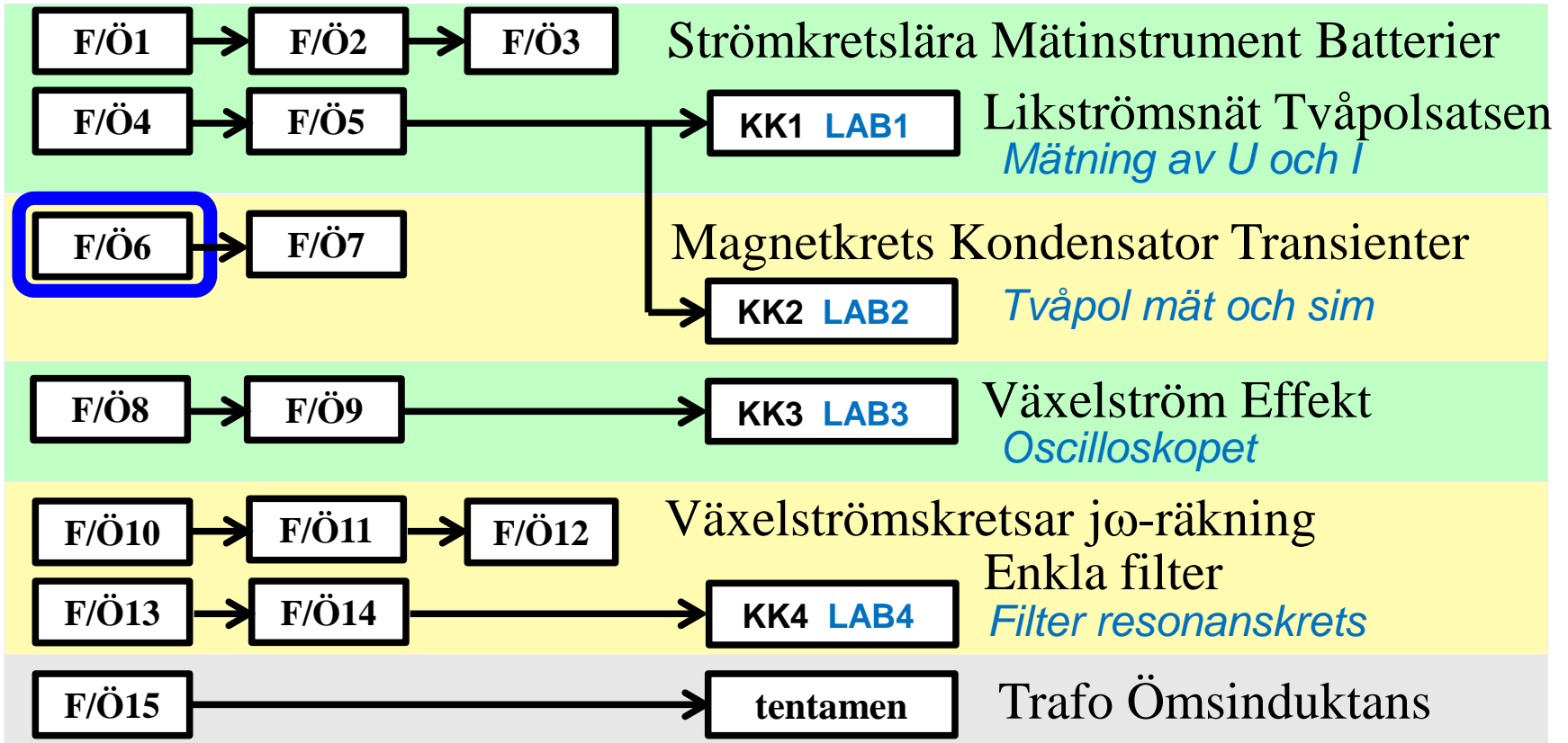


# IF1330 Ellära



*Föreläsningar och övningar bygger på varandra! Ta alltid igen det Du missat!  
Läs på i förväg – delta i undervisningen – arbeta igenom materialet efteråt!*

### Magnetiskt flöde och flödestäthet

$$B = \frac{\Phi}{a}$$

$B$  = flödestäthet [T]  
 $\Phi$  = magnetiskt flöde [Wb]  
 $a$  = magnetpolens area [m<sup>2</sup>]

### Permabilitet $\mu$

$$R_m = \frac{l}{\mu \cdot a}$$

$R_m$  = reluktans [A / Wb]  
 $l$  = magnetfältets medelväg [m]  
 $a$  = magnetfältets area [m<sup>2</sup>]  
 $\mu$  = permabiliteten [Wb / Am]

### Ohms lag för den magnetiska kretsen

$$\Phi = \frac{F_m}{R_m}$$

$\Phi$  = magnetiskt flöde [Wb]  
 $F_m$  = magnetomotorisk kraft [At]  
 $R_m$  = reluktans [A / Wb]

### Flödestäthet och fältstyrka

$$B = \mu H$$

### Magnetens dragkraft/ytenhet (vid luftgapet)

$$\frac{F}{a} = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

$F$  = dragkraft [N]  
 $a$  = magnetpolens area [m<sup>2</sup>]  
 $B$  = flödestätheten [T]

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

### Inducerad Emk, rörlig ledare i magnetfält

$$u = B \cdot v \cdot l$$

$u$  = inducerad emk [V]  
 $B$  = flödestätheten [T]  
 $l$  = ledarlängd i magnetfält [m]

### Magnetomotorisk kraft

$$F_m = I \cdot N$$

$F_m$  = magnetomotorisk kraft [At]  
 $I$  = strömmen genom spolen [A]  
 $N$  = antal spolvarv

### Permabilitetskonstant

$$k_m = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (\mu = \mu_r)$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  [A / Wb]  
 $\mu$  = permabilitet  
 $k_m$  = permabilitetskonstant

### Magnetisk fältstyrka

$$H = \frac{NI}{l}$$

$H$  = fältstyrka [A / m]  
 $N$  = antal spolvarv  
 $I$  = spolström [A]  
 $l$  = magnetfältets längd [m]

$$B = \mu \frac{NI}{l}$$

### Kraft på ledare i magnetfält

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

$F$  = kraft [N]  
 $B$  = flödestätheten [T]  
 $I$  = ström i ledaren [A]  
 $l$  = ledarlängd i magnetfält [m]

### Inducerad Emk i slinga/spole

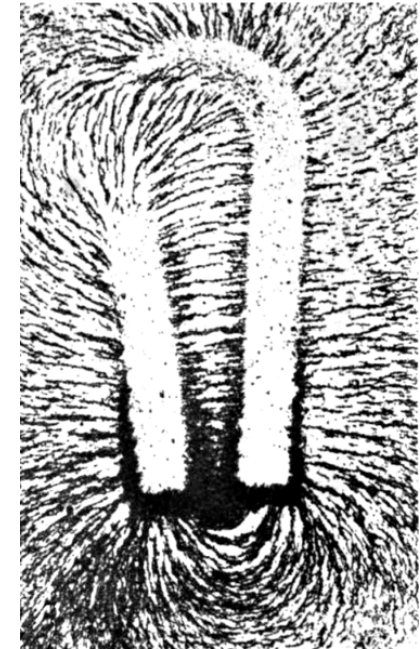
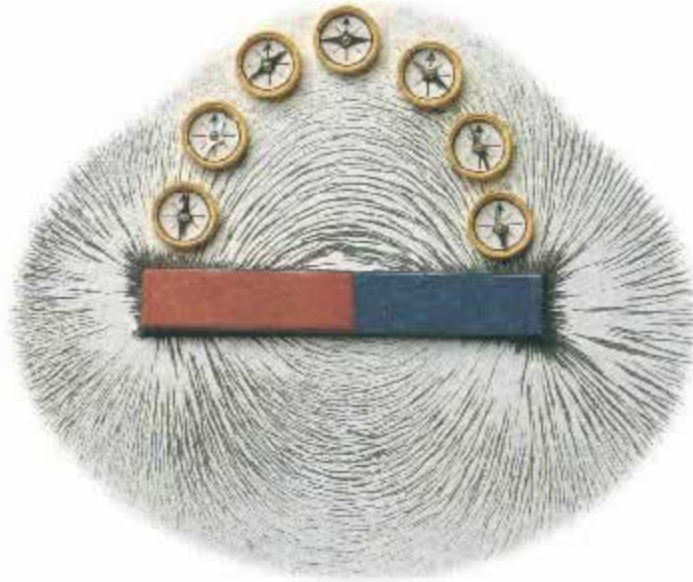
$$e = N \frac{d\Phi}{dt} \quad \Phi = I \cdot L$$

$e$  = inducerad emk [V]  
 $L$  = induktans [H]  
 $\Delta i$  = strömändring [A]  
 $\Delta t$  = tidsintervall [s]

$$e = L \frac{di}{dt} \approx L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

# Permanentmagneter

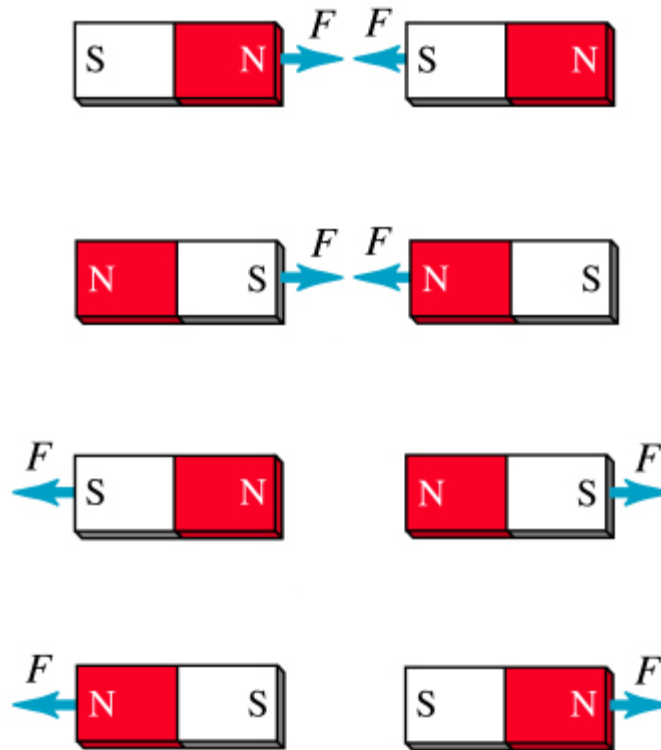
Varje magnet har ett magnetiskt fält. Fältet definieras utgå från Nordpol och in till Sydpol.



Fältet, kraftlinjerna, kan åskådliggöras med järnfilsspån, eller med utplacerade kompassnålar. Numera finns även ”Magnetic Field Viewer Film”.

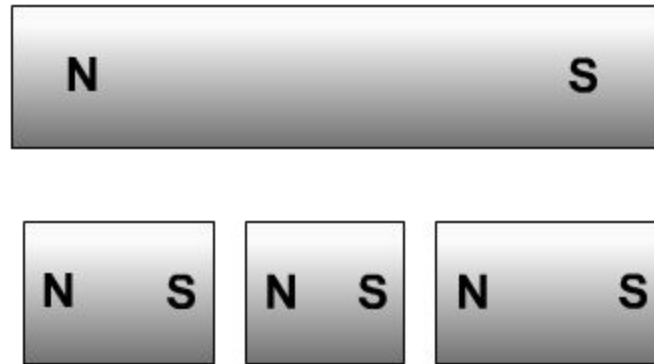


# Kraftverkan mellan magneter



*Du känner säkert till reglerna för kraftverkan mellan magneter.*

# En magnet delas i tre bitar



Om en magnet kapas i mindre delar, blir varje del en komplett magnet med egen Nordpol och Sydpol.

# Magnetiska domäner

Ett magnetiskt material består av ett stort antal "elementarmagneter". Normalt är dessa oordnade och gör därför materialet till omagnetiskt. Om materialet magnetiseras ordnas elementarmagneterna så att de samverkar vilket gör materialet magnetiskt.



Domains Before Magnetization



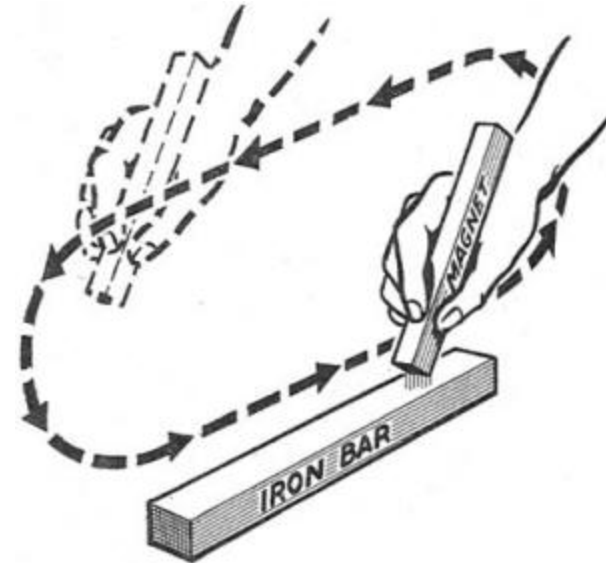
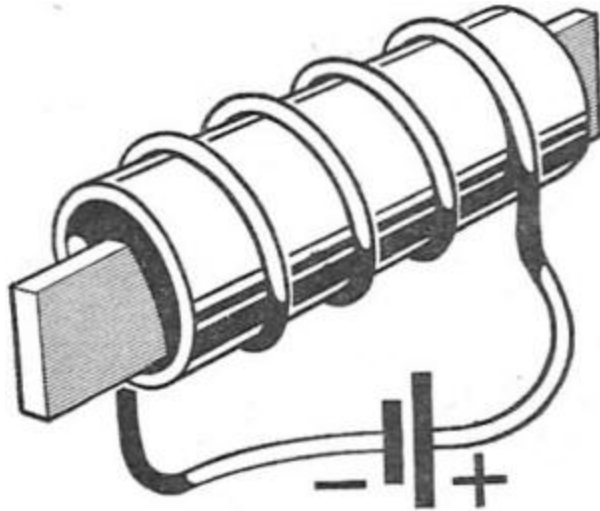
Domains After Magnetization

Se applet:



[Magnetisering av magnetiska domäner](#)

# Influens och Remanens



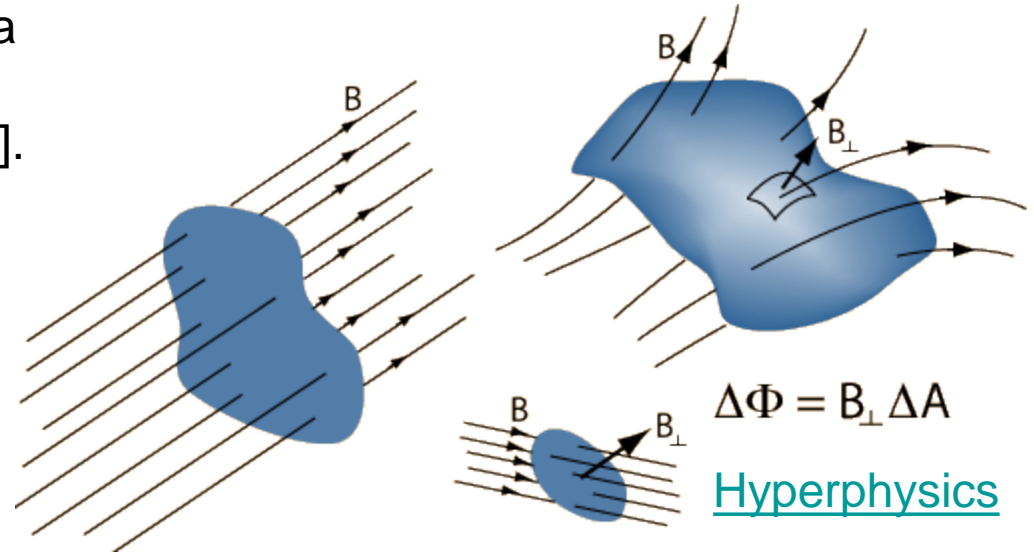
Bilder från: Electricity - Basic Navy Training Courses  
U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE 1945

En omagnetisk järnstav utsätts för ett magnetfält antingen från en elektromagnet, eller från en permanentmagnet. Järnstavens elementarmagneter påverkas av fältet och förstärker detta (= **influens**). När det yttre magnetfältet tas bort blir en del av effekten kvar (= **remanens**) och gör järnstaven till en egen magnet.

