



# Magnet på kobberplade

Fusion og Plasma Road Show  
Filip Anselm Rasmussen, Risø, 10. oktober 2007

## Introduktion

Dette eksperiment viser hvordan en magnets bevægelse på en kobberplade bremses fordi, der induceres en strøm i kobberpladen.

**Emner:** Elektromagnetisk induktion, elektriske hvirvelstrømme, magnetisme, elektrisk modstand, elektromagnetisme.

## Materialer

- Kraftig magnet
- Kobberplade, ca. 1 cm tyk
- Evt. flydende nitrogen

## Forsøgsbeskrivelse

Først vises det at kobber ikke er et ferromagnetisk materiale, dvs. det tiltrækkes ikke af et magnetfelt som fx jern gør. Dette kan gøres ved fx langsomt at føre magneten ned mod kobberpladen og langsomt fjerne den igen, hvorved man ikke mærker nogen tiltrækningskraft. Man kan også prøve at holde kobberpladen vandret ud i luften og prøve at sætte magneten fast på undersiden, således at magneten straks falder ned. Herefter vises at kobberpladens overflade er temmelig glat ved at holde den skrå og lade en bog eller et andet forholdsvis glat objekt glide ned ad pladen. De fleste ting vil hurtigt glide af pladen og falde ned på gulvet eller bordet. Til sidst stilles pladen

igen på skrå (ca. 45-60 grader) og man lader nu magneten glide ned ad den, som det ses gjort på figur 1. Man ser nu, at den ellers ret glatte magnet kun meget langsomt bevæger sig ned ad pladen. Dette virker umiddelbart modstridende, da man netop har vist at kobberpladen hverken er magnetisk, ru eller klistret. Man kan også prøve, når kobberpladen er vandret, at stille



**Figur 1:** Forsøgsopstilling. Den ringformede magnet glider kun langsomt ned ad kobberpladen, selvom denne står i en ca. 60° vinkel mod muren.

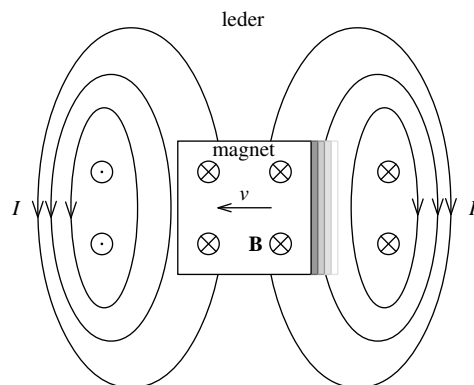
magneten på højkant for så at tippe den til den ene side, hvorved man vil se at den ikke bare hurtigt vælter og rammer pladen med et "klonk", men i en blød bevægelse lægger sig til hvile på overfladen. Man kan også prøve at udføre forsøget igen hvor kobberpladen dog har været kølet ned i flydende nitrogen (husk: brug tykke varmebestandige handsker, hvis du vil røre ved pladen), herved vil effekten blive endnu mere synlig, magneten vil faktisk nærmest svæve ned mod pladen.

## Sikkerhed

Pas på med at tabe magneten på et hårdt gulv, de kraftige permanente magneter er oftest lavet hårde, men skrøbelige metaller, og kan derfor let gå i stykker, hvilket kan skabe skarpe splinter. Man bør også undgå at to stærke magneter kommer for tæt på hinanden, da de i så fald kan klappe sammen med så stor kraft at de brækker eller splintres. Den største sikkerhedsrisiko ligger dog i anvendelsen af flydende nitrogen. Hvis kobberpladen nedkøles med flydende nitrogen bør man ikke røre denne med bare fingre, da den selv efter mere end en time kan være så kold at man kan få alvorlige forfrysninger. Brug derfor kraftige isolerede handsker når du berører pladen og undgå direkte kontakt med det flydende nitrogen, da handskerne kan suge nitrogenen og bringe den tættere på huden.

## Teori

Eksperimentet er et klassisk eksempel indenfor elektromagnetismen, det viser nemlig på en simpel måde hvordan Faraday's lov for elektromagnetisk induktion og Lenz' lov virker i praksis. Kobber er som bekendt ikke ferromagnetisk og tiltrækkes derfor ikke af magneten, men til gengæld er kobber en utrolig god elektrisk leder, hvilket betyder, at det har mange elektroner i ledningsbåndet. Når magneten bevæges over pladen, vil der pga. Lorentz-



**Figur 2:** Illustration af hvordan, der opstår elektriske hvirvelstrømme når en magnet føres over en elektrisk leder

kraften og Faradays lov blive induceret nogle elektriske hvirvelstrømme i kobberpladen, der jf. Lenz' lov vil gå i en sådan retning af de skaber et magnetfelt, der modsvarer magnetens eget magnetfelt. På figur 2 ses det hvordan en magnet, der er vendt sådan at magnetfeltet går ind i siden, skaber to hvirvelstrømme når den føres hen over en leder. Men da kobberpladen ikke er en perfekt leder vil det inducerede magnetfelt ikke blive ligeså stærkt som det ydre magnetfelt, hvorved man blot mærker disse hvirvelstrømme som en svag modstand mod magnetens bevægelse. Når man sænker kobberpladens temperatur reduceres dens resistans ligeledes og det inducerede magnetfelt vil derfor blive stærkere, således at man i langt højere grad mærker en modstand mod magnetens bevægelse. I det ekstreme tilfælde, hvor man anvender en perfekt leder, en superleder, er der ingen elektrisk modstand, og den inducerede strøm vil derfor give anledning til et magnetfelt, der fuldt ud modvirker det ydre magnetfelt, hvilket viser sig i fænomenet magnetisk svævning.

Det kan desuden nævnes at det var et lignende forsøg, der ledte Einstein til at udvikle sin specielle relativitetsteori. Man havde nemlig observeret og bekræftet Lorentz-kraften  $\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$ , der foreskriver at en ladet partikel, der bevæger sig i et magnetfelt  $\mathbf{B}$  med hastigheden  $\mathbf{v}$  vil påvirkes af en kraft  $\mathbf{F}$ . Men med opdagelsen af induktion oplevede man at selv hvis man fører en magnet henover en leder, der ligger stille, vil elektronerne påvirkes

af en kraft, der giver anledning til en elektrisk strøm. Det er altså de ladede partiklers *relative* hastighed i forhold til magnetfeltet, der medfører en kraft, og det var denne erkendelse, der udmundede i den specielle relativitetsteori.

## Yderligere information

[http://en.wikipedia.org/wiki/Eddy\\_current](http://en.wikipedia.org/wiki/Eddy_current)

Wikipedias ret gode beskrivelse af fænomenet elektriske hvirvelstrømme.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_induction](http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_induction)

Wikipedias beskrivelse af elektromagnetisk induktion.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Moving\\_magnet\\_and\\_conductor\\_problem](http://en.wikipedia.org/wiki/Moving_magnet_and_conductor_problem)

Wikipedias beskrivelse af problemet med Lorentz-kraften ved bevægende magnet eller leder.

David J. Griffiths, *Introduction to Electrodynamics*, 3. udgave, kapitel 7.2 (Prentice Hall International Inc., New Jersey, 1999)