

Nat 104

Forelesningsnotater

Våren 2011

Det “vidunderlige” magnetfeltet

UiA / Tarald Peersen

Magnetfelt og magnetisk kraft

Magnetisme

Innledning

Å føle de magnetiske krefter er en fascinerende opplevelse, denne opplevelsen kan oppnås ved hjelp av to stavmagneter. To like magnetiske poler frastøter hverandre, ulike poler tiltrekker hverandre. Stikker man en stavmagnet ned i en eske med binders og løfter den opp, vil mange binders følge med å henge i en kjede etter hverandre. Hver enkelt binders i kjeden er blitt en liten magnet med nordpol og sydpol. Stålet i bindersene er mykt, den vil bare være magnetisk så lenge den er i kontakt med magneten.

Jorden er en stor magnet, et kjent naturfenomen fordi magnetfeltet orienterer (vender kompass nålen til en bestemt retning) kompass nålen. Kompassnålen er en liten magnet som legger seg langs det jordmagnetiske felt og vil alltid peke mot nordpolen. En magnet har alltid to poler, selv etter deling flere ganger. Den polen som peker nordover, kaller vi nordpol, og den delen som peker sørover kaller vi sørpol.

Kristoffer Columbus brukte kompasset som navigasjonsinstrument på ferden til Amerika i 1492. Et skip vil følge en rett linje på kartet dersom vinkelen mellom kompassnåla og skipets kurs er den samme hele tiden.

De vanligste grunnstoffene som har magnetiske egenskaper er jern, nikkel og kobolt. Ligeringer av umagnetiske stoffer kan gi kraftige magneter. De kraftigste magnetene AlNiCo-magnetene, disse er bygd opp av aluminium, nikkel og kobolt.

Magnet og magnetisme har fått sine navn fra Magnesia i Tyrkia, der de i oldtiden fant jernholdig malm (magnetjernstein) med merkelige egenskaper. Steinene ble lagt på korker som fløt på vannet og steinen stilte seg inn i en bestemt retning.

Stoffer som er naturlige magnetiske og stoffer som lar seg magnetisere slik at de holder på magnetismen kaller vi for permanente magneter. Permanente magneter kan gjøre dagliglivet lettere for enkelte mennesker. Stikkord i denne sammenheng: Magnetiske skaplukker, magnetiske sakser, magnetiske skrutrekkere, disketter, legene fjerner jernsplinter ved hjelp av magneter. Legg merke til at det var dansken Ørsted (1819) som tok første skritt mot forståelsen av den "mystiske" magnetiske kraften mellom to stavmagneter. Han oppdaget at elektrisk strøm dreide kompassnåla. Omtrent 10 år senere oppdaget Faraday at strøm ble produsert i en lukket elektrisk krets (loop) når en stavmagnet beveget seg over loopen.

Ørsteds forsøk:

Kompassnåla og strømførende ledning

(forsøkene står beskrevet i Ørsteds koffert)

- Innstill kompasset på null grader, plasser kompasslinjalen langs trelista i Ørsteds bord. Orienter bordet slik at kurs-pila peker mot nord.
- Legg deretter en kabel over og parallelt med kompassnåla og sendte strømmen nordover. Hva skjer og forklar det som skjer?

Kompassnåla og strømførende spole

- I denne øvelsen skal dere bruke den lange ledningen og kveile den rundt Ørsteds bord, bordet skal også i denne oppgaven være orientert i nord - syd retning. Sørg for at viklingene ligger parallelt med kompassnålen. La strømmen gå nordover over kompassnåla og sydover under kompassnåla. Hva skjer og forklar det som skjer.

”Urkompasset”.

Plasser en synål eller en spiker på en kork som flyter på vannet i en tallerken. Beskriv det som skjer. Vi kaller dette forsøket for “urkompasset” fordi dette kompasset ble brukt til sjøs i "urtiden", Kristoffer Columbus (1451-1506) for eksempel, brukte kompasset på sin ferd til Amerika

Repolarisering (skifte polaritet) av en spiker

Spikeren på korken i ”urkompasset” er en magnet med spissen som nordpol. Vi skal i denne oppgaven gripe inn i naturen og snu nålas polaritet, det vil si at den spisse enden skal bli sydpol. Vi skal deretter benytte kompasset og teste om ”snuoperasjonen” har vært vellykket.

Metoden dere skal benytte: Den spisse enden av spikeren (nordpolen) legges oppå stavmagnetens røde ende (nordpolen) og strøk deretter den spisse enden en del ganger fram og tilbake på den røde delen av stavmagneten.

En spiker er magnetisk fordi der er en organisert bevegelse av elektronene inne i spikeren.

Solens magnetfelt og nordlys

Vi skal innlede denne forelesningen med å se på solens magnetfelt og se hvordan partikkelstrålingen (solvinden) fra sola fanges opp av det jordmagnetiske feltet og danner nordlys.

På samme måte som for et elektrisk felt kan vi benytte magnetiske feltlinjer når vi skal vise at vi har et magnetisk felt tilstede. I PowerPoint presentasjonen så vi at en solflekk er en magnet med nordpol og sydpol. Vi så også hvordan ionisert gas (plasma) ble fanget opp av solflekkenes magnetfelt og feltlinjene blir synlige. Presentasjonen viste også hvordan solvinden (ioniserte partikler) ble fanget opp av det jordmagnetiske feltet og dannet nordlys.

Magnetfeltet rundt en stavmagnet

Legg stavmagneten inn i bordet til Ørsted og la den ligge på en liten treplate. Med treplaten under magneten kommer den nærmere bordets øverste plate. Ta saltkaret og dryss **forsiktig** jernfilsponet oppå "bordplata", samtidig som dere banker lett på plata med blyant. Der vil få best resultat når vi drysser sponet forsiktig fra ett av hullene i saltkaret. Plasser et A4-ark med brett under bordet, arket vil kunne brukes til å fange opp jernfilsponet etter forsøket.

- Forklar hvorfor de små jernbitene lar seg orientere.
- Visualiser det magnetiske feltet rundt en stavmagnet vha små magneter

Magnetisk kraft og magnetfeltet

I dette avsnittet skal vi se på kraften som angriper en partikkel som har ladning og som beveger seg i et magnetfelt. Vi skal kun behandle ladninger som beveger seg normalt på et homogent magnetfelt.

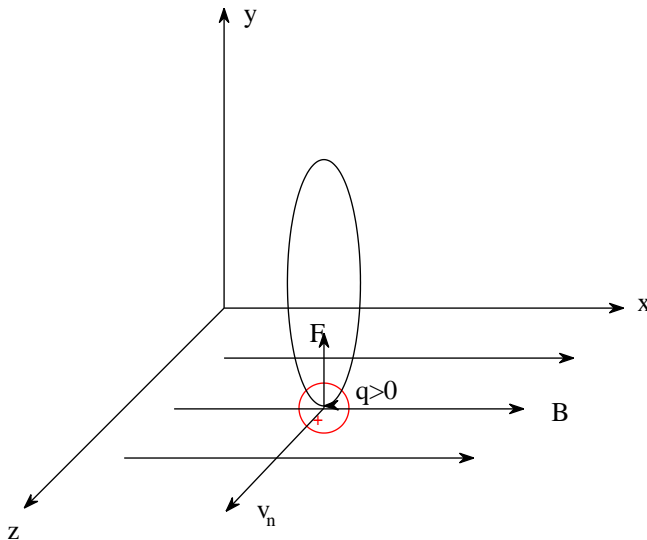
Erfaringene viser at denne kraften er avhengig av eller proporsjonal med:

- Størrelsen på partikkelens ladning.
- Størrelsen på magnetfeltet der ladningen befinner seg.
- Størrelsen på partikkelens fart (uten bevegelse ingen kraft)
- Den magnetiske kraften står alltid normalt på planet gitt av retningen på B-feltet og retningen på farten (v_n). I figuren under ligger både feltet og farten i xz-planet. I
- Beveger ladningen seg parallelt med feltet er den magnetiske kraften lik null.