# Flöde och Flödestäthet

Den grundläggande magnetiska storheten är det magnetiska flödet  $\phi$  med sorten Weber [Wb]. Flödet kan helt enkelt ses som "totala antalet kraftlinjer".

Eftersom det magnetiska fältet är ojämnt fördelat i rummet är flödestätheten  $B = \phi/A$  [Wb/m<sup>2</sup>] ett mått på fältets lokala styrka.



De magnetiska kraftlinjerna följer "minsta motståndets väg" och det magnetiska motståndet kallas för Reluktans.

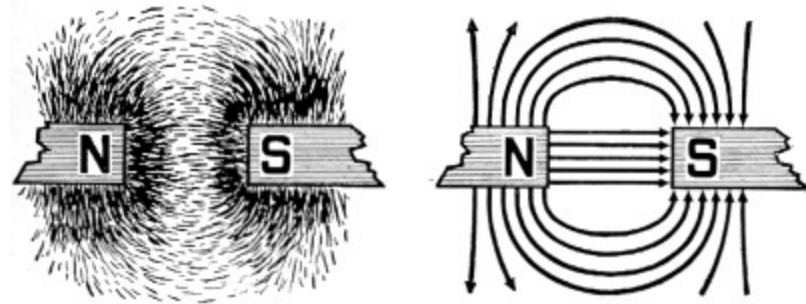
Regel: Kraftlinjerna är slutna, och kan aldrig korsa varandra eller gå in i varandra.



# Fältbilder mellan poler

Minsta motståndets väg – kortare väg till den andra magnetens Sydpol än till den egna!

Magneterna attraherar varandra.

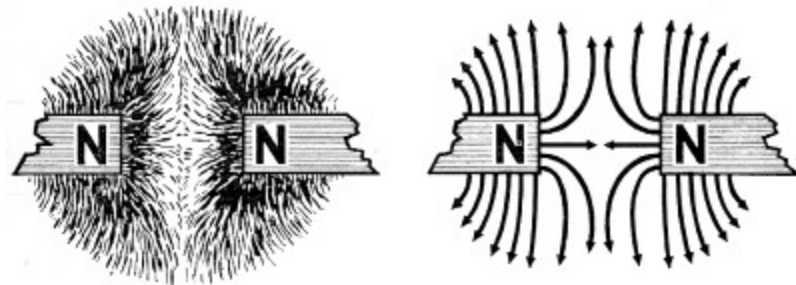


A

B

Kraftlinjerna får aldrig korsa varandra.

Magneterna repellerar varandra.



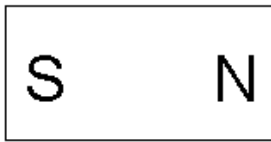
A

B

Bilder från: Electricity - Basic Navy Training Courses  
U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE 1945

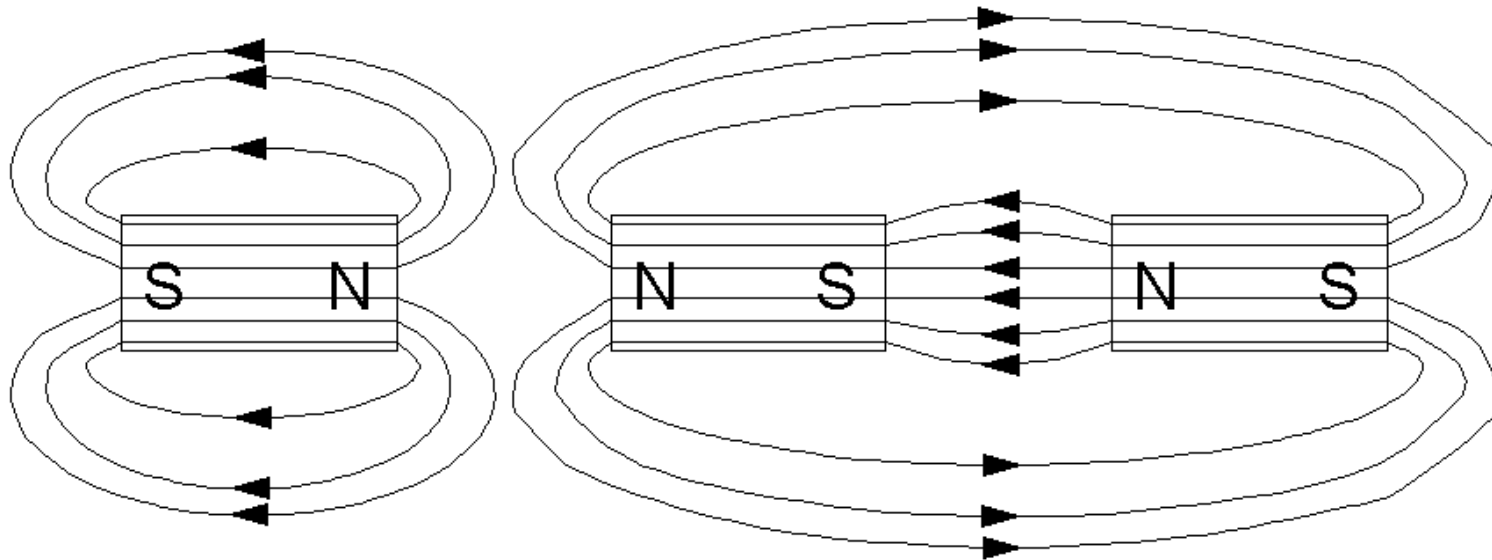
# Permanentmagneter (10.6)

Rita de magnetiska kraftlinjerna i figuren. Markera med pilar fältets riktning.



# Permanentmagneter (10.6)

Rita de magnetiska kraftlinjerna i figuren. Markera med pilar fältets riktning.



# Permabilitet

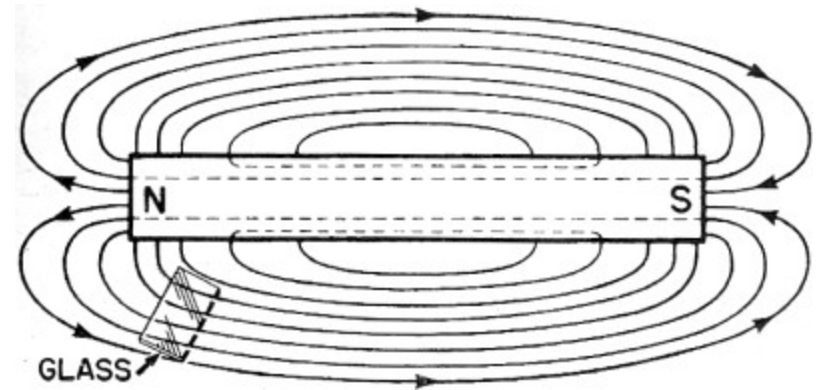
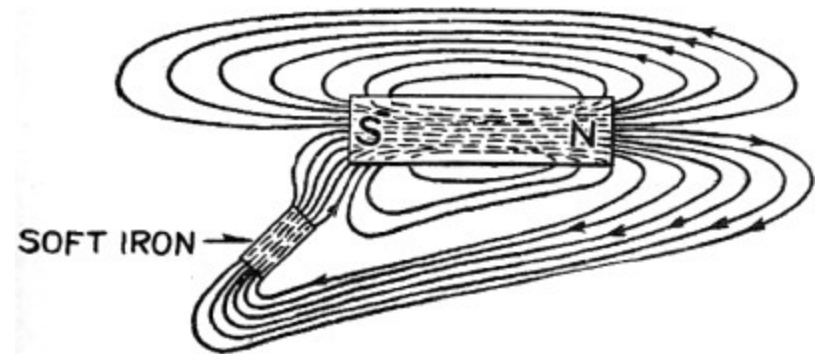
”Magnetiserbara” material som järn och nickel har magnetiseras lätt i ett magnetiskt fält. De sägs ha hög permabilitet  $\mu$ .

Ett stycke järn utanför en magnet magnetiseras av det magnetiska fältet och många kraftlinjer tar denna ”genväg”.

Alla andra material är ”icke magnetiserbara” de har samma permabilitet som vacuum

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$$

Kraftlinjerna påverkas *inte* av glasbiten med samma permabilitet som vacuum!



# Permabilitetstal

Det är praktiskt att jämföra olika materials permabilitet med vacuums.

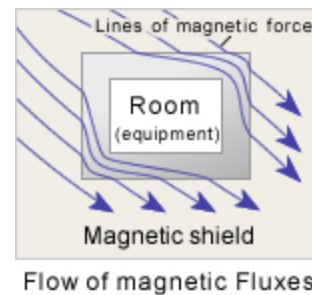
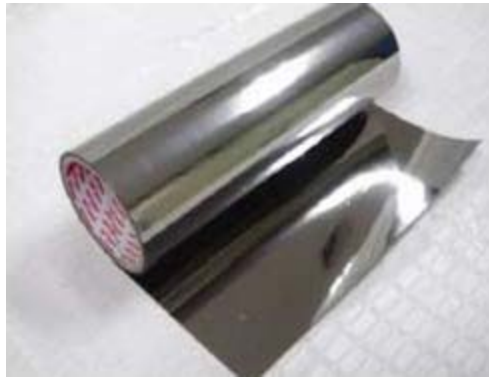
$$\mu = k_m \cdot \mu_0, \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}, \text{ där } k_m \text{ är permabilitetstalet}$$

( ibland även betecknat  $\mu_r$ ,  $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$  )

Permalloy är en legering med mycket högt permabilitetstal  $\approx 8000$ .  
Den kan användas som skärm mot magnetiska fält.

En annan liknande legering är My-metall som har permabilitetstalet  $\approx 20000$ .

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$



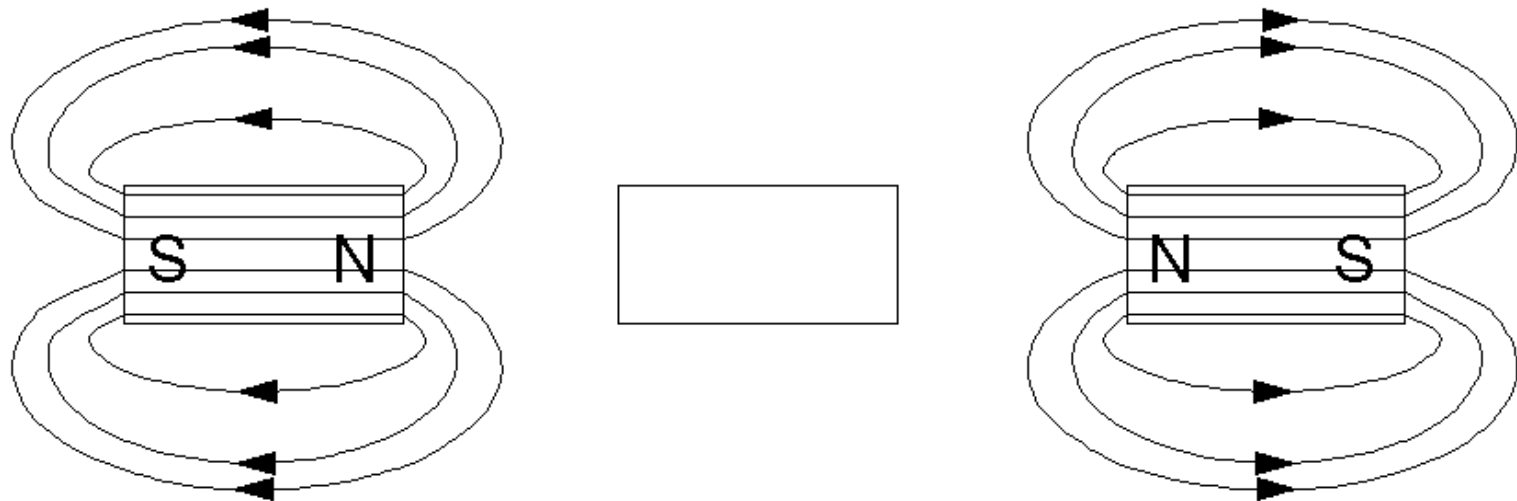
# Permanentmagneter (10.7)

Två magneter är placerade på varsin sida av en metallbit. metallen har  $k_m = 1$  ( $\mu_r = 1$ ). Rita de magnetiska kraftlinjerna i figuren. Markera med pilar fältets riktning.



# Permanentmagneter (10.7)

Två magneter är placerade på varsin sida av en metallbit. metallen har  $k_m = 1$  ( $\mu_r = 1$ ). Rita de magnetiska kraftlinjerna i figuren. Markera med pilar fältets riktning.

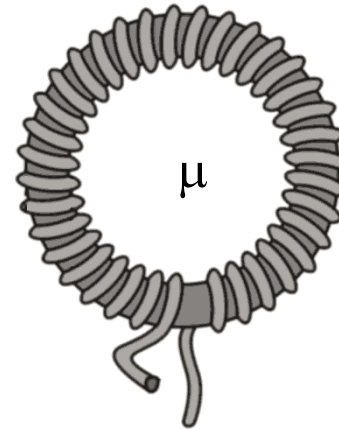
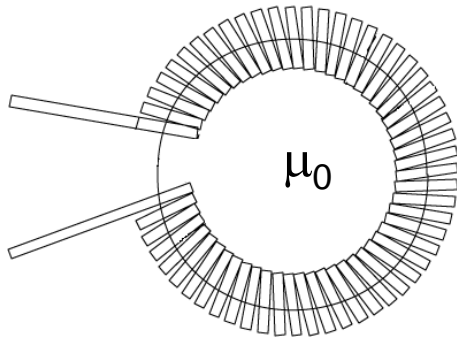


# Reluktans

Ett materials reluktans, materialets motstånd mot de magnetiska kraftlinjerna, är omvänt proportionellt mot tvärsnittsarean och proportionellt mot kraftlinjernas väg genom materialet.

