

# Magnetisme

Kenneth Ramos Eikrehagen

May 12, 2018

# Innhold

<b>1</b>	<b>Introduksjon</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Teori</b>	<b>5</b>
2.1	Diamagnetisme . . . . .	6
2.2	Paramagnetisme . . . . .	7
2.3	Ferromagnetisme . . . . .	7
2.4	Avmagnetisering . . . . .	7
2.5	Hysterese . . . . .	9
2.6	Faraday effekten . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Eksperimentelt</b>	<b>10</b>
3.1	Ferromagnetisme . . . . .	11
3.2	Diamagnetisme . . . . .	12
3.3	Hysterese . . . . .	13
3.4	Faraday effekten . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Resultater</b>	<b>15</b>
4.1	Diamagnetisme . . . . .	15
4.2	Ferromagnetisme . . . . .	16
4.3	Hysterese . . . . .	19
4.4	Faraday effekten . . . . .	21
<b>5</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>24</b>
<b>Appendix</b>		<b>25</b>
<b>A</b>	<b>Utstyrsliste</b>	<b>25</b>
A.1	Diamagnetisme . . . . .	25
A.2	Ferromagnetisme . . . . .	25
A.3	Hysterese kurve . . . . .	25
A.4	Faryday-effekten . . . . .	25

## Figur liste

1	Magnetisk dipolmoment . . . . .	5
2	Illustrasjon av vismut eksperimentet . . . . .	6
3	Magnetiseringen av ferromagneter . . . . .	7

4	B- og H-felt for en uniformt magnetisert kule uten påtrykt felt.	8
5	Ellipsoider	9
6	Oppsett til ferromagnetisme	11
7	Oppsett til diamagnetisme	12
8	Oppsett til hysteresekurven	14
9	Oppsett til Faraday effekten	15
10	Graf av B-feltet til elektromagneten mot min utregnede $\chi$	17
11	Graf av B-feltet til elektromagneten mot kraften $F_z$	17
12	Sidene til magnetene	18
13	Hysteresen vi fremstille under lab-dagen	20
14	Fremstilling av B mot I	20
15	Verdet-konstant	22

## Tabell liste

1	Elektromagnet, vismutstang og vekt	16
2	Kule	19
3	Stang	19
4	Skive	19
5	Ellipsoide	19
6	Rådata av hysterese kurve	21
7	Utregnede verdier for $\Delta S$ , $\Delta B$ , B og I	21
8	Rådata for Faraday effekten	23

## Sammendrag

Innenfor temaet magnetisme skjuler det seg mange spennende fenomener. Vi skal under disse eksperimentene undersøke Diamagnetisme, ferromagnetisme, hysteresefenomenet og Faraday effekten.

Vi fant at selv om et diamagnetisk materialet har netto magnetisk moment lik null i sine atomer så blir det påvirket om i et magnetfelt. Vi observerte at ferromagnetisk material forsterket den magnetiske fluksstettheten den ble plassert i, og hvor mye fluksstettheten ble styrket kommer ann på den geometriske formen til materialet. Hvis et ferromagnetisk materialet som jern blir plassert i sentrum av en sekundærspole som igjen blir plassert i sentrum av en primærspole vil det bli indusert strøm i primærspolen. Med et program på en PC så vi at magnetiseringen til jernet laget en hysteresekurve. Vi fikk også observere Faraday effekten som innebærer at monokromatisk lys som blir sendt igjennom et flint glass i et magnetfelt blir avbøyd, avbøyningen til lyset avhenger av hvor sterkt magnetfeltet er.

## 1 Introduksjon

Magnetisme som fenomen kan spores tilbake til grekerne, de omtaler en magnetjernstein som Herkules-stein. Ordet magnet kommer sannsynligvis fra gresk „magnetos lithos”, som betyr stein fra Magnesia hvor mineralet forekom. Den første vitenskapelige undersøkelsen av magneter ble gjort på 1600 tallet av W. Gilbert som skrev en bok om temaet. Han oppdaget at en magnet har to poler, som han kalte nordpol og sørpol, der like poler frastøter hverandre og ulike tiltrekkes hverandre.

Charles-Augustin de Coulomb målte i (1784-85) kreftene mellom magnetpoler og viste at kreftene er omvendt proposjonal med kvadratet av avstanden, akkurat som for kreftene mellom elektriske ladninger og gravitasjon.

Michael Faraday hadde noen andre synspunkter enn Coulomb i læren om magnetisme. Istedent for å se på kreftene i mellom polene men kraftvirknogene i rommet rundt en magnet slik at det danner magnetiske feltlinjer. [4].

James Clerk Maxwell var personen som klarte å forklare fenomenet

matematisk og han la grunnlaget for elektromagnetisme med fire ligninger.

$$\begin{aligned}\nabla \cdot E &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \nabla \cdot B &= 0 \\ \nabla \times E &= -\frac{\partial B}{\partial t} \\ \nabla \times B &= \mu_0 \left( J + \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} \right)\end{aligned}$$

Disse fire ligningene er det full symmetri mellom elektriske og magnetiske krefter. Alle magnetfelt vi kjenner til generes av ladninger i bevegelse, og danner lukkede magnetlinjer. Vi kan dele opp magnetisme i 3 deler: ferro-, dia- og para-magnetisme. Hvilken av disse materialet tilhører kommer an på hvilken oppbygning og egenskaper materialet har.

## 2 Teori

De er uparede elektroner som gir opphav til nettospinn i et atom og dermed også et netto magnetisk moment  $\mu$  som demonstrert i figur 1. Dermed vil hvert enkelt atom fungere som en stavmagnet. Hvis dette er tilfellet sier vi at materialer er magnetisert  $M$ . Dette blir kvantisert ved ligning 1

$$M = \frac{d\mu}{dV} \quad (1)$$

der  $d\mu$  er det magnetiske momentet i et volum  $dV$ . Et magnetfelt blir definert som i ligning 2:

$$H = \frac{B}{\mu_0} - M \quad (2)$$

der  $B$  er magnetisk flukstetthet.

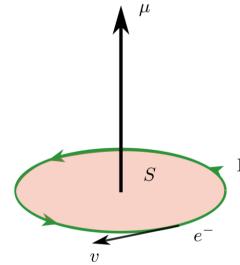


Figure 1: Illustrasjon av magnetisk dipolmoment  $\mu$  generert av en ladning som beveger seg i sirkelbane (her et elektron  $e^-$ ).  $I$  er strømmen som skyldes bevegelsen til ladningen, og  $S$  er arealet av grenset av ladningens bane.

## 2.1 Diamagnetisme

Diamagnetisme er den vanligste formen for magnetisme og forekommer når netto magnetisk moment i et atom er null, og er ikke magnetisk uten ytre påvirkning. Hvis materialet føres inn i et magnetfelt vil elektronorbitalene deformeres som gir et lite magnetisk moment. Vi sier da at den magnetiske susceptibilitet  $\chi < 0$ . Dette er en egenskap som gjelder for alle atomer. og vi kan derfor si at alle materialer er diamagnetiske.