Må matematisk form er størrelsen på den magnetiske kraften gitt av uttrykket:

$$F = q \cdot v_n \cdot B$$

Legg merke til at likningen inkluderer de fem punktene/erfaringene.



Figuren viser at kraftens retning vil alltid stå normalt på planet gitt av magnetfeltet og farten. Kraften når ladningen er positiv har retning parallelt med y-aksen. Ladningen vil bevege seg i en sirkel når magnetfeltet er homogent i det tredimensjonale rommet (xyz). Det var Newton (1666) som viste at en partikkel (Månen) vil følge en sirkel når farten og kraften hele tiden står normalt på hverandre som vist på figuren. Sirkelbanen ligger parallelt med yz-planet.

Kraftens retning er gitt av **høyrehåndsregelen**: Benytt høyre hånd og strekk ut håndflaten. De fire strake fingrene skal peke i fartsretningen. Når fingrene er bøyd 90 grader skal de peke i B-feltets retning. Tommelen peker da i kraftens retning. På "fagspråket" sier vi at de tre vektorene

(v_n , B og F) danner et høyresystem. Hvilken retning har kraften dersom fartsvektoren ligger parallelt med x-aksen og B -feltet parallelt med y-aksen?

Hva skjer med kraften dersom ladningen er negativ?

Enheten for B -feltet i SI-systemet er Tesla (T). **Legg merke til at det er denne formelen som definerer det magnetiske feltet.**

En annen enhet for det magnetiske feltet er gauss (G). I SI-systemet er enheten Tesla (T)

$$1 \text{ G} = 10^{-4} \cdot \text{T}$$

Oppgave 1

En stråle bestående av protoner ($q = 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot \text{C}$) beveger seg langs den positive x-aksen med farten $v_n := 3.0 \cdot 10^5 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$ gjennom et homogent magnetfelt. Styrken på feltet er

2,0T. Magnetfeltet har retning langs den positive z-aksen. Finn kraften på protonet. Hvilken retning har kraften? Benytt høyrehåndsregelen og tegn figur.

Det jordmagnetiske feltet er ca. 1G (Grimstad har ikke dette utstyret)

Vi kan benytte magnetsensoren og DataStudio og måle styrken på Jordens magnetfelt.

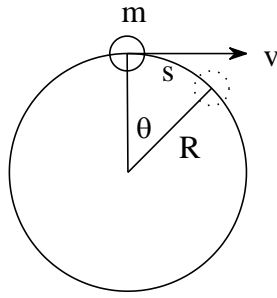
Mikrobølgeovnen (Utleddningen ikke pensum i Nat104)

I mikrobølgeovnen går elektronene med konstant fart i en sirkel. En sirkelbevegelse krever en kraft som er rettet mot sentrum av sirkelen. I følge Newtons 2. lov vil elektronene ha akselerasjon. Elektroner i akselerasjon stråler ut elektromagnetisk stråling.

Vi må her legge merke til at det magnetfeltet endrer retningen på ladningen, men ladningens hastighet er konstant. Når kraften alltid står normalt på farten vil vi få en sirkelbevegelse. I følge Newtons 2. lov og uttrykket for sentripetalakselerasjonen får vi. I dette kurset møter du begrepet sentripetalakselerasjonen for første gang.

$$F = |q| \cdot v \cdot B = m \frac{v^2}{R}$$

$$\frac{v}{R} = \frac{|q| \cdot B}{m}$$



Figuren viser sirkelbanen for elektronene i mikrobølgeovnen, det er disse elektronene som sender ut mikrobølger. Elektronene har farten v og massen m . Elektronene tilbakelegger vinkelen θ i løpet av tiden t , vinkelhastigheten ω blir da:

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

Vinkelen θ når enheten er radianer (s er buen elektronet tilbakelegger i løpet av tiden t , R er radien i sirkelen):

$$\theta = \frac{s}{R}$$

Ved innsetting får vi:

$$\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{\frac{s}{R}}{t} = \frac{s}{t \cdot R} = \frac{v}{R}$$

En ladning som går i en sirkelbane har altså vinkelhastigheten:

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Denne likningen kombineres med likning over og vi får frekvensen: (syklotronfrekvensen):

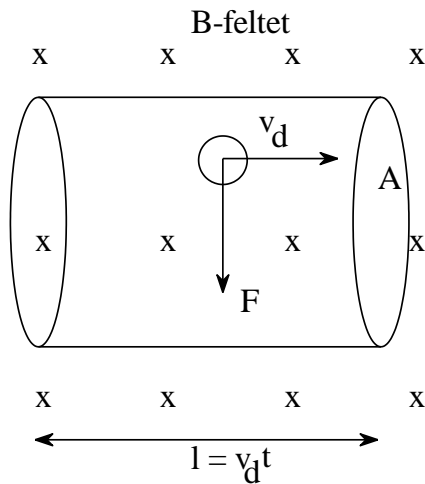
$$f = \frac{|q| \cdot B}{m \cdot 2 \cdot \pi}$$

En ladd partikkel stråler elektromagnetisk energi på denne frekvensen når den går i en sirkulær bane i et magnetfelt. Mikrobølgene har frekvensen $f = 2450\text{MHz}$ ($\lambda = 12\text{cm}$). Mikrobølger på denne frekvensen har tilstrekkelig energi til å øke rotasjonsenergien for vannmolekylene kjøttet som skal stekes. Tallerken som kjøttet ligger på inneholder ikke vann, den blir av den grunn ikke varm.

Oppgave 2

Ta utgangspunkt i formelen for syklotronfrekvensen og bestem magnetfeltet i mikrobølgeovnen.

Magnetisk kraft på en strømførende leder (Utleddingen ikke pensum Nat104)



Figuren viser et segment av en leder som fører strøm, elektronene drifter mot høyre. Hele segmentet ligger i et homogent magnetfelt, feltet står normalt på pairplanet og inn i papperplanet. Den totale kraften på alle elektronene i segmentet:

$$F = N \cdot e \cdot v_d \cdot B$$

Antall elektroner i segmentet av tettheten av ledningselektronene (n_{Cu}) og volumet av segmentet:

$$F = (n_{Cu} \cdot A \cdot l) \cdot e \cdot v_d \cdot B$$

Vi har leksjon 6 definert den elektriske strømmen:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{N \cdot e}{t} = \frac{n_{Cu} \cdot A \cdot v_d \cdot t \cdot e}{t} = n_{Cu} \cdot A \cdot v_d \cdot e$$

Vi innfører strømmen i uttrykket for kraften:

$$F = I \cdot l \cdot B$$

Kraftens størrelse er gitt av strømmen, lengden av den delen av lederen som ligger i det homogene magnetfeltet og styrken på magnetfeltet. Kraftens retning er gitt av høyrehåndsregelen.

