

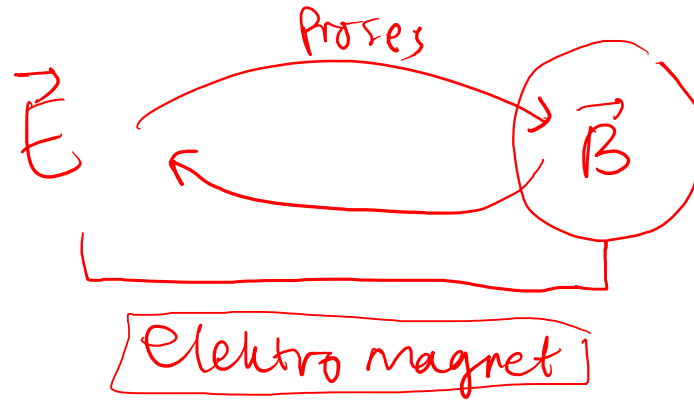
MEDAN MAGNET

$$V_b - V_a = 8 \text{ V}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_a = 0 \text{ V} \\ V_b = 8 \text{ V} \end{array} \right\} \Delta V$$

$$\bar{i} = \frac{\epsilon}{r + R}$$

$$\bar{i} = \frac{V_b - V_a}{R} = \frac{\Delta V}{R}$$



GAYA MEDAN MAGNET

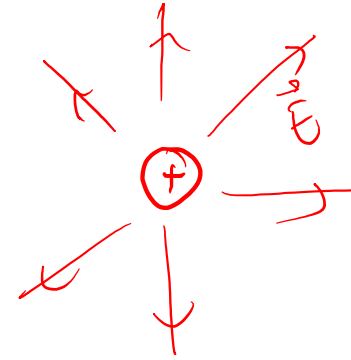
Sumber Medan Magnet

Medan listrik, E , ditimbulkan oleh muatan listrik

Bagaimana dengan medan magnet?

Medan magnet, B , dapat diperoleh dari dua sumber:

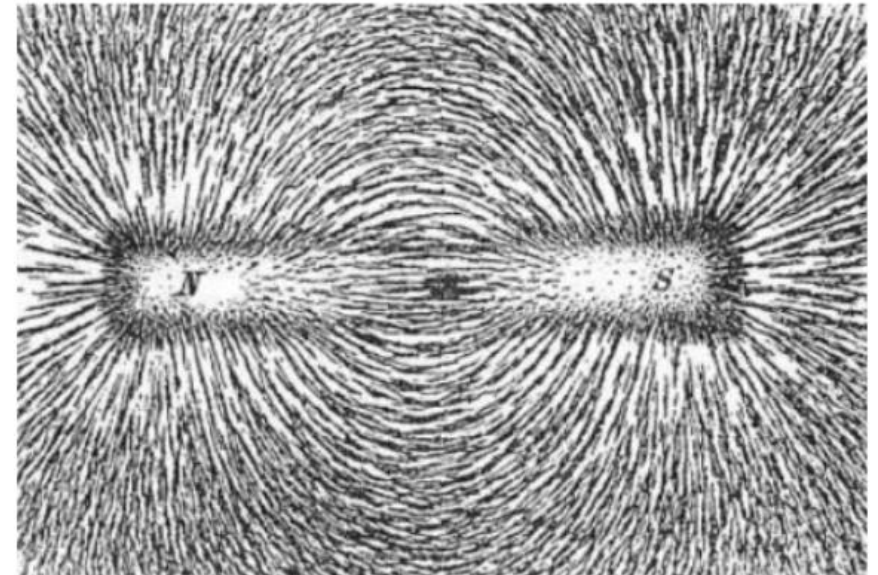
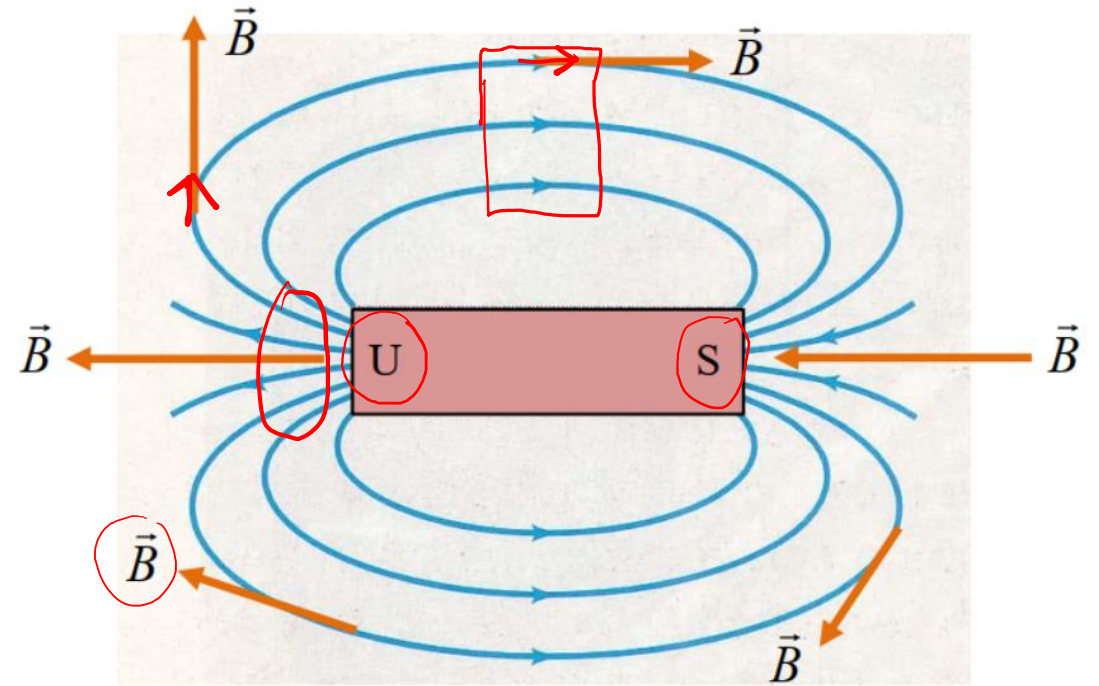
1. Magnet permanen
2. Muatan listrik yang bergerak seperti arus listrik pada kawat