Dette er den svakeste magnetiske kraften av de tre. Men materialer som blir omtalt som superledere er diamagneter, disse har en susceptibilitet på  $\chi = -1$  og siden den elektriske motstanden i superledere er null kan de sette opp et magnetfelt som eksakt kansellerer det påtrykte magnetfeltet.

Man kan bestemme susceptibiliteten til et slikt materialet ved hjelp av ligning 3

$$F_z = -\frac{\chi}{2\mu_0} A(B_1^2 - B_2^2) \quad (3)$$

der  $A$  er tverrsnittet til materialet og  $B_1$  er magnetisk flukstetthet ved kilden og  $B_2$  er magnetisk flukstetthet ved den enden av materialet som ikke er i magnetfeltet. Dette er illusterert i figur 2

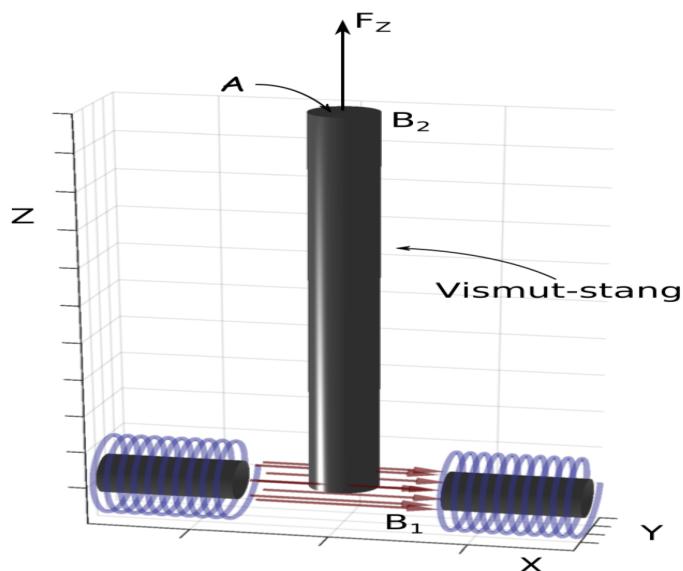


Figure 2: Illustrasjon av vismut eksperimentet,  $A$  er tverrsnittet til stanga og  $F_z$  er den magnetiske kraften som virker på stanga.

## 2.2 Paramagnetisme

Paramagnetiske materialer får kun en magnetisering når de plasseres i et ytre magnetfelt. I disse materialene så er magnetiseringen omtrent proporsjonal med styrken på det påtrykte magnetfeltet. Magnetiseringen skrives ofte som i ligning 4

$$M = \chi H \quad (4)$$

der susceptibiliteten er  $0 < \chi << 1$ . En paramagnet fungerer derfor som en svak magnetforsterker.

## 2.3 Ferromagnetisme

Et ferromagnetisk materialet vil oppføre seg veldig likt et paramagnetisk materialet i et magnetfelt, men magnetiseringen er mye større. I disse materialene er vekselvirkningen mellom de atomære dipolene så store at den klarer å opprettholde en gjennomsnittlig orientering også uten en påtrykt kraft. På grunn av dette kan vi lage en permanent magnet ved å plassere et ferromagnetisk materialet i et magnetfelt og deretter skru av magnetfeltet.

Men for et ferromagnetisk materialet er ikke  $\chi$  en material konstant,  $\chi$  vil generelt sett være avhengig av den magnetiske fluksstettheten  $B$  gjennom materialet. Magnetiseringen er derfor avhengig av geometrien til materialet og det på trykte magnetfeltet  $H$ . På figur 3 er hvordan vi forventer et ferromagnetisk materialet oppføre seg når vi utsetter materialet for et magnetfelt for så å fjerne magnetfeltet.

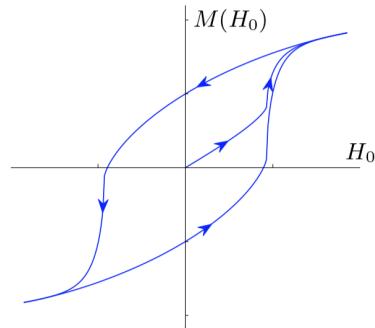


Figure 3: Skisse av hvordan vi kan forvente at et ferromagnetisk materialet vil bli magnetisert.  $M$  er magnetiseringen og  $H_0$  er det påtrykte magnetfeltet.

## 2.4 Avmagnetisering

Hvis vi tar utgang punkt i Ampere's lov:

$$\nabla \times H = 0 \quad (5)$$

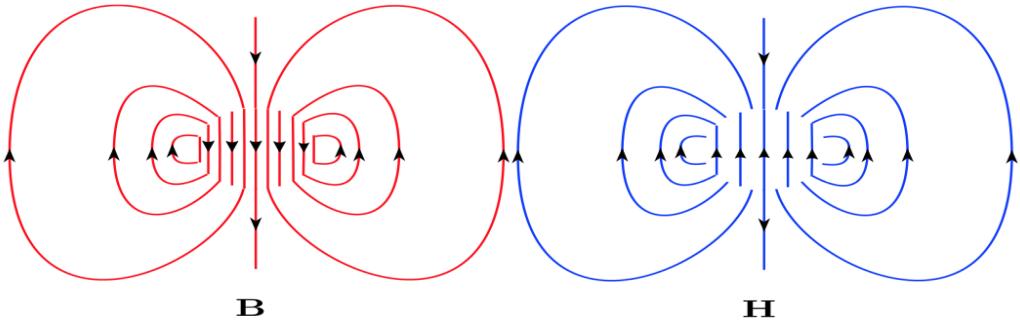


Figure 4: Illustrasjon av en kule med uniformt fordelt B-og H-felt uten påtrykt kraft utenfra. Figuren til høyre viser B-feltet og figuren til venstre viser H-feltet. Vi ser at uten for kulen er de identiske men ikke innikulen.

og Gauss lov:

$$\nabla \cdot (H + M) = 0 \quad (6)$$

og vi antar at det ikke er noen strømmer i materialet. Ampere's lov og Gauss lov må gjelde overalt, det betyr at ligning 5 på forrige side og 6 må gjelde overalt. Selv mellom to materialer som har forskjellig magnetiske egenskaper. Vi kan se på figur 4 at B-og H-feltet er forskjellig. Feltene er identisk utenfor kula men inni kula er H-feltet motsatt rettet av B-feltet. Dette feltet kaller vi avmagnetiseringsfeltet  $H_d$ . Hvis et ferromagnetisk materialet har en ellipsoide form og er uniform magnetisering kan vi finne magnetfeltet ved ligning 7

$$H_{i,d} = -D_i M_i \quad (7)$$

der  $i = x, y, z$  og  $D_i$  er avmagnetiseringsfaktoren.