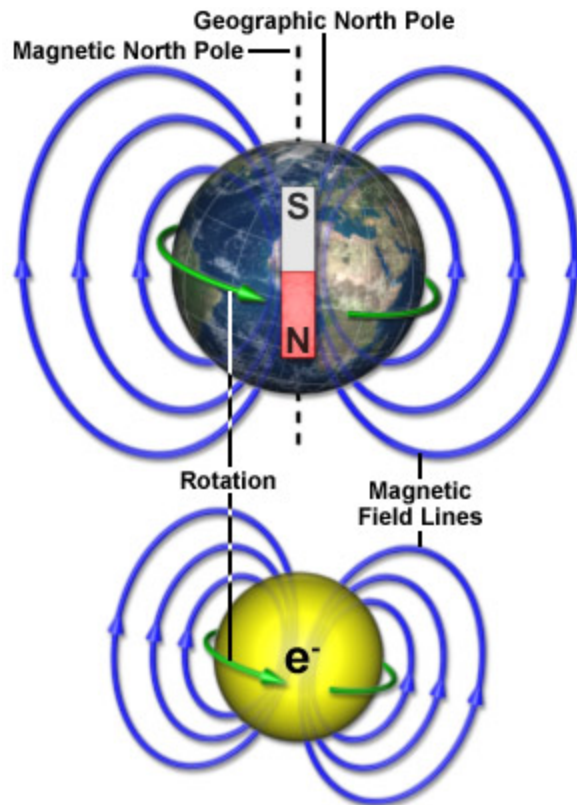
Reluktansen är omvänt proportionell mot materialkonstanten  $\mu$ .

$$R_m = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{A} = \frac{1}{k_m \cdot \mu_0} \cdot \frac{l}{A}$$

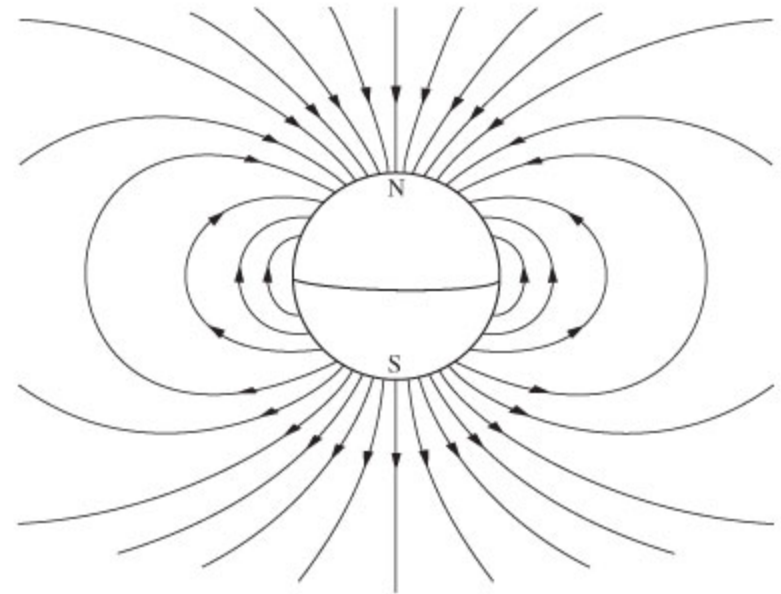




# Både jorden och elektronen är magneter

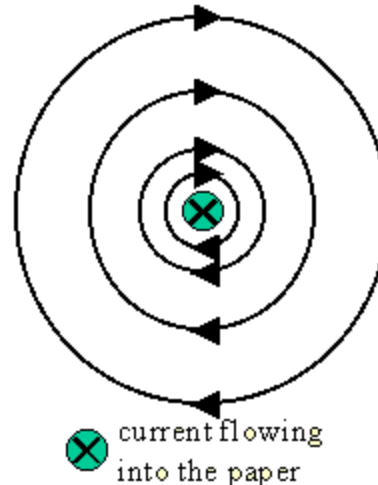
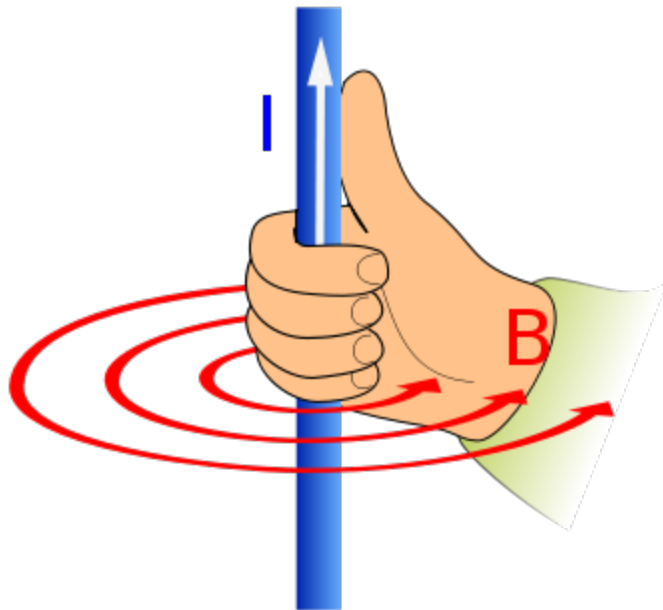


The Earth and electrons are both magnets.

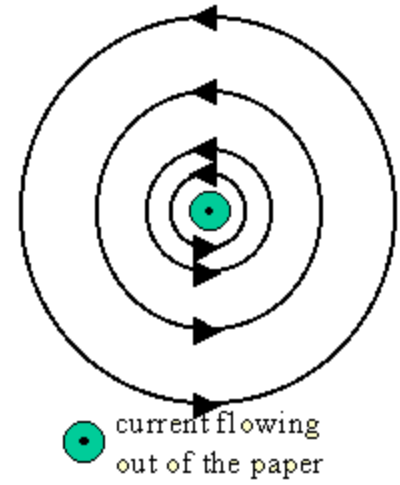


# Skruvregeln

Den elektriska strömmen ger upphov till magnetfält.

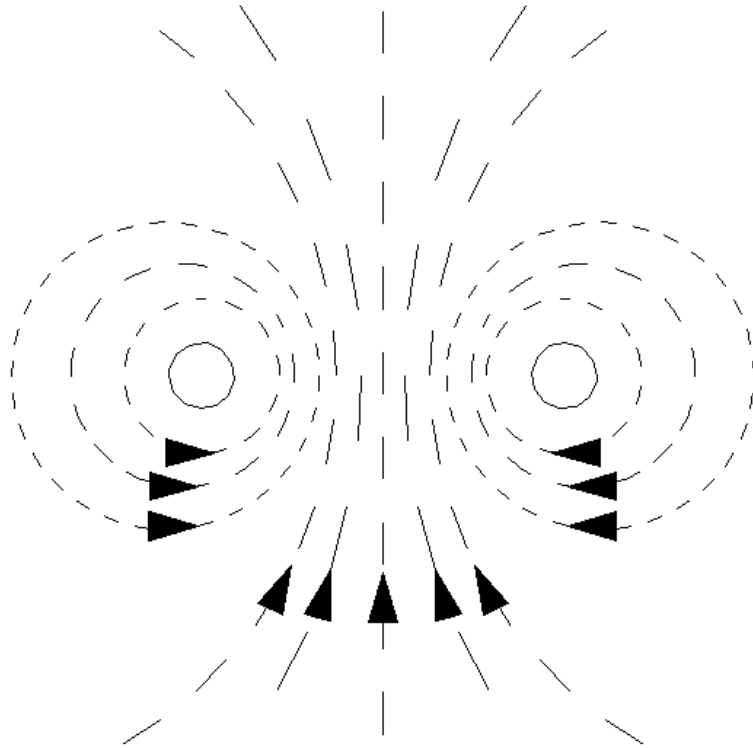


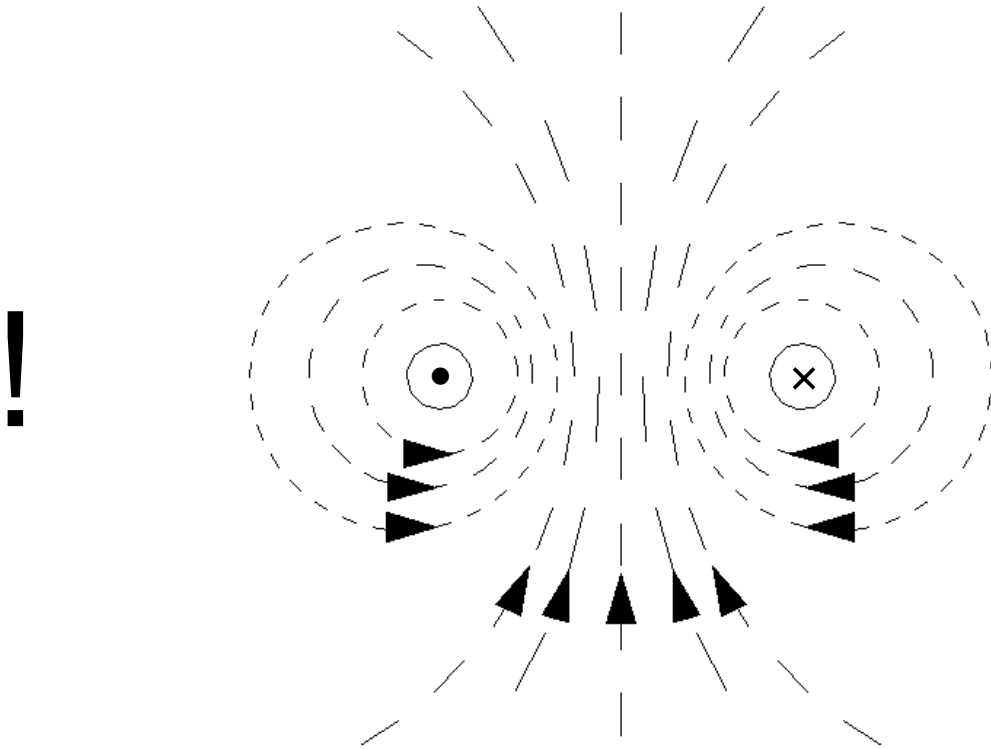
current flowing into the paper



current flowing out of the paper

?

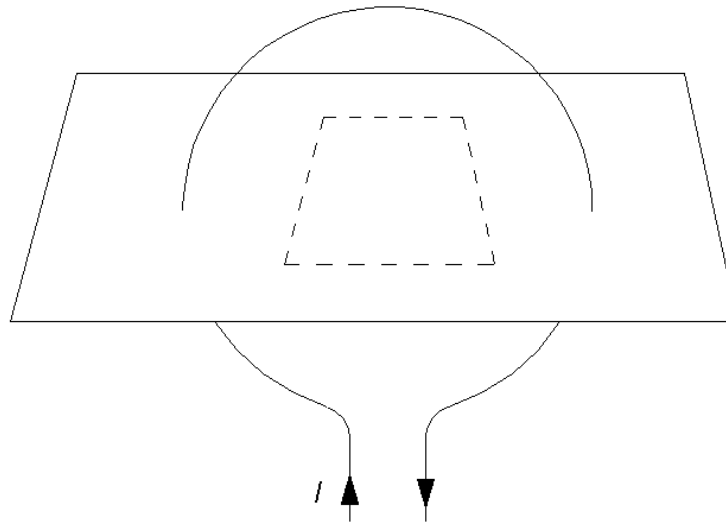




William Sandqvist [william@kth.se](mailto:william@kth.se)

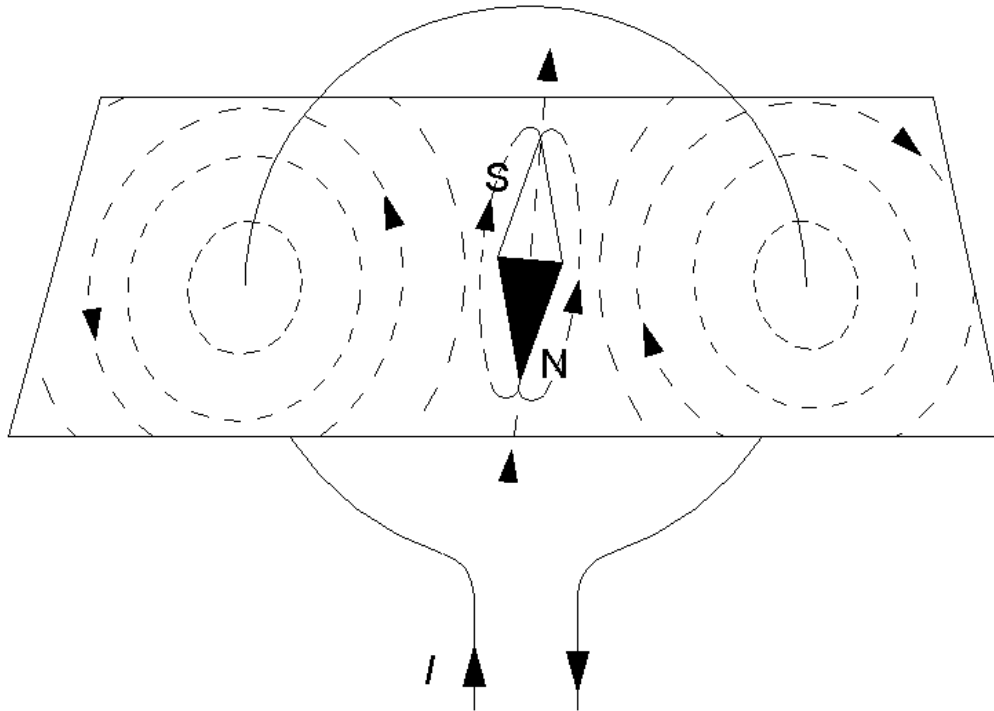
# Slinga (10.8)

- Rita det magnetiska fältet runt trådarna i papprets plan. Markera fältets riktning med pilar.
- Placera kompassnålen i det streckade området – hur ställer den in sig?

