

Hallhrif og segulsvið

1 Inngangur

Tilraunin felst í könnun Hallhrifa í kristalli og aðferða til að mæla segulsvið með Hallhrifum. Hallstuðull kristallsins er reiknaður út frá mælingum í þekktu segulsviði og kristallurinn því næst notaður til að mæla segulsvið í sísegli og rafsegli. Við mælingar með rafsegli er stafræn sveiflusjá notuð til þess að kanna seguleiginleika rafsegulsins og skoða segulheldni (e. magnetic hysteresis).

Markmið æfingarinnar eru að kynna eftirfarandi atriði:

- Hallhrif í GaAs torleiðara,
- mælingar á segulsviði með Hallhrifum,
- hegðun segulsviðs í spólu með járnkjarna með breytingum á straumi í spólunni,
- notkun stafrænnar sveiflusjár.

Lesefni

Benson: *University Physics*, kafli 24 og kafli 30.

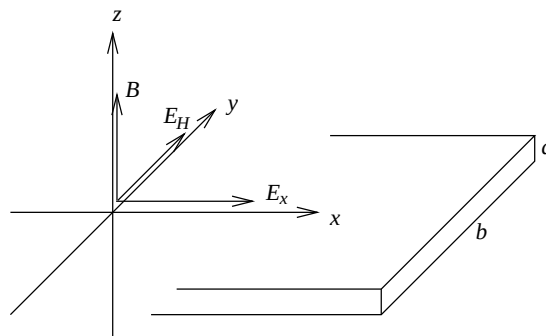
Leó Kristjánsson og fl.: *Fylgikver um Eðlisfræði II*, kafli 7.

Marion og Hornyak: *Physics*, §33-3, §33-5; §33-2; Ex. 34.2 og §36-6.

Ohanian: *Physics*, kafli 31.4 og kafli 33.3.

2 Hallhrif

Mynd 1 sýnir leiðara í segulsviði B með stefnu eftir z -ás. Á hleðslubera straums I_x verkar tvískiptur Lorentzkraftur $\mathbf{F}_L = q(\mathbf{E}_x + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$. Rafsviðsliðurinn $q\mathbf{E}_x$ rekur hleðsluberana áfram og veldur straumnum en segulsviðsliðurinn $q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ sem verkar hornrétt á stefnur straums og segulsviðs. Segulsviðsliðurinn safnar hleðslum á brúnir kristallsins við $y = \pm \frac{1}{2}b$ og afleiðingin



Mynd 1: Leiðandi kristallur í ytra segulsviði $\mathbf{B}$ og rafsviði $\mathbf{E}_x$.

er rafsvið $\mathbf{E}_H$ þvert á straumstefnuna, í gagnstæða stefnu við krossfeldið $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$. Jafnvægi næst þegar Hallsviðið vegur krossfeldið upp, $(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) + \mathbf{E}_H = \mathbf{0}$.

Rafsviðið $\mathbf{E}_H$ má finna með mælingu spennunnar V_H yfir leiðarann, þvert á strauminn I_x . Form segulkraftsins, $q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$, sýnir að rafsviðið $\mathbf{E}_H$ er mælikvarði á hraða rafeindanna $\mathbf{v}$ í kristallinum og styrk segulsviðsins B . Hallhrif má nota til að finna formerki hleðsluberanna, þéttleika hleðslnanna sem bera strauminn, rekhraða þeirra og fleiri atriði. Svonefndur Hallstuðull, R_H , er nokkurs konar samnefnari fyrir ofantaldar mælistærðir en þær eru veigamiklar við hönnun rafrása og auðveldar mæliaðferðir fyrir Hallstuðulinn því mikils virði.

Í fyrri hluta tilraunarinnar skal ákveða hlutfallið R_H/d fyrir tiltekinn kristall en í tveimur síðari hlutum hennar eru Hallhrif í kristallinum notuð til þess að mæla segulsvið rafsegluls og sísegluls.

