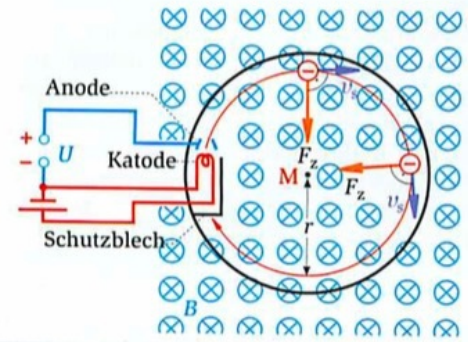
Q1PhG1 2016/17

Messung der spezifischen Ladung e/m bzw. der Elektronenmasse m

1. Gruppe:
Gebrauchsanleitung/Gerätekarte der Fadenstrahlröhre
2. Gruppe:
Theorie der Helmholtzspulenpaare, Berechnung von B
3. Gruppe:
Kalibrierung einer Hallsonde, Bestimmung von B einer Referenzspule bekannter magn. Feldstärke $\left(B = \mu_0 \cdot \frac{n}{l} I \right.$ bei „langen Spulen$\left.\right)$



Wir entwickeln nun eine Gleichung für den Radius r der Kreisbahn. In → B1 weist das B-Feld in die Papierebene hinein. Die Elektronen im Strahl haben stets die Geschwindigkeit $\vec{v}_s$ senkrecht zu $\vec{B}$. Sie erfahren die Lorentzkraft mit dem konstanten Betrag $F_L = ev_sB$. Da sie nach der Drei-Finger-Regel in *jedem* Bahnpunkt senkrecht zur Bahn gerichtet ist, bleibt auch der Betrag der Geschwindigkeit der Elektronen v_s konstant. Wegen $F_Z = mv_s^2/r$ folgt aus $F_L = F_Z$ durch Einsetzen $ev_sB = mv_s^2/r$ und damit $r = mv_s/(eB)$ mit konstantem r.

Mithilfe von → V1 können wir die Masse eines Elektrons bestimmen. Dazu messen wir die Beschleunigungsspannung U und den Radius r der Kreisbahn und ermitteln mit einer Hallsonde die Stärke des B-Feldes. Aus $r = mv_s/(eB)$ folgt zunächst

$$\frac{e}{m} = \frac{v_s}{Br}. \qquad (1)$$

v_s kennen wir noch nicht. Doch eine Energiebetrachtung in der Elektronenkanone hilft uns. Dort wird elektrische Feldenergie $W_{el} = eU$ in kinetische Energie der Elektronen $W_{kin} = \frac{1}{2}mv_s^2$ umgewandelt. Aus $W_{el} = W_{kin}$ erhalten wir $v_s^2 = 2(e/m)U$. Quadrieren wir nun Gl. (1) und ersetzen v_s^2 durch $2(e/m)U$, so ergibt sich

$$\frac{e}{m} = 2\frac{U}{B^2 r^2}. \qquad (2)$$

Aufgaben zu Ladungen im B-Feld (S.57)

A1) a) $E_{el} = E_{kin} \Leftrightarrow eU = \frac{1}{2} m v^2$

$\Rightarrow U = \frac{mv^2}{2e}$, $v = 70\ \frac{m}{s}$

$= 1{,}4 \cdot 10^{-8}\ V$

b) $E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2 = 2{,}23\ 10^{-27}\ J$

$= eU = 1{,}4 \cdot 10^{-8}\ eV$

A2) (s.o.) $v = \sqrt{2eU/m} = 7{,}3 \cdot 10^{6}\ \frac{m}{s}$

$v = \frac{2\pi r}{T} \Leftrightarrow T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m v}{v\ eB} = 4{,}2 \cdot 10^{-8}\ s$

r? : $F_Z = F_L$ (Kreisbahn)