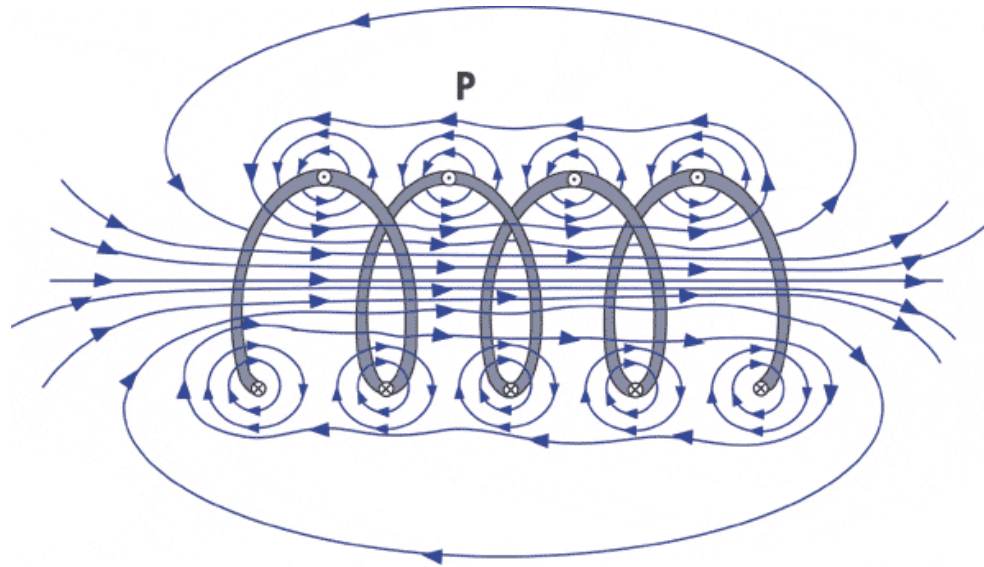


# Slinga (10.8)

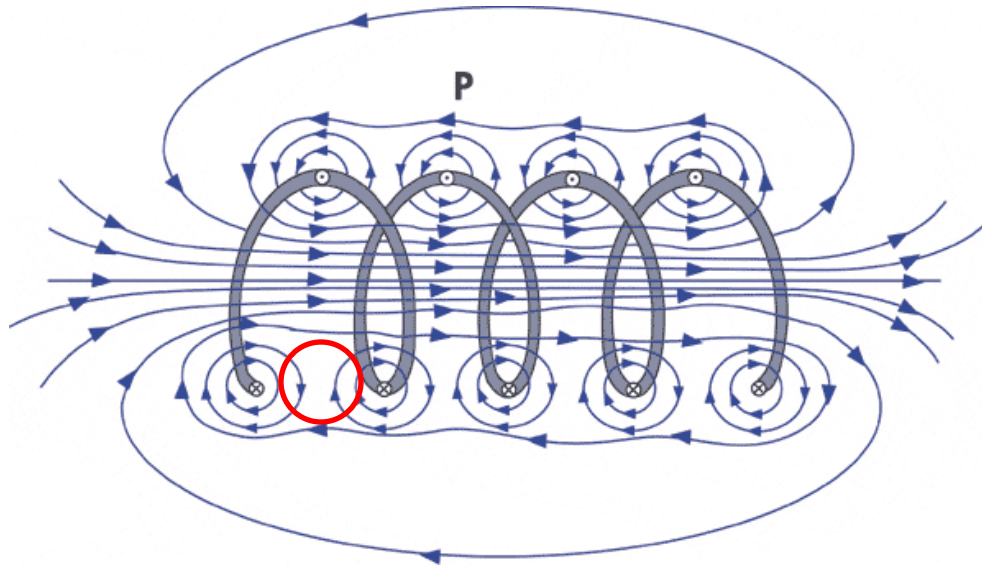
- Rita det magnetiska fältet runt trådarna i papprets plan. Markera fältets riktning med pilar.
- Placera kompassnålen i det streckade området – hur ställer den in sig?



# Elektromagneten



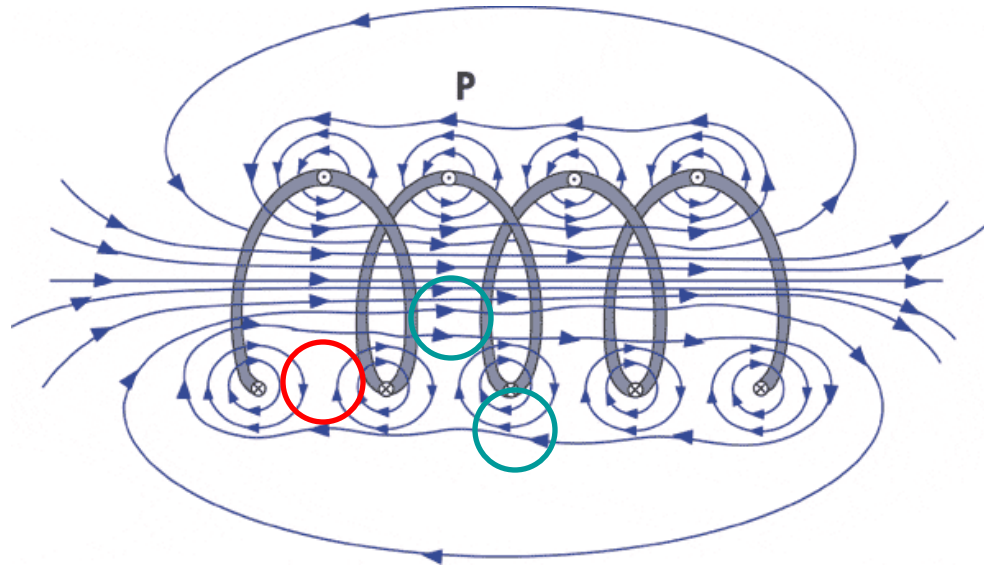
# Elektromagneten



Mellan slingorna **motverkar** fältlinjerna varandra.

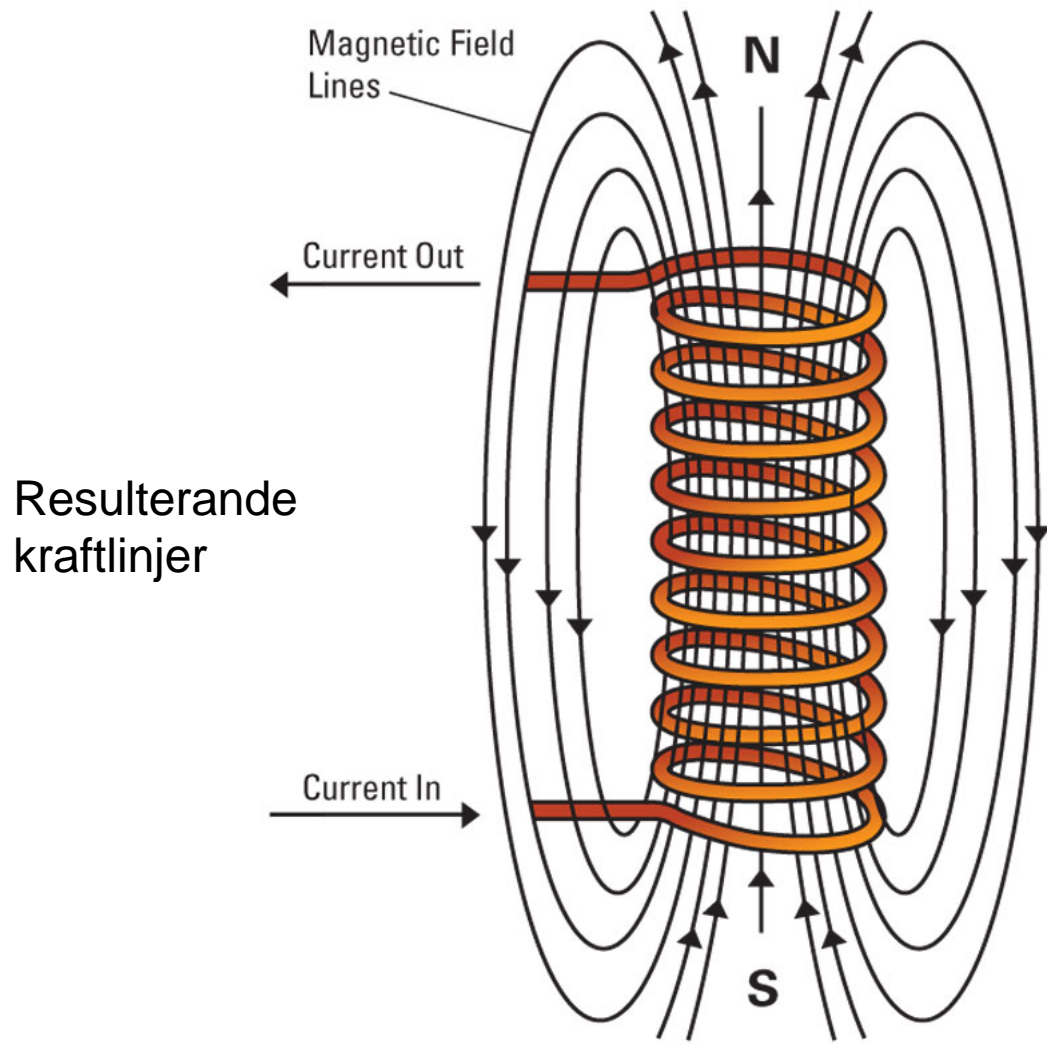


# Elektromagneten

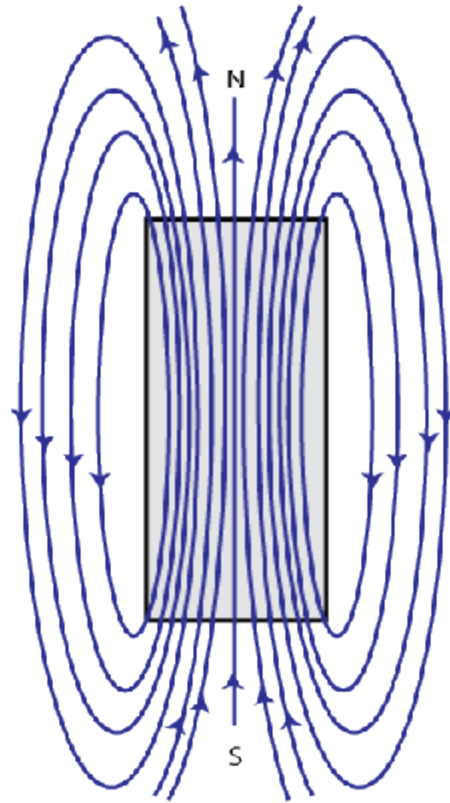


Mellan slingorna **motverkar** fältlinjerna varandra.

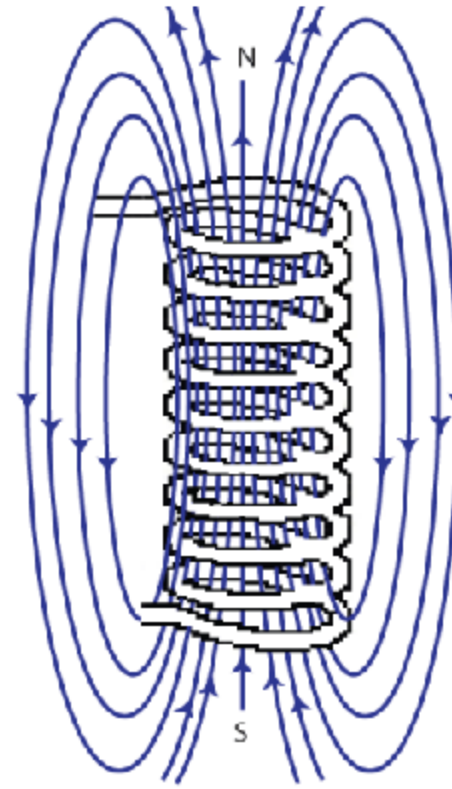
Inanför slingorna **förstärker** fältlinjerna varandra.



# Fältbilden blir som för stavmagneten

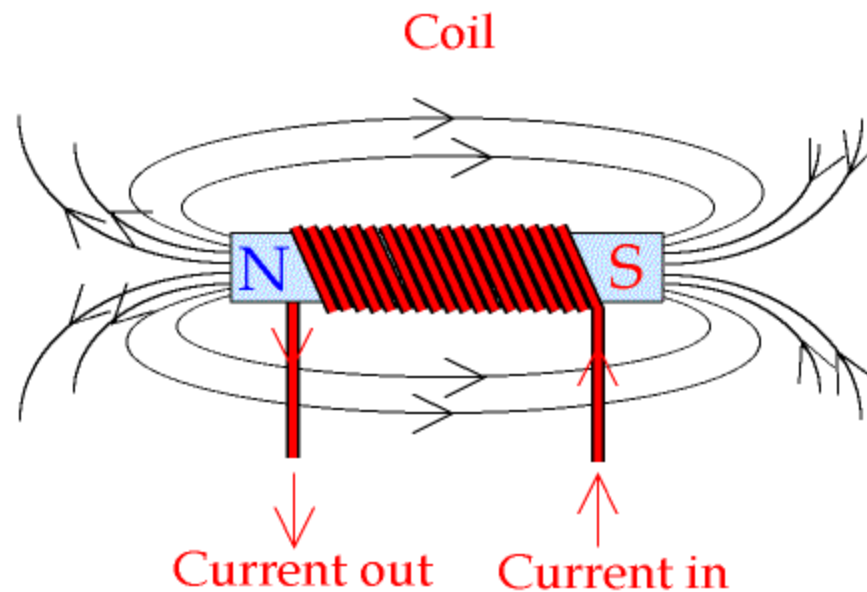


Bar Magnet



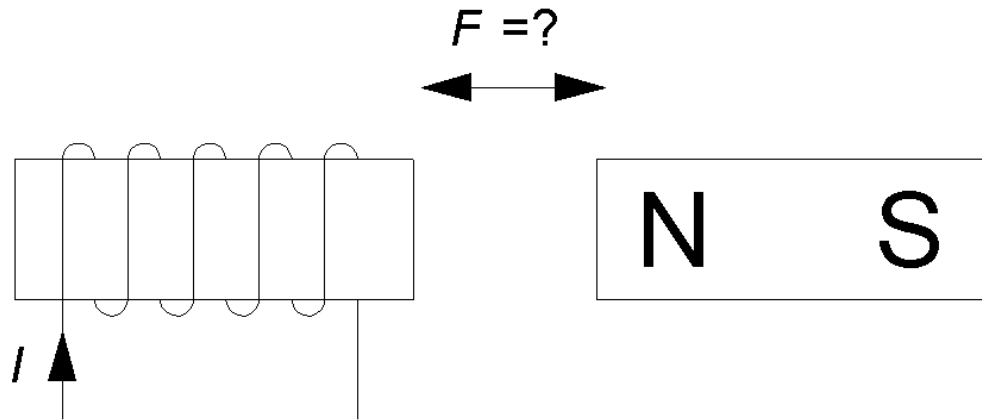
Solenoid

# En järnkärna förstärker magnetfältet (influens)



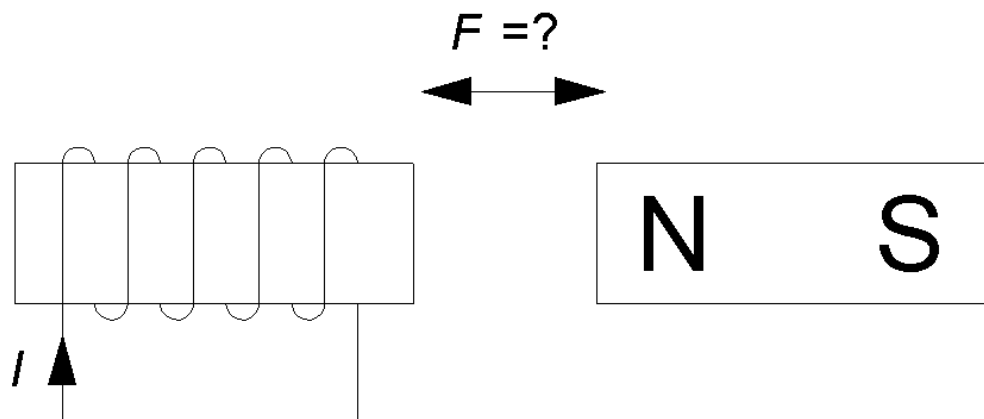
# Elektromagnet (10.1)

Blir kraften  $F$  repellerande eller attraherande?