Oppgave 3

En rett horisontal kopper ledning frakter en strøm på 50,0A ifra vest mot øst. Lederen ligger i et horisontalt homogent magnetfelt som har retning mot nord, styrken på feltet er 1,20T. a) Finn styrken og retningen på kraften når lengden av lederen er 1,00m. b) Vurder om lederen kan henge fritt i lufta når massen av en meter ledning er 0,50kg.

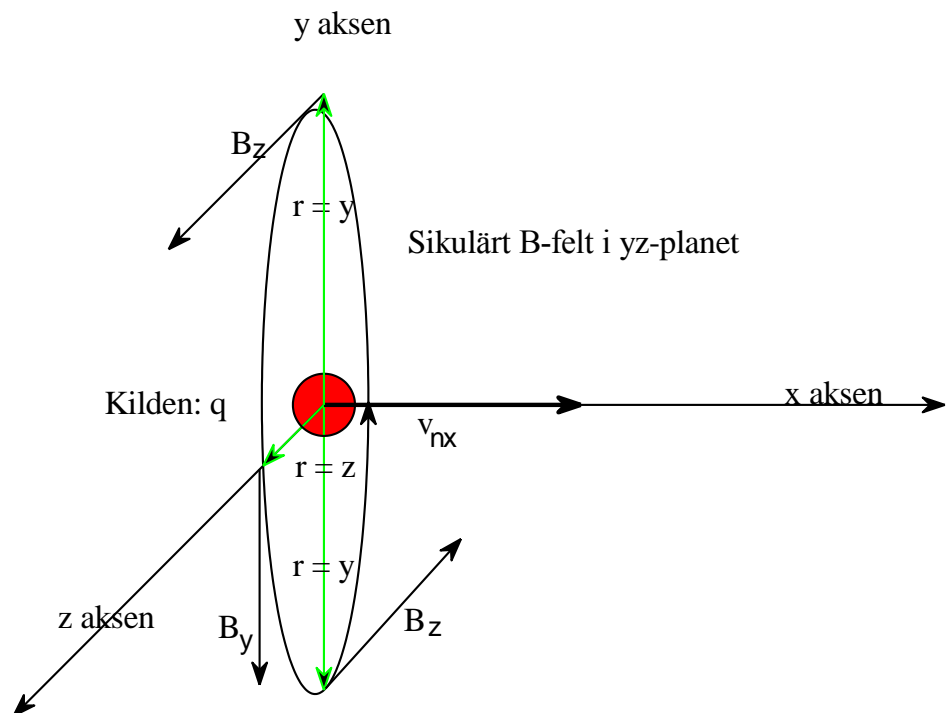
[Animasjon 13.4](#): Magnetisk kraft på en partikkel

Sirkulært B-felt rundt en ladning i bevegelse (vanskelig)

I dette avsnitt skal vi studere hva som er magnetfeltets kilde. Ørsted viste veien, han oppdaget at elektrisk strøm endrer retningen på kompassnåla. Vi vet at elektrisk strøm er ladninger i bevegelse, det betyr at magnetfelt skapes/oppstår når ladninger beveger seg.

Legge merke til uttrykkene **kildepunkt** og **feltpunkt**. Kildepunktet er punktet/stedet ladningen befinner seg. B-feltet styrke i feltpunktet er gitt av uttrykket (erfaringslov),

$$B_z = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q \cdot v_{nx}}{y^2}$$



Figuren viser retningen på B_z , y og v_{nx} .

Retningen på B-feltet er gitt av høyrehåndsregelen for v_{nx} , $y (=r)$ og B_z . Vi kan også finne retningen på B-feltet ved hjelp av følgende regel: Tommelen skal peke i fartsretningen til den positive ladningen, fingrene krølles rundt fartsretningen v_{nx} , og B-feltets retning følger fingrene. (se figuren over).

Feltet i y-retning (se figuren) er gitt av uttrykket:

$$B_y = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q \cdot v_{nx}}{z^2}$$

$$B_z = B_y = B \text{ når } z = y = r$$

Vi kan sette opp følgende uttrykk for styrken til det sirkulære magnetfeltet, dette feltet ligger i zy-planet. Kilden ligger i origo og feltpunktet et vilkårlig punkt i xz-planet.

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q \cdot v_n}{r^2}$$

Konstanten i formelen (permeabiliteten i vakuum) har følgende verdi og enhet:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{\text{T}\cdot\text{m}}{\text{A}}$$

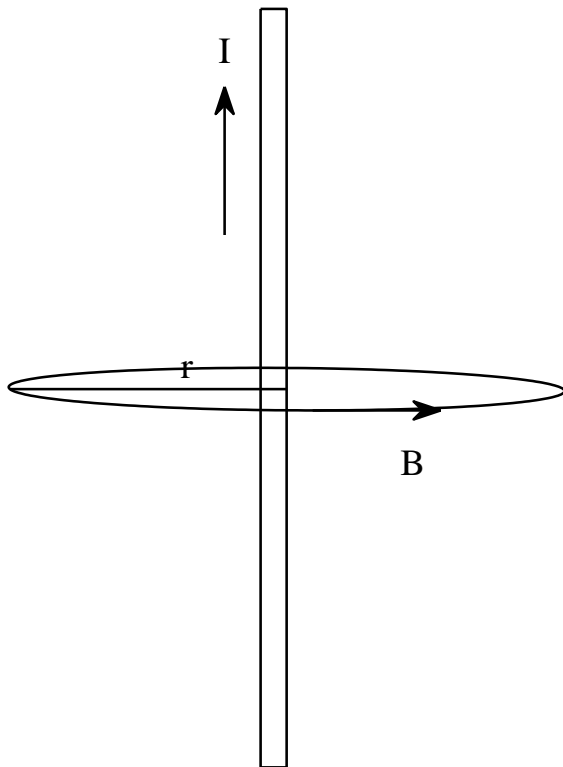
Oppgave 4

En liten ladning $q := 6.00 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ beveger seg med konstant fart $v_{ny} := 8.00 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$ i den

positive y-retningen, relativt til referansesystemet. I et øyeblikk er ladningen i referansesystemets origo. Finn magnetfeltets størrelse og retning i punktene: a)

$x := 0.500\text{m}$ $y := 0$ $z := 0$ b) $x := 0$ $y := -0.500\text{m}$ $z := 0$ c) $x := 0$ $y := 0$ $z := 0.500\text{m}$

Magnetfeltet rundt en lang rett strømførende leder



Det magnetiske feltet i en avstand r fra ledningen er gitt av uttrykket:

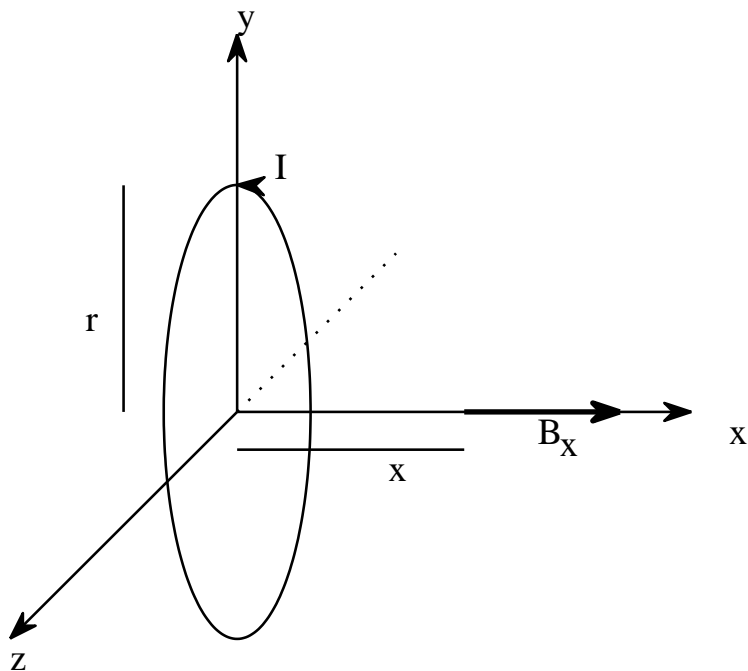
$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