$\Leftrightarrow \frac{mv^2}{r} = evB \Leftrightarrow \frac{mv}{eB} = r$

A3) geg.: $m, e, B, r, \varphi = 67°$

a) ges.: v_s, v_p, v | $v_s = \frac{reB}{m} = 2{,}28 \cdot 10^{7}\ \frac{m}{s}$

$\Rightarrow v = \frac{v_s}{\cos\varphi} = 5{,}8 \cdot 10^{7}\ \frac{m}{s}$

$\Rightarrow v_p = v \cdot \sin 67° = 5{,}4 \cdot 10^{7}\ \frac{m}{s}$

b) $T = \frac{2\pi r}{v_s} = 1{,}8\ \mu s$, $h = v_p \cdot T = 101\ m$

c) (s.o.) $U = \frac{mv^2}{2e} = 1{,}75\ 10^{7}\ V$

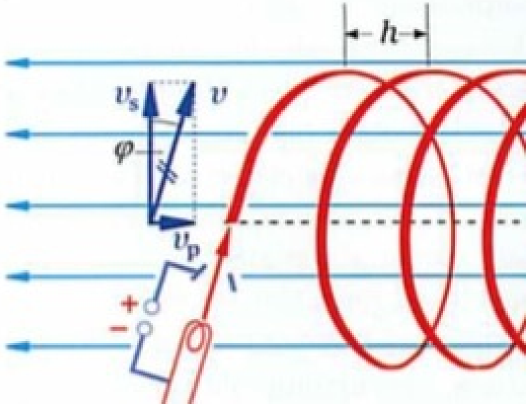
A1 a) Berechnen Sie die Spannung, durch die ein Elektron im Vakuum die Geschwindigkeit eines ICE, etwa 252 km/h erhält. b) Berechnen Sie die kinetische Energie des Elektrons in eV und J.

A2 Elektronen, die durch 150 V beschleunigt worden sind, beschreiben in einem Magnetfeld mit $B = 0{,}85$ mT einen Kreis. Berechnen Sie die Geschwindigkeit der Elektronen und ihre Umlaufzeit.

A3 Ein Proton ($m = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg) beschreibt in einem homogenen Magnetfeld mit $B = 0{,}035$ T eine Schraubenbahn mit $r = 6{,}8$ m. Die Richtungen der Geschwindigkeit und des Magnetfeldes schließen den Winkel 67° ein. a) Berechnen Sie die Beträge v_s und v_p der Komponenten senkrecht bzw. parallel zu den Feldlinien und den Betrag der Einschussgeschwindigkeit. b) Berechnen Sie die Umlaufzeit und die Ganghöhe der Schraubenbahn. c) Berechnen Sie die Spannung, mit der das Proton beschleunigt wurde.