# Elektromagnet (10.1)

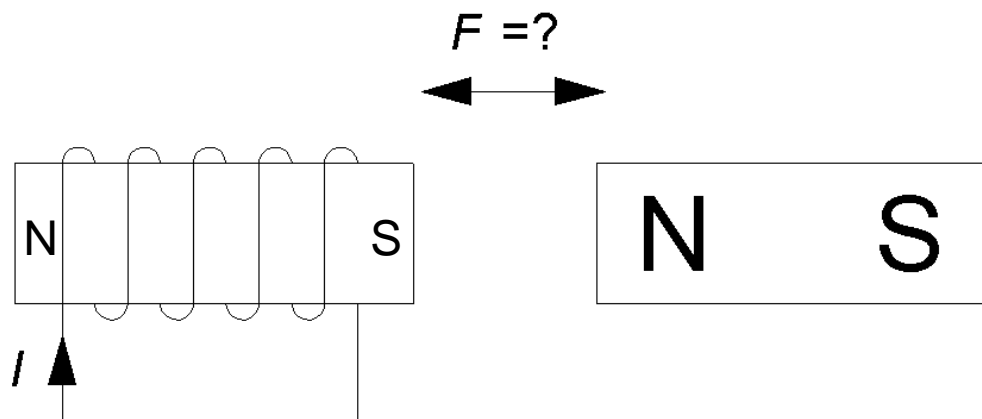
Blir kraften  $F$  repellerande eller attraherande?



**Högerhandsregel:** "Om Du håller om spolen med höger hand så att fingrarna (pekfingret) pekar i strömmens riktning, kommer tummen att peka mot nordändan."

# Elektromagnet (10.1)

Blir kraften  $F$  repellerande eller attraherande?



**Högerhandsregel:** "Om Du håller om spolen med höger hand så att fingrarna (pekfingret) pekar i strömmens riktning, kommer tummen att peka mot nordändan."

Kraften blir **attraherande** eftersom elektromagnet och permanentmagnet vänder *olika* poler mot varandra!

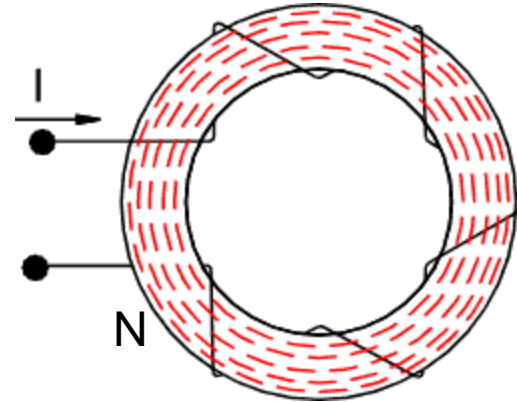
William Sandqvist [william@kth.se](mailto:william@kth.se)



# ”OHM’s” lag för magnetkretsen

En analogi till OHM’s lag kan ställas upp för den magnetiska kretsen.

Det som orsakar *magnetfältet* är den elektriska strömmen  $I$ , men som vi sett förstärks magnetfältet av varje lindningsvarv,  $N \cdot I$ . Produkten  $N \cdot I$  kallas för **mmk** ( magnetomotorisk kraft ) och betecknas  $F_m$  sorten är Amperevarv, [At].

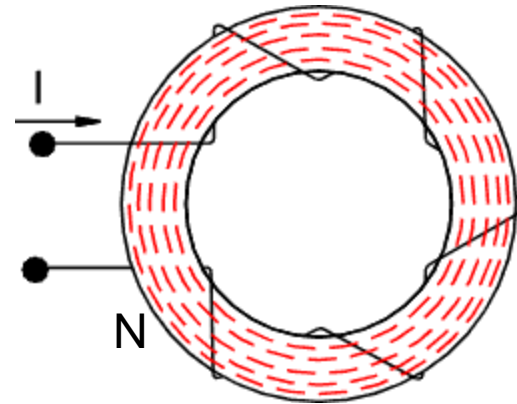


$$F_m = R_m \cdot \Phi \quad (\text{jämför } U = R \cdot I)$$

# ”OHM’s” lag för magnetkretsen

En analogi till OHM’s lag kan ställas upp för den magnetiska kretsen.

Det som orsakar *magnetfältet* är den elektriska strömmen  $I$ , men som vi sett förstärks magnetfältet av varje lindningsvarv,  $N \cdot I$ . Produkten  $N \cdot I$  kallas för **mmk** ( magnetomotorisk kraft ) och betecknas  $F_m$  sorten är Amperevarv, [At].

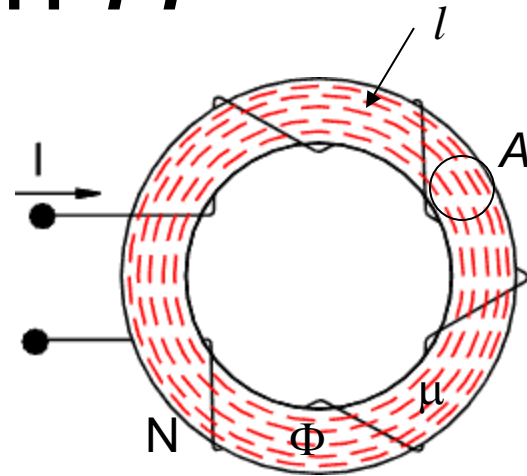


$$F_m = R_m \cdot \Phi \quad (\text{jämför } U = R \cdot I)$$

# Fältstyrkan $H$

Antag att kretsen kännetecknas av  $I$ ,  $N$ ,  
 $l$ ,  $A$ ,  $\Phi$ , och  $\mu$ .

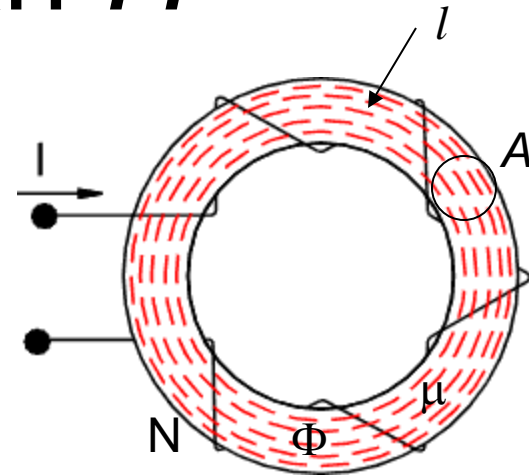
$$B = \frac{\Phi}{A} \quad \Phi = \frac{F_m}{R_m} \quad F_m = N \cdot I \quad R_m = \frac{l}{\mu \cdot A}$$
$$\Rightarrow B = \mu \cdot \frac{N \cdot I}{l}$$



# Fältstyrkan $H$

Antag att kretsen kännetecknas av  $I$ ,  $N$ ,  
 $l$ ,  $A$ ,  $\Phi$ , och  $\mu$ .

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad \Phi = \frac{F_m}{R_m} \quad F_m = N \cdot I \quad R_m = \frac{l}{\mu \cdot A}$$
$$\Rightarrow B = \mu \cdot \frac{N \cdot I}{l}$$

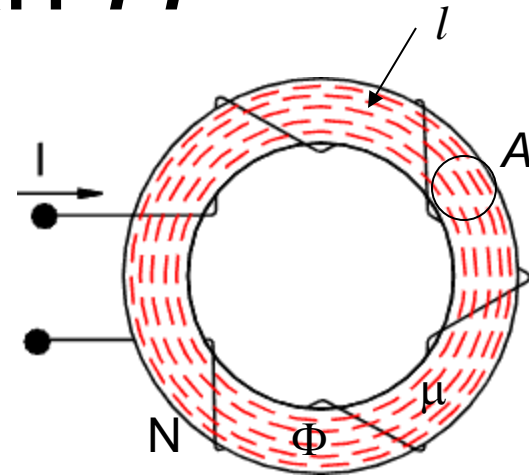


Man brukar införa ytterligare en magnetisk fältstorhet  $H$ , fältstyrkan med sorten Amperevarv/meter [At/m].

# Fältstyrkan $H$

Antag att kretsen kännetecknas av  $I$ ,  $N$ ,  $l$ ,  $A$ ,  $\Phi$ , och  $\mu$ .

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad \Phi = \frac{F_m}{R_m} \quad F_m = N \cdot I \quad R_m = \frac{l}{\mu \cdot A}$$
$$\Rightarrow B = \mu \cdot \frac{N \cdot I}{l}$$



Man brukar införa ytterligare en magnetisk fältstorhet  $H$ , fältstyrkan med sorten Amperevarv/meter [At/m].

$$H = \frac{N \cdot I}{l} \quad \Rightarrow \quad B = \mu \cdot H \quad B = f(H)$$

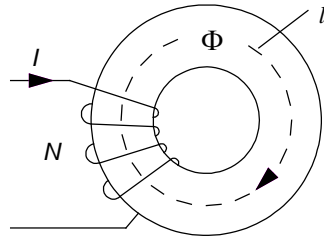
För många beräkningar på magnetiska kretsar är det *enkla* sambandet mellan flödestäthet och fältstyrka  $B = \mu \cdot H$  tillfyllest.

Vill man beskriva en permanentmagnet så är sambandet  $B = f(H)$  nödvändigtvis mer komplicerat. Magneten har ju en flödestäthet *även* när strömmen  $I$  är "0"!

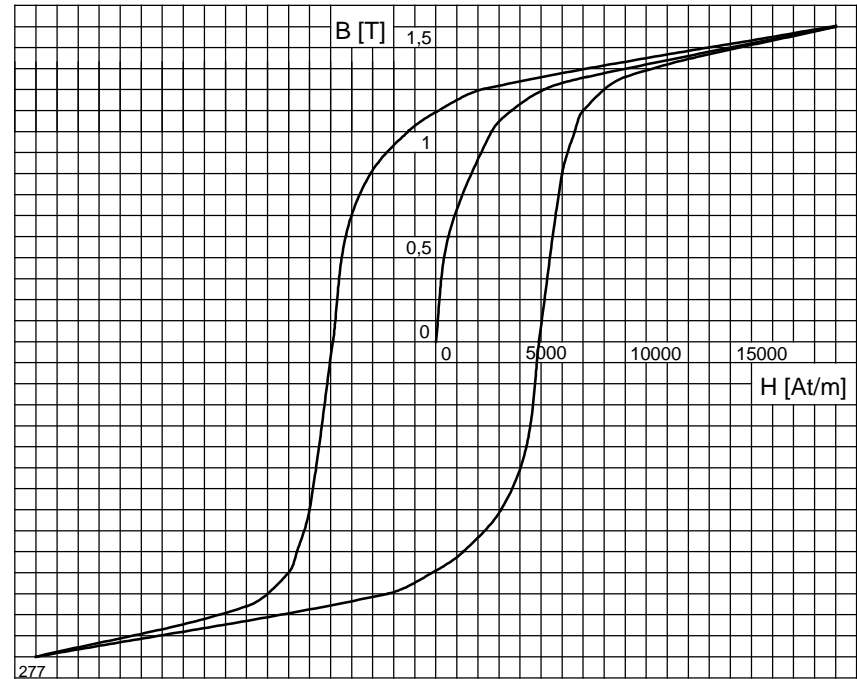
William Sandqvist [william@kth.se](mailto:william@kth.se)

# Magnetisering och avmagnetisering (10.14)

$N = 1250$  varv  
 $l = 0,2$  m  
 $I = 3,04$  A



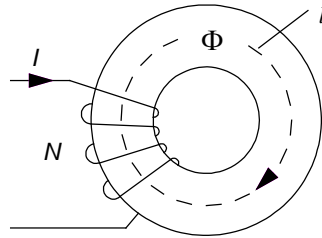
Figuren visar  $B = f(H)$  för Wolframstål.



Wolframstål

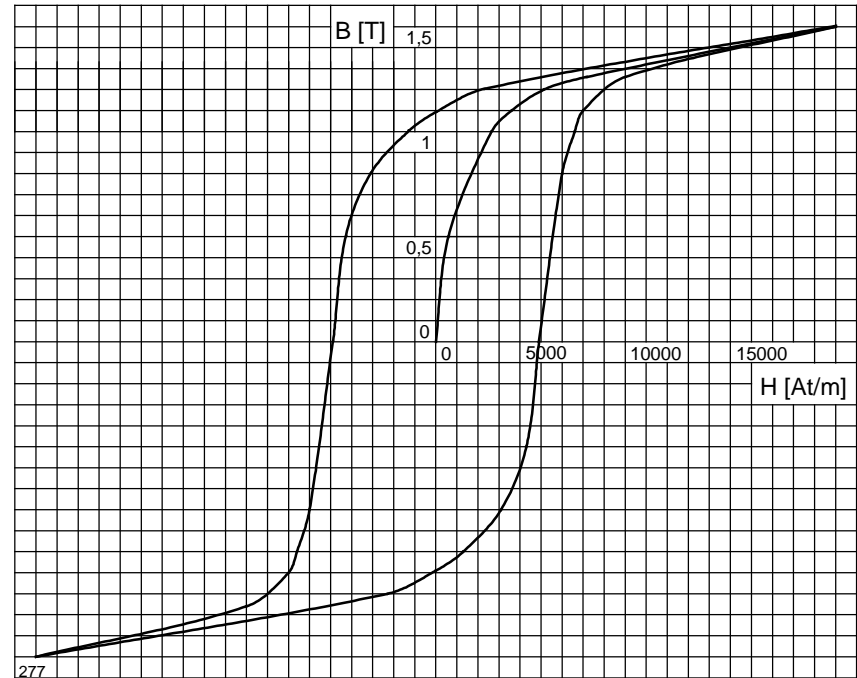
# Magnetisering och avmagnetisering (10.14)

$N = 1250$  varv  
 $l = 0,2$  m  
 $I = 3,04$  A



Figuren visar  $B = f(H)$  för Wolframstål.

a) Hur stor blir flödestätheten  $B$  i Wolframstålet?