H-feltet i et ferromagnetisk materialet kan også dekomponere to deler på grunn av superponering

$$H = H_0 + H_d \quad (8)$$

I ligning 8 er  $H_0$  magnetfeltet som skyldes elektriske strømmer utenfor materialet, og  $H_d$  avmagnetiseringsfeltet som motvirker ferromagnetens magnetisering  $M$ .

Vi kan regne avmagnetiseringsfaktoren for en ellipsoide, og formen til disse ellipsoidene kan begrenses til et tall. Dette tallet kalles ellipsoidens

eksentrisitet  $\epsilon$  og er gitt av ligning 9

$$\epsilon = \sqrt{1 - \frac{1}{f^2}} \quad (9)$$

der  $f$  er gitt som

$$f = \frac{a_{||}}{a_{\perp}}$$

Hvis  $\epsilon > 0$  har vi en strukket ellipsoide og hvis  $\epsilon$  er imaginær har vi en flat trykket skive. For en kule er  $\epsilon = 0$  og er et spesial tilfelle. På figur 5 kan vi se forskjellige ellipsoider med sine verdier for  $f$  og  $D_{||, \perp}$ .

Dette fører til eksperimentelle konsekvenser, vi har ingen mulighet til å måle  $H$ -feltet eller magnetiseringen inne i magneten. Om man antar uniformt magnetisering og verdiene gitt i figur 9, kan man likevel estimere dette.  $H$  og  $M$  er lineære funksjoner av magnetisk fluksstetthet  $B$  og ved hjelp av ligning 10 og 11 kan vi finne disse verdiene.

$$\mu_0 M = A \Delta B = A(B - B_0) \quad (10)$$

$$\mu_0 H = B_0 + (1 - A) \Delta B = A(B_0 - DB) \quad (11)$$

der  $A = (1 - D)^{-1}$  og  $D = D_{||}$  eller  $D_{\perp}$ . Vi kan også finne susceptibiliteten for magneten ved ligning 12

$$\chi = \frac{M}{H} = \frac{B - B_0}{B_0 - DB} \quad (12)$$

dette gjelder for alle ferromagnetiske materialer.

## 2.5 Hysterese

Hysterese er et fenomen som fremkommer når en tilstandsendring fra en ytre påvirkning ikke blir borte når påvirkningen fjernes. Magnetisk

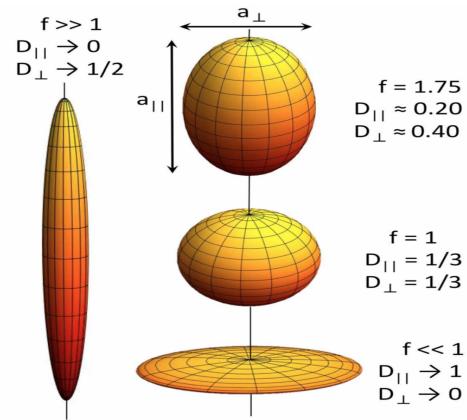


Figure 5: Ellipsoider som er rotasjonssymmetriske, med  $f > 1$  som ligner en „stang”,  $f = 1$  som er en kule og  $f \ll 1$  som ligner en „skive”.

hysterese fremkommer derfor for ferromagnetiske materialer som for eksempel jern [3], se figur 3 på side 7.

For en magnetisk hysterese kan vi finne endringen av magnetisk fluksstetthet ( $\Delta B$ ) ved hjelp av ligning 13

$$\Delta B = \frac{\kappa \Delta S}{nA} \quad (13)$$

der  $\kappa$  er kalibreringskonstant,  $\Delta S$  er verdien spenningsgeneratoren oppgir,  $n$  er antall viklinger på sekundærspolen og  $A$  er tversnittet til sekundærspolen. Videre kan vi bruke dette til å regne ut den magnetiske fluksstetheten med ligning 14

$$B = \frac{\Delta B}{2} \quad (14)$$

faktoren  $\frac{1}{2}$  skyldes symmetri rundt  $I = 0$ .

## 2.6 Faraday effekten

Faraday effekten er et magneto-optisk fenomen som viser at lys og elektromagnetisme henger sammen, Faraday oppdaget dette fenomenet i 1845. Han observerte at polarisasjonsretningen til lys som gikk igjennom en krystall endret seg med styrken til magnetfeltet krystallen var plassert i [2]. Styrken på Faraday effekten for et bestemt materialet måles med en konstant kalt Verdet-konstant. Denne konstanten er uavhengig av lengden  $L$  til materialet eller magnetfeltet  $B$  flint glasset er plassert i. Den avhenger dog av bølgelengden til materialet den kommer fra. Vi kan finne denne konstanten ved hjel av ligning 15 på side 22

$$V(\lambda) = \frac{\theta(\lambda, B, L)}{LB} \quad (15)$$

der  $V(\lambda)$  er Verdet-konstanten,  $\theta$  er dreiningen av polarisasjons retningen,  $L$  er lengden til flint glasset og  $B$  er magnetfeltet.

## 3 Eksperimentelt

Lab partner under disse eksperimentene var Eirik Frøyli og Eirik Oalv Haugen.

### 3.1 Ferromagnetisme

Første eksperimentet vi utførte var ferromagnetisme og vi startet med å gjøre oss kjent med utstyret. Vi hadde fått ut delt 4 magneter med forskjellig form, en kule, en ellipsoide, en skive og en stang. Stangen kunne vi tilnærme til en ellipsoide slik at vi kunne bruke figur 5 på side 9 til å finne verdiene for  $f$ ,  $D_{||}$  og  $D_{\perp}$ . På figur 6 er oppsettet vi brukte under dette eksperimentet. Utstyret vi brukte under dette eksperimentet ser du i apendikset under seksjon A.2.

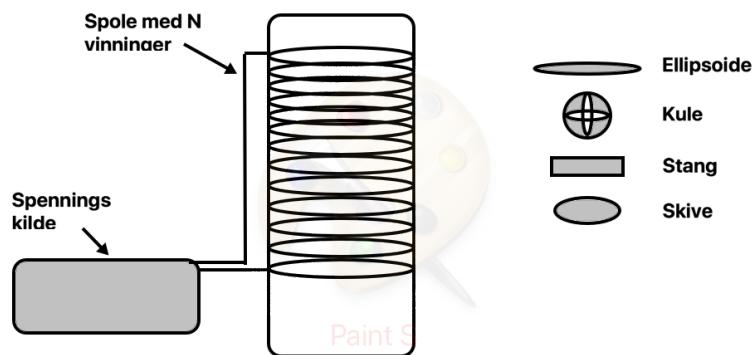


Figure 6: Skisse av hvordan oppsettet var for ferromagnetisme eksperimentet.

