

Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum II



Úloha č. 10

Název úlohy: Hallův jev

Jméno: Vojtěch Votruba

Datum měření: 2023-12-04

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Teoretická část	0–2	
Výsledky a zpracování měření	0–9	
Diskuse výsledků	0–4	
Závěr	0–1	
Použitá literatura	0–1	
Celkem	max. 17	

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 třech hodnotách konstantního proudu vzorkem.
3. Výsledky měření zpracujte graficky přímo v praktiku. Vyhodnoťte měrnou vodivost a Hallovu konstantu vzorku.
4. Vypočítejte pohyblivost a koncentraci nositelů náboje.

1 Teoretická část

1.1 Elektrická vodivost

Ohmův zákon v diferenciálním tvaru zapisujeme matematicky jako

$$i = \sigma E, \quad (1)$$

kde i je proudová hustota, E intenzita elektrického pole a σ tzv. *měrná elektrická vodivost* [1]. Měrná elektrická vodivost je převrácenou veličinou k rezistivitě, máme-li vzorek na obr. 2 a přejdeme-li integrací z diferenciálního tvaru do klasického tvaru, dostáváme pro elektrickou vodivost vztah

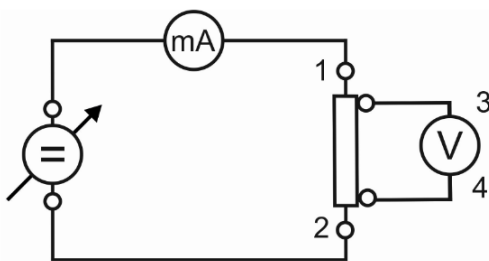
$$\sigma = \frac{l}{td} \frac{I_{12}}{U_{34}}, \quad (2)$$

kde l , t a d jsou odpovídající rozměry vzorku, I_{12} proud mezi stěnami 1 a 2 a U_{34} napětí mezi stěnami 3 a 4 [1]. Ačkoliv polovodiče umožňují náboj přenášet jak pomocí záporných elektronů, tak pomocí kladných děr, my v této úloze budeme uvažovat pouze převažující elektronovou vodivost. Platí potom vztah

$$\sigma = en\mu_n, \quad (3)$$

kde e je elementární náboj, n je objemová koncentrace elektronů a μ_n tzv. *pohyblivost* [1]. Vidíme, že z měření vodivosti samotného nemůžeme určit pohyblivost a koncentraci elektronů. Budeme proto muset v další části úlohy proměřit také Hallovo napětí [1].

Elektrickou vodivost budeme měřit pomocí čtyřbodového zapojení v obvodu podle schématu na obr. 1.

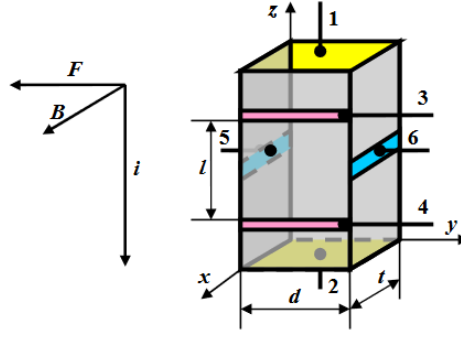


Obrázek 1: Schéma zapojení pro měření vodivosti Hallovovy sondy [1]

1.2 Hallův jev

Hallovým jevem nazýváme konkrétní projev Lorentzovy síly, jenž nastává při vložení pohybujících se nábojů do magnetického pole [1]. Máme-li vodivý vzorek ukázaný na obr. 2 a připojíme-li na stěny 1 a 2 zdroj napětí, poteče vzorkem proud I , tento vzorek je zároveň vložen do magnetického pole B orientovaného podle obrázku. Vzhledem k tomu, že vektor Lorentzovy síly F je z její definice kolmý na směr šíření proudu i na magnetické pole B (zároveň je orientován tak, aby celá soustava byla pravotočivá), budou se trajektorie elektronů ve vzorku stáčet mezi stěnami 5 a 6. Toto stáčení má pak za důsledek vznik kompenzačního *Hallova* napětí U_H mezi těmito protějšími stěnami [1]. Nastane-li mezi Lorentzovou silou a silou způsobenou potenciálovým rozdílem rovnováha, dostáváme rovnici [1]

$$U_H = R_H \frac{IB}{t}, \quad (4)$$



Obrázek 2: Schematický obrázek vzorku polovodiče s rozměry a kontakty pro měření Hallova jevu [1]