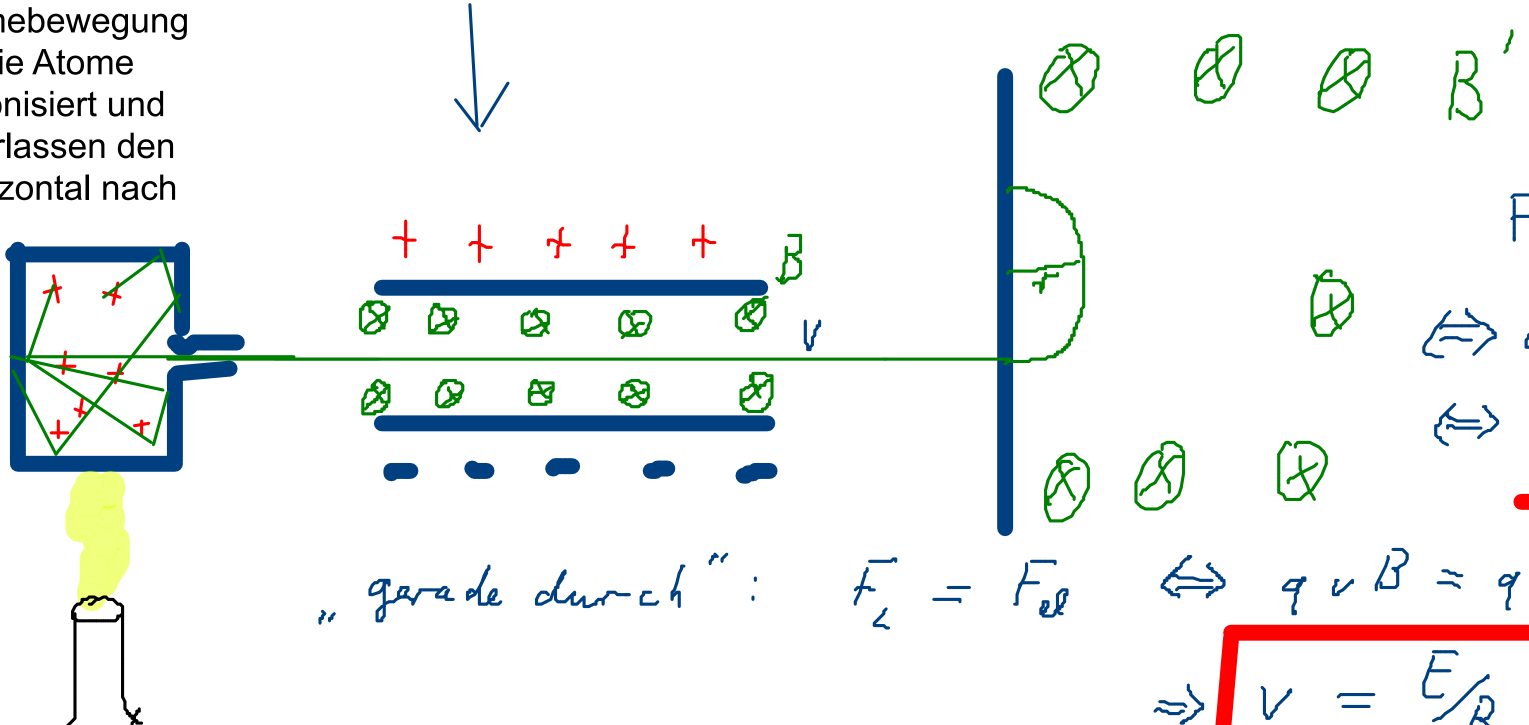
~~**A4** Ein Elektronenstrahl wird seitlich abgelenkt. Entwickeln Sie ein Verfahren, mit dem Sie herausfinden können, ob die Ablenkung durch ein *E*- oder *B*-Feld erfolgt. (*Hinweis:* → **Braunsche Röhre**).~~

~~**A5** Ein Elektron durchläuft eine Schraubenbahn mit kleiner werdendem Radius, aber gleichbleibender Ganghöhe. Treffen Sie eine Aussage über das Magnetfeld, in dem sich das Elektron befindet.~~



Wienfilter & Massenspektrometer

Durch Stöße aufgrund der Wärmebewegung werden die Atome einfach ionisiert und einige verlassen den Ofen horizontal nach rechts.



Wovon hängt r ab?