Vi skulle plassere objektene i midten av en spole som hadde  $N = 244$  vindinger av en ledning som leder strøm. Dette skaper et homogent magnetfelt inne i spolen når strømmen er skrudd på. Vi skulle måle den magnetiske fluksstettheten rundt objektene. Det første vi målte var magnetisk fluksstetthet  $B$  inne i spolen uten noe for å finne  $B_0$ . Deretter fant vi den maksimale verdien til objektene ved å få måleinstrumentet parallellt med magnetfelt linjene. Siden vi ikke ser disse linjene måtte vi tenke oss hvordan det er i teorien (se figur 4 på side 8). Kula, stanga og skiva snudde vi 4 ganger og målte de maksimale verdiene til  $B$ -feltet for hver av sidene. Ellipsoiden var for lang til at vi kunne legge den på tvers derfor målte vi bare for topp og bunn for denne magneten. Det siste vi skulle gjøre er å se om målingene vi har gjort stemmer overens med teorien.

### 3.2 Diamagnetisme

Vi startet med å gjøre oss kjent med utstyret vi skulle anvende under dette eksperimentet. Utstyret som vi hadde finner du i appendikset under seksjon A.1. Oppsettet vi brukte er skissert i figur 7.

Vismut staven var (v.h.a en snor) festet til en stang som lå over en vekt, i andre enden av stangen var et lodd som utlignet vekten til vismut staven slik at den lå stabilt over vekten. Vismut stangen hang i mellom polene til en elektromagnet. Vi målte tverrsnittet til vismut staven med et skyelær og nullstilte vekten før vi skrudde på elektromagneten. Deretter gjorde vi målinger av  $B$ -feltet i mellom polene til elektromagneten og på toppen av vismut staven, i tillegg noterte vi oss vekten endringen til staven. Med dataen vi samlet inn skulle vi bestemme vismut staven sin susceptibilitet  $\chi$ . Jeg anvendte ligning 3 for å finne  $\chi$ . Med litt omregning er  $\chi$  gitt ved ligning 16

$$\chi = -\frac{2\mu_0 F_z}{A(B_1^2 - B_2^2)} \quad (16)$$

der  $F_z$  er kraften som medfører vekt endringen til vismutstaven.

$$F_z = ma = mg$$

der  $m$  er masse endringen og  $g$  er gravitasjonskonstanten på jorda.

Jeg skulle også se sammenligne resultatet fra ligning 16 med å anta at det var en lineær sammenheng mellom magnetfeltet til elektromagneten og kraften som dyster vismutstangen opp.

Usikkerheten til utstyret vi brukte her var 0.05mm for skyvelæret, 0.03g for vekten og

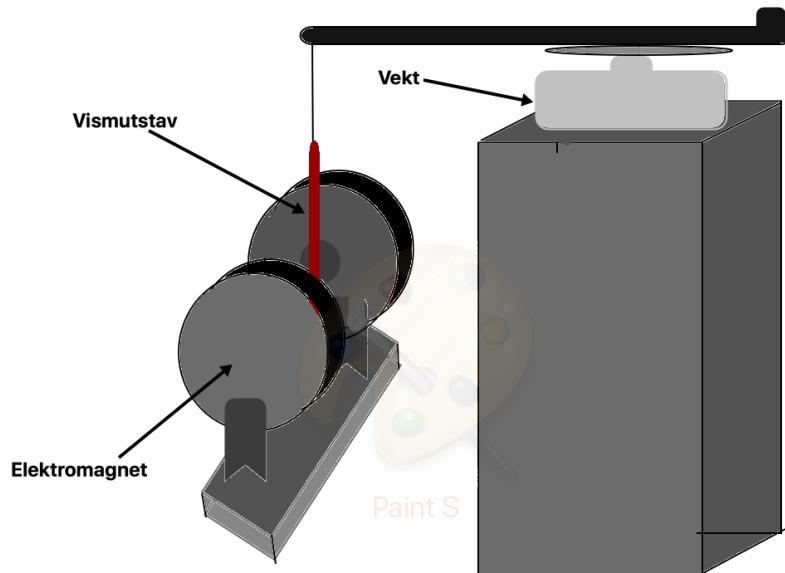


Figure 7: Skisse av hvordan oppsettet var for diamagnetisme eksperimentet.

### 3.3 Hysterese

Før vi startet gjorde vi oss kjent med utstyret vi skulle anvende under dette eksperimentet. Vi noterte ned alle konstantene som var oppgitt på instrumentene vi skulle bruke fordi vi har bruk for disse under utregningene våres etter eksperimentet er utført.

Vi skulle plassere en jernstang i sentrum av sekundærspolen og igjen plassere sekundærspolen i sentrum av primærspolen. Sekundærspolen var koblet til en spenningsintegrator som igjen var koblet til en effektførsterker og en signal generator, primærspolen var koblet sammen med en pc som hadde en programvare som målte strømmen som gikk igjennom spolen grunnet magnetismen fra sekundærspolen og jernstangen. Oppsette for dette eksperimentet er illustrert i figur 8 på neste side

Vi gjorde deretter 8 målinger der  $I \in [4.0, 0.5]A$  var uniformt fordelt.

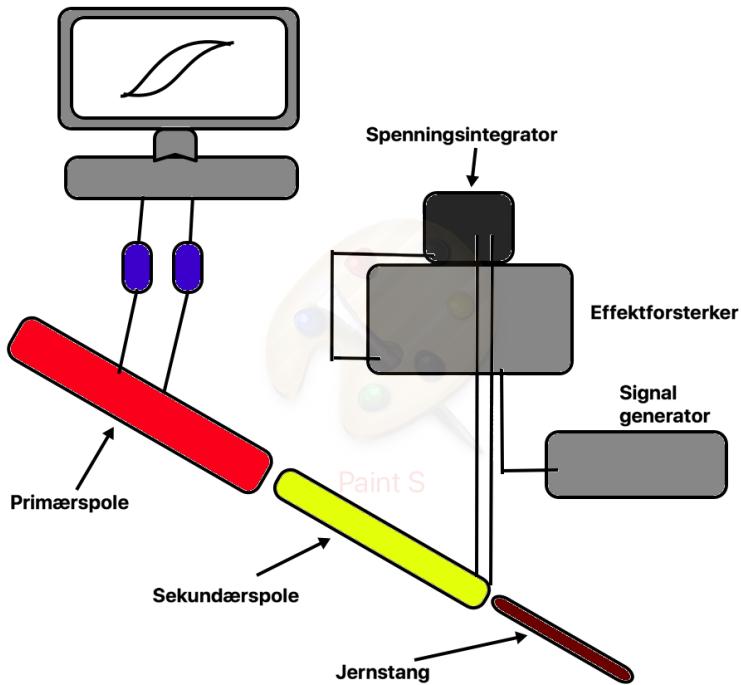


Figure 8: Oppsettet vi brukte for å generere en hysteresekurve. Jernstangen ble plassert i sentrum av sekundærspolen og plasserte deretter sekundærspolen i sentrum av primærspolen.