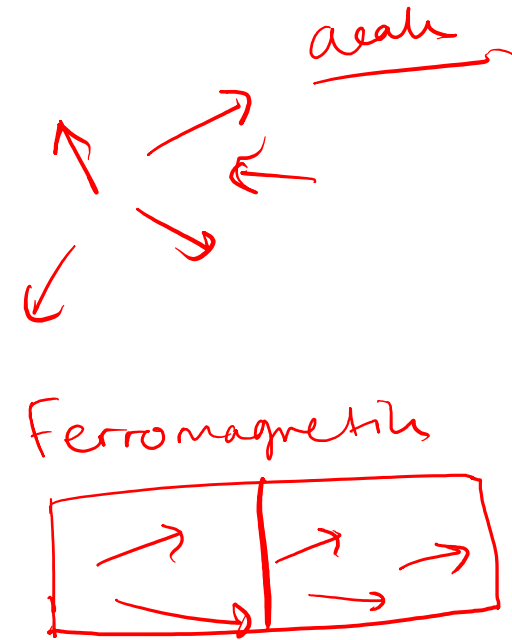
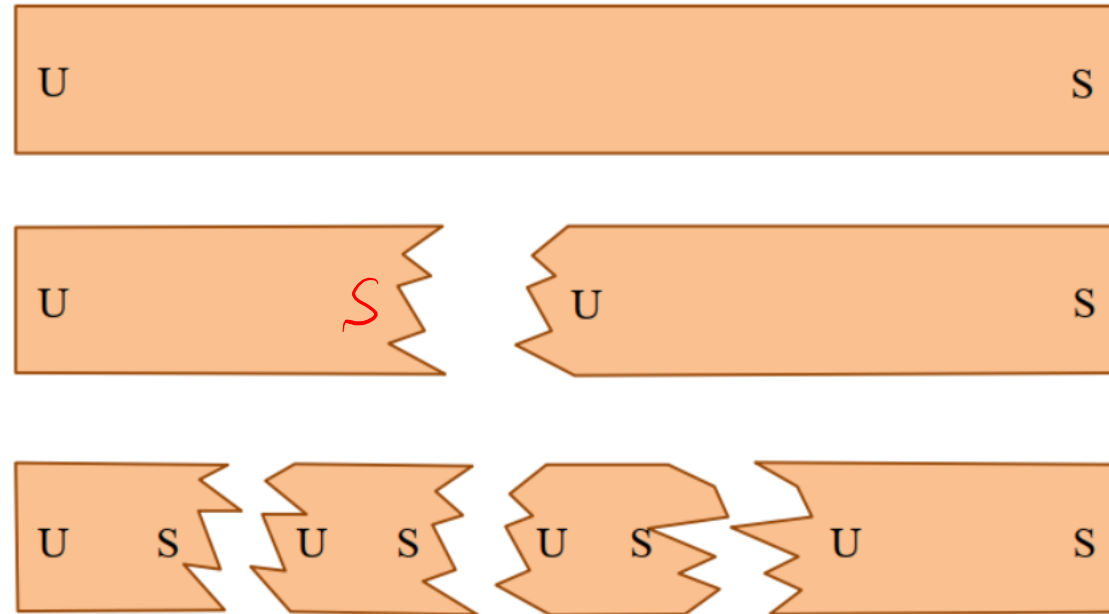
Magnet permanen

