

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



Hallovo pojav

3. naloga pri Fizikalnem praktikumu V

Avtor: Marko Urbanč (28191096)
Asistent: Martin Rigel

8.11.2021

Kazalo

1	Uvod	2
2	Potrebnosti	3
3	Naloge	3
4	Navodila	3
5	Meritve	4
6	Obdelava podatkov	5
7	Izračuni in grafi	5
7.1	Ohmska upornost v odvisnosti od temperature	5
7.2	Graf $R_H(T)$	6
7.3	Graf logaritma gostote nosilcev naboja v odvisnosti od $1/k_B T$. .	6

1 Uvod

Leta 1879 si je E. H. Hall zamislil eksperiment, kjer je kovinski trak v vlogi tokovnega vodnika postavil v prečno magnetno polje, pravokotno na trak. Pričakoval je, da bo magnetna sila pritegnila tok elektronov od enega izmed robov kovinskega traku kar bi efektivno zmanjšalo presek traka in bi se v praksi pokazalo kot povečanje upora skozi trak.

Te spremembe upornosti ni zaznal. Tako je sklepal, da se med robovoma traku pojavi, zdaj po njemu poimenovana, *Hallova napetost* (1), kjer nastalo električno polje preko električne sile uravnovesi magnetno silo na gibajoče se elektrone.

$$U_H = E_y b = -\frac{jBb}{ne_0} = -\frac{IB}{ne_0 c}, \quad (1)$$

kjer so a, b, c dimenzije traku po katerem teče električni tok I v magnetnem polju B postavljenim v smeri z osi. Kvocient $\frac{E_y}{jB}$ imenujemo *Hallova konstanta* R_H in jo lahko izrazimo kot:

$$R_H = -\frac{1}{ne_0} = -\frac{U_H c}{IB}. \quad (2)$$

Iz (1) sledi, da je Hallov pojav koristen za merjenje gostote magnetnega polja. Skozi Hallovo sondo, ki je bila umerjena v znanem magnetnem polju pošljemo isti električni tok in lahko tako izmerimo B . Iz enačbe (2) pa sledi, da lahko z merjenjem Hallove konstante določimo predznak in gostoto nosilcev naboja, kar bomo tudi storili pri tej nalogi za primer germanijevega polprevodnika, kjer nečistoče/dopiranje odločilno vplivajo na gostoto nosilcev naboja.

Gostota nosilcev naboja in s tem prevodnost, se v polprevodniku drastično poveča v prisotnosti primesi, ki se vgradijo v polprevodniški kristal. Običajno so kristali polprevodnikov iz štirivalentnih atomov. Če dodamo petvalentno primer dobimo polprevodnik tipa n, kjer odvečni elektroni tvorijo donorski nivo tik pod prevodnim pasom in rabijo zelo malo energije, da preskočijo režo. Podobno lahko storimo tudi z trivalentno primesjo kjer dobimo polprevodnik tipa p.

Ker h gostoti elektronov v prevodnem pasu v primeru polprevodnika tipa n prispevajo tudi elektroni, ki so bili termično dvignjeni iz donorskega nivoja sledi iz enačbe (1), da lahko z merjenjem Hallove napetosti pravzaprav izmerimo tudi temperaturno odvisnost gostote nosilcev naboja.

2 Potrebščine

- Vzorec germanijevega polprevodnika tipa n z pripravljeno vezavo na kontakte
- Izolirana posoda olja z grelcem, mešalcem in magnetom
- Napajalnik za grelec in mešalec
- Digitalni voltmeter
- Digitalni ampermeter
- Termometer
- Štoparica (neobvezno)

3 Naloge

- Izmeri temperaturno odvisnost Hallove napetosti vzorca polprevodnika tipa n na temperaturnem območju med 20°C in 80°C
- Nariši graf ohmske upornosti R v odvisnosti od temperature T
- Nariši graf Hallove konstante R_H v odvisnosti od temperature T
- Nariši graf $\ln n$ v odvisnosti od $1/k_B T$
- Določi vrsto nosilcev naboja v germanijevem vzorcu na tem temperaturnem območju.

4 Navodila

Germanijev vzorec z debelino $c = 0.95$ mm vtaknemo v režo izolirane posode olja z grelcem in z magnetom, ki ima gostoto magnetnega polja $B = 0.173$ T. Kontakti na vzorcu niso povsem simetrični. To pomeni, da je izmerjena napetost U_1 vsota Hallove napetosti U_H in potencialne razlike zaradi nesimetrije kontaktov U_p , ki je po absolutni vrednosti večja od Hallove napetosti. Če vzorec v magnetnem polju obrnemo se spremeni le predznak Hallove napetosti. Tako velja:

$$\begin{aligned}U_1 &= U_H + U_p , \\U_2 &= -U_H + U_p , \\U_H &= \frac{1}{2}(U_1 - U_2) .\end{aligned}$$

Temperaturo vzorca večamo z grelcem po korakih okoli 5°C. Ko se vzorec segreje do željene temperature počakamo še nekaj minut, da se temperatura gotovo ustali.