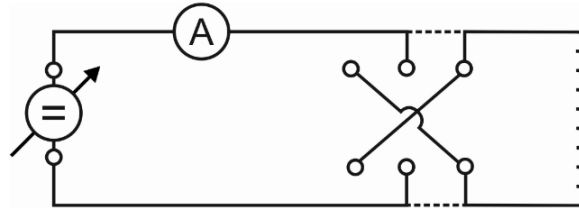
kde R_H je tzv. *Hallova konstanta*. Hallovu konstantu můžeme dále rozepsat pomocí tzv. *Hallova rozptylového faktoru* r_H , elementárního náboje a koncentrace elektronů [1]

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

Zavádíme pak ještě *hallovskou pohyblivost* μ_H [1], která se od běžné pohyblivosti zavedené vztahem (3) liší pronásobením faktorem r_H

$$\mu_H = \sigma R_H = \mu_n r_H. \quad (6)$$

Měření Hallova napětí můžeme provést pomocí zapojení dvou nezávislých obvodů podle schémat na obr. 1 a na obr. 3.



Obrázek 3: Schéma zapojení napájení elektromagnetu [1]

Poslední zmínku si zaslouží fakt, že si při měření musíme dát pozor na metodu zaznamenávání Hallova napětí. Protože jsou v realitě kontakty 5 a 6 nastaveny mírně asymetricky, vzniká mezi nimi kromě Hallova napětí i standardní ohmické napětí [1]. Tento efekt můžeme odfiltrovat tím, že ohmické napětí odečteme převrácením polaritu na vzorku. Bude poté platit vztah

$$|U_H| = |U_{56}^+ - U_{56}^-|/2, \quad (7)$$

kde U^+ a U^- značí napětí při opačných polaritách.

2 Výsledky a zpracování měření

2.1 Podmínky pokusu

Měření bylo provedeno v místnosti PII v budově MFF UK na Karlově. Změřené podmínky termo-hygrobarometrem při pokusu byly následující: Teplota $t = 22,5(4)^\circ\text{C}$, relativní vlhkost $\Phi = 19(3)\%$, tlak $p = 989(2)$ hPa. Dále experimentátor doměřoval Hallův jev dne 2023-12-07, kdy podmínky byly $t = 22,9(4)^\circ\text{C}$, $\Phi = 28(3)\%$ a $p = 993(2)$ hPa. V celém měření počítáme s přesnou hodnotou elementárního náboje $e = 1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$ C [2], Hallův rozptylový faktor pro konkrétní vzorek byl převzat ze studijního textu [1] s hodnotou $r_H = \frac{3\pi}{8}$, jež byla rovněž považována za přesnou.

V celém měření používáme laboratorní vzorek vyhotovený z CdTe [1].

2.2 Měření vodivosti

K naměření vodivosti vzorku jsme nejprve sestavili obvod podle schématu na obr. 1. Měření pak probíhalo jednoduše tak, že experimentátor reguloval napětí na připojeném zdroji a zapisoval korespondující hodnoty napětí

a proudu. Při zpracování vycházíme z údajů o vzorku, které byly zapsány na papíře na pracovním stole, tj., že jeho rozměry jsou $l = 7,100(5)$ mm, $d = 2,710(5)$ mm a $t = 1,950(5)$ mm.