$\oplus q$
 $\ominus q$

- Bahan yang memiliki sifat magnet permanen disebut bahan ferromagnetic
- Bahan dengan sifat magnetic sementara seperti ini disebut bahan paramagnetic. (besi)
- Tidak ada monopol magnet → tidak ada muatan magnet
- Sifat kemagnetan hilang jika dipanaskan dan dipukul-pukul.
- Garis gaya magnet dilukiskan keluar dari kutub utara dan masuk di kutub selatan
- Kerapatan garis gaya per satuan luas di suatu titik menggambarkan kekuatan medan magnet di titik tersebut.



Magnet permanen



Sebuah magnet permanen terdiri atas domain-domain magnet yang ukurannya sangat kecil (sekitar 1 μm). Domain magnet dibentuk oleh sejumlah atom yang membawa sifat magnetic yang tarikan antar atom tersebut menyebabkan orientasi atom yang sama. Tiap domain sudah merupakan magnet.

Gaya Magnet Pada Partikel Bermuatan yang Bergerak

Gaya magnet yang bekerja pada partikel bermuatan yang bergerak dengan kecepatan \vec{v} didalam daerah bermedan magnet \vec{B}

$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

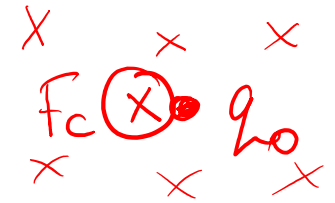
$$|\vec{F}_B| = q|\vec{v}||\vec{B}|\sin\phi$$

ϕ = sudut antara vektor kecepatan dan vektor medan magnet.

Gaya magnet nol jika:

- 1) Partikel bermuatan diam
- 2) Partikel tidak bermuatan
- 3) Sudut antara \vec{v} dan \vec{B} 0° atau 180°