Alle elektronene som driver gjennom ledningen vil bidra til det magnetfeltet i feltpunktet utenfor ledningen. Det er de ladningene som ligger nærmest punktet som bidrar mest. Utledningen baserer seg på teorien i forrige avsnitt og integralregning. I dette kurset må vi godta formelen. Formelen for gjelder teoretisk for en uendelig lang ledning. Men feilen blir liten når radien ut til feltpunktet er liten i forhold til lengde av lederen.

Eksempel: Magnetfeltet rundt en datakabel

Rundt en datakabel er det lite magnetfelt fordi kabelen inneholder to ledninger og strømmen gjennom disse går hver sin vei. Totalfeltet på utsiden av kabelen avtar hurtig, er proporsjonal med $1/x^2$.

Magnetfeltet i sirkulær strømsløyfe (vanskelig)



Figuren viser en sirkulær strømsløyfe (radius r) som ligger i yz -planet. Sløyfen har origo som sentrum. Denne strømsløyfen (strømmen I) setter opp et magnetfelt i et punkt $(x,0,0)$ på x -aksen

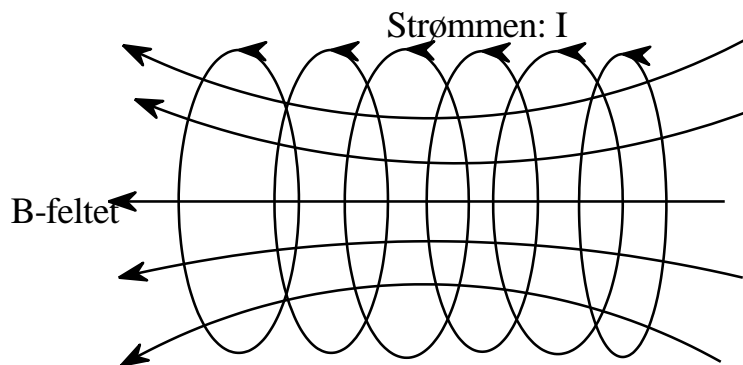
$$B_x = N \cdot 2 \cdot \frac{\mu_0 \cdot I \cdot r^2}{2 \cdot \left[\left(\frac{r}{2} \right)^2 + r^2 \right]^{\frac{3}{2}}}$$

Erstatter vi den ene viklingen med N viklinger blir feltet N ganger så stort i feltpunktet. Vi må anta at alle viklingene ligger på ett sted. Det vil si at x er lik for alle viklingene.

Feltet i på aksen og i spolens sentrum ($x=0$) er gitt av formen:

$$B_x = \frac{(N \cdot \mu_0 \cdot I) \cdot r^2}{2 \cdot (r^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{N \cdot \mu_0 \cdot I}{2 \cdot r}$$

Forelesning: Magnetfeltet i sentrum av en rett spole.



Tegningen over viser en spole, den har seks viklinger, disse er koplet i serie og fører samme strømmen (I). Der oppstår tilnærmet homogent magnetfelt i sentrum av spolen. Graden av homogenitet vil øke når lengden av spolen øker samtidig som spoleradien avtar. Magnetfeltet i spolens sentrum er gitt av uttrykket:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{L}$$

Feltet er halvert i spolens ender, når spolen er lang i forhold til spolens diameter.

Ferromagnetisme

Ferromagnetiske materialer er legeringer av jern, nikkel, kobolt (AlNiCo). Disse materialene har stor relativ permeabilitet 1000 til 100000. Fyller vi spolen med et ferromagnetisk materialet vil magnetfeltet i spolen øke med en faktor som er lik den relative permeabiliteten (K_m)

Animasjoner

[Animasjon 13.1](#): Magnetfeltet rundt en lang leder

[Animasjon 13.2](#): Magnetfeltet i en strømsløyfe

[Animasjon 13.3](#): Magnetfeltet i en spole (solenoid)

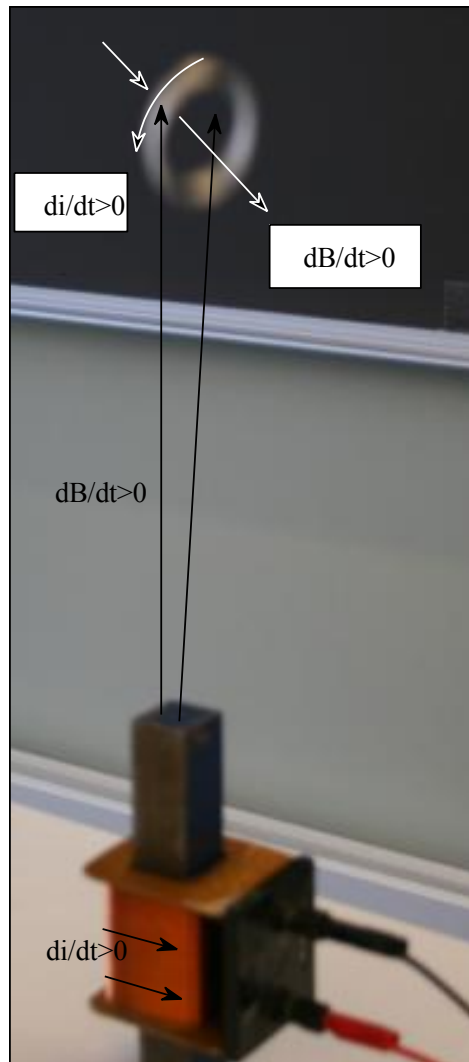
Oppgave 5

En rett spole har lengden $L := 1.40\text{m}$. Spolen har $N := 400$ sirkulære viklinger. Finn strømmen i spolen dersom det homogene magnetfeltet inne i spolen skal ha en størrelse på $B := 0.150\text{T}$ Spolens diameter er 20.0cm .

Tre induksjonsforsøk

Ørsted oppdaget at kilden til magnetfeltet er elektrisk strøm (1820). 11 år etter oppdaget Faraday at variasjon i magnetfeltet gir strøm (Faradays lov)
Loven til Faraday viser hvordan variasjon i magnetfelt kan gi elektrisk felt, et naturfenomen som blir kalt for magnetisk induksjon. Vi skal også se at en tidsvariasjon i et elektrisk felt kan produsere magnetfelt (Maxwells likning, ikke pensum).