Abychom stanovili nejistoty naměřených hodnot, vyjdeme z nejistot měřicích přístrojů. Jako voltmetr byl použit přesnější multimetr KEITHLEY 2100 6 1/2, k měření proudu jsme pak použili méně přesný multimetr FLUKE 175. U multimetru KEITHLEY 2100 6 1/2 se ale stalo, že ačkoliv je jeho teoretická přesnost velmi vysoká, bylo z jeho displaye kvůli fluktuacím prakticky nemožné odečíst cokoliv za prvním desetinným místem. Jeho chybu tedy odhadneme na jednotku v posledním číselném řádu. Pro multimetr FLUKE 175 výrobce uvádí v námi použitým nejnižším rozsahu chybu $1,0 \% + 0,03$ mA [3].

Všechny naměřené hodnoty z této podsekcce jsou uvedeny v tabulce 1 níže.

Tabulka 1: Měření závislosti proudu I na napětí U pro stanovení vodivosti vzorku

U / mV	σ_U / mV	I / mA	σ_I / mA
1,9	0,1	0,02	0,03
19,0	0,1	0,36	0,03
31,5	0,1	0,61	0,04
49,8	0,1	0,98	0,04
60,4	0,1	1,19	0,04
78,4	0,1	1,55	0,05
92,2	0,1	1,82	0,05
106,5	0,1	2,11	0,05
121,7	0,1	2,42	0,05
137,3	0,1	2,73	0,06
152,2	0,1	3,05	0,06
165,0	0,1	3,28	0,06
182,2	0,1	3,62	0,07
196,0	0,1	3,90	0,07
209,9	0,1	4,18	0,07
229,2	0,1	4,55	0,08
240,8	0,1	4,78	0,08
249,6	0,1	4,96	0,08

Dále jsme tyto hodnoty nafitovali lineární funkcí pomocí programu **Origin** a fit zanesli do obr. 4. **Origin** nám vrátil s ohledem na nejistotu naměřených dat směrnici $\alpha = 0,0200(2) \Omega^{-1}$, ze které jsme pak podle vztahu (2) stanovili vodivost na hodnotu

$$\sigma = 26,8(2) \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}, \quad (8)$$

kde jsme nejistotu určili pomocí metody přenosu chyb vztahem

$$\sigma_\sigma = \sigma \sqrt{\left(\frac{\sigma_l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\alpha}{\alpha}\right)^2}. \quad (9)$$

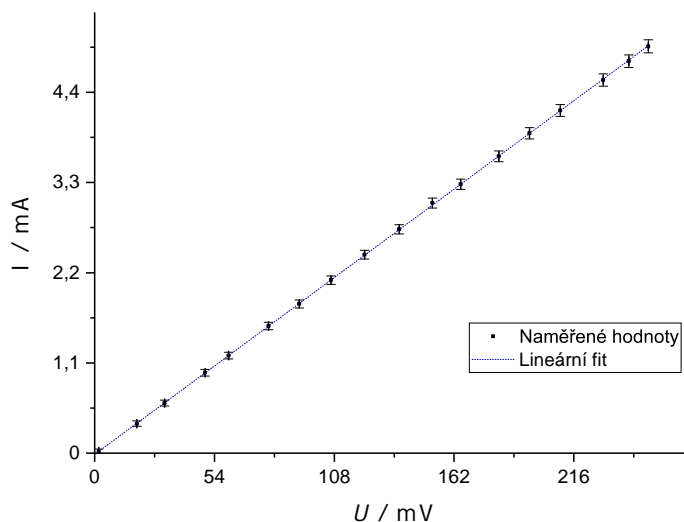
2.3 Hallův jev

Tato část měření byla doměřována 2023-12-07., protože experimentátor původně omylem zvolili jinou metodu měření – viz podsekcce Hallův jev, alternativní metoda.

V této podsekcce je naším praktickým úkolem proměřit závislost Hallova napětí na magnetické indukci pole, do kterého je vzorek vložen. Z této závislosti můžeme pak stanovit Hallovu konstantu, ze které můžeme dál určit pohyblivost a koncentraci elektronů. Tuto závislost máme podle zadání proměřit pro tři různé hodnoty proudu na vzorku.