Medan Listrik



$$\vec{F}_c = q\vec{E}$$

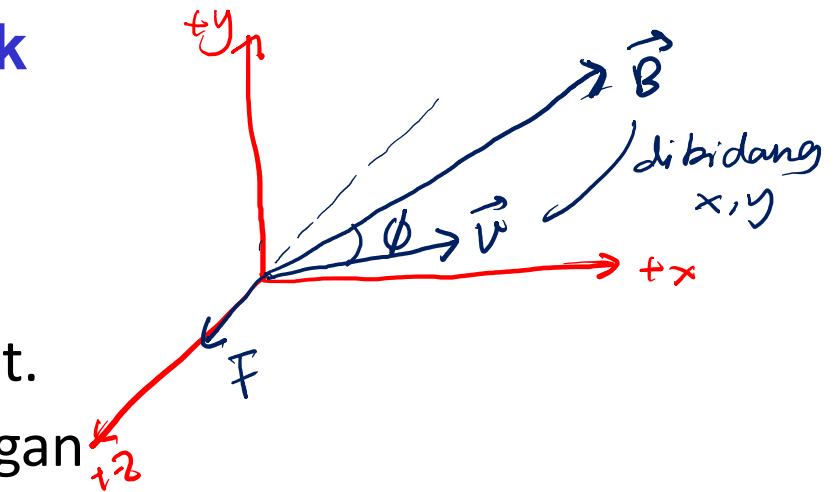
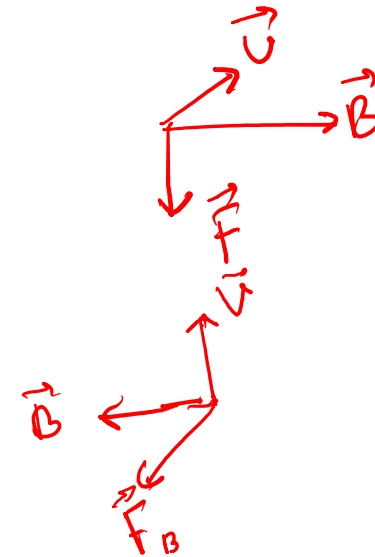
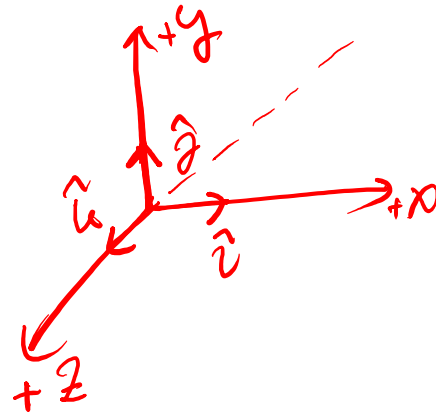
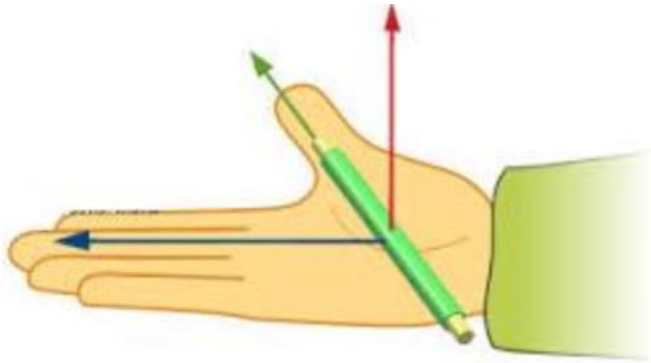
Gaya Magnet Pada Partikel Bermuatan yang Bergerak

$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$|\vec{F}_B| = q|\vec{v}||\vec{B}|\sin\phi$$

ϕ = sudut antara vektor kecepatan dan vektor medan magnet.

Untuk menentukan arah gaya magnet dapat dilakukan dengan kaidah tangan kanan.

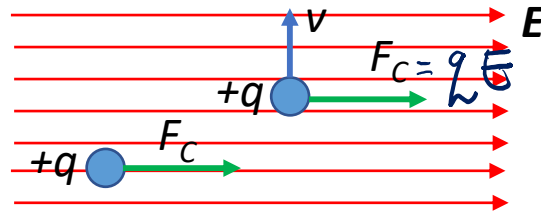


Gaya Magnet Pada Partikel Bermuatan yang Bergerak

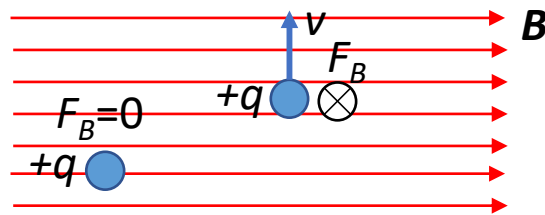
Partikel bermuatan yang berada di daerah bermedan E akan memperoleh gaya listrik (Coulomb), baik partikel diam maupun bergerak.

Sedangkan, partikel bermuatan akan mengalami **gaya magnet** jika partikel berada di daerah bermedan magnet B dan **partikel bergerak** dengan sudut antara v dan B tidak 0° atau 180° .

$$\vec{F}_C = q\vec{E}$$



$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B})$$



Gaya Magnet Pada Partikel Bermuatan yang Bergerak

Soal:

Suatu medan magnet yang seragam besarnya $1,2 \text{ mT}$. Dengan arah ke atas secara vertikal pada ruang *Chamber*. Sebuah proton dengan energi kinetik awal $5,3 \text{ MeV}$ masuk ke *Chamber*, bergerak secara horizontal dari selatan ke utara. Berapakah besarnya gaya magnet yang bekerja pada proton ketika masuk ke dalam *Chamber*. Massa proton $1,67 \times 10^{-27} \text{ Kg}$. (abaikan medan magnet bumi)