Vi noterte ned verdien til spenningsintegratoren og strømmen  $I$  i topp og bunnpunktet til hysterekurven. Vi brukte gjennomsnittet av absolutt verdiene i ligning 13 til å regne ut endringen i magnetisk fluksstetthet. Tilslutt laget vi oss en figur som viser målepunktene vi fikk for den magnetiske fluksstetheten ved hjelp av ligning 14.

### 3.4 Faraday effekten

Under dette eksperimentet skal vi undersøke Faraday effekten (se teori). Oppsettet vi brukte for å observere dette ser du i figur 9 på neste side

Vi startet med å gjøre oss kjent med utstyret og noterte ned strøm og magnetfelt forholdet til utstyret. Polariseringsfiltrene er innstilt slik at  $0^\circ$  er øverst på filteret slik at vi måler vinklene  $-^\circ$  mot venstre og  $+^\circ$  mot

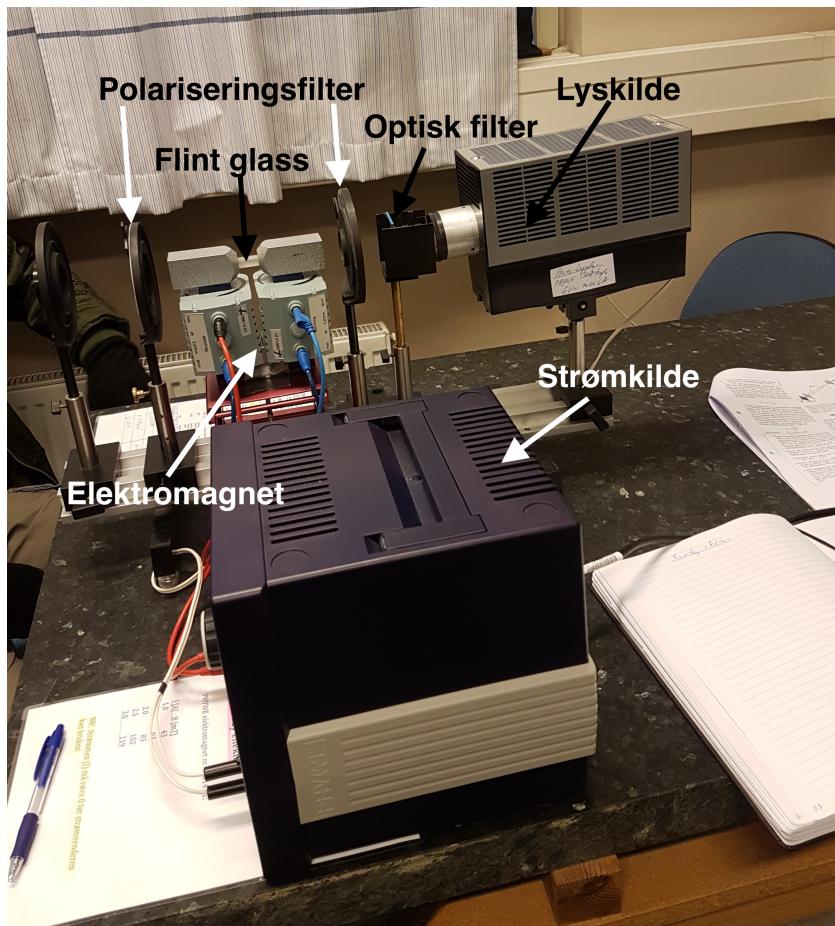


Figure 9: Oppsettet til eksperimentet Faraday effekten.

høyre. Vi stilte inn første polariseringsfilter (nærmet lyskilden) til  $-41^\circ$ . For at vi skulle kunne observere lyset på best mulig måte måtte vi fjerne mest mulig lys støy. Vi lukket alle gardiner og skrudde av lyset før vi skrudde på apparaturen. Det andre polariseringsfilteret ble så justert slik at vi så mest mulig lys passere gjennom krystallen. Deretter justerte vi polariseringsfilteret til det ikke kom noe lys gjennom filteret og noterte ned vinkelen. Vi skulle så gjenta dette for 10 uniformt fordelt strømstyrker  $I \in [3.0, -3.0] \text{ A}$ . Når vi skulle endre strømstyrken måtte vi passe på at det ikke var noe strøm som gikk igjennom apparaturen. Rådataen vi samlet inn her skulle vi bruke til å finne Verdet-konstanten til det optiske filteret vi brukte.

## 4 Resultater

### 4.1 Diamagnetisme

Tverrsnittet av vismut-prøven ble målt til  $A = 10.2 \pm 0.05 \text{ mm}$ . Dataen jeg samlet inn for diamagnetisme finner du i tabell 1 på neste side. Grafen jeg fikk da jeg plottet B-feltet til elektromagneten mot min utregnede verdi for  $\chi$  er i figur 10 på neste side. Stigningstallet til lineær regresjonen er  $-1.53 \pm 0.37 \text{ Tm}$  og er det jeg fant at var verdien for  $\chi$  til vismut-prøven jeg hadde var.

Plottet jeg fikk da jeg skulle anta at det var en lineær sammenheng mellom kraften til elektromagneten og kraften som dyttet vismutstangen opp ser du i figur 11 på neste side. Her er stigningstallet til lineær regresjonen  $-3.89 * 10^{-3} \pm 0.27 * 10^{-3}$ .

Table 1: Målinger gjort med en vismutstang plassert i mellom polene til en elektromagnet. Vismutstangen er festet til en stang ved hjelp av hyssing og stangen er plassert på en vekt.

$I \text{ A}$	$B_1 \text{ mT}$	$B_2 \text{ mT}$	Vekt g	$\chi \mu\text{Tm}$	$F_z \text{ mN}$
0.0	$17.8 \pm 0.01$	$0.3 \pm 0.01$	$0.00 \pm 0.03$	0.00	0.00
0.2	$100.0 \pm 1.01$	$0.5 \pm 0.01$	$-0.02 \pm 0.03$	0.49	0.20
0.4	$186.0 \pm 1.01$	$1.0 \pm 0.01$	$-0.03 \pm 0.03$	0.21	0.29
0.6	$278.0 \pm 0.51$	$1.5 \pm 0.11$	$-0.05 \pm 0.03$	0.16	0.49
0.8	$368.0 \pm 1.01$	$1.8 \pm 0.11$	$-0.08 \pm 0.03$	0.15	0.78
1.0	$443.0 \pm 1.01$	$2.1 \pm 0.11$	$-0.10 \pm 0.03$	0.13	0.98
1.2	$510.0 \pm 1.01$	$2.3 \pm 0.11$	$-0.13 \pm 0.03$	0.12	1.28
1.4	$577.0 \pm 1.01$	$2.6 \pm 0.11$	$-0.17 \pm 0.03$	0.13	1.67
1.6	$636.0 \pm 1.01$	$2.3 \pm 0.11$	$-0.21 \pm 0.03$	0.13	2.06
1.8	$690.0 \pm 1.01$	$2.2 \pm 0.11$	$-0.23 \pm 0.03$	0.12	2.26
2.0	$728.0 \pm 1.01$	$2.2 \pm 0.11$	$-0.26 \pm 0.03$	0.12	2.55
2.2	$766.0 \pm 1.01$	$2.3 \pm 0.11$	$-0.28 \pm 0.03$	0.12	2.75
2.4	$800.0 \pm 1.01$	$2.2 \pm 0.11$	$-0.31 \pm 0.03$	0.12	3.04

