

DEMONSTRATIONER

# MAGNETISM II

Helmholtzspolen  
Elektronstråle i magnetfält  
Bestämning av  $e/m$

# Introduktion

I litteraturen och framför allt på webben kan du enkelt hitta ett stort antal experiment som kan utföras med mycket enkla hjälpmedel för att påvisa magnetiska fenomen. Nedan har vi valt ut en del av dessa försök och i denna demonstration skall du koncentrera dig på att demonstrera:

1. Helmholtzspolen.
2. Elektronstråle i magnetiska fält.
3. En bestämning av  $e/m$ .

Försöken är enkla och utförs med mycket enkla medel – men kan kräva en hel del övning för att fungera bra. För att det du skall visa skall framgå så starkt som möjligt får du inte ha för bråttom. Tala inte om för åskådaren vad som skall ske, men tala hela tiden om vad du gör för att åstadkomma den önskade effekten. Vad ser åskådaren? Hur skall det förklaras? Tänk också på att klargöra orsakssammanhangen.

Dessa försök kräver lite mer förberedelser och arbete med den teoretiska biten.

## 1. Helmholtzspolen

### Materiel:

Helmholtzspolar med stativ.

Voltmeter (1 V).

Amperemeter (10 A).

Strömkälla (max 10 A).

Gaussmeter med prob.



Bilden till höger visar ett par s.k. Helmholtzspolar. De spolar som vi skall använda i denna demonstration har vardera inre resistansen  $2,1 \Omega$  och medelradien 20 cm. Medelavståndet mellan spolarna är 20 cm, och vardera spolen har 154 varv. I denna konfiguration ger spolarna ett mycket homogent magnetfält mellan spolarna.

### Teori:

För en enkel spole gäller att flödestätheten  $B$  på axeln ges av

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{NIR^2}{(R^2 + r^2)^{3/2}},$$

där  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Vs/Am och där  $R$  är spolens radie och  $r$  avståndet från spolen,  $N$  antalet lindningsvarv och  $I$  strömstyrkan. Helmholtzspolar är två cirkulära spolar placerade på radiernas avstånd från varandra med gemensam axel. Teoretiskt gäller att flödestätheten i stort sett är konstant längs spolarnas gemensamma axel (mellan spolarna). Mitt emellan spolarna gäller  $r = R/2$ , dvs

$$B = \frac{\mu_0 NI}{(5/4)^{3/2} R} = \frac{0,715 \mu_0 NI}{R}.$$

- Härled ovanstående formel och demonstrera med gaussmetern att magnetfältet är konstant inom den volym som täcks av elektronstråleröret.

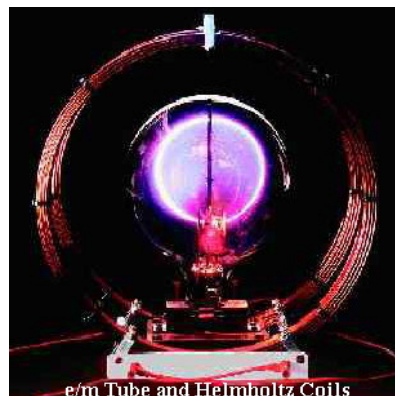
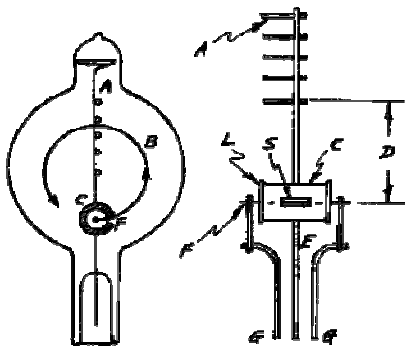
## 2. Elektronstråle i magnetfält.

### Materiel:

Elektronstrålerör.  
Helmholtzspolar.  
Spänningskällor.  
Voltmeter.  
Amperemeter.  
Stavmagnet.

J. J. Thomson (1856 – 1940) arbetade 1897 i Cambridge med katodstrålerör. Han visade att katodstrålarna utgjordes av negativt laddade partiklar, elektroner, och var den förste som kunde bestämma ett värde på  $e/m$ . Genom att utnyttja en bestämning av elektronens laddning från elektrolysförsök, kunde han också visa att elektronen var en liten partikel, mycket mindre och lättare än atomerna.

Till detta försök används ett för ändamålet specialkonstruerat elektronstrålerör. När elektronerna kommer ut från elektronkanonen, bestående av en glödkatod, galler och anod, joniserar de den ädelgas med trycket  $10^{-2} - 10^{-3}$  torr som finns i röret. Gasatomerna utsänder ljus av en speciell färg, och elektronbanan blir synlig.