Solusi: Untuk menentukan besar \vec{F}_B

$$K = \frac{1}{2} m v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{(2)(5.3 \text{ MeV})(1.60 \times 10^{-13} \text{ J/MeV})}{1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}}}$$

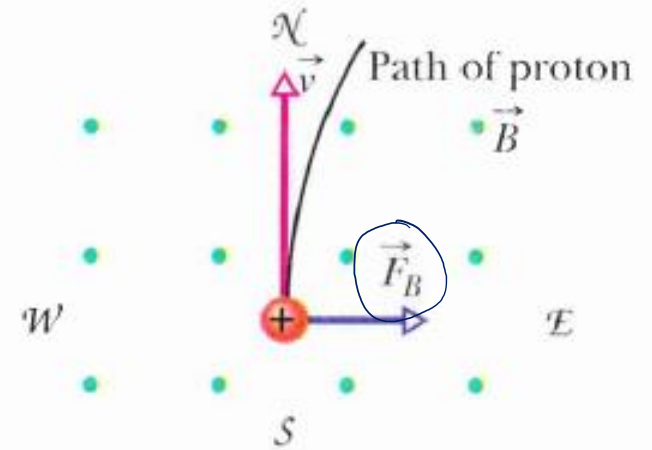
$$= 3.2 \times 10^7 \text{ m/s.}$$

$$F_B = |q|vB \sin(\phi)$$

$$= (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(3.2 \times 10^7 \text{ m/s})$$

$$\times (1.2 \times 10^{-3} \text{ T})(\sin 90^\circ)$$

$$= 6.1 \times 10^{-15} \text{ N.} \quad \checkmark$$



Medan Magnet

Soal:

Gambar di samping menunjukkan logam berbentuk kubus dengan panjang sisinya $d=1,5$ cm. Bergerak pada arah y positif dengan kecepatan konstan sebesar 4 m/s. Kubus bergerak melalui medan magnet yang seragam dengan besar $0,05$ T pada arah z positif. Berapakah beda potensial antara sisi yang mempunyai potensial tinggi dengan yang berpotensi rendah.

Solusi:

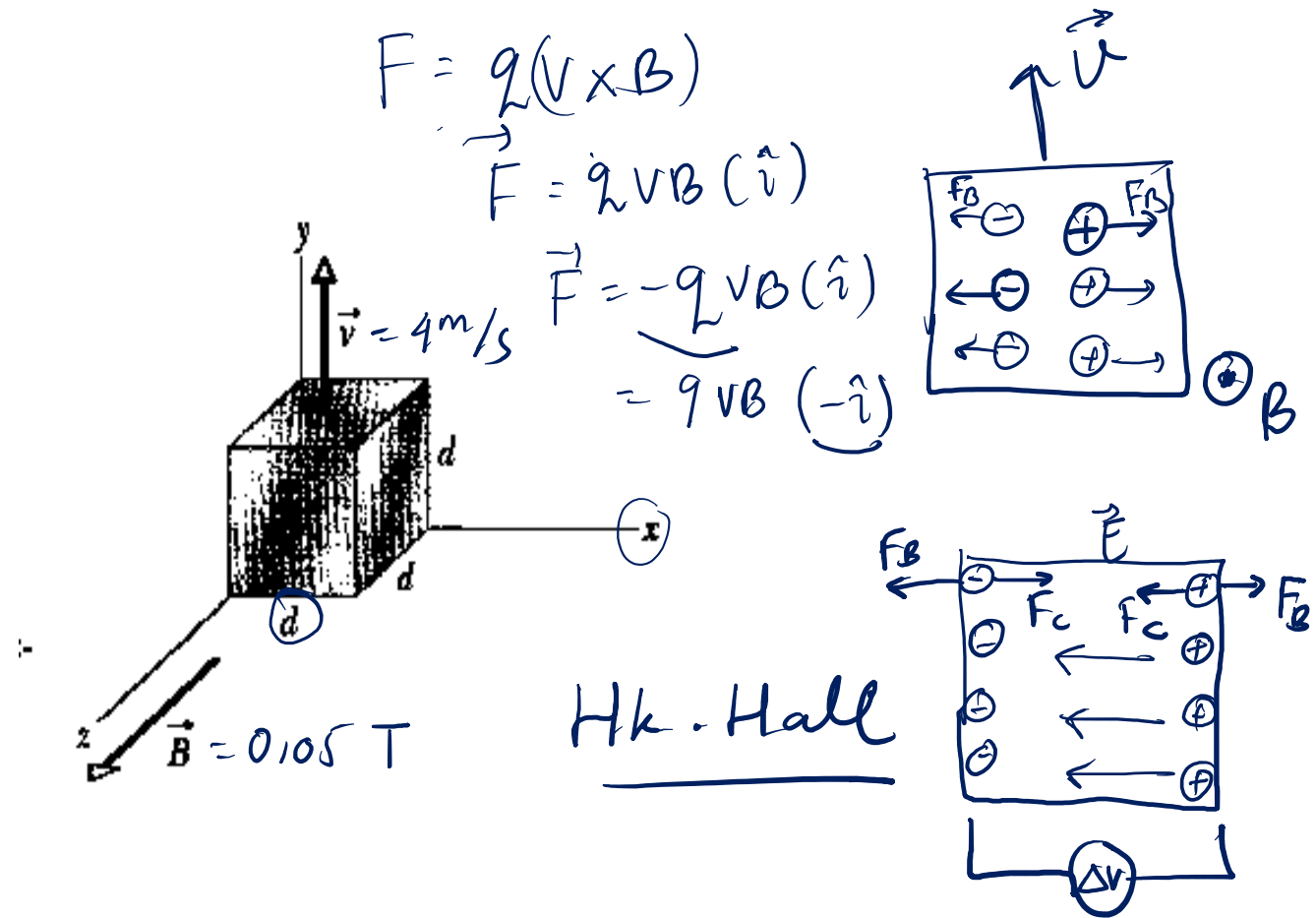
Sudut antara \vec{v} dan \vec{B} adalah 90 derajat.