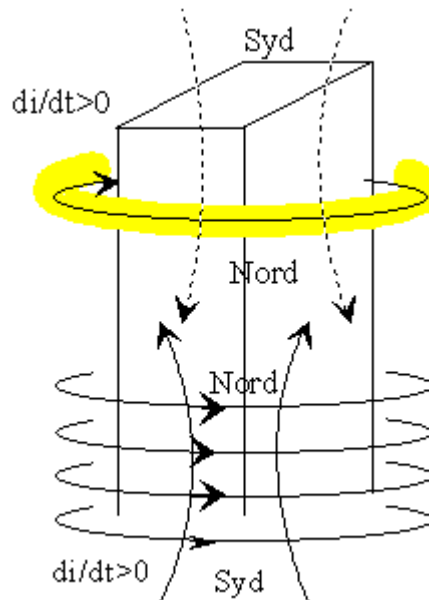
”Den magnetiske kanonen”



Figuren viser en rett spole med jernkjerne. Spolen har 1200 viklinger og jernkjernen er laminert og ferromagnetisk. En aluminiums ring er koplet til jernkjernen.

Vi skal undersøke hva som skjer når vi kopleter spolen til nettspenningen. Ta utgangspunkt i bilde og forklar det som skjer.

Forklaring:

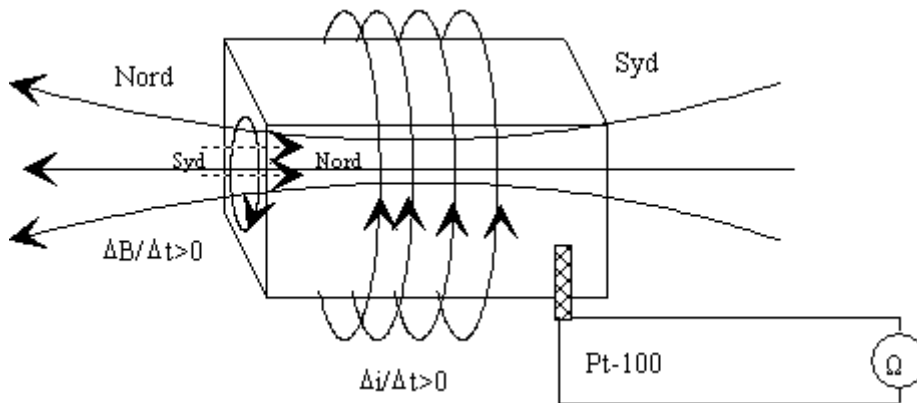


I det øyeblikk vi kople nettspenning til spolen, vil strømmen i spolen øke og spolen blir en elektromagnet. Høyrehåndsregelen viser at retningen på magnetfeltet. Økende strøm i spolen fører til et økende magnetfelt i spolens jernkjerne. Det indueres en strøm i aluminiums ringen på grunn av forandringen i magnetfeltet og aluminiums ringen blir en magnet med nordpolen vendt mot spolens nordpol og aluminiums ringen får akselerasjon oppover.

Magnetfeltet produserer virvelstrømmer i en stativstang (ikke pensum)

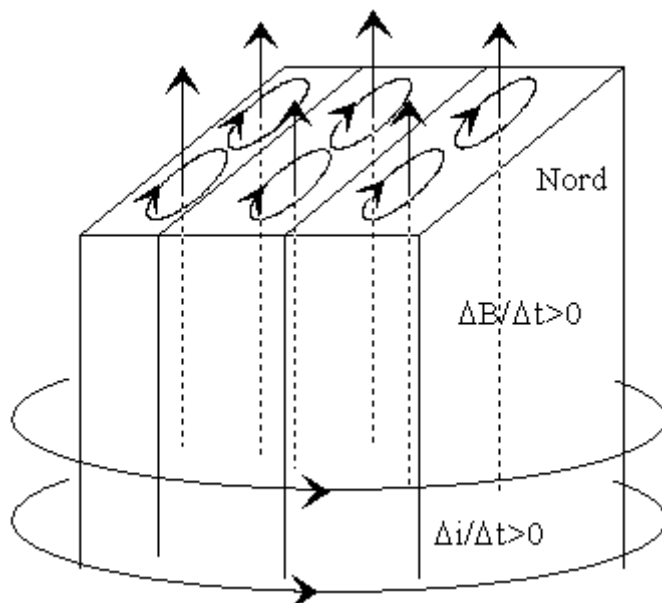
I dette forsøket skal vi la magnetfeltet varme opp en stavstang. Vi skal plassere stavstanga gjennom en spole, spolen har 600 viklinger og vi skal sende ca. 2 ampere vekselstrøm gjennom spolen. Vi skal benytte en regulerbar 25V AC spenningskilde. Vær oppmerksom på at spolen trekker mer strøm uten jernkjernen. La strømmen stå på i ca 10 minutter. Hva skjer? Kan du forklare det som skjer? Hvorfor er jernet i en elektromagnet/transformator laminert?

Forklaring:



Figuren viser at når strømmen i spolen øker ($\Delta i/\Delta t > 0$), øker magnetfeltet i stavstanga ($\Delta B/\Delta t > 0$) og det induseres en strøm (virvelstrøm) i stavstanga. Virvelstrømmen i stavstanga inducerer et magnetfelt (stiplet) som reduserer styrken på det økende magnetfeltet (Lenz lov).

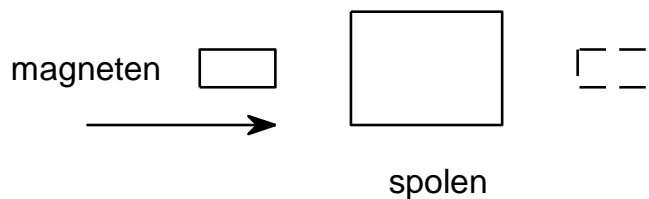
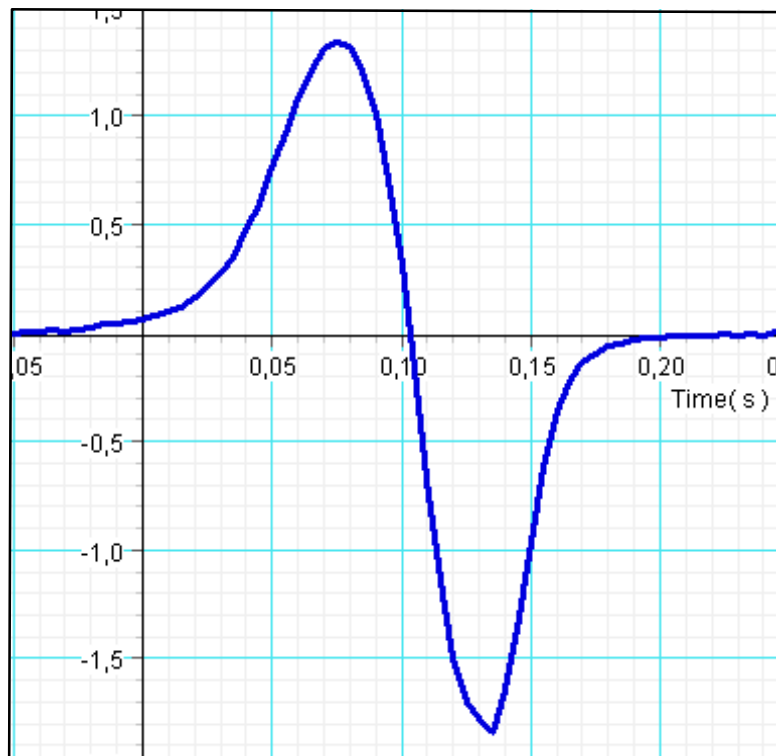
Jernkjernene i transformatorspolene lamineres. Figuren under viser hvorfor. Virvelstrømmene reduseres fordi strømmen i de ulike lagene nuller hverandre ut.