Samotné měření bude probíhat podobně jako v předchozí části, přičemž nebudeme měřit napětí mezi svorkami 3 a 4, ale mezi svorkami 5 a 6. Zároveň zapojíme obvod podle obr. 3, v němž nám elektromagnet bude na vzorek generovat onu magnetickou indukci B .

Podle pokynů na pracovním stole platí vztah pro přepočet magnetizačního proudu na magnetickou indukci



Obrázek 4: Závislost naměřeného proudu na naměřeném napětí

generovanou elektromagnetem v podobě

$$B = (0,098 \text{ T} \cdot \text{A}^{-1})I. \quad (10)$$

Nejprve si tedy pomocí původního obvodu (viz obr. 1) nastavíme kýžený proud na vzorku a pak regulujeme proud v magnetizačním obvodu – ten si spolu s naměřeným napětím zapíšeme. Napětí zjišťujeme metodou popsanou na konci Teoretické části. Je zde ještě dobré zmínit, že při převrácení polarit na komutátoru docházelo k mírnému posunu hodnot na ampérmetru. Kvůli tomu byl vždy po tomto převrácení ampérmetr zkontrolován a seřízen do původní polohy.

V magnetizačním obvodu jsme pro měření proudu využili analogový ampérmetr METRA s třídou přesnosti 0,5, 120 dílky a nastaveným rozsahem 6 mA. Z toho jednoduše vypočteme nejistotu standardním vztahem na hodnotu $\sigma_I = \frac{6 \cdot 0,5}{100} \frac{1}{\sqrt{3}} \text{ A} = 0,02 \text{ A}$. Při přepočtu na magnetickou indukci B se nám samozřejmě zachovává relativní nejistota. Při měření proudu procházejícího vzorkem jsme znovu použili multimetr Fluke 175, proto nejistotu zpracujeme analogicky. K měření Hallova napětí byl také znovu použit digitální multimetr KEITHLEY 2100 6 1/2 a tak nejistotu naměřených napětí budeme odhadovat podobně jako nejistotu napětí v předchozí podsekcí. Pro výpočet nejistoty Hallova napětí podle metody přenosu chyb bude platit $\sigma_{U_H} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sigma_U$.

Všechna takto naměřená data pro tři vybrané proudy vzorkem ($I_{vz1} = 3,00(6) \text{ mA}$, $I_{vz2} = 4,00(7) \text{ mA}$ a $I_{vz3} = 5,00(8) \text{ mA}$) jsou uvedena v tabulkách 2, 3 a 4 níže.

Tabulka 2: Měření Hallova napětí U_H v závislosti na magnetické indukci B , pro konstantní proud vzorkem $I_{vz} = 3,00(6) \text{ mA}$

B / T	σ_B / T	U^+ / mV	U^- / mV	U_H / mV	σ_{U_H} / mV
0,000	0,002	14,2	14,2	0,00	0,07
0,029	0,002	13,9	14,4	0,25	0,07
0,069	0,002	13,6	14,7	0,55	0,07
0,098	0,002	13,4	14,9	0,75	0,07
0,142	0,002	12,9	15,3	1,20	0,07
0,174	0,002	12,7	15,7	1,50	0,07
0,206	0,002	12,4	16,0	1,80	0,07
0,262	0,002	11,9	16,4	2,25	0,07
0,296	0,002	11,6	16,8	2,60	0,07
0,343	0,002	11,2	17,1	2,95	0,07
0,387	0,002	10,8	17,6	3,40	0,07

Tabulka 3: Měření Hallova napětí U_H v závislosti na magnetické indukci B , pro konstantní proud vzorkem $I_{vz} = 4,00(7)$ mA