$$F_L = F_Z$$

$$\Leftrightarrow q v B' = m \frac{v^2}{r}$$

$$\Leftrightarrow r = \frac{m v}{q B'}$$

„gerade durch": $F_L = F_{el} \Leftrightarrow q v B = q E$

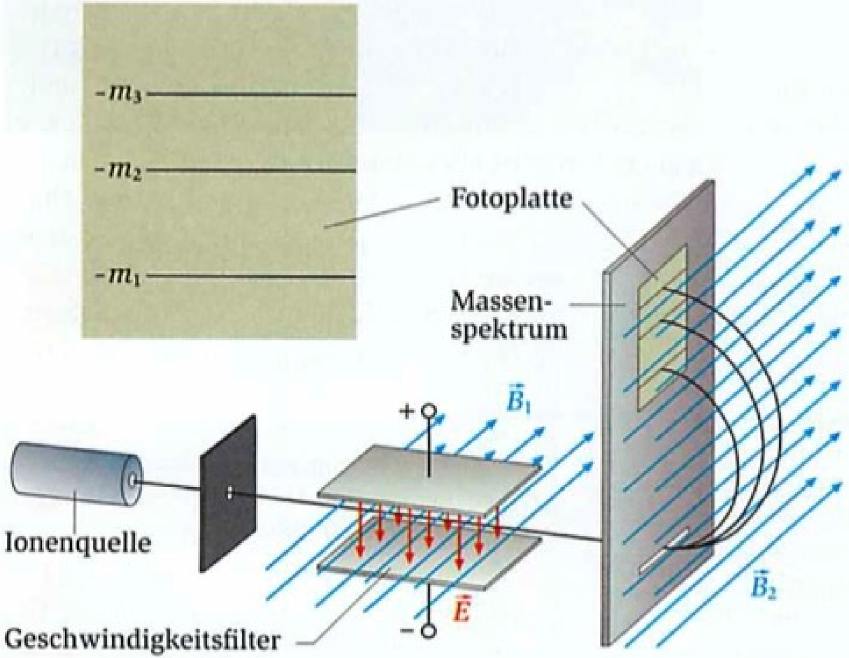
$$\Rightarrow \boxed{v = E/B}$$

Unter welcher Bedingung fliegen die Ionen gerade durch die Anordnung? Wonach filtert also der Wien-Filter?

Leite eine Formel her zur Berechnung der physikalischen Eigenschaft, nach der gefiltert wird.

Einfach positiv geladene Chlorionen mit $q = +e$ durchfliegen einen Geschwindigkeitsfilter mit $E = 30$ kV/m und $B_1 = 0{,}3$ T. Danach gelangen sie in ein weiteres *B*-Feld mit $B_2 = 0{,}2$ T. Auf der Fotoplatte registriert man Chlorionen bei $r_1 = 18{,}10$ cm und $r_2 = 19{,}04$ cm. Die Massen der Ionen sollen bestimmt werden.

Lösung
Durch den Geschwindigkeitsfilter fliegen nur Ionen mit $v = E/B_1 = 10^5$ m/s. Für $r_1 = 18{,}10$ cm ergibt sich die Masse der Ionen zu $\boldsymbol{m_1 = qB_2 r/v = 5{,}8 \cdot 10^{-26}}$ **kg** und für $r_2 = 19{,}04$ cm erhält man die Masse $\boldsymbol{m_2 = 6{,}1 \cdot 10^{-26}}$ **kg**.
Chloratome haben also keine einheitliche Masse. Atome unterschiedlicher Masse, die zu einem Element gehören, nennt man *Isotope*. Sie haben die gleichen chemischen Eigenschaften.



B1 Prinzip des Massenspektrometers
Die positiven Ionen fliegen durch eine Anordnung von gekreuztem *E*- und *B*-Feld. Nur Ionen mit einer einheitlichen Geschwindigkeit gelangen durch die Blende in das B_2-Feld. Wegen $m \sim r$ kann man dort aus ihrem Bahnradius die Masse der Ionen ermitteln.

A1 Positive Ionen mit $q = +e$ durchlaufen ein Massenspektrometer nach **→ B1** unabgelenkt, in dem $E = 46{,}6$ kV/m ist und beide *B*-Felder die Stärke $B = 0{,}311$ T haben. **a)** Berechnen Sie die Geschwindigkeit der Ionen. **b)** Auf der Fotoplatte kommen die einen mit 12 cm, die anderen mit 20 cm Abstand von der Blende an. Berechnen Sie ihre Massen.