### 4.2 Ferromagnetisme

Dataen vi samlet inn for ferromagnetisme er i tabellene 2, 3, 4 og 5 på side 19. Hvilke sider som representerer hva er illustrert i figur 12 på side 18. Verdien for magnetisk fluksstetthet B uten ferromagneter i sentrum var  $B = 5.1 \text{ mT}$

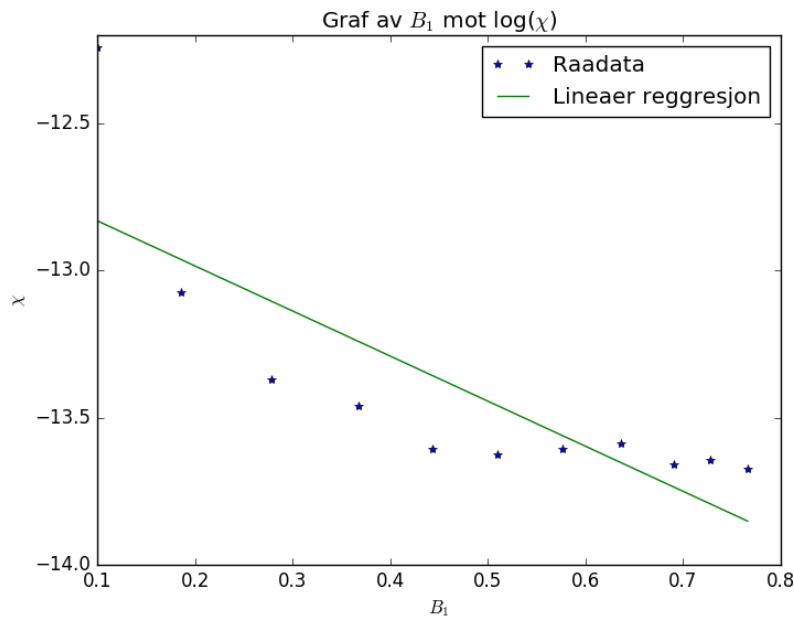


Figure 10: Graf av B-feltet til elektromagneten mot min utregnede verdi av  $\chi$  plottet med lineær regresjon. Her er aksene logaritmen til verdiene.

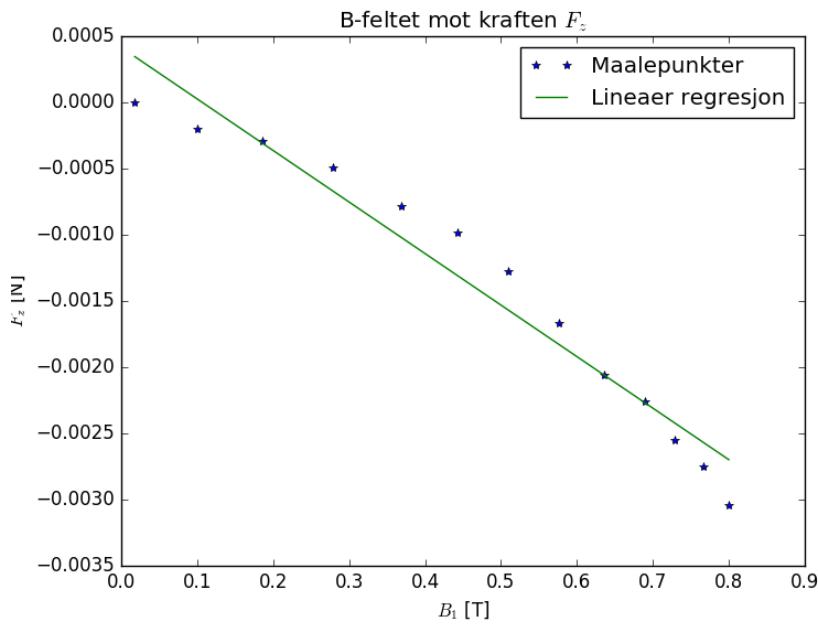


Figure 11: Graf av magnetfeltet generert av elektromagneten  $B_1$  mot kraften som dyster vismut-prøven opp  $F_z$

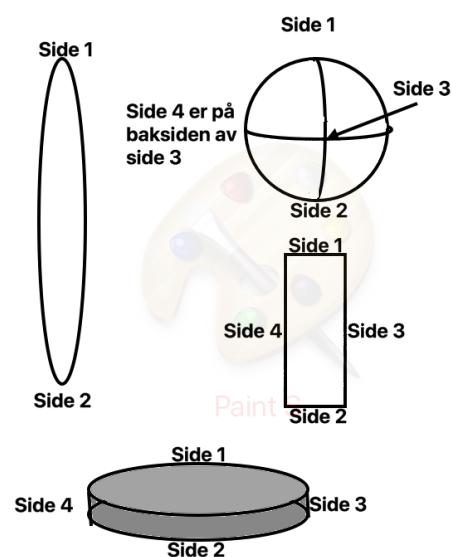


Figure 12: Skisse av hvilken side som representerer hva i tabell 2, 3, 4, 5 på neste side

Table 2: Målinger for en kule plassert omtrent i midten inni en spole

side	B mT	I A
1	14.9	5
2	14.1	5
3	14.1	5
4	13.9	5

Table 4: Målinger for en skive plassert omtrent i midten inni en spole

side	B mT	I A
1	5.6	5
2	5.6	5
3	16.8	5
4	17.2	5

Table 3: Målinger for en stang plassert omtrent i midten inni en spole

side	B mT	I A
1	19.9	5
2	19.9	5
3	7.2	5
4	7.5	5

Table 5: Målinger for en ellipsoide plassert omtrent i midten inni en spole

side	B mT	I A
1	$75.2 \pm 0.2$	5
2	$74.4 \pm 0.2$	5

### 4.3 Hysterese

Dataen vi samlet inn for magnetisk hysterese finnes i tabell 6 på side 21. Konstantene jeg trenger i ligning 13 er

$$\kappa = 1.01 \mu Wb \quad D = 10 \quad \mu_0 = 2\pi * 10^{-7} \frac{Tm}{A}$$

Primærspolen:

$$n_1 = 344 \quad L = 315mm$$

der  $n_1$  er antall viklinger og L er lengden vinklingene er spent over. Sekundærspolen

$$n_2 = 130 \quad A = 6.5mm$$

der  $n_2$  er antall viklinger og A er tverrsnittet til spolen.