$$|q|E = |q|vB \sin 90^\circ = |q|vB.$$

$$E = vB \text{ dan } V = Ed$$

$$V = vBd.$$

$$V = (4.0 \text{ m/s})(0.050 \text{ T})(0.015 \text{ m}) \\ = 0.0030 \text{ V} = 3.0 \text{ mV}.$$



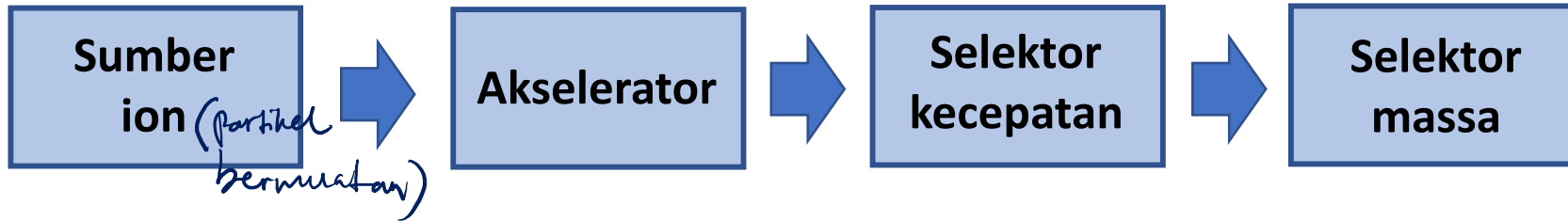
$$F_C = F_B$$

$$qE = qvB$$

Spektrometer Massa

Spektrometer massa adalah alat yang dapat menentukan massa atom dengan teliti.

