



UPPSALA
UNIVERSITET

Inst. för Fysik och
astronomi

INSTRUKTION TILL LABORATIONEN

MAGNETISKA FÄLT

för kursen Elektromagnetism I

FÖRFATTARE: Ola Hartmann

DATUM: Version 2010/2011

MÅLSÄTTNING: Målsättningen är att

- experimentellt undersöka magnetiska fältbilder kring några enkla spolar m.m.
- undersöka hur dessa överensstämmer med teoretiskt framräknade.
- redovisa mätningar och beräkningar skriftligt

INNEHÅLL:

1. Beskrivning av laborationen
2. Tips inför rapportskrivningen
3. Appendix om Hall-plattor

SEPARAT BILAGA: Elektriska vektorberäkningar i MATLAB

FÖRBEREDANDE:

- a. Beräkna (analytiskt) fältet längs axeln av kort spole
- b. Studera beräkningsbilagan **före** labtillfället !

LITTERATUR-
HÄNVISNING:

Young-Freedman: *University Physics*
Alonso-Finn: *Fields and waves*
Lorrain-Corson: *Electromagnetism, Principles and Applications*

Laborationen Magnetiska Fält (för EM 1 2010-11)

Uppgifter.

I laboratoriet finns några olika typer spolar. Huvuduppgiften i laborationen är att studera fältbilderna kring en kort cirkulär spole, dels experimentellt, dels teoretiskt. Om tiden medger kan även en solenoid ("halvlång" spole), samt ett par av korta spolar, (Helmholtzspole) studeras.

Förberedande uppgift: Beräkna förväntad flödestäthet \mathbf{B} (lämplig enhet $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$) längs axeln för en kort spole $R = 15,5 \text{ cm}$, $N=150$ varv, $I = 1,0 \text{ A}$. Beräkna i punkter längs axeln i steg om 1 cm ut ca 20 cm från centrum åt båda håll. Analytisk formel finns i läroboken eller Phys.Handbook, och formeln bör (skall) om möjligt programmeras i Matlab.

Experiment: Den experimentella delen (1,5-2 tim) består i att bestämma magnetiska flödestätheten \mathbf{B} kring respektive konfiguration

Mätningen av \mathbf{B} -fältet sker med Hall-platta. Hallplattan är en enkel och lätthanterlig sond för magnetiska fält. *Notera att Hallplattan är känslig för dess orientering i fältet*

Hallplattans funktion, och den aktuella mätutrustningen är närmare beskriven i Appendix.

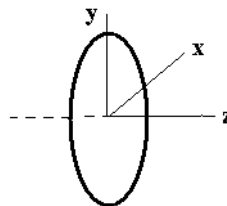
Beräkningar: (1,5-2 tim). Beräkningar av flödestätheten \mathbf{B} kan göras analytiskt endast längs axeln av spolarna. För övriga beräkningar måste numerisk beräkning ske. Detta göres lämpligen med MATLAB. Se nästa sida, samt separat bilaga "Elektriska vektorberäkningar i MATLAB".

EXPERIMENTELLA UPPGIFTER:

För att mata ström genom spolarna används ett kraftaggregat för likspänning ($30 \text{ V} / 2 \text{ A}$) som är nätanslutet. Man bör inte överskrida $1,5 \text{ A}$ i någon av spolarna. För jämförelse mellan teori experiment kan det vara lämpligt att bestämma sig för t.ex strömstyrkan $I=1,0 \text{ A}$. OBS. Mät strömstyrkan med multimeter (DMM). \mathbf{B} -fältet mäts med Hall-prob. Glöm inte nollställningen (Appendix 2). Använd separat 'probe-hållare' utanpå plexiglasröret för bättre stabilitet.

1. Kort cirkulär spole:

Dimensioner: radie $15,5 \text{ cm}$, antal varv $N = 150$
Lindningens bredd (ca 2 cm) anses försumbar.



1 A. Mät fältet $\mathbf{B}(0,0,z)$ i olika positioner z längs spolens axel. Observera att Hall-proben bara kan mäta fältkomponenten längs plexiglasrörets axel, dvs uppmätt $\mathbf{B} = \mathbf{B}_z$, vilket ju även är fältets riktning i detta fall. Välj steg om 2 cm åt båda håll ut till ca 20 cm från centrum. Rita upp resultatet. Detta skall jämföras med förväntade styrkor på fältet. (Förberedande uppgift !)

1 B. Mät fältet $\mathbf{B}(x,0,0)$ i olika positioner x , vinkelrätt spolens axel vid $z=0$, dvs i spolens plan. Det finns 7-8 förberedda mätpositioner, i x -ledd åt vardera hållet. Komplettera med ett par mätpunkter utanför spolens omkrets !! Även här kommer \mathbf{B} -fältet ligga i z -ledd, dvs $\mathbf{B} = \mathbf{B}_z$. Här finns inget analytiskt uttryck att tillgå, utan resultaten skall senare jämföras med numeriskt beräknade värden (Matlab).

Fler uppgifter om tiden medger:

1 C. Mät fältet $\mathbf{B}(\mathbf{x},0,\mathbf{z})$ i olika positioner i xz-planet, dvs kartlägg fältbilden i en kvadrant genom att mäta en serie punkter i ett rutnät med lämpligen 3-4 cm avstånd i x och z. Använd gärna probe-hållaren för bättre stabilitet. Fortfarande ger Hall-proben bara flödestätheten \mathbf{B} längs rörets riktning, dvs uppmätt fält $\mathbf{B} = \mathbf{B}_z$. Försök mäta övriga fältkomponenter (\mathbf{B}_x) i någon eller några punkter. \mathbf{B}_y bör fortfarande vara noll pga symmetri.

2A. "Halvlång spole" (Solenoid). Mät upp spolens dimensioner dvs längd och radie. Antal varv $N = 335$. Mät \mathbf{B} -fältet ($B=B_z$) längs axeln, i och utanför spolen i steg om 2 cm, samt jämför med teori (analytiskt uttryck, se Physics Handbook)

2B. Helmholtz-spole. (2 spolar, $N=150$, $R=15,5$ cm)
Två korta spolar med gemensam axel, kopplas ihop så att avståndet mellan dem är lika stort som deras radie, och en ström skickas åt samma håll i de båda spolarna. Detta arrangemang förväntas ge ett relativt homogent \mathbf{B} -fält i en liten volym kring centrum mitt mellan spolarna. (Detta arrangemang används flitigt inom forskningen).
Mät \mathbf{B} -fältet ($B=B_z$) längs axeln mellan spolarna, samt i området kring den gemensamma mittpunkten (2-4 cm åt vardera hållet i x och z-ledd).

BERÄKNINGSUPPGIFTER:

Utför i första hand beräkningar av \mathbf{B} -fältet kring en kort spole, motsvarande uppgift **1A och 1B** (gärna även **1C**). Använd de dimensioner och de mätpunkter i xz-planet som anges i experimentdelen.

Anvisningar för hur man med numeriska metoder tillämpar Biot-Savarts lag och integrerar bidragen $d\mathbf{B}$ från ett antal bitar $d\mathbf{s}$ av spolens omkrets finns i separat bilaga, "Elektriska vektorberäkningar i MATLAB".

REDOVISNING

Redovisningen sker i form av "**kort fullständig rapport**" (grön framsida). I rapporten ska finnas beskrivning av mätningen, mätresultat och jämförelse med beräknade värden (i grafer för uppgift **1A och 1B**). Uppgift **1C** kan redovisas i tabellform, eventuellt i några enkla grafer. Obs att använda funktionen meshgrid() enligt förslag i bilaga, medför lite mer komplicerad programmering och är inte nödvändigt för redovisningen.

Bifoga utskrifter av fungerande Matlab-program, och tillhörande grafer !

Appendix 1.

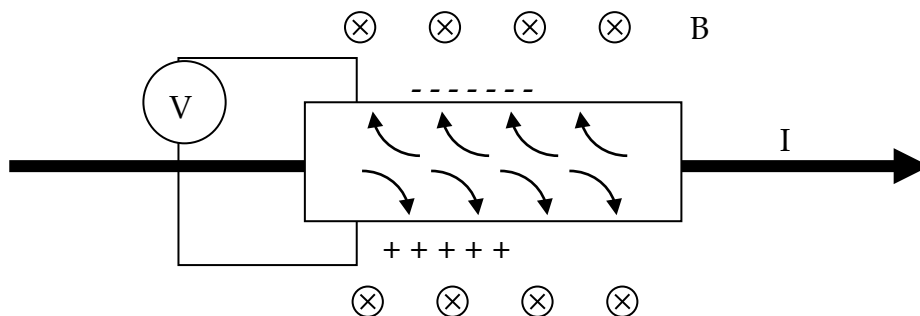
Mätning av magnetisk flödestäthet

Det finns flera sätt att mäta magnetisk flödestäthet

- Dykspole
- Hallplatta
- NMR-prob

Dykspolen baseras på Faradays induktionslag. Genom att föra en (liten) spole från ett område med flödestäthet B_1 till B_2 kan skillnaden i fält bestämmas om man integrerar den ström som orsakas av flödesförändringen. I dag har denna teknik i stort ersatts av mätning med Hallplatta