1 av de 8 hysteresene vi framstilte under eksperimentet ser du i figur 13 på neste side. I tabell 7 på side 21 er de utregnede verdiene jeg fant fra rådataen der  $I_p$  er strømmen igjennom primærspolen,  $\Delta S$  er integrator skalasvlesningen,  $\Delta B$  er forandring i magnetisk fluksstetthet og B er magnetisk fluksstettheten i spolen. På figur 14 på neste side ser du strøm i primærspolen plottet mot magnetisk fluksstetthet.

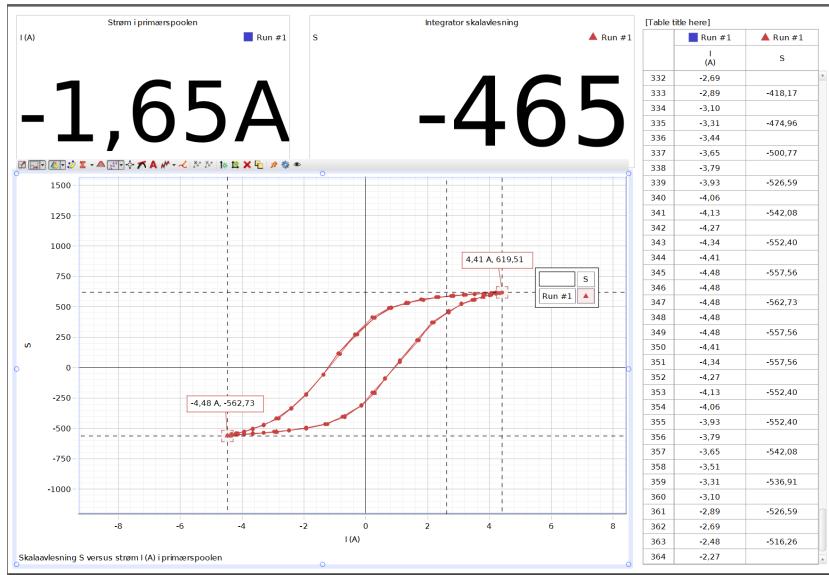


Figure 13: Dette er en av de 8 hysteresekurvene vi fremstilte under eksperimentet

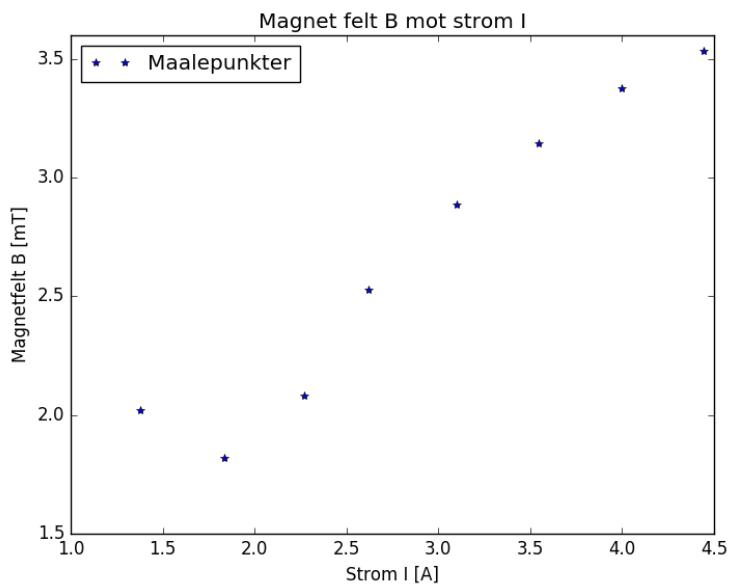


Figure 14: Fremstilling av magnetfeltet B mot strømmen I.

Table 6: Oversikt over verdiene til hysteresekurven som ble laget ved hjelp av ferromagnetisme

$I_0$ A	$S_{top}$	$S_{bunn}$	$I_{top}$ A	$I_{bunn}$ A	SG
$\pm 4.0$	619.51	-562.73	4.41	-4.48	1.0
$\pm 3.5$	449.15	-681.47	3.93	-4.06	0.9
$\pm 3.0$	387.20	-665.98	3.51	-3.58	0.8
$\pm 2.5$	314.92	-650.49	3.03	-2.55	0.7
$\pm 2.0$	227.16	-619.51	2.55	-2.69	0.6
$\pm 1.5$	118.74	-578.21	2.20	-2.34	0.5
$\pm 1.0$	-51.63	-557.56	1.74	-1.92	0.4
$\pm 0.5$	-191.02	-485.29	1.31	-1.45	0.3

Table 7: Her er de utregnede verdiene for  $\Delta S$ ,  $\Delta B$ ,  $B$  og  $I_p$

$\Delta S$	$\Delta B$ mT	$B$ mT	$I_p$ [A]
591.12	7.07	3.53	4.45
565.31	6.76	3.38	4.00
526.59	6.29	3.15	3.55
482.71	5.77	2.88	3.10
423.34	5.06	2.52	2.62
348.48	4.17	2.08	2.27
304.60	3.64	1.82	1.84
338.16	4.04	2.02	1.38

#### 4.4 Faraday effekten

Første polariseringsfilter ble stilt inn på  $-41^\circ$ . Vinklene og strømstyrken vi brukte under eksperimentet Faraday effekten er i tabell 8 på side 23. Verdet konstanten jeg fant for monokromatisk lys med en bølgelengde  $\lambda = 595$  er  $V(\lambda) = -0.31 \pm 0.07$ . Jeg plottet mine utregnede verdier for Verdetkonstanten mot magnetisk fluksstetthet i elektromagneten. Dette ser du i figur 15 på neste side