A2 Das *E*-Feld eines Geschwindigkeitsfilters in **→ B1** hat die Stärke $E = 10^5$ V/m. Für die Stärken der *B*-Felder gilt $B_1 = 0{,}5$ T und $B_2 = 0{,}3$ T. Berechnen Sie die Radien der Kreisbahnen, die Sauerstoffionen mit den Massen $m_1 = 2{,}656 \cdot 10^{-26}$ kg und $m_2 = 2{,}989 \cdot 10^{-26}$ kg und der Ladung $+e$ durchlaufen.

Das Zyklotron

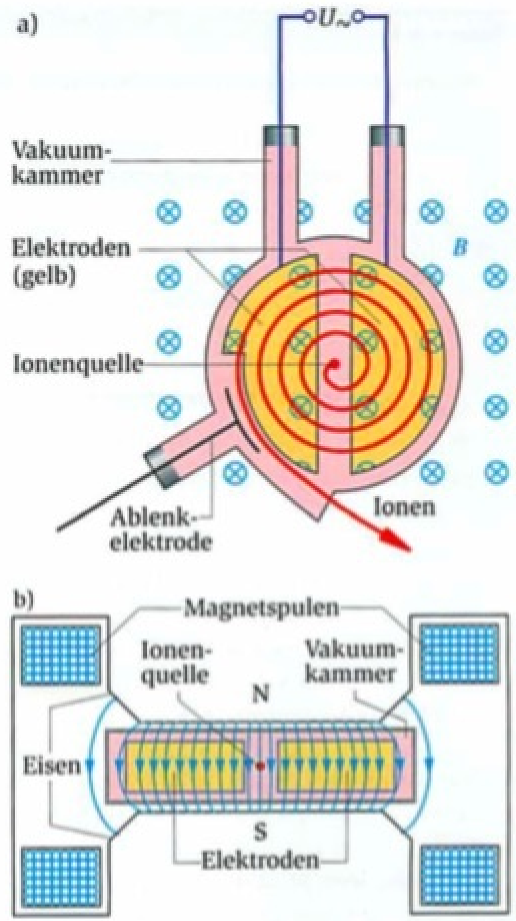
Mit welcher Frequenz f muss man das E-Feld zwischen den Dosen umpolen? Innerhalb einer Dose wirkt die Lorentzkraft als Zentripetalkraft, also gilt

$$m v_s^2/r = q v_s B \quad \text{oder} \quad v_s/r = qB/m.$$

In der Umlaufzeit T legen die Ionen die Strecke $2\pi r$ zurück; also erhalten wir $v_s = 2\pi r/T$. Damit folgt $2\pi/T = qB/m$. Daraus ergibt sich die Frequenz:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi}\,\frac{qB}{m}$$

A3 Ein Zyklotron hat die Frequenz 12 MHz und den Dosenradius $r = 0{,}53$ m. **a)** Berechnen Sie die erforderliche Stärke des B-Feldes, sodass Protonen ($m = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg) innerhalb der Dosen auf Halbkreisbahnen laufen können. **b)** Berechnen Sie die Energie der Protonen in MeV beim Austritt.



B2 Schematischer Aufbau eines Zyklotrons, **a)** von oben, **b)** von der Seite gesehen

Mit Zyklotrons kann man Teilchenenergien erreichen, die in der Größenordnung von 20 MeV liegen. Dies ist für Grundlagenforschung in der Physik der Elementarteilchen viel zu wenig. Doch werden Zyklotrons auch heute noch angewendet:

- Man benutzt sie, um *Positronen* zu erzeugen. Diese haben fast alle Eigenschaften von Elektronen, sind jedoch positiv geladen. Sie entstehen beim Auftreffen der hochenergetischen Ionen auf das Target. Positronen werden z. B. in der Medizin für die → **Positronen-Emissions-Tomografie** (PET) benötigt.
- Auch in der Krebstherapie finden Zyklotrons als Protonenstrahler zunehmend Anwendung.