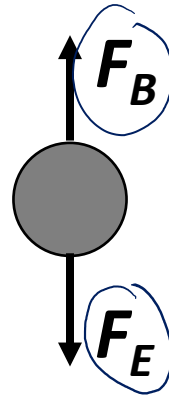
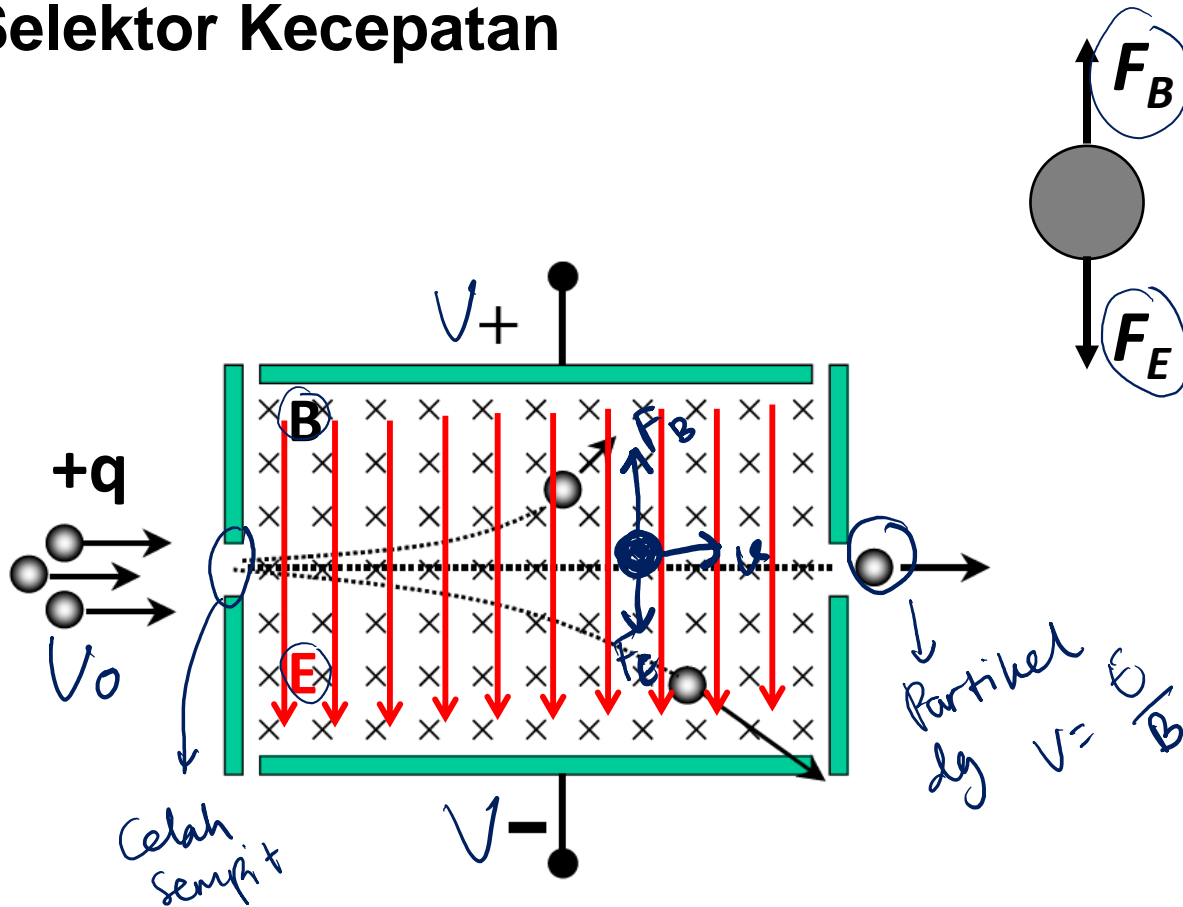
Diagram blok spektrometer massa secara umum sebagai berikut



1. Sumber ion: sebagai sumber partikel bermuatan. Ion dapat diperoleh dari pencampuran gas/atom dengan elektron yang dihasilkan dari filamen yang dipanaskan.
2. Akselerator: untuk memberikan kecepatan pada ion atau partikel bermuatan.
3. Selektor kecepatan: memilih ion-ion yang memiliki kecepatan tertentu.
4. Selektor massa: memilih ion-ion yang memiliki massa tertentu.

Spektrometer Massa: Selektor Kecepatan

Selektor Kecepatan



Partikel bermuatan mengalami dua gaya, yaitu gaya oleh medan magnet (F_B) dan gaya oleh medan listrik (F_E).

$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\vec{F}_E = q\vec{E}$$

Gaya total:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Spektrometer Massa: Selektor Kecepatan

Jika medan listrik \mathbf{E} dan medan magnetik \mathbf{B} dua-duanya diaplikasikan pada partikel bermuatan maka total gayanya adalah:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Gaya ini dikenal sebagai ***gaya Lorentz***.

$$F_E = F_B$$

Pada selektor kecepatan, F_E dibuat sama dengan F_B , sehingga:

