Magnetfeltet omkring spoler og magneter

Fusion og Plasma Road Show

Filip Anselm Rasmussen, Risø, 10. oktober 2007

Introduktion

Ved hjælp af fine jernspåner eller små kompasnåle kan man danne sig et billede af et magnetfelts retning og størrelse. Ydermere introduceres det hvordan en elektrisk strøm skaber et magnetfelt, der kan bruges til at lave en elektromagnet. I en fusionsreaktor har elektromagneter stor betydning, da disse bruges til at holde plasmaet inde og kontrollere dets form, således at det ikke kommer i kontakt med reaktorkammerets vægge.

Emner: Ferromagnetisme, elektromagnetisme.

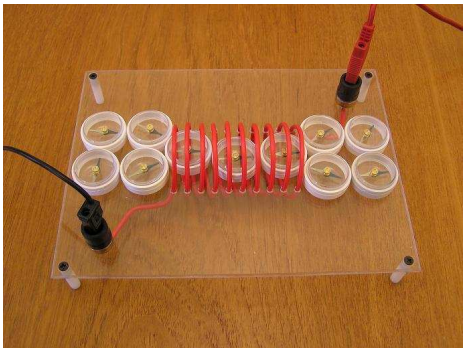
Materialer

- Jernspåner
- Små kompasnåle
- Stangmagnet
- Evt. andre former for permanente magneter
- Spole
- Et stykke papir

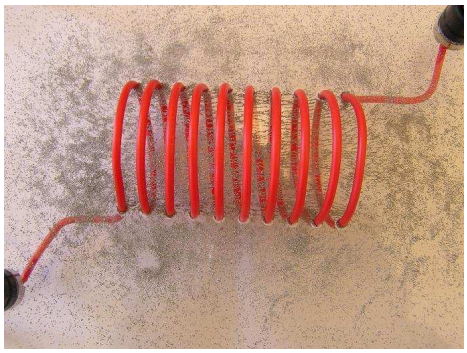
Forsøgsbeskrivelse

En stangmagnet lægges under et stykke papir og jernspåner drysses spredt hen over papiret. Jernspånerne vil da rette sig ind efter magnetfeltlinjerne og koncentrere sig de steder hvor magnetfeltet er stærkest. Man kan også bevæge et lille kompas rundt omkring magneten eller placere mange små kompasnåle rundt om den. Herved kan man danne sig et godt billede af hvordan magnetfeltet udbreder sig i rummet omkring magneten. Man kan ligeledes prøve med andre former for magneter, fx ringformede, eller placere flere magneter tæt sammen, hvorved deres fælles magnetfelt visualiseres.

Man kan ligeledes udføre forsøget med en elektromagnet, som fx en solenoide lavet af en almindelig spole, hvorved man også viser, at der er et magnetfelt inde i magneten, se figur 1 og 2. I centrum af spolen er magnetfeltets styrke proportionalt med strømstyrken gennem spolen samt antallet af vindinger (se næste afsnit). Dette skal man være specielt opmærksom på, når man bruger jernspåner, da disse først reagerer ved langt større magnetfeltstyrker end dem, der er nødvendige for at få et udslag af en kompasnål. Hvis man derfor ikke i første omgang ser nogen effekt ved jernspånerne, kan man prøve at øge strømstyrken eller udskifte spolen med én med flere vindinger. Man kan desuden prøve at lægge en jernkerne ind i spolen hvorved magnetfeltet bliver mange gange stærkere, da jerns relative permabilitet er mange gange større end den for luft.



Figur 1: *Magnetfeltet i og omkring en spole visualiseret vha. små kompasnåle*



Figur 2: *Magnetfeltet i og omkring en spole visualiseret vha. jernspåner. Magnetfeltet udenfor spolen er meget svagt pga. spolens lave vindingstal og den begrænsede strømstyrke*

Sikkerhed

Der er ikke de store sikkerhedsrisici ved dette forsøg, dog skal man være opmærksom på at spolen ikke udsættes for en større strømstyrke, end den

er beregnet til, da den i så fald risikerer at blive overophedet, hvilket kan medføre forbrændinger (hvis man rører den), kortslutning og i værste tilfælde brand.

Teori

Jern er ferromagnetiskt[1], hvilket skyldes, at det har en eller flere uparrede elektroner, og det vil derfor have et magnetisk moment, sådan at man kan betragte hvert jernatom som en lille stangmagne. Da jernatomerne søger at minimere deres energi, vil deres magnetiske momenter ensrette sig inden for nogle små områder, kaldet domæner. Disse vil pga. temperatur eller andre ydre påvirkninger pege i forskellige retninger sådan at det samlede magnetiske moment er stort set nul. Når jernet udsættes for et eksternt magnetfelt, vil domænerne rette sig ind efter dette og efterhånden som flere og flere domæner får samme retning vil styrken af magnetfeltet gennem jernet øges. Det er dette, der udnyttes i kraftige elektromagneter og samtidig er grundlaget for permanente magneter. I tilfældet med jernspåner, vil hver enkelt jernspåne opføre sig som en lille magnet og vil derfor rette sig ind efter det stærke magnetfelt, der kommer fra enten den kraftige stangmagnet eller fra elektromagneten, og herved vil magnetfeltets retning synliggøres.

I eksperimentet blev det også vist hvordan man kan skabe et magnetfelt ved at sende en elektrisk strøm gennem en leder og derved lave en elektromagnet. Hvis man forsøgte at drysse jernspåner omkring en spole, opdagede man sikkert at man skulle anvende en ret høj strømstyrke for tydeligt at se hvordan spånerne rettede sig efter magnetfeltet. Som det også blev forklaret kan man også øge magnetfeltstyrken ved at anvende en spole med flere vindinger. Man kan ved nogle simple udregninger vise at magnetfeltstyrken inde i en spole (solenoide) er

$$B = \frac{\mu N I}{L},$$

hvor μ er permabiliteten, N er antallet af vindinger, I er strømmen gennem spolen og L er længden af spolen. Denne sammenhæng gælder imidlertid kun hvis vindingerne ligger tilstrækkeligt tæt, således at man kan antage at én vikling kan opfattes som en lukket ring samt at der ikke strømmer et magnetfelt ud mellem vindingerne. Som det ses kan man øge feltstyrken ved at øge strømmen og antallet af vindinger eller reducere spolens længde. Som det også kunne vises i eksperimentet kunne man også øge feltstyrken ved at placere en jernkerne af blødt jern inde i spolen. Dette skyldes at man herved ændrer på μ, der er materialets evne til at lede et magnetfelt, og denne

[1] Ferromagnetisme er blot én ud af de klassiske tre fænomener, der kan være grund til et materiales magnetisering. De andre to er hhv. diamagnetisme og paramagnetisme, der dog typisk giver anledning til en meget svagere magnetisering.

værdi er større for jern en for luft (typisk et par tusinde gange større[2]. Ligningen gælder dog kun som en tilnærmelse for fx jern, da μ i praksis ikke er konstant, men afhænger af det påtrykte magnetfelt. Efterhånden som magnetfeltstyrken øges vil de magnetiske domæner i jernet ensrettes, men når alle de magnetiske domæner er ensrettet er jernet mættet og dets magnetisering kan ikke øges og bidrage yderligere til magnetfeltets styrke.

Yderligere information

David J. Griffiths, *Introduction to Electrodynamics*, 3. udgave, kapitel 5 og 6 (Prentice Hall International Inc., New Jersey, 1999)

[2]For luft kan man regne med at at $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}^2}$, mens den for blødt jern typisk vil være $\mu = 5000 \cdot 10^{-6} \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A}^2}$.