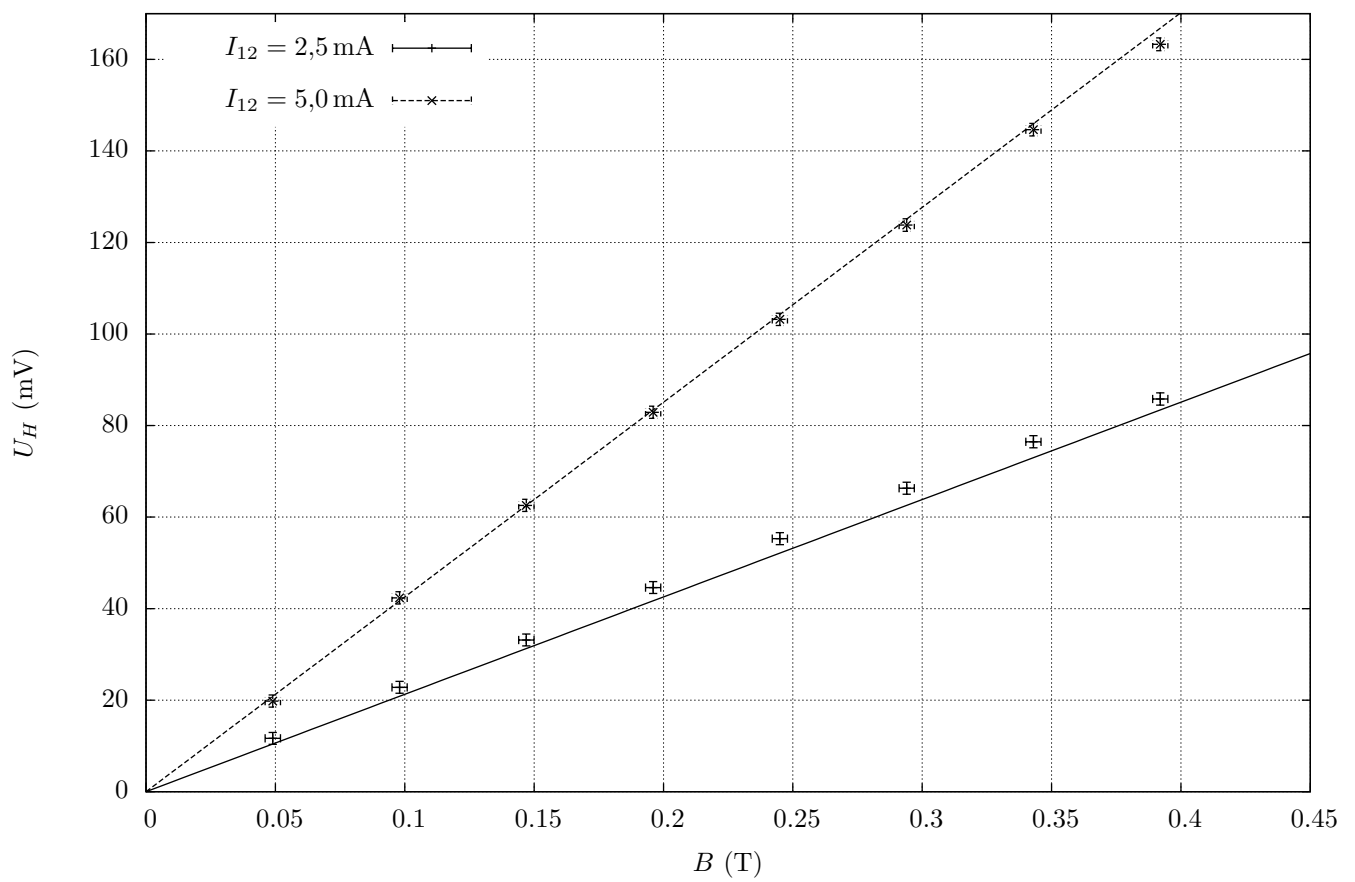
Tabulka 1: Voltampérová charakteristika vzorku



Graf 1: Voltampérová charakteristika vzorku

$I_{12} = 2,50(6) \text{ mA}$		$I_{12} = 5,00(9) \text{ mA}$	
$B(\text{T})$	$U_H(\text{mV})$	$B(\text{T})$	$U_H(\text{mV})$
0,049(3)	12(2)	0,049(3)	20(2)
0,098(3)	23(2)	0,098(3)	42(2)
0,147(3)	33(2)	0,147(3)	63(2)
0,196(3)	45(2)	0,196(3)	83(2)
0,245(3)	55(2)	0,245(3)	103(2)
0,294(3)	66(2)	0,294(3)	124(2)
0,343(3)	76(2)	0,343(3)	145(2)
0,392(3)	86(2)	0,392(3)	163(2)

Tabulka 2: Měření Hallovy konstanty



Graf 2: Měření Hallovy konstanty

## Diskuze

Na vzorku jsme zaznamenali parazitické kontaktní napětí, které jsme po konzultaci s vyučujícím vyhodnotili jako ne zcela zanedbatelné. Přesto jsme ho zanedbali.

Naměřené hodnoty vyšly přibližně podle očekávání a řádově jsou jistě správné.

V grafu 2 je vidět, že naměřené hodnoty pro  $I_{12} = 2,5 \text{ mV}$  leží všechny nad proloženou přímkou, zatímco všechny hodnoty pro  $I_{12} = 5,0 \text{ mV}$  leží pod ní. Přesná příčina je nám neznámá, možné vysvětlení je, že jeden z parametrů  $\mu$  nebo  $n$  není zcela nezávislý na procházejícím proudu a tedy i  $R_H$  je pro různé proudy jiné. Naměřené hodnoty pro oba proudy  $I_{12}$  ale přibližně odpovídají teoretické závislosti a má proto smysl uvažovat pouze jednu hodnotu  $R_H$ .

## Závěr

Změřili jsme měrnou vodivost vzorku  $\sigma = 5,28(5) \text{ S m}^{-1}$  a Hallovu konstantu  $R_H = 0,061(1) \text{ m}^3 \text{ A}^{-1} \text{ s}^{-1}$ .

Pomocí těchto údajů jsme určili Hallovsou pohyblivost elektronů ve vzorku  $\mu = 0,324(3) \text{ A m}^2 \text{ kg}^{-1}$  a jejich koncentraci  $n = 1,07(1) \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$ .

## Seznam použité literatury

1. *Základní fyzikální praktikum* [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupný z WWW: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/start>.