### Teori.

En laddning  $q$  rör sig med hastigheten  $\mathbf{v}$  i ett magnetfält  $\mathbf{B}$ . Den påverkas av en kraft vars storlek och riktning erhålls ur Lorentzkraften  $\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ . Om hastighetsvektorn är vinkelrät mot magnetfältet rör sig laddningen i en cirkulär bana där det gäller att

$$qvB = \frac{mv^2}{r} \quad \Rightarrow \quad r = \frac{mv}{qB} \quad (1)$$

Energilagen ger

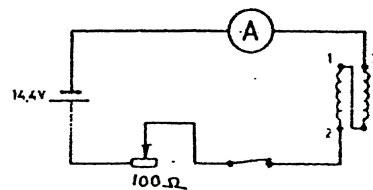
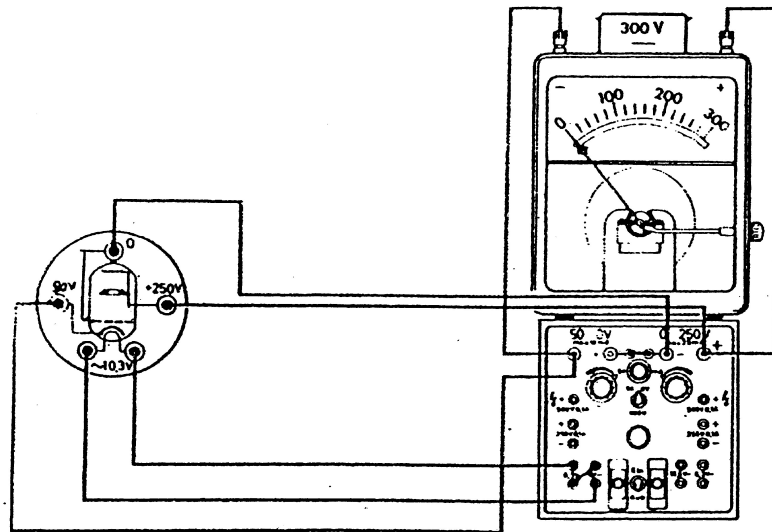
$$\frac{1}{2}mv^2 = qU \quad (2)$$

Ur (1) och (2) får vi

$$r = \sqrt{\frac{2mU}{eB^2}}$$

Om hastighetsvektorn har någon annan vinkel mot magnetfältet blir rörelsen spiralformig.

Elektronstråleröret kopplas enligt figuren nedan.



Elektronstråleröret matas från en nätansluten strömkälla, där anslutningarna görs på följande sätt:

Anod (röd +250 V)  
Glödtråd (gul 10,3 V)  
Galler (grön 0 V)  
Katod (svart -50 V)

Anslutning:  
0-250V  
(6,3 + 4) V~  
0 V  
-50 – 0 V

Helmholtzspolarna seriekopplas och strömmen tas från en lämplig spänningskälla (likström).

- Demonstrera rörets funktion genom att:
  - 1) Slå på glödströmmen och vänta ett par minuter.
  - 2) Slå på accelerationsspänningen. Variera denna. Börja med ca 150 V.
  - 3) Slå på magnetströmmen. Välj strömmen så att elektronstrålen beskriver en cirkel.
  - 4) Variera accelerationsspänning och magnetiseringsström. Iaktta vad som händer med elektronstrålen.
  - 5) Vrid röret så att elektronstrålen beskriver en spiral.
  - 6) Påverka elektronstrålen med en stavmagnet och se vad som händer.

### 3. Bestämning av $e/m$

Ur ekvationerna (1) och (2) erhålls ett uttryck för förhållandet mellan elektronens laddning och massa:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2}$$

- Innan demonstrationen skall du arbeta igenom punkterna A – D nedan och under demonstrationen presenterar du dina mätvärden och resultat. Jämför med litteraturvärdet på  $e/m$ .
  - A. Justera magnetiseringsströmmen och accelerationsspänningen, så att du kan ställa in olika banradier.
  - B. Avläs accelerationsspänningen  $U$ .
  - C. Avläs magnetiseringsströmmen  $I$  och beräkna magnetfältets styrka  $B$  enligt avsnittet om Helmholtzspolar ovan.
  - D. Beräkna ur formeln ovan värden på  $e/m$  och uppskatta felet. Jämför med litteraturvärde.