2.1 Samband milli Hallhrifa og segulsviðsstyrks

Hallstuðullinn R_H er skilgreindur með jöfnunni

$$E_H = R_H J_x B, \quad (1)$$

þar sem $J_x = I_x/A$ er straumþéttleikinn í kristallinum og B er styrkur segulsviðsins.

Lítum aftur á mynd 1. Straumþéttleikann J_x má tengja straumnum I_x , breidd kristallsins b og þykkt hans d með,

$$J_x = \frac{I_x}{bd}. \quad (2)$$

Þar sem $V_H = bE_H$ fæst jafnan

$$V_H = I_x \frac{R_H}{d} B. \quad (3)$$

Jafna (3) sýnir að með mælingu á Hallspennunni V_H og straumnum I_x eftir leiðaranum í þekktu segulsviði B má ákvarða stærðina R_H/d á einfaldan hátt. Á sama hátt má nota V_H sem mælikvarða á B ef hlutfallið R_H/d er þekkt. Þetta samband milli Hallstuðulsins og segulsviðsstyrksins er notað í fyrsta og öðrum framkvæmdarlið tilraunarinnar.

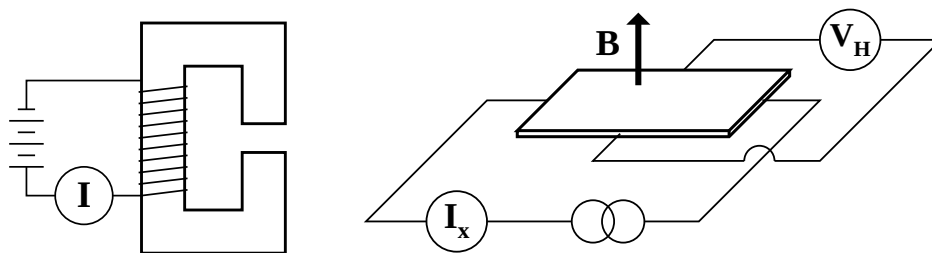
2.2 Rafseglar og segulheldni

Seguleiginleikar spólu með járnkjarna ráðast bæði af straumnum í spólunni og seguleiginleikum járnkjarnans. Hegðun segulsviðs í spólu með kjarna er því í veigamiklum atriðum frábrugðin hegðun segulsviðs í spólu án kjarna þar sem segulsviðið er eingilt fall af straumnum í vafningum spólunnar.

Seguleiginleikar járnsins koma fram í tvennu:

- Járníð heldur að nokkru leyti segulmögnun þótt ytra svið sé fjarlægt.
- Örseglar járnsins taka smátt og smátt upp stefnu ytra sviðsins og leggja sinn hlut til heildarsviðsins.

Afleiðing fyrra atriðsins er að spóla með járnkjarna hefur almennt segulsvið þótt enginn straumur sé í vafningum hennar. Af síðara atriðinu leiðir hins vegar að segulsvið í spólu með kjarna er mun hærra en segulsvið í spólu án kjarna. Að því kemur þó við hátt segulsvið að allir örseglarnir hafa lagst í sömu stefnu og frekari aukning segulsviðs verður aðeins vegna straumsins í spólunni. Því má búast við að aukning í segulsviðsstyrk sé ekki jafnt vaxandi með straumstyrk



Mynd 2: Straum- og mælirásir fyrir rafsegul og Hall-kristall.

heldur sé hún mest fyrst en minnki síðan þegar örseglarnir hafa mettast. Þá má einnig búast við að eitthvað af örseglunum haldi stefnu sinni þótt straumurinn sé lækkaður. Þegar þetta gerist verður segulsviðið ekki einungis háð straumnum í spólunni heldur einnig forsögu hans á hverjum tíma. M.ö.o. segulsviðið tekur ekki sama gildi B við sama straum I þegar straumurinn er að aukast og þegar hann er að minnka. Því er ekki unnt að segja til um segulsviðið í seglinum fyrir gefinn straum í spólunum án þess að þekkja forsögu straumsins. Rafrásir með minni hafa sama eiginleika, kallaðan heldni, og hér er talað um segulheldni.