En stavmagnet faller gjennom en spole (Grimstad har ikke utstyret som trengs, ikke pensum)

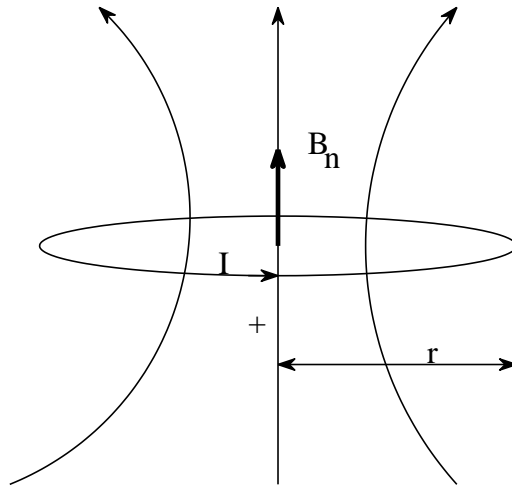
I denne øvingen skal vi la en stavmagnet falle fritt langs spoleaksen. Under fallet skal vi logge den induerte spenningen i spolen. Spolen har 1200 viklinger.

Vi skal benytte DataStudio og filen: P30induksjon.ds



Figuren over viser resultatet av undersøkelsen. Vi får induert positiv spenning i spolen inntil magneten passerer spolens midtpunkt, deretter indueres det negativ spenning i spolen. Loggeren setter tiden lik null når induert spenning har oppnådd 0,05V. Magnetten i forsøket faller med nordpolen først og det tar ca. 0,06s for magnetten å passere spolen (tiden mellom topp og bunn). Etter ca. 0,1s endrer induert spenning retning og magnetten er på vei ut av spolen. Absoluttverdien for induert spenning er størst når magnetten er på vei ut av spolen, hvorfor? Figuren under viser magnetten (heltrukket) på vei inn i spolen og på vei ut av spolen (stiplet).

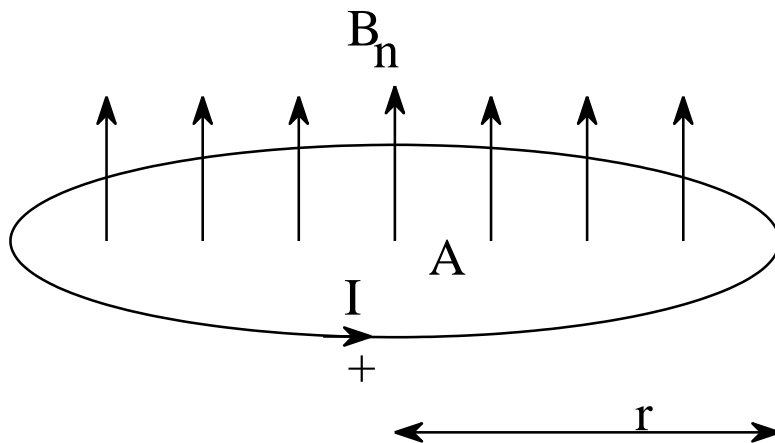
Magnetisk fluks



Figuren viser magnetfeltet i en sirkulær strømsløyfe. Legg merke til at strømmen i sløyfen går i positiv retning. Radien i strømsløyfen er r . Magnetfeltet er inhomogent. Styrken på magnetfeltet i sentrum av sløyfen er gitt av uttrykket:

$$B_n = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot r}$$

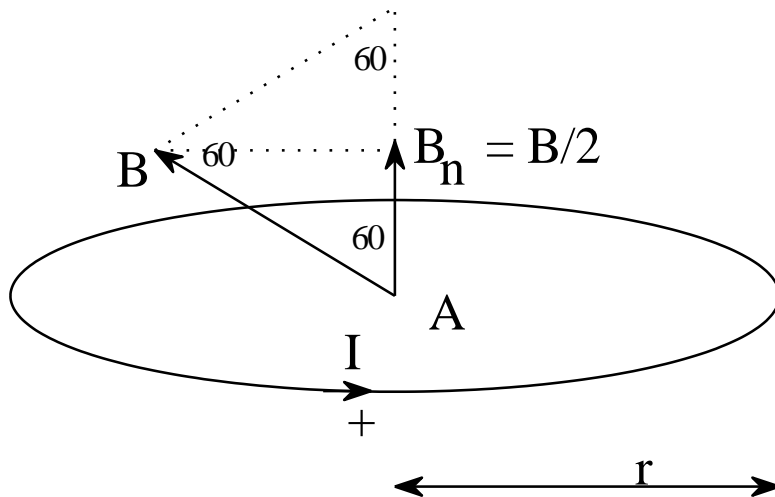
Dette feltet står normalt på strømsløyfen. Strømsløyfen har arealet A .



Figuren vier en strømsløyfe, vi antar at magnetfeltet er konstant over hele arealet A . Vi innfører en ny størrelse som vi kaller den **magnetiske fluksen**:

$$\Phi_B = B_n \cdot A$$

Den magnetiske fluksen defineres som produktet av sløyfens areal og styrken på magnetfeltet normalt på strømsløyfens areal. Enheten for den magnetiske fluksen i SI-systemet er weber ($\text{Wb} = \text{Tm}^2$).



Magnetfeltet (B) i figuren danner 60 grader med B_n eller flatenormalen (linjen som står normalt på den sirkulære sløyfen). Magnetfeltet normalt på sirkelsløyfen blir halvert. Den magnetiske fluksen er:

$$\Phi_B = B_n \cdot A = \frac{B}{2} \cdot A$$

I en rettvinklet trekant er forholdet mellom sidene i trekanten gitt av de trigonometriske funksjoner. For eksempel er cosinus til en vinkel gitt av følgende uttrykk:

$$\cos(\phi) = \frac{B_n}{B}$$

Finn vinkelen når B_n er lik $B/2$

Det generelle uttrykket for den magnetiske fluksen blir:

$$\Phi_B = B \cdot A \cdot \cos(\phi)$$

Oppgave 6

En strømsløyfe har arealet: $A_0 := 0.1 \text{ m}^2$ Magnetfeltet står loddrett på strømsløyfen og har verdien: $B := 0.2 \text{ T}$. Finn den magnetiske fluksen gjennom sløyfen.

Oppgave 7

I et homogent magnetfelt ($B=0.16 \text{ T}$) har vi plassert en plan flate, flatens areal er $A=0,50 \text{ m}^2$. Hva er fluksen gjennom flaten når vinkelen mellom flatenormalen og magnetfeltets retning er: (a) $\phi := 0 \text{ deg}$ (b) $\phi := 45 \text{ deg}$ (c) $\phi := 90 \text{ deg}$ (d) $\phi := 120 \text{ deg}$ (e) $\phi := 180 \text{ deg}$ i forhold til B -vektoren.

Forelesning: Faradays lov (vanskelig)

Ved hjelp av den magnetiske fluksen kan vi nå samle Faradays oppdagelser i en matematisk formel. Først Faradays lov uttrykt med ord: **Den induerte spenningen i ledersløyfen er bestemt av forandringen i fluksen gjennom sløyfen:**

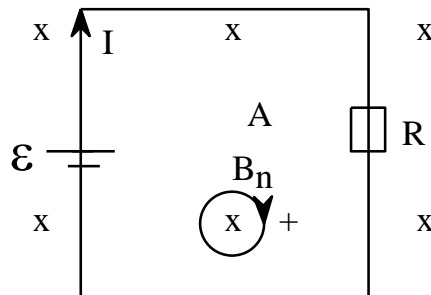
Midlere induert spenning:
$$\bar{\varepsilon} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Minustegnet i formelen bestemmer retningen på strømmen i sløyfen når positiv omløpsretning er valgt. Det er B_n -pilen/vektoren og høyrehåndsregelen som bestemmer positiv omløpsretning.

Eksempel

En strømsløyfe har arealet $A := 0.1 \text{ m}^2$ og sløyfens totale resistans er $R := 10 \Omega$. Et magnetfelt står normalt på sløyfen, feltet avtar lineært og har en startverdi på $B_{n0} := 0.2 \text{ T}$, etter tiden $\Delta t := 10^{-4} \text{ s}$ har magnetfeltet avtatt til null $B_{n1} := 0 \text{ T}$. (a) Finn spenningen som indueres i tidsintervallet: Δt , (b) Fin den induerte strømmen i kretsen og (c) bestem retningen på strømmen.

I:



Figuren viser strømsløyfen B-feltet står normalt på arealet, det er retningen på B-feltet som bestemmer fortegnet i Faradays lov, positiv retning er gitt av høyrehåndsregelen. Endringen i magnetfeltet og den magnetiske fluksen er negativt. Når fluksen avtar oppstår en strøm i sløyfen som induerer et magnetfelt som i samme retning som det opprinnelige, strømmen må da gå i positiv retning.

S:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -A \frac{\Phi_{n1} - \Phi_{n0}}{\Delta t} = A \cdot \frac{B_{n0} - B_{n1}}{\Delta t}$$

E:

$$A := 0.1 \text{ m}^2$$

$$R := 10 \Omega$$

$$\Delta t := 1 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

$$B_{n0} := 0.2 \text{ T}$$

$$B_{n1} := 0.0 \text{ T}$$

a) Den induerte spenningen i tidsintervallet

$$\varepsilon := A \cdot \frac{B_{n0} - B_{n1}}{\Delta t} \quad \varepsilon = 200V$$

a) Den induerte strømmen

$$I := \frac{\varepsilon}{R} \quad I = 20A$$

b) Retningen på strømmen er gitt av Faradays lov, strømmen går i positivretning fordi

$$\varepsilon > 0 \text{ når } \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} < 0$$

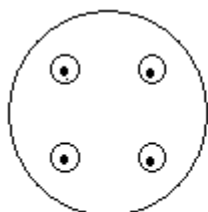
E:

Naturen er slik at når magnetfeltet avtar oppstår det en strøm i sløyfen som inducerer et magnetfelt i sløyfen som hindrer at magnetfeltet avtar. Dette magnetfeltet må ha samme retning som det opprinnelige magnetfeltet

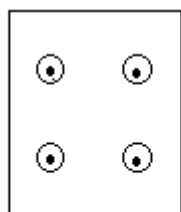
Oppgave 8

En sirkulær spole har radius $r := 0.10\pi$. Spolen har et viklingstall på $N := 50$, spoleaksen står normalt på et homogent magnetfelt $B := 25\mu\text{T}$. I løpet av tiden $\Delta t := 0.10\text{T}$ dreies aksen $\theta := 90\text{deg}$ (a) Tegn figur, (b) finn fluksendringen i løpet av denne tiden og (c) finn dem midlere induerte spenningen i dreietiden. (NB: den siste oppgaven skal arealet avta.)

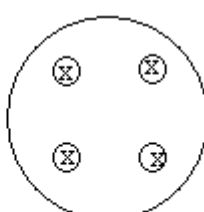
Oppgave 9



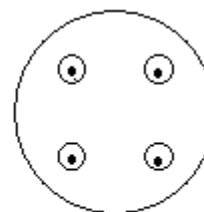
(a) Arealet minker



(b) Arealet øker



(c) Magnetfeltet avtar



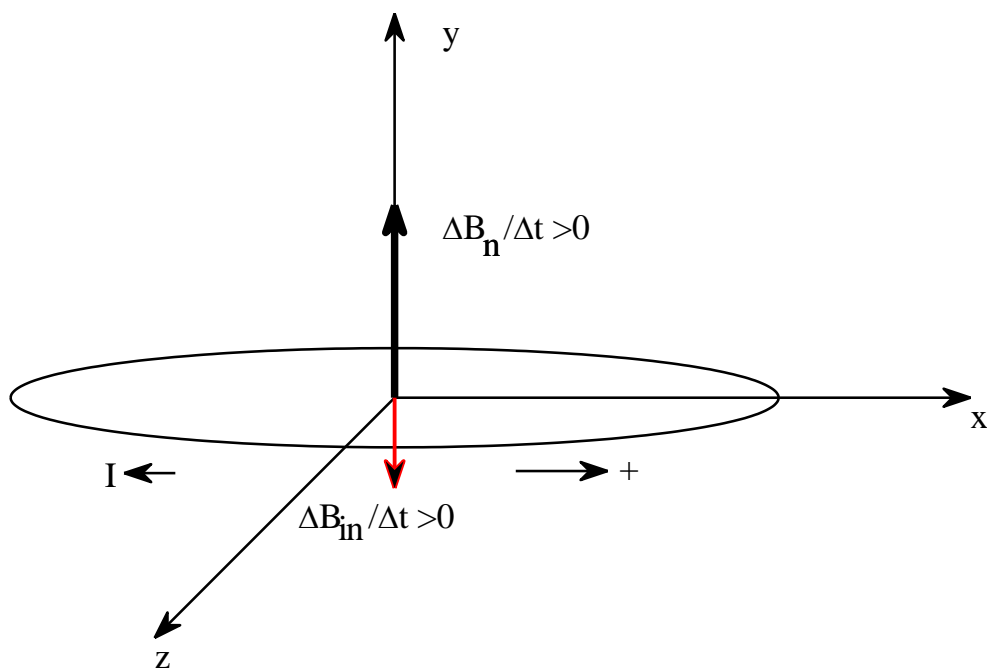
(a) Arealet øker

Benytt Faradays induksjons lov og finn strømretningen i de fire tilfellene. Retningen på magnetfeltet vises innen for arealet.

Legg merke til at det er tre måter å forandre fluksen i en spole:

1. Forandre B-feltet (stavmagnet faller gjennom en spole)
2. Forandre sløyfearealet
3. Forandre vinkelen mellom B-feltet og A-vektoren (enten kan B-vektoren rotere eller kan A-vektoren rotere)

Noen ord om fortegnet i Faradays induksjonslov:



Det er retningen på B-feltet (B_n) som bestemmer (definerer) den positive omløpsretningen. Figuren over viser at magnetisk fluksen øker. Fluksen øker når styrken på magnetfeltet øker. Når fluksen øker indueres en negativ spenning i strømsløyfen. Den induerte spenningen sender strømmen i negativ retning. Den induerte strømmen er kilden til det induerte magnetfeltet (B_{in}). Det induerte magnetfeltet hindrer at det ytre magnetfeltet øker.

Lenz lov: Det induerte magnetfeltet hindrer forandringen til årsaken til induksjonen.