Hallplattan, (se Y-F kap. 28-10) består av en halvledarplatta som man driver en ström genom med en extern spänningskälla. Ledningen i materialet sker dels elektroner, dels med (positiva) ”hål”. När laddningarna drivs genom fältet kommer de att avböjas p g a kraftverkan och det uppstår en spänningsskillnad över plattan, figuren nedan.



Spänningen över Hallplattan är proportionell mot strömmen genom plattan och mot flödestätheten. Hallplattan är en enkel och lätthanterlig sond för magnetiska fält. *Notera att Hallplattan är känslig för dess orientering i fältet!*

NMR är en komplicerad metod som används för avancerade mätningar och stabilisering av magnetiska fält till $1:10^{-7} - 10^{-9}$ och används företrädesvis i avancerade mätningar

Mätutrustning

I laboratoriet finns några olika utföranden av Hallplattor. Välj lämplig typ. I Appendix 2 finns anvisningar om hur de används. Notera att sond och förstärkare är kalibrerade mot varandra (anges med ett nummer på sond och förstärkare).

Kalibrering av mätutrustningen (kontroll 2009).

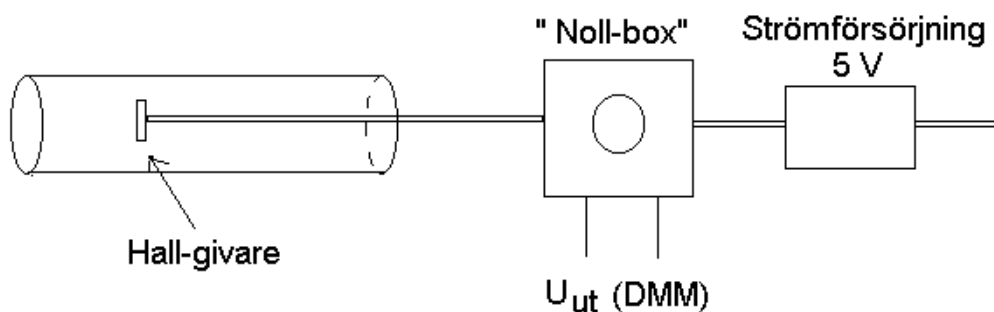
Givarnas känslighet är nominellt 5,0 mV/G, och detta värde är oftast tillräckligt bra att använda i den här labben. Den kalibrering som utfördes 2004 är inte längre tillförlitlig. Ett bättre värde än 5,0 mV/G kan eventuellt erhållas genom en kontrollmätning i centrum av en solenoid.

2004-04-15

O.Hartmann, J.Larsson.

Laboration Magnetiska fält, nya Hall-givare.

De nya givarna består av en integrerad krets som endast kräver en enkel strömförsörjning (5 V) och som lämnar en utspänning U_{ut} direkt proportionell mot B-fältets komponent vinkelrätt mot Hall-givarens plan. Nominellt värde på utspänningen är $5 \text{ mV} / \text{G}$ ($1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$), men givarna har kalibrerats individuellt, och exakta värdet finns angivet på det plexiglasrör som givaren är monterad inuti. Givarna är numrerade, och motsvarande nummer skall finnas på den "nollställnings-box" som kopplas mellan nätaggregatet och givaren.



Nollställning (och komensation för yttre strömfält) sker mycket enkelt, genom att justera potentiometern som sitter på "noll-boxen". Röret med givaren bör då befinna sig i ungefärlig position och riktning som för den planerade mätningen.

Vid mätningar av fälten i och kring "lång" spole, kort spole och Helmholtzspole används lämpligen givare där själva Hall-givaren är monterad en bit in i röret.

De rör som har givaren längst ut i änden används t.ex vid mätningen av dipolfältet kring en permanentmagnet.

Givarna kan inte användas i fält över 500 G, och är dessutom olämpligt monterade för mätningar på elektromagneten. Använd i sådana fall en 'gammal' transversell Hall-prob, med tillhörande gaussmeter 750D eller 912. Denna måste då nollställas enligt separata instruktionspapper.