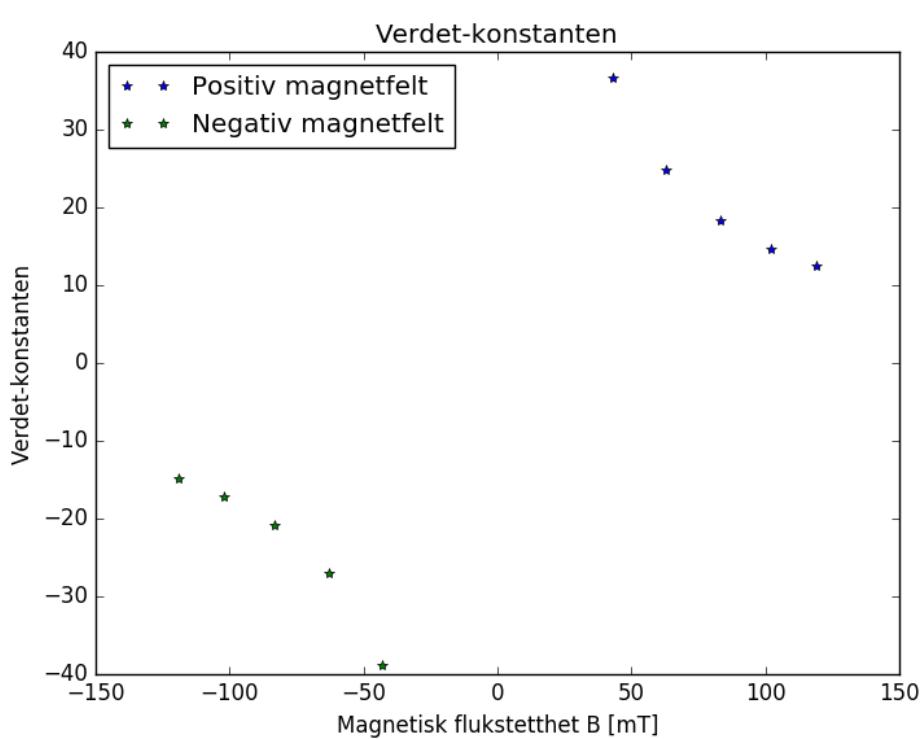


Figure 15: Dette plottet viser magnetisk flukstetthet plottet mot utregnet verdi for Verdet-konstanten

Table 8: Dataen vi samlet inn under Faraday effekten.  $\theta_1$  er vinkelen vi målte for positiv strøm retning og  $\theta_2$  er vinkelen vi målte for negativ strøm retning

$I$ A	$B$ mT	$\theta_1$	$I$ A	$B$ mT	$\theta_2$
3.0	119.0	44.6°	-3.0	-119.0	53.0°
2.5	102.0	44.8°	-2.5	-102.0	52.6°
2.0	83.0	45.6°	-2.0	-83.0	52.0°
1.5	63.0	46.8°	-1.5	-63.0	51.0°
1.0	43.0	47.4°	-1.0	-43.0	50.0°
0	0	49.0°	0	0	49.0°

## 5 Diskusjon

Nå jeg sammenligner hva jeg fant for magnetisk susceptibilitet ( $\chi$ ) for vismut med hva andre har funnet ser jeg at jeg har bommet veldig mye. Den egentlige verdien er  $\chi = -1.6 * 10^{-4}$  men jeg hadde  $\chi = -1.53 \pm 0.37$ . Tallet jeg får for min verdi av  $\chi$  kunne ha vært innen for et standard avvik på  $\pm 0.37$  om jeg ikke hadde bommet med størrelse orden på  $10^3$ . Dette betyr at noe har gått feil under mine beregninger.

Om jeg antar at  $B_2 = 0$  har ingen ting å si på mine resultater, implementerer jeg dette så forandrer ikke grafene eller verdien for  $\chi$  seg. Så jeg kan med god tilnærming anta at  $B_2 = 0$ . På figur 11 på side 17 er hva jeg får når jeg antar lineær sammenheng mellom  $F_z$  og  $B_1$ . Vi kan se på figuren at de er ganske lineære. Stigningstallet til denne sammenhengen passer mye bedre overens med hva som er funnet for susceptibilitet for vismut. Her bommer jeg med en størrelse orden på 10, som er bedre enn hva jeg fant ved hjelp av ligning 16 på side 13.

Når jeg målte magnetisk flukstetthet med ferromagnetiske materialer med ulik form fant jeg at de ferromagnetiske materialene uavhengig av form forsterket den magnetiske flukstettheten i spolen. Teorien sier at et ferromagnetisk materialet vil forsterke et magnetisk flukstetthet den befinner seg i, men styrken den forsterker flukstettheten avhenger av hvor mye magnetiskflukstetthet som strømmer igjennom materialet og den geometriske formen den har. Om vi ser på tabellene 2,3,4 og 5 på side 19 ser vi at dette stemmer.

For hystereseksperimentet er plasseringen av jernstangen en årsak til feil i målingene. Siden stangen ligger helt intil spolen på den ene siden til spolen (siden ned mot bordet) vil vi ikke kunne få maksimal effekt fra materialet.

## 6 Konklusjon

Vi fant at ferromagnetiske materialer styrker den magnetiske flukstettheten den blir plassert i, og hvor mye den styrker flukstettheten avhenger av den geometriske formen til materialet. Magnetiseringen i et ferromagnetisk materiale følger en hysterese kurve som betyr at den beholder noe av magnetiseringen selv om den blir fjernet fra det påtrykte magnetfeltet.

Selv om det er netto magnetisk moment lik null i et diamagnetisk materialet blir det påvirket av et magnetfelt, vi så at vekten til en vismut-stav ble mindre når den var plassert i et magnetfelt.

Under Faraday eksperimentet observerte jeg at monokromatisk lys som blir sendt gjennom et flint glass blir avbøyd. Avbøyningen avhenger av styrken til magnetfeltet krystallen befinner seg i.

Å gjøre eksperimenter med magnetisme var veldig interresant. Selv om jeg følte at mer kunnskap om Verdet-konstanten, hvordan finne magnetiseringen  $M$  som funksjon av  $H$ -feltet og den magnetiske susceptibiliteten hadde hjulpet meg mye under disse eksperimentene. Dermed når jeg skulle finne susceptibiliteten til vismut-stangen så bommet jeg med en størrelse orden på  $10^3$ , jeg prøvde å finne en måte å finne magnetiseringen som funksjon av  $H$ -feltet men ingenting av hva jeg fant ga noe mening. Jeg brukte en lineær regresjon til å finne verdet konstanten men vet ikke om det var riktig fremgangs måte.

## References

- [1] G.L.Squires *Practical physics* fourth edition 2001
- [2] Fysisk institutt, UiO, oppgave tekst *Magnetisme* Sist endret 09. April 2018.
- [3] <https://snl.no/hysterese>
- [4] <https://snl.no/magnetisme>
- [5] Stor takk til laboratorie-assistenter

# Appendix

## A Utstyrsliste

### A.1 Diamagnetisme

- Vismut stav
- Vekt Highland HCB602H (AE-adam)
- Strømkilde SM3004-D
- Elektromagnet 0005322 UND
- Meterstokk
- Skyvelær

### A.2 Ferromagnetisme

- Smart magnetic sensor (SMS102) TEL-Atomic Inc
- Strømkilde ES 030-5
- Meterstokk
- Skyvelær
- Spole
- Magneter
  - Ellipse-form
  - Kule-form
  - Stang-form
  - Skive-form

### A.3 Hysterese kurve

- PC
- Integrator
- Signal generator TG1006 DDS-Function generator
- Effekt forsterker for hysterese
- Jernstang
- 2 spoler

### A.4 Faryday-effekten

- Stømkilde PAYWE Stelltrafo
- 2 polariserings filter
- PHYWE elektromagnet 06514.01
- Flint glass
- Optisk filter
- Amperemeter