3 Framkvæmd tilraunar

Tilraunin er þrískipt; mæling hlutfallsins R_H/d fyrir GaAs-kristall, mæling á sviðsstyrk síseguls með Hallhrifum og könnun á sambandi segulsviðs rafseguls við straums í spólu hans.

3.1 Mæling Hallstuðuls

Uppsetning tækja

Í fyrsta lið er notuð GaAs torleiðaraplata sem er tengd við straumgjafa og spennummæli og rafsegull með spennugjafa og straummæli eins og sýnt er á mynd 2.

Verkliðir

1. Jafnstraumur er settur á rafsegulinn þannig að segulsviðsstyrkur um 3 kG fáið í gapinu á milli póla hans. Sviðsstyrkurinn er mældur með Gaussmæli. Fáíð leiðbeiningar hjá kennara um notkun hans.
2. Við mælingu Hallspennunnar V_H er GaAs-kristallurinn látinn í gap segulsins. Safnið gögnum í $V_H(I_x)$ graf fyrir straumgildi I_x á bilinu -5 mA til 5 mA.
3. Mælingarnar skal endurtaka fyrir nokkur önnur gildi á sviðsstyrknum B á bilinu -3 kG til 3 kG. Stíllíð DC-strauminn á seglinum þannig að báðar stefnur fáið á segulsviðinu B .
4. Notið mælingarnar til að ákvarða hlutfall Hallstuðulsins á móti þykkt kristallsins, R_H/d .

3.2 Segulsvið í sísegli

Þegar hlutfallið R_H/d hefur verið ákvarðað má nota GaAs-kristallinn sem segulnema. Annar liður tilraunarinnar felst í mælingu segulsviðsstyrks í sísegli.

Verkliðir

1. Mælið spennunuminn V_H og reiknið segulsviðsstyrkinn B fyrir strauminn $I_x = 5\text{mA}$. Endurtakið fyrir annað straumgildi.
2. Mælið segulsviðsstyrkinn með Gaussmæli til þess að fá samanburð við fyrri mælingu. Hvor mælingin er nákvæmari? Rökstyðjið svarið.

3.3 Mæling á segulheldni rafseguls

Hér er stafræn sveiflusjá í xy-hætti notuð til skrá mæliferil af segulsviði rafseguls á móti straumi í spólu segulsins. Sviðsstyrkurinn er mældur með GaAs Hall nemanum.

Hallspennan er tengd inn á Y-rás sveiflusjárinnar og spennummerki sem er í réttu hlutfalli við strauminn í rafseglinum inn á X-rásina. Þetta merki má fá sem spennufall yfir rafsegulinn eða straummælinn í rásinni.

Verkliðir

Notið sveiflusjána í XY-ham til að teikna kvarðaðan feril af segulsviði rafsegulsins á móti straumi í spólunni. Hvað ræður útliti hans?

Ferillinn sem kemur fram þegar rétt er farið að er aðalhringur segulheldnisferils. Takið eftir að segulsviðið er ekki eingilt fall af straumnum. Hvað gefur það til kynna? Finnið leiðir til þess að komast aftur að sama stað á grafinu, þannig að vita megum til hvaða segulsviðs straumurinn svarar hverju sinni.

4 Úrvinnsla gagna

Gagnaúrvinnsla eftir tilraunina er þríþætt.

- Skilið mælingum á Hallstuðli GaAs-nemans ásamt fullnægjandi óvissumati.
- Skilið mælingum á sviðsstyrk í sísegli ásamt fullnægjandi óvissumati.
- Skilið útprentun á segulheldniferli ásamt skýringu á útliti hans. Hvaða eðlisfræðilega merkingu hefur flatarmálið sem segulheldnisferillinn umlykur? Skilið skýringu.