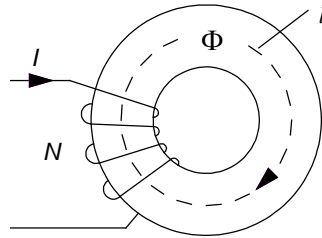


Wolframstål



# Magnetisering och avmagnetisering (10.14)

$$N = 1250 \text{ varv}$$
$$l = 0,2 \text{ m}$$
$$I = 3,04 \text{ A}$$

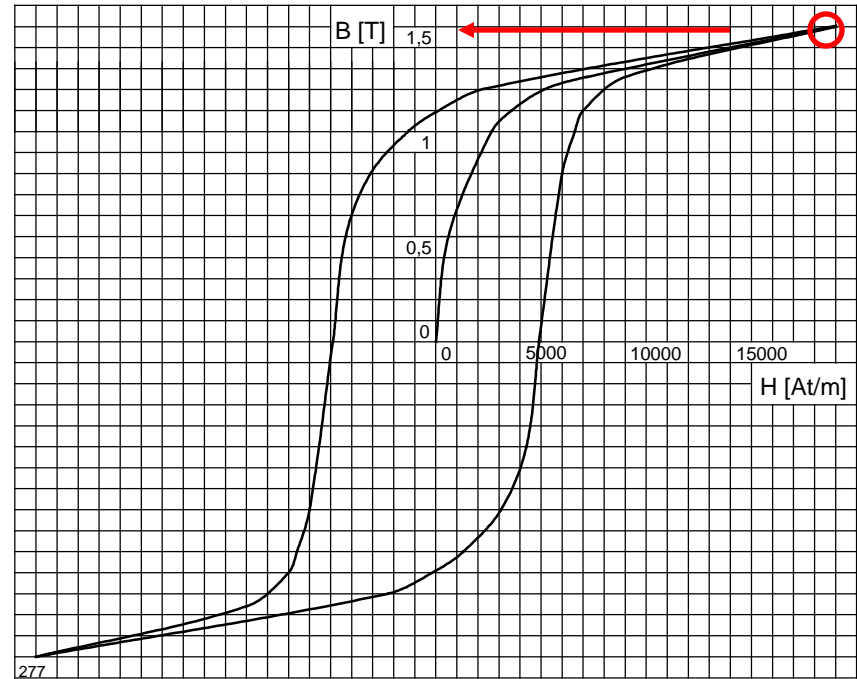


Figuren visar  $B = f(H)$  för Wolframstål.

a) Hur stor blir flödestätheten  $B$  i Wolframstålet?

$$H = \frac{N \cdot I}{l} = \frac{1250 \cdot 3,04}{0,2} = 19000 \text{ At}$$

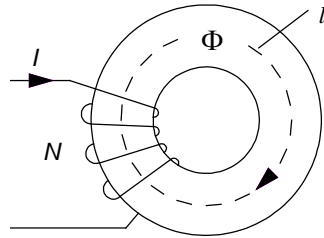
$$B = 1,6 \text{ [T, Wb/m}^2\text{]}$$



Wolframstål

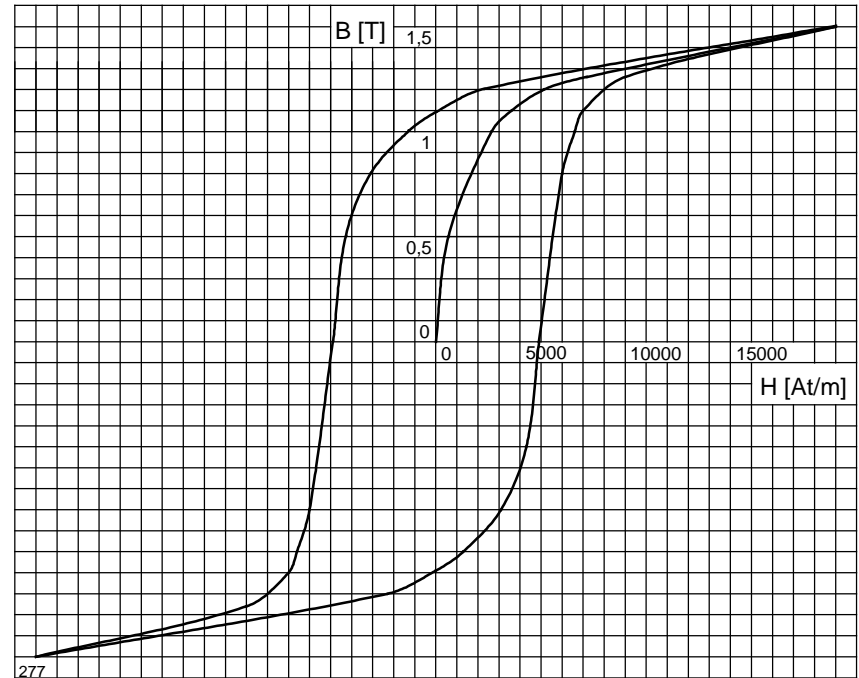
# Magnetisering och avmagnetisering (10.14)

$N = 1250$  varv  
 $l = 0,2$  m  
 $I = 3,04$  A



Figuren visar  $B = f(H)$  för Wolframstål.

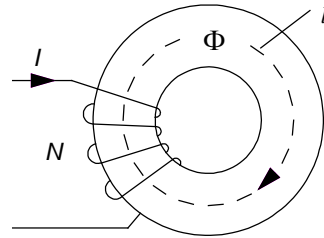
b) Hur stor blir den kvarvarande flödestätheten (remanensen) om man slår av strömmen?



Wolframstål

# Magnetisering och avmagnetisering (10.14)

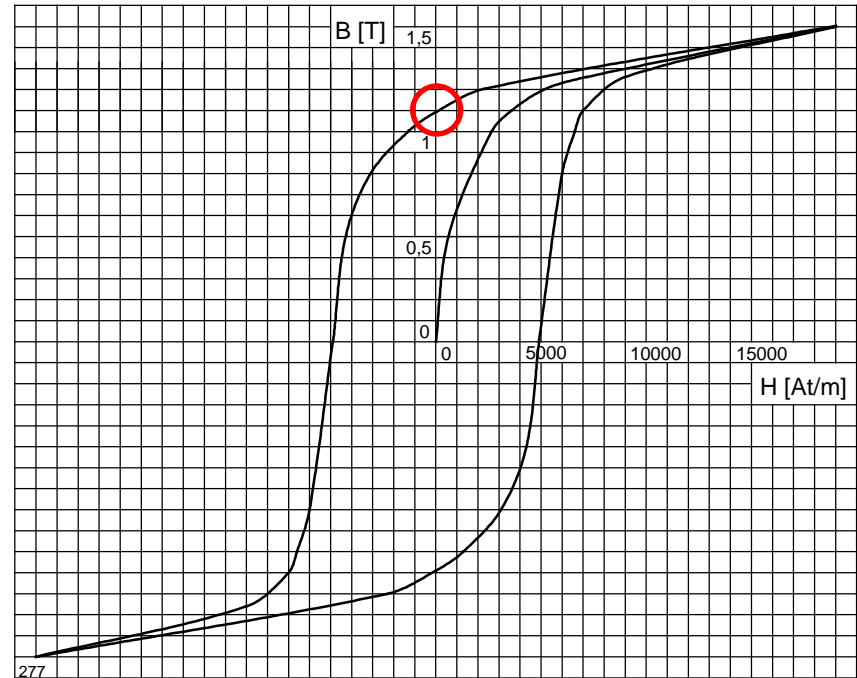
$N = 1250$  varv  
 $l = 0,2$  m  
 $I = 3,04$  A



Figuren visar  $B = f(H)$  för Wolframstål.

b) Hur stor blir den kvarvarande flödestätheten (remanensen) om man slår av strömmen?

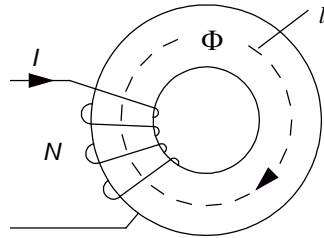
Vi avläser  $B = 1,2$  [T, Wb/m<sup>2</sup>] vid strömmen "0".



Wolframstål

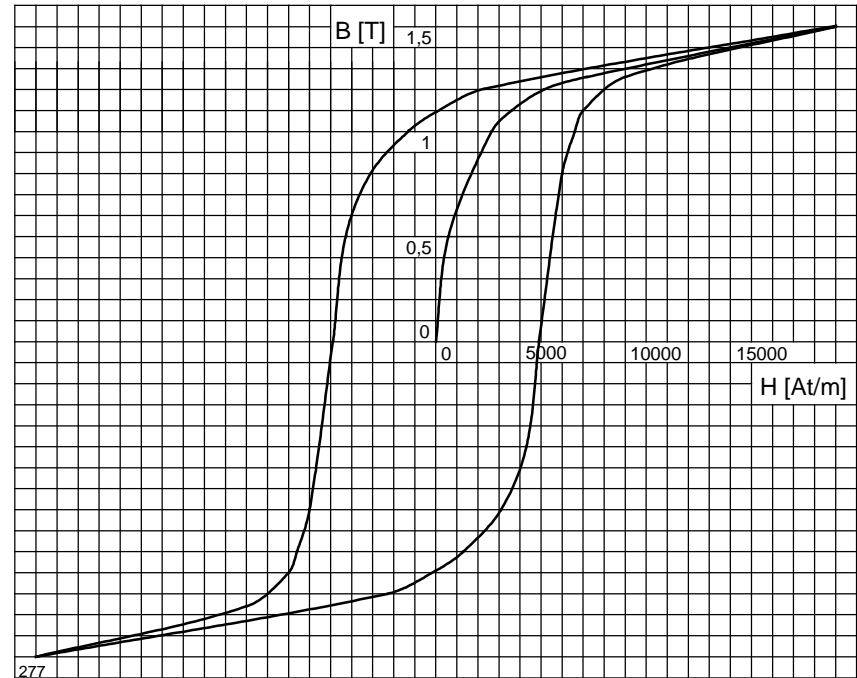
# Magnetisering och avmagnetisering (10.14)

$N = 1250$  varv  
 $l = 0,2$  m  
 $I = 3,04$  A



Figuren visar  $B = f(H)$  för Wolframstål.

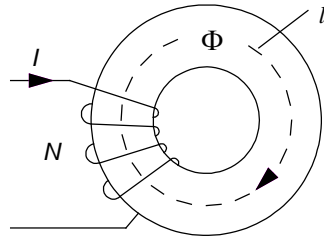
c) Hur stor motriktad ström måste man tillföra spolen för att avmagnetisera Wolframstålet?



Wolframstål

# Magnetisering och avmagnetisering (10.14)

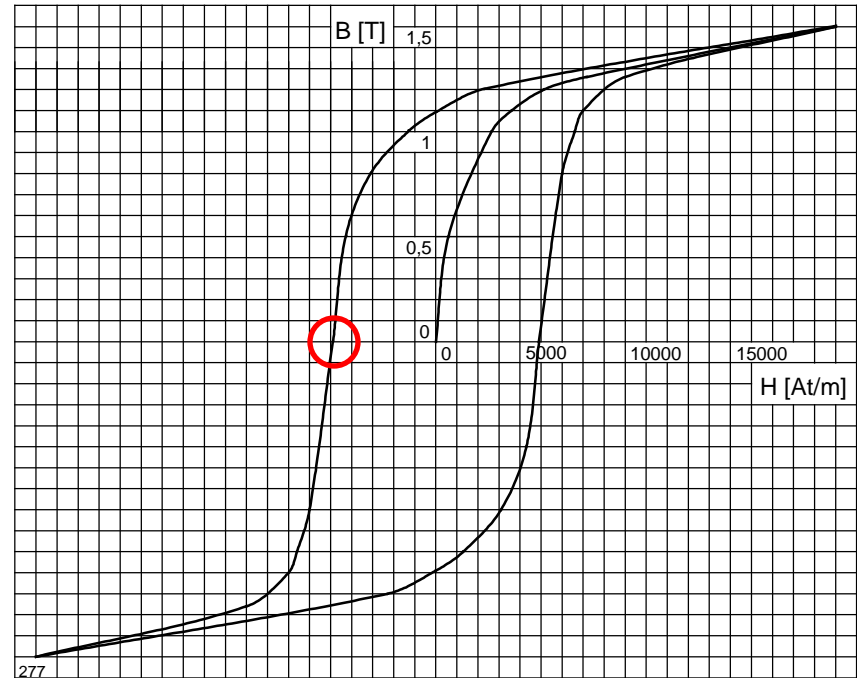
$N = 1250$  varv  
 $l = 0,2$  m  
 $I = 3,04$  A



Figuren visar  $B = f(H)$  för Wolframstål.

c) Hur stor motriktad ström måste man tillföra spolen för att avmagnetisera Wolframstålet?

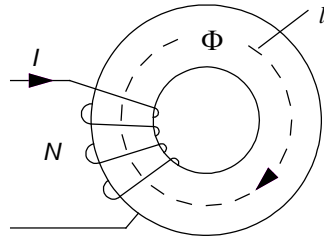
Avmagnetisering  $H = -5000$ .



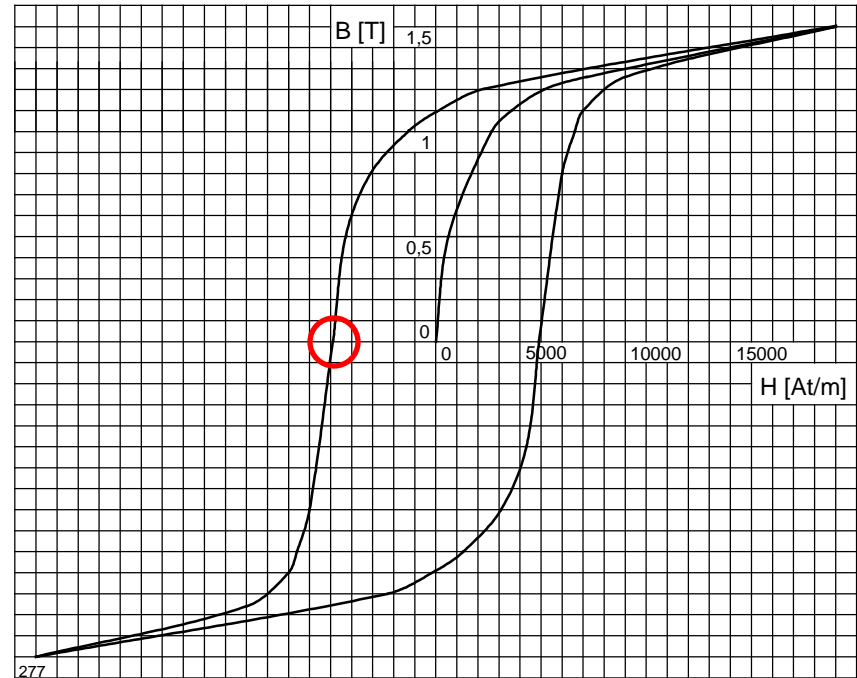
Wolframstål

# Magnetisering och avmagnetisering (10.14)

$N = 1250$  varv  
 $l = 0,2$  m  
 $I = 3,04$  A



Figuren visar  $B = f(H)$  för Wolframstål.