Generelt kan man uttrykke Lenz fortegnsløvs lov i følgende setning: "Naturen selv forsøker å hindre at naturen forandrer seg"

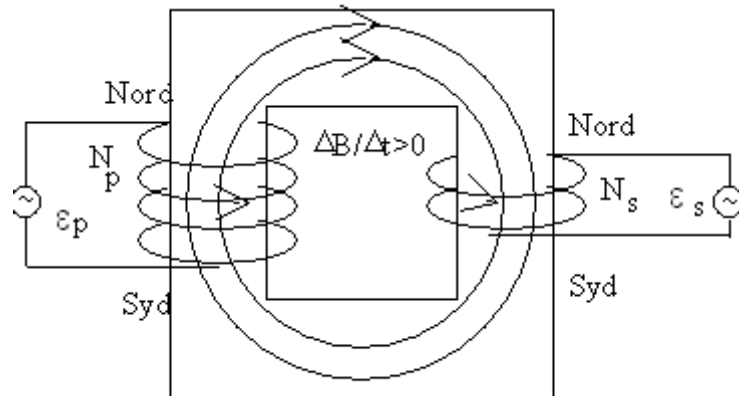
Oppgave 10

Bruk Lenz lov og finn retningen på strømmen i den "magnetiske kanonen".

Oppgave 11

Tegn en tilsvarende figur (se figuren over) som viser retningen på strømmen når den magnetiske fluksen avtar.

Transformatoren – 5 forsøk(Utledningen ikke pensum)



En transformator er en jernkjerne som kopler sammen to spoler. Spolen som koples til energikilden (nettet) kalles for primærspolen, den andre spolen kalles for sekundærspolen.

Figuren viser et økende magnetfelt i primærspolen, jernet mellom spolene leder det økende magnetfeltet over til sekundærspolen. Dette økende magnetfeltet inducerer spenning i sekundærspolen (Faradays lov).

Forholdet mellom spenningen i de to spolene er gitt av uttrykket:

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Utledning:

Vi må anta at fluksendringen i de to spolene er den samme:

$$\frac{\Delta\Phi_p}{\Delta t} = \frac{\Delta\Phi_s}{\Delta t}$$

Spenningen i de to spolene er gitt av Faradays lov (det indukeres spenning i alle viklingene):

$$\varepsilon_p = -N_p \frac{\Delta\Phi_p}{\Delta t} \quad \varepsilon_s = -N_s \frac{\Delta\Phi_s}{\Delta t}$$

N_p og N_s er antall viklinger i henholdsvis primærspolen og sekundærspolen

$$\frac{\Delta\Phi_p}{\Delta t} = \frac{\Delta\Phi_s}{\Delta t} = -\frac{\varepsilon_p}{N_p} = -\frac{\varepsilon_s}{N_s}$$

Det siste uttrykket gir:

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Vi skal senere i dette avsnittet få demonstrert at transport av elektrisk energi over store avstander skjer ved høy spenning og lite strøm. For en tapsfri transformator gjelder følgende uttrykk:

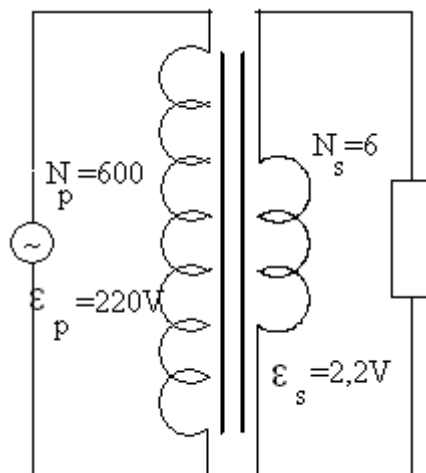
$$\varepsilon_p \cdot i_p = \varepsilon_s \cdot i_s$$

Eller

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_s} = \frac{i_s}{i_p} = \frac{N_p}{N_s}$$

Det vil si at strømmen er stor i sekunderspoken når antall viklinger i sekunderspoken er lite i forhold til primerspoken.

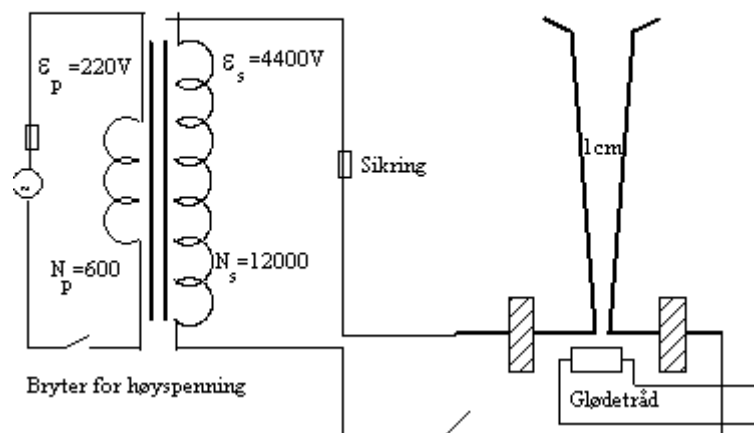
Koke vann, smelte jern og loddetinn:



Vi skal i dette forsøket brenne av en spiker, koke vann og smelte loddetinn ved hjelp av en transformator (varierende magnetfelt). Vi skal benytte nettspenningen på primerspoken, denne spolen skal ha et viklingstall på: $N_p := 600$. Sekunderspoken skal ha et viklingstall på $N_s := 6$, denne spolen vil på grunn av dette lave viklingstallet føre stor strøm, ledningene må derfor ha et stort tverrsnitt.

- (a). Mål strømmen gjennom primærspolen (4,2A) når spikeren gløder og beregn strømmen gjennom sekundærspolen (42A).
- (b) La strømmen gå til brudd oppstår i spikeren.
- (c) Erstatt sekundærspolen med den spesielle skålviklingen, fyll den med vann og gjenta forsøket.
- (e) Plasser litt loddetinn i skålviklingen i stedet for vannet.

Jakopstigen og høyspenning



Transformatoren lever ca. 4400V til metallstengene når bryteren lukker primærkretsen. Spenningen mellom metallstengene er ikke tilstrekkelig for gnistdannelse mellom stengene. Vi kan varme opp luften ved hjelp av en glødetråd eller en fyrstikk, luften blir ledende fordi en del luftmolekyler spaltes av den høye temperaturen. Blir luften tilstrekkelig varm vil der gå en elektrisk strøm i luften, denne strømmen kan vi se som en gnist mellom metallstengene. Varm luft er letter enn kald luft og gnisten stiger "til himmels". Av denne grunn blir dette forsøket ofte kalt for Jakobstigen. Gnisten avbryter klatringen når avstanden mellom metallstavene blir tilstrekkelig stor, luftens temperatur er også av betydning hvor høyt gnisten greier å klatre. . Det sies at en slags Jakops stige ble brukt for å hindre lynskader på høyspentledninger. den ene staven stod da i kontakt med ledningsnettet, mens den andre var forbundet til jord. Hvis lynet fører til for høy spenning på nettet, oppstår gnistoverslag mellom stavene og spenningen synker øyeblikkelig. Gnisten vandrer oppover og sløkner. Stavene blir kalt hornlynavleder.

(Erstatt metall stavene med to kull-staver og gjenta forsøket. Du vil se at kullstavene gløder etter en stund. Vi har fått en kullbuelampe).