B / T	σ_B / T	U^+ / mV	U^- / mV	U_H / mV	σ_{U_H} / mV
0,000	0,002	18,6	18,6	0,00	0,07
0,034	0,002	18,2	18,9	0,35	0,07
0,061	0,002	17,7	19,1	0,70	0,07
0,098	0,002	17,3	19,4	1,05	0,07
0,127	0,002	17,0	19,8	1,40	0,07
0,169	0,002	16,5	20,3	1,90	0,07
0,211	0,002	16,0	20,8	2,40	0,07
0,252	0,002	15,5	21,4	2,95	0,07
0,294	0,002	15,1	21,8	3,35	0,07
0,336	0,002	14,5	22,3	3,90	0,07
0,380	0,002	14,1	22,8	4,35	0,07

Tabulka 4: Měření Hallova napětí U_H v závislosti na magnetické indukci B , pro konstantní proud vzorkem $I_{vz} = 5,00(8)$ mA

B / T	σ_B / T	U^+ / mV	U^- / mV	U_H / mV	σ_{U_H} / mV
0,000	0,002	22,6	22,6	0,00	0,07
0,039	0,002	21,9	23,0	0,55	0,07
0,066	0,002	21,5	23,4	0,95	0,07
0,096	0,002	21,2	23,8	1,30	0,07
0,132	0,002	20,5	24,3	1,90	0,07
0,169	0,002	20,1	24,8	2,35	0,07
0,206	0,002	19,5	25,4	2,95	0,07
0,250	0,002	18,8	26,0	3,60	0,07
0,284	0,002	18,3	26,4	4,05	0,07
0,321	0,002	17,9	27,1	4,60	0,07
0,372	0,002	17,1	27,8	5,35	0,07

Dále jsme data znovu zpracovali graficky v programu **Origin** viz obr. 5 a znovu jsme všechny závislosti $U_H = U_H(B)$ nafitovali lineární funkcí. S přihlédnutím k nejistotám naměřených dat nám **Origin** vrátil koeficienty $\beta_1 = 8,8(2) \text{ mV} \cdot \text{T}^{-1}$, $\beta_2 = 11,6(2) \text{ mV} \cdot \text{T}^{-1}$ a $\beta_3 = 14,4(2) \text{ mV} \cdot \text{T}^{-1}$. Tyto koeficienty pomocí vztahu (4) můžeme jednoduše přepočítat na jednotlivé Hallové konstanty, což nám dává výsledky

$$R_{H_1} = 5,7(2) \text{ mm} \cdot \Omega \cdot \text{T}^{-1}, \quad (11)$$

$$R_{H_2} = 5,7(1) \text{ mm} \cdot \Omega \cdot \text{T}^{-1}, \quad (12)$$

$$R_{H_3} = 5,6(1) \text{ mm} \cdot \Omega \cdot \text{T}^{-1}, \quad (13)$$

$$(14)$$

kde jsme nejistotu určili pomocí metody přenosu chyb

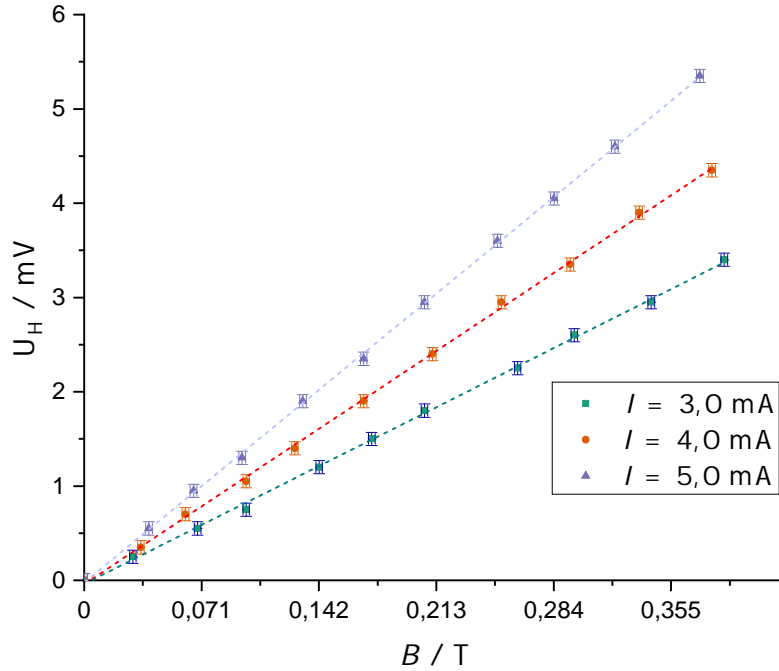
$$\sigma_{R_H} = R_H \sqrt{\left(\frac{\sigma_B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{I_{vz}}}{I_{vz}}\right)^2}. \quad (15)$$