Wolframstål

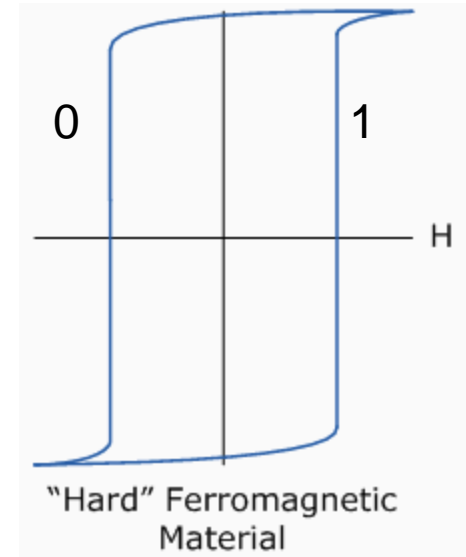
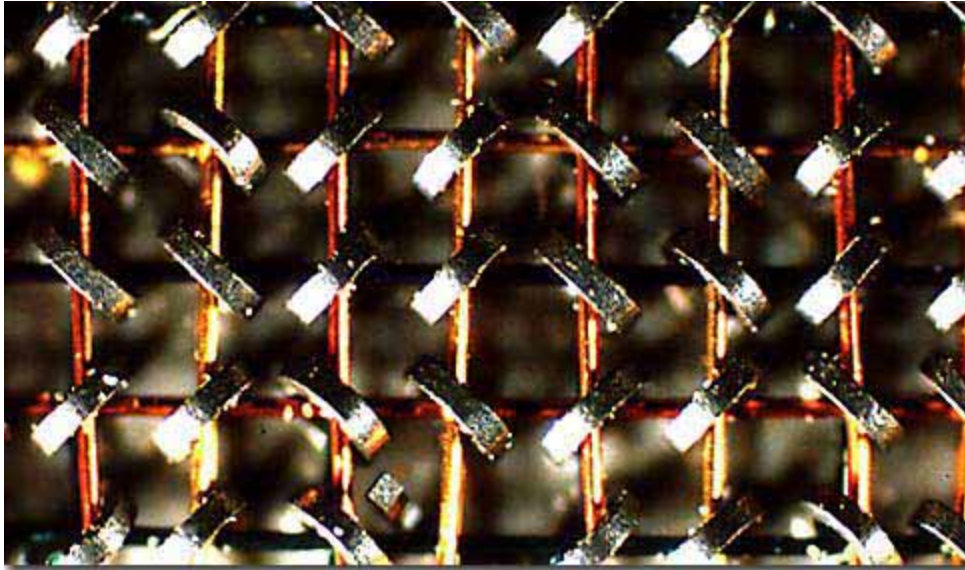
c) Hur stor motriktad ström måste man tillföra spolen för att avmagnetisera Wolframstålet?

Avmagnetisering  $H = -5000$ .

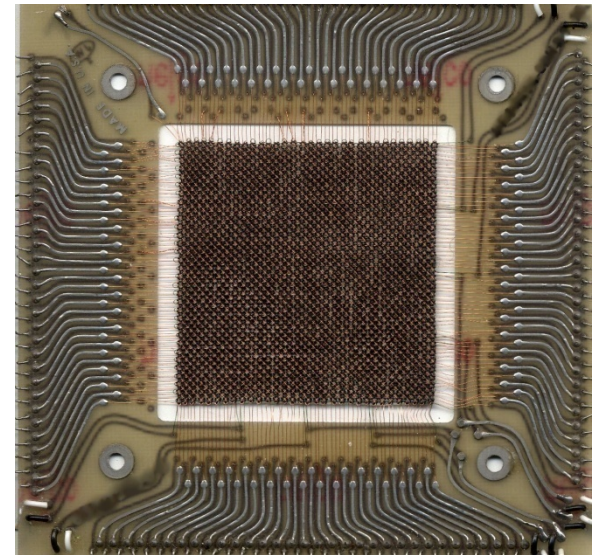
$$I = \frac{H \cdot l}{N} = \frac{-5000 \cdot 0,2}{1250} = -0,8 \text{ A}$$

William Sandqvist [william@kth.se](mailto:william@kth.se)

# Kärnminne



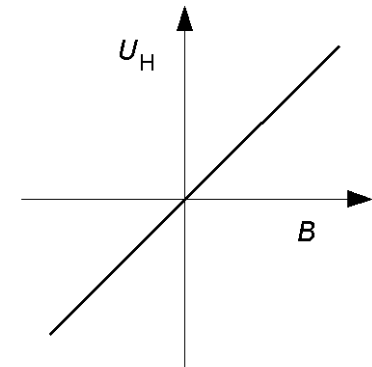
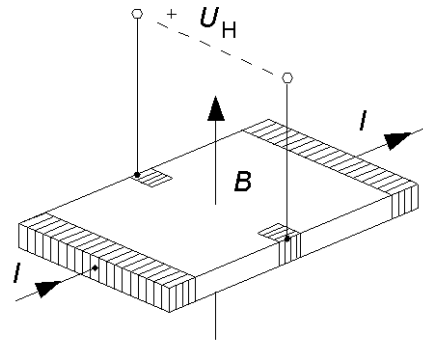
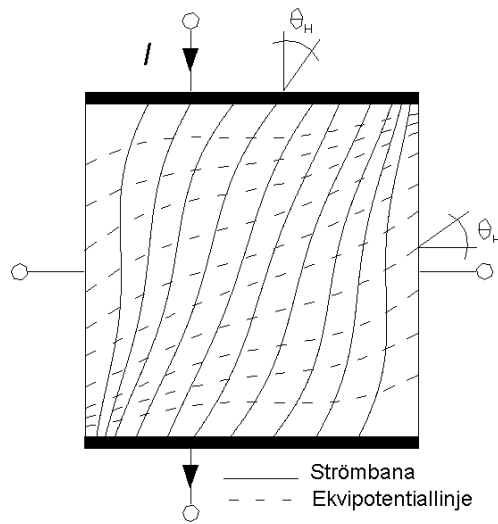
På 1960-talet var datorerna utrustade med kärnminnen. Varje kärna, ring, är en "bit". Den är uppträdd på tre trådar x, y och läs-tråden.





William Sandqvist [william@kth.se](mailto:william@kth.se)

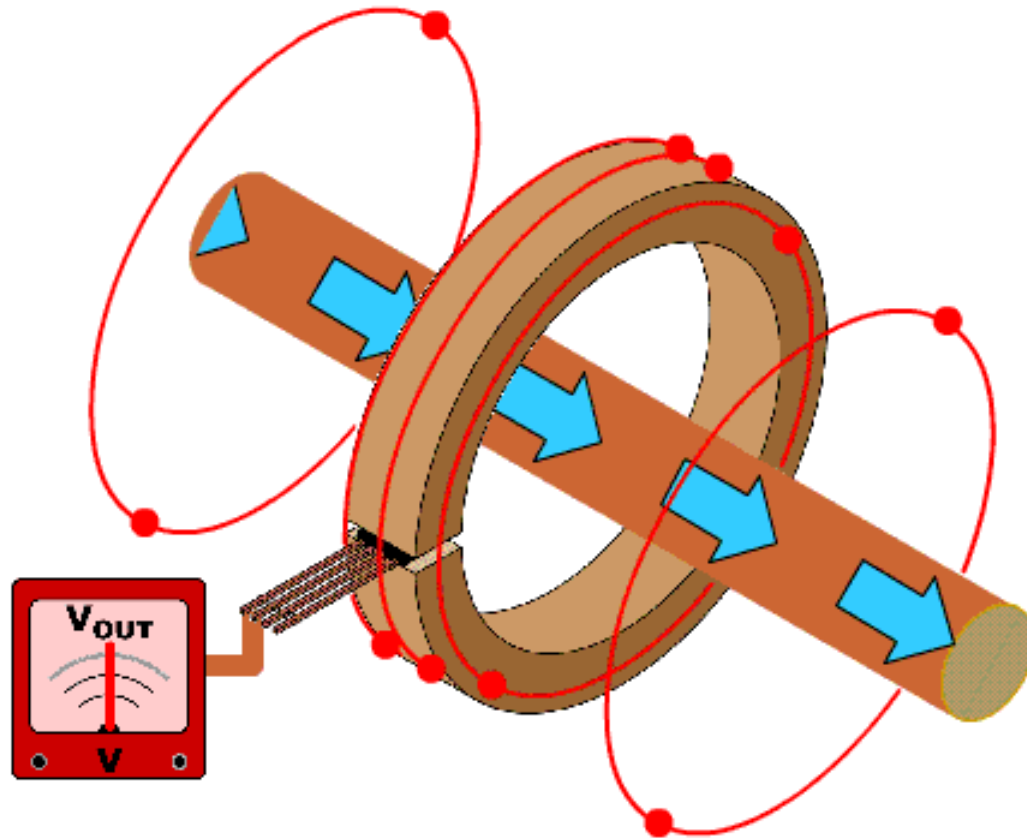
# Halleffektsensorn



Halleffektsensorn är en bra "strömmätare".

$$U_H \propto B$$

# Strömmätning med Hallsensor



# Luftgapets roll

OHM's magnetkretslag

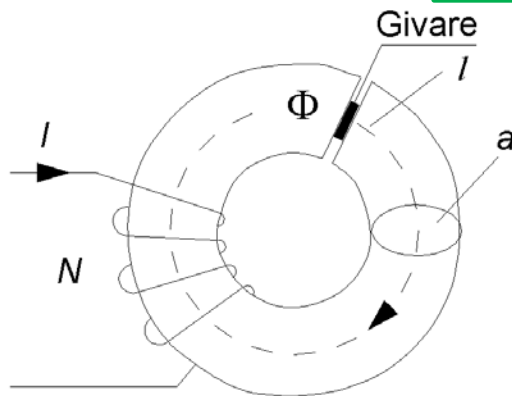
$$F_m = R_m \cdot \Phi$$

$$F_m = N \cdot I$$

För att mäta magnetfältet inuti toroiden måste man ta upp ett litet "luftgap" för att kunna placera en Hallsensor där.

Ett litet luftgap påverkar *inte* den magnetiska fältbilden, däremot ökar det magnetiska motståndet starkt eftersom det är svårare att magnetisera luften än kärnan. Det magnetiska flödet  $\Phi$  bromsas av kärnans reluktans  $R_{mFe}$  och luftgapets reluktans  $R_{mAIR}$  i serie.

$$R_m = R_{mFE} + R_{mAIR}$$



# Luftgapets roll

OHM's magnetkretslag

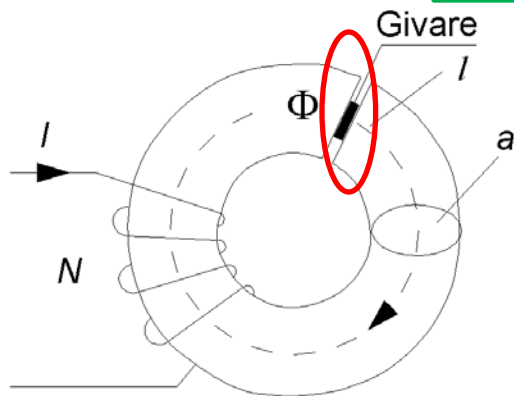
$$F_m = R_m \cdot \Phi$$

$$F_m = N \cdot I$$

För att mäta magnetfältet inuti toroiden måste man ta upp ett litet "luftgap" för att kunna placera en Hallsensor där.

Ett litet luftgap påverkar *inte* den magnetiska fältbilden, däremot ökar det magnetiska motståndet starkt eftersom det är svårare att magnetisera luften än kärnan. Det magnetiska flödet  $\Phi$  bromsas av kärnans reluktans  $R_{mFe}$  och luftgapets reluktans  $R_{mAIR}$  i serie.

$$R_m = R_{mFE} + R_{mAIR}$$

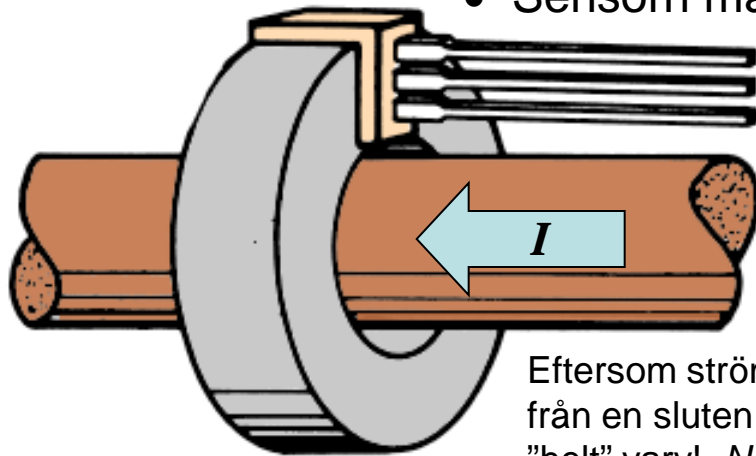


**Observera!** Om ringen är liten, måste luftgapets längd  $l_{AIR}$  dras ifrån flödeslinjernas medellängd  $l$  !

• **Detta gäller din webb-uppgift!**

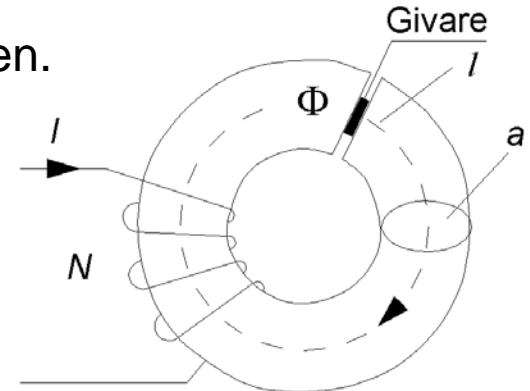
# Ex. 10.10 Strömmätning med Hallsensor

- Sensorn mäter  $B$  inuti toroiden.



"Spole"  
 $N = 1$

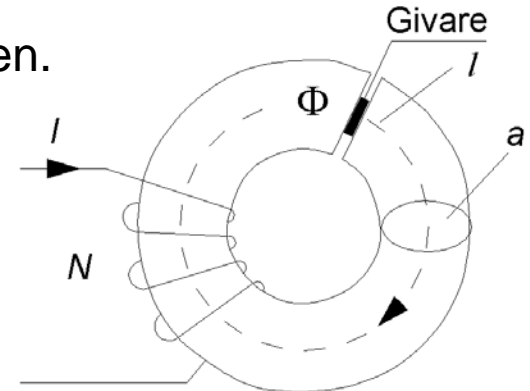
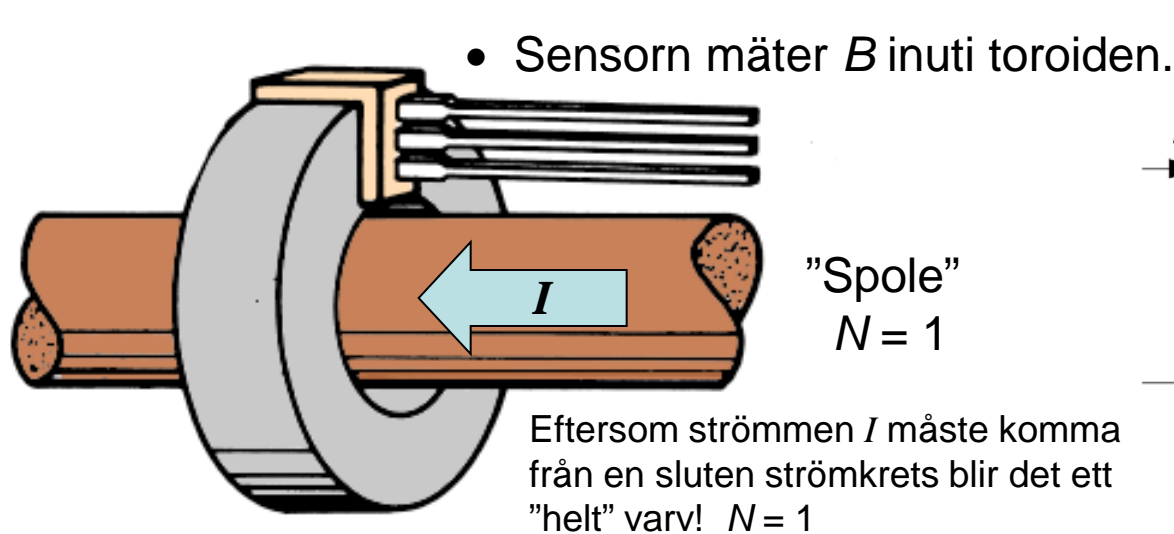
Eftersom strömmen  $I$  måste komma från en sluten strömkrets blir det ett "helt" varv!  $N = 1$