5 Meritve

Meritve sem zapisal v svoj laboratorijski dnevnik. Ker imam težave z dotikanjem zvezka, ki je bil na faksu, sem se odločil poskusiti narediti poročilo v .pdf obliki.

Hallor pojav

$T [^{\circ}C]$	$I_1 [mA]$	$U_1 [V]$	$U_2 [V]$	$I_2 [mA]$
22	8,95	0,214	0,288	9,03
25	8,97	0,212	0,285	8,98
31	8,86	0,210	0,280	8,86
37	8,81	0,206	0,272	8,81
40	8,85	0,205	0,269	8,85
46	9,03	0,204	0,263	9,03
51	9,40	0,205	0,261	9,38
55	9,90	0,207	0,258	9,93
61	10,92	0,212	0,269	10,76
65	11,82	0,214	0,257	11,96
70	13,10	0,217	0,257	12,98
74	14,44	0,220	0,257	14,44

28.10.21
Profen

Slika 1: Meritve v laboratorijskem dnevniku

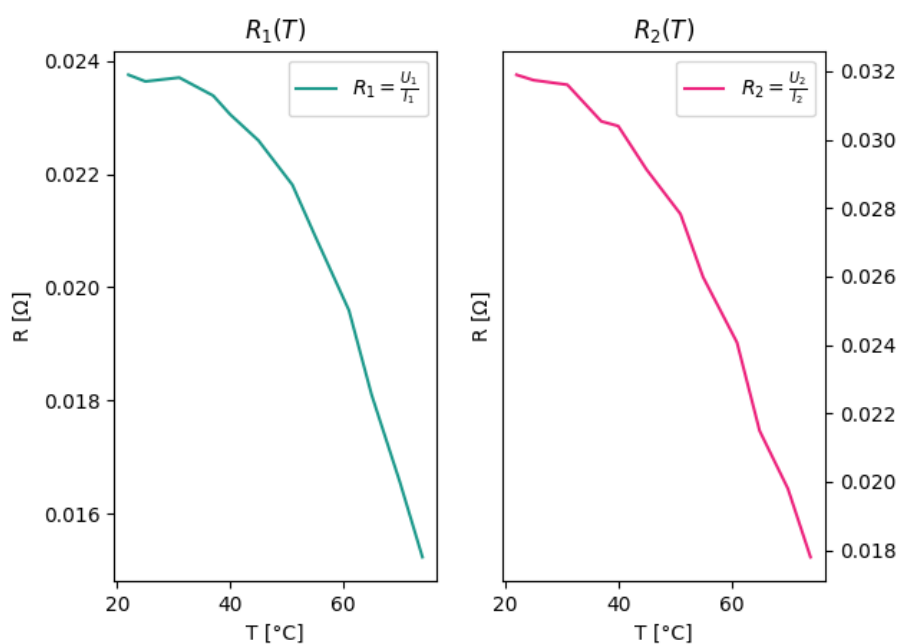
6 Obdelava podatkov

Obdelave podatkov sem se lotil tako, da sem iz laboratorijskega dnevnika tvoril tab delimited .txt datoteko in jo uvozil v Python za nadaljno obdelavo. Pomagal sem si z knjižnicama NumPy in matplotlib ter z funkcijo `curve_fit()` iz paketa `scipy.optimize`.

7 Izračuni in grafi

7.1 Ohmska upornost v odvisnosti od temperature

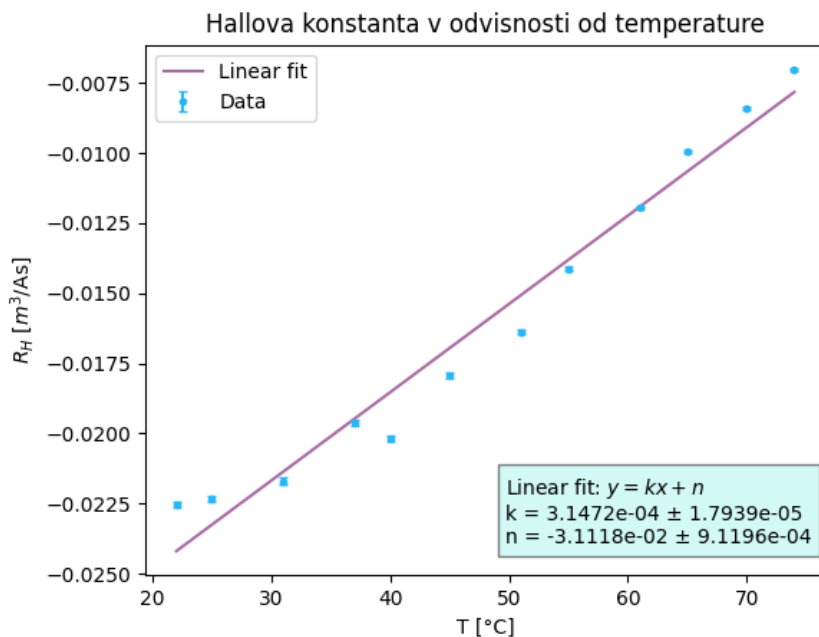
Za vsako usmerjenost polprevodnika sem izmeril tok in napetost. S preprostim izračunom $R = U/I$ lahko dobimo graf $R(T)$. Graf je v skladu s pričakovanji saj upornost za polprevodnike pada z temperaturo (kar je obratno kot pri prevodnikih), ker se lahko zaradi termičnih pojavov vzbudi več elektronov v prevodni pas.



Slika 2: Ohmska upornost v odvisnosti od temperature

7.2 Graf $R_H(T)$

Po prej napisani enačbi (1) lahko z znanima c, B izračunamo R_H pri različnih temperaturah in s tem dobimo željeni graf.



Slika 3: Hallova konstanta v odvisnosti od temperature

7.3 Graf logaritma gostote nosilcev naboja v odvisnosti od $1/k_B T$

S pomočjo enačbe (1) lahko zapišemo:

$$\ln n = \ln \left(-\frac{IB}{U_H c e_0} \right).$$

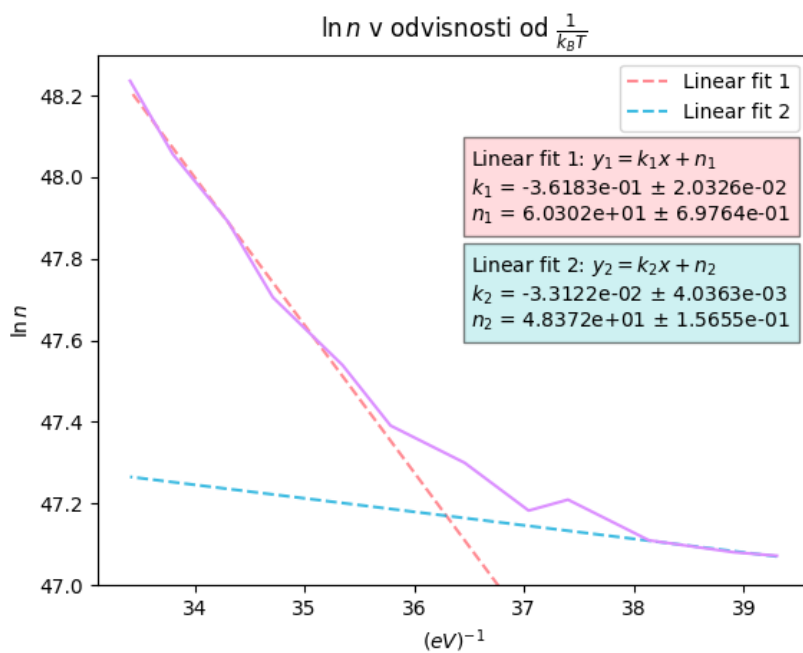
To na graf narišemo v odvisnosti od $\frac{1}{k_B T}$ in prilagodimo dve premici na dobljeno krivuljo. Prva premica naj bi bila $-\frac{1}{2}E_g$, druga pa $-\frac{1}{2}E_d$ in predstavljata območji kjer k gostoti prevodnih delcev prispevajo valenčni elektroni in dalje donorski elektroni. V literaturi lahko preberemo, da naj bi ti dve energiji za naš vzorec znašali $E_g = 0.66$ eV in $E_d \approx 0.01$ eV. Iz naklona prilagojenih premic sem za moje podatke izračunal:

$$E_g = (0.72 \pm 0.04) \text{ eV}$$

$$E_d = (0.07 \pm 0.01) \text{ eV}$$

Dobljeni vrednosti tudi v okviru napake vseeno nekoliko zgrešita pričakovani vrednosti, a ne spet toliko (vsaj v primeru E_g). Verjetno bi dobil boljše rezultate z meritvami bolj na gosto. Krivulja se mi nekoliko nenavadno zlomi v sredini,

kjer naj bi bilo območje popolnoma vzbujenih donorskih elektronov. Nisem ravno prepričan kaj se je tu zalomilo. Gotovo bi bilo smiselno vrednosti v tej okolici znova pomeriti.



Slika 4: Iskanje E_g in E_d za vzorec