Tyto tři jednotlivé hodnoty Hallových konstant nyní zprůměrujeme a získáme tak náš finální výsledek

$$R_H = 5,67(8) \text{ mm} \cdot \Omega \cdot \text{T}^{-1}. \quad (16)$$

Z této konstanty a z naměřené pohyblivost můžeme určit pomocí vzorců (3), (5) a (6) postupně: pohyblivost $\mu_n = 0,129(2) \text{ T}^{-1}$, koncentraci $n = 1,30(2) \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$ a hallovskou pohyblivost $\mu_H = 0,152(2) \text{ T}^{-1}$, kde nejistoty spočteme jako

$$\frac{\sigma_{\mu_n}}{\mu_n} = \frac{\sigma_{\mu_h}}{\mu_h} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{R_H}}{R_H}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\sigma}{\sigma}\right)^2}, \quad \sigma_n = n \frac{\sigma_{R_H}}{R_H}. \quad (17)$$



Obrázek 5: Závislost Hallova napětí na magnetické indukci při daném proudu vzorkem

2.4 Hallův jev, alternativní metoda

V této části se zběžně můžeme podívat na výsledky alternativní metody, kterou experimentátor ve svém omylu využil, když úlohu měřil poprvé 2023-12-04. Místo toho, abychom měnili magnetickou indukci působící na vzorek, jsme v rámci této metody měnili proud vzorkem a magnetickou indukci jsme nechávali konstantní.

Protože se nejedná o hlavní část zadání, nebudeme zde uvádět nejistoty a měření tímto způsobem detailně zpracovávat. Půjde nám pouze o orientační shodu Hallovy konstanty, která by ukázala, že tato metoda měření je také validní. Zároveň bychom měli upozornit, že v naměřených datech přiložených k protokolu je v této části několik chyb¹, proto se budou tabulky zde uvedené lišit a výsledky zde budou, narozdíl od záznamu, spočítány správným způsobem.

Hallovo napětí jsme měřili při třech konstantních hodnotách magnetizačního proudu. Konkrétně pro $I_m = 1\text{ A}$, $I_m = 3\text{ A}$ a $I_m = 4\text{ A}$, postup je jinak ve většině ohledech identický k předchozí sekci, proud pouze regulujeme na jiném zdroji a odečítáme z digitálního multimetru. Výsledky naměřené při těchto hodnotách jsme zanesli do tabulky 5 níže.

Dále jsme závislosti také zpracovali graficky pomocí *Originu* – viz obr 6 a nafitovali je lineární funkcí. Takto jsme získali pro každou závislost směrnici $\gamma_1 = 0,246\ \Omega$, $\gamma_2 = 0,818\ \Omega$ a $\gamma_3 = 1,085\ \Omega$, kterou jsme mohli následně podle vzorce (4) přepočítat na různé hodnoty Hallovy konstanty

$$R_{H_1} = 4,875\text{ mm} \cdot \Omega \cdot \text{T}^{-1},$$

$$R_{H_2} = 5,406\text{ mm} \cdot \Omega \cdot \text{T}^{-1},$$

$$R_{H_3} = 5,397\text{ mm} \cdot \Omega \cdot \text{T}^{-1}.$$

¹Například jsme rozdíl napětí nepodělili dvěma a výpočet Hallovy konstanty je špatně, což je vidět i na jednotkách