*Principen för strömmätning med Hallsensor.*

- Toroidringen har permabilitetstalet  $k_m = 500$
- Luftgap  $l_{\text{AIR}} = 1 \text{ mm}$
- De magnetiska fältlinjernas medelväg  $l = 30 \text{ mm}$
- Tvärsnittsarea  $a = 10 \text{ mm}^2$

# Ex. 10.10 Strömmätning med Hallsensor



*Principen för strömmätning med Hallsensor.*

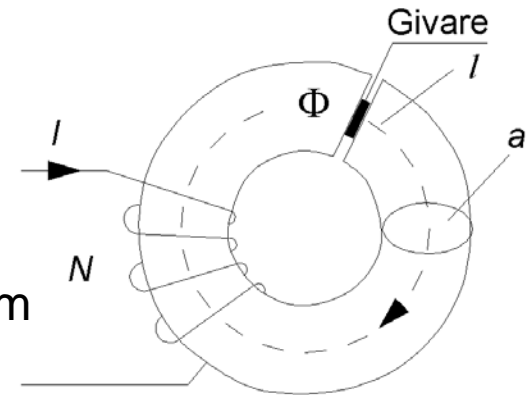
- Toroidringen har permabilitetstalet  $k_m = 500$
- Luftgap  $l_{\text{AIR}} = 1 \text{ mm}$
- De magnetiska fältlinjernas medelväg  $l = 30 \text{ mm}$
- Tvärsnittsarea  $a = 10 \text{ mm}^2$

**Uppgift:** Ställ upp sambandet mellan flödestätheten  $B$  inuti toroiden och mätströmmen  $I$ .  $B = f(I)$ .

$$B = f(I)$$

$$B = \frac{\Phi}{a} \quad \Phi = \frac{F_m}{R_m} \quad F_m = N \cdot I \quad R_m = \frac{l}{\mu \cdot a} \quad \mu = k_m \cdot \mu_0 \quad \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$$

- Spole  $N = 1$
- Toroidringen har permabilitetstalet  $k_m = 500$
- Luftgap  $l_{\text{AIR}} = 1 \text{ mm}$
- De magnetiska fältlinjernas medelväg  $l = 30 \text{ mm}$
- Tvärsnittsarea  $a = 10 \text{ mm}^2$

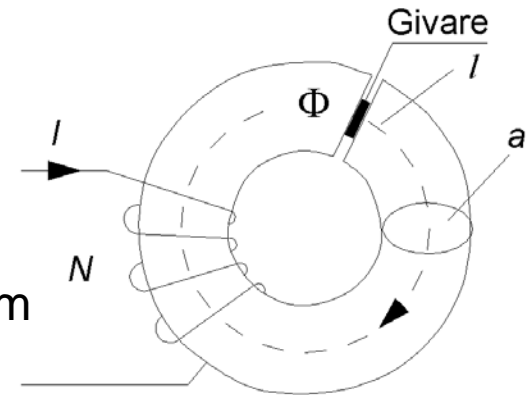




$$B = f(I)$$

$$B = \frac{\Phi}{a} \quad \Phi = \frac{F_m}{R_m} \quad F_m = N \cdot I \quad R_m = \frac{l}{\mu \cdot a} \quad \mu = k_m \cdot \mu_0 \quad \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$$

- Spole  $N = 1$
- Toroidringen har permabilitetstalet  $k_m = 500$
- Luftgap  $l_{AIR} = 1 \text{ mm}$
- De magnetiska fältlinjernas medelväg  $l = 30 \text{ mm}$
- Tvärsnittsarea  $a = 10 \text{ mm}^2$

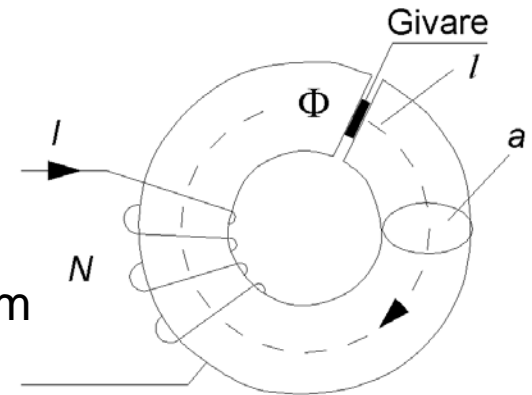


$$R_{mFE} = \frac{l - l_{AIR}}{\mu_0 \cdot k_m \cdot a} \quad R_{mAIR} = \frac{l_{AIR}}{\mu_0 \cdot a} \quad R_m = R_{mFE} + R_{mAIR} = \frac{l + l_{AIR}(k_m - 1)}{\mu_0 \cdot k_m \cdot a}$$

$$B = f(I)$$

$$B = \frac{\Phi}{a} \quad \Phi = \frac{F_m}{R_m} \quad F_m = N \cdot I \quad R_m = \frac{l}{\mu \cdot a} \quad \mu = k_m \cdot \mu_0 \quad \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$$

- Spole  $N = 1$
- Toroidringen har permabilitetstalet  $k_m = 500$
- Luftgap  $l_{AIR} = 1 \text{ mm}$
- De magnetiska fältlinjernas medelväg  $l = 30 \text{ mm}$
- Tvärsnittsarea  $a = 10 \text{ mm}^2$



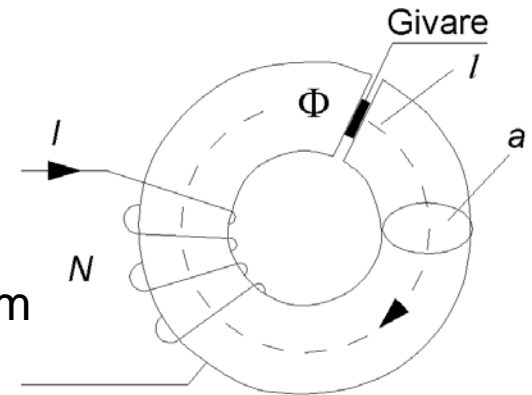
$$R_{mFE} = \frac{l - l_{AIR}}{\mu_0 \cdot k_m \cdot a} \quad R_{mAIR} = \frac{l_{AIR}}{\mu_0 \cdot a} \quad R_m = R_{mFE} + R_{mAIR} = \frac{l + l_{AIR}(k_m - 1)}{\mu_0 \cdot k_m \cdot a}$$

$$B = \frac{\Phi}{a} \quad \Phi = \frac{F_m}{R_m} \quad F_m = N \cdot I \quad \Rightarrow \quad B = \frac{N \cdot I}{R_m \cdot a} = \frac{N \cdot I}{\frac{l + l_{AIR}(k_m - 1)}{\mu_0 \cdot k_m \cdot a} \cdot a} = \frac{\mu_0 \cdot k_m \cdot N}{l + l_{AIR}(k_m - 1)} \cdot I$$

$$B = f(I)$$

$$B = \frac{\Phi}{a} \quad \Phi = \frac{F_m}{R_m} \quad F_m = N \cdot I \quad R_m = \frac{l}{\mu \cdot a} \quad \mu = k_m \cdot \mu_0 \quad \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$$

- Spole  $N = 1$
- Toroidringen har permabilitetstalet  $k_m = 500$
- Luftgap  $l_{AIR} = 1 \text{ mm}$
- De magnetiska fältlinjernas medelväg  $l = 30 \text{ mm}$
- Tvärsnittsarea  $a = 10 \text{ mm}^2$



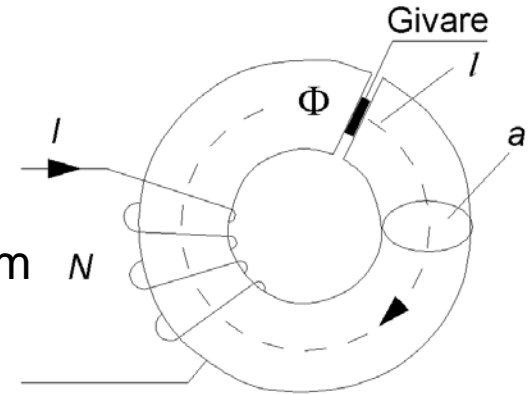
$$R_{mFE} = \frac{l - l_{AIR}}{\mu_0 \cdot k_m \cdot a} \quad R_{mAIR} = \frac{l_{AIR}}{\mu_0 \cdot a} \quad R_m = R_{mFE} + R_{mAIR} = \frac{l + l_{AIR}(k_m - 1)}{\mu_0 \cdot k_m \cdot a}$$

$$B = \frac{\Phi}{a} \quad \Phi = \frac{F_m}{R_m} \quad F_m = N \cdot I \quad \Rightarrow \quad B = \frac{N \cdot I}{R_m \cdot a} = \frac{N \cdot I}{\frac{l + l_{AIR}(k_m - 1)}{\mu_0 \cdot k_m \cdot a} \cdot a} = \frac{\mu_0 \cdot k_m \cdot N}{l + l_{AIR}(k_m - 1)} \cdot I$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot k_m \cdot N}{l + l_{AIR}(k_m - 1)} \cdot I$$

# Med siffror $B = f(I)$

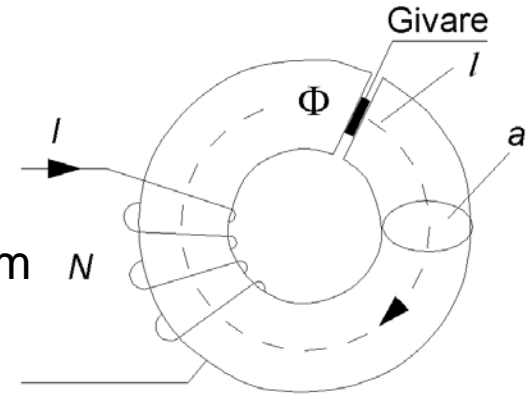
- Spole  $N = 1$
- Toroidringen har permabilitetstalet  $k_m = 500$
- Luftgap  $l_{AIR} = 1 \text{ mm}$
- De magnetiska fältlinjernas medelväg  $l = 30 \text{ mm}$
- Tvärsnittsarea  $a = 10 \text{ mm}^2$



$$B = \frac{\mu_0 \cdot k_m \cdot N}{l + l_{AIR}(k_m - 1)} \cdot I = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 500 \cdot 1}{30 \cdot 10^{-3} + 1 \cdot 10^{-3} \cdot 499} \cdot I = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot I$$

# Med siffror $B = f(I)$

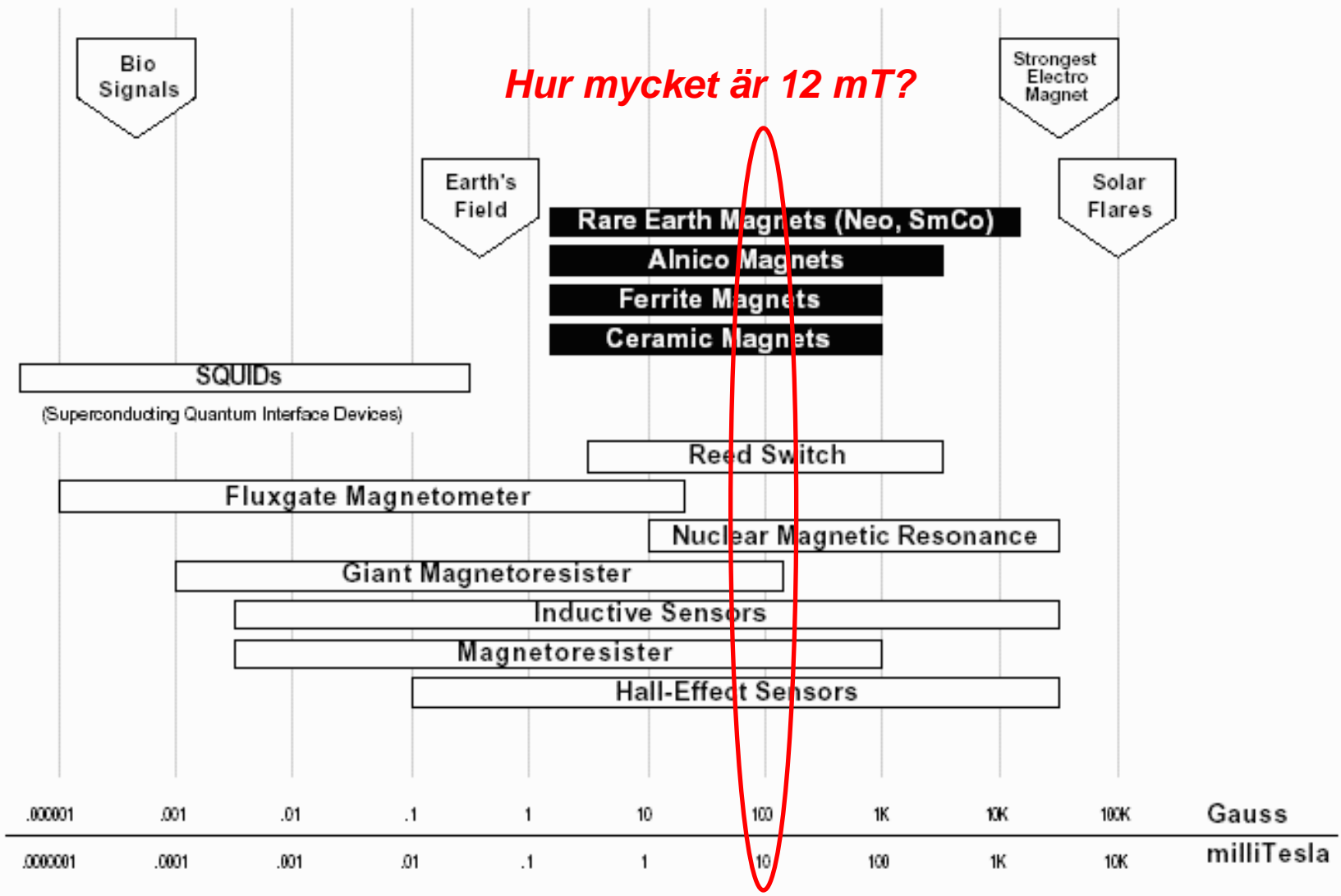
- Spole  $N = 1$
- Toroidringen har permabilitetstalet  $k_m = 500$
- Luftgap  $l_{AIR} = 1 \text{ mm}$
- De magnetiska fältlinjernas medelväg  $l = 30 \text{ mm}$
- Tvärsnittsarea  $a = 10 \text{ mm}^2$



$$\boxed{B} = \frac{\mu_0 \cdot k_m \cdot N}{l + l_{AIR}(k_m - 1)} \cdot I = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 500 \cdot 1}{30 \cdot 10^{-3} + 1 \cdot 10^{-3} \cdot 499} \cdot I = \boxed{1,2 \cdot 10^{-3} \cdot I}$$

- **Ex.** 10 A ger flödestätheten  $B = 12 \text{ [ mWb/m}^2, \text{ mT ]}$

# Magnetic Spectrum



William Sandqvist [william@kth.se](mailto:william@kth.se)