Tabulka 5: Měření Hallova napětí U_H v závislosti na proudu vzorkem I pro konstantní magnetickou indukci

$I_m = 1 \text{ A}$		$I_m = 3 \text{ A}$		$I_m = 4 \text{ A}$	
I / mA	U_H / mV	I / mA	U_H / mV	I / mA	U_H / mV
0,02	0,05	0,01	0,00	0,02	0,00
0,35	0,05	0,31	0,25	0,32	0,30
0,64	0,10	0,64	0,50	0,68	0,75
0,97	0,20	0,95	0,75	0,97	1,00
1,19	0,25	1,24	0,95	1,21	1,30
1,52	0,30	1,52	1,20	1,53	1,65
1,86	0,45	1,85	1,50	1,89	2,05
2,12	0,45	2,12	1,70	2,13	2,25
2,41	0,60	2,45	1,95	2,42	2,65
2,78	0,65	2,75	2,20	2,73	2,95
3,07	0,70	3,00	2,50	3,04	3,30
3,35	0,80	3,32	2,70	3,32	3,60
3,67	0,85	3,62	2,95	3,63	3,95
3,94	0,95	3,93	3,15	3,98	4,35
4,13	1,00	4,15	3,35	4,10	4,40
4,43	1,10	4,63	3,80	4,49	4,85
4,84	1,15	4,94	4,00	4,87	5,20

3 Diskuse výsledků

3.1 Měření vodivosti

Pro diskusi měření vodivosti nás mohou zajímat dvě věci: naměřená závislost a výsledná hodnota. Naměřená závislost vyšla uspokojivě, hodnoty se dají velmi dobře proložit přímkou a potvrzuje se nám tak standardní lineární průběh vycházející z Ohmova zákona.

Bohužel nemáme k dispozici (a také se nám nepodařilo jednoduše dohledat) referenční hodnotu elektrické vodivosti pro vzorek. Tato vodivost bude samozřejmě teplotně závislá a také bude záviset pravděpodobně na konkrétních vlastnostech vzorku (nevíme například, jak je vodič přesně nadotovaný jinými prvky). Hodnota se nicméně zdá řádově rozumná (její správnost se ještě ukáže při porovnání výsledků pro pohyblivost) a těžko lze nalézt nezapočtené faktory, které by měření mohly signifikantně ovlivnit.

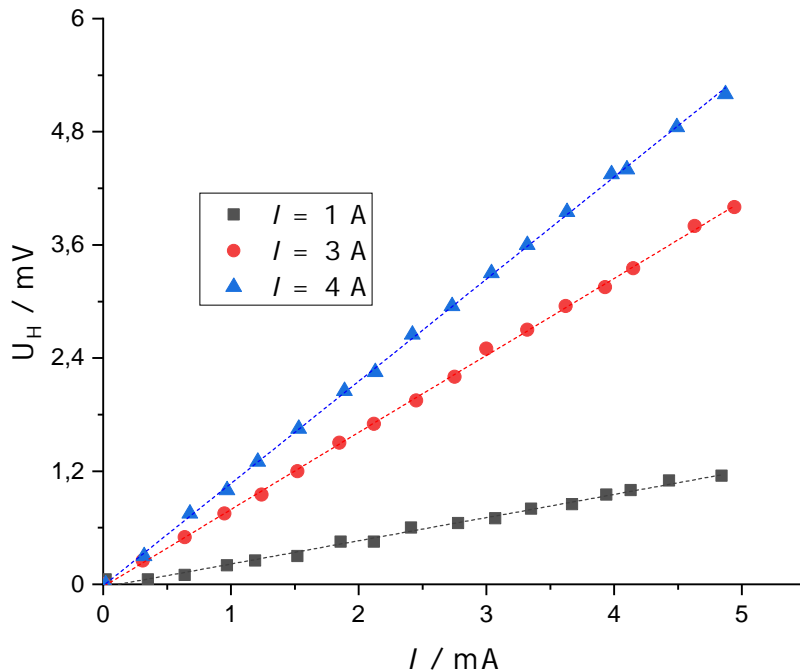
3.2 Hallův jev

Nejprve se podívejme na Hallovy konstanty a získané závislosti – ty můžeme porovnat i v rámci alternativní metody měření. Podobně jako v předchozí podsekcí jsou všechny průběhy (jak ty naměřené standardní metodou, tak ty naměřené alternativní metodou) lineární a dobře tak odpovídají teorii.

Při měření standardní metodou se dokonce všechny naměřené Hallovy konstanty (pro proudy $I_{vz1} = 3,00(6) \text{ mA}$, $I_{vz2} = 4,00(7) \text{ mA}$ a $I_{vz3} = 5,00(8) \text{ mA}$) shodují v rámci chybových intervalů, díky čemuž lze tuto část měření, bude-li se shodovat naměřené hodnoty s hodnotami referenčními, prohlásit za úspěšnou.

Orientační, byť ne úplně dobrou, shodu pak také nacházíme při srovnání s hodnotami naměřenými alternativní metodou. To si můžeme vysvětlit například tím, že při změnách proudu na vzorku se měnila v důsledku Jouleova tepla více elektrická vodivost, což vedlo k většímu rozdílu mezi hodnotami. Na druhou stranu ukázalo se (hlavně z výše zmíněných lineárních průběhů), že tato metoda může být také pro naměření Hallových konstant použita.

Pro porovnání našich hodnot s referenčními hodnotami bude nejjednodušší porovnat získanou mobilitu elektronů, neboť ta je dobře proměřená a dostupná na více internetových zdrojích a zároveň se v ní objevuje jak naměřená Hallova konstanta, tak naměřená vodivost. Zdroj [4] nám uvádí po mobilitu hodnotu $\mu_n = 1200 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ a zdroj [5] hodnotu $\mu_n = 1100 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, zatímco my jsme naměřili (v těchto jednotkách) hodnotu $\mu_n = 1290(20) \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Vidíme tedy alespoň orientační shodu, kdy ani jeden z referenčních zdrojů neuvádí ke svým datům nejistotu. Rozdíl mezi naší hodnotou a referenčními hodnotami lze znovu vysvětlit neznalostí konkrétních vlastností referenčních vzorků a můžeme tak shodu prohlásit (vzhledem k našim měřicím podmínkám) za uspokojivou.



Obrázek 6: Závislost Hallova napětí na proudu procházejícím vzorkem

4 Závěr

Měřením ve čtyřbodovém zapojení se nám podařilo stanovit měrnou elektrickou vodivost vzorku na hodnotu $\sigma = 26,8(2) \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. Dále jsme změřením tří hodnot a jejich následným zprůměrováním získali hodnotu pro Hallovu konstantu $R_H = 5,67(8) \text{ mm} \cdot \Omega \cdot \text{T}^{-1}$, z čehož jsme dále určili pohyblivost $\mu_n = 0,129(2) \text{ T}^{-1}$, koncentraci $n = 1,30(2) \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$ a hallovskou pohyblivost $\mu_H = 0,152(2) \text{ T}^{-1}$ elektronů.

Reference

- [1] *Hallův jev* [online]. [cit. 2023-12-17]. Dostupné z: <https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/zadani/210>
- [2] *The International System of Units (SI)* [online]. [cit. 2023-12-17]. Dostupné z: <https://www.bipm.org/en/measurement-units>
- [3] *Fluke 175 True-RMS Digital Multimeter* [online]. [cit. 2023-12-17]. Dostupné z: <https://www.fluke.com/en/product/electrical-testing/digital-multimeters/fluke-175>
- [4] *Cadmium Telluride, CdTe, Cubic* [online]. [cit. 2023-12-18]. Dostupné z: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=3f3bbec8a6664fc3963fe8d79adc2622&ckck=1>
- [5] *Cadmium telluride* [online]. [cit. 2023-12-18]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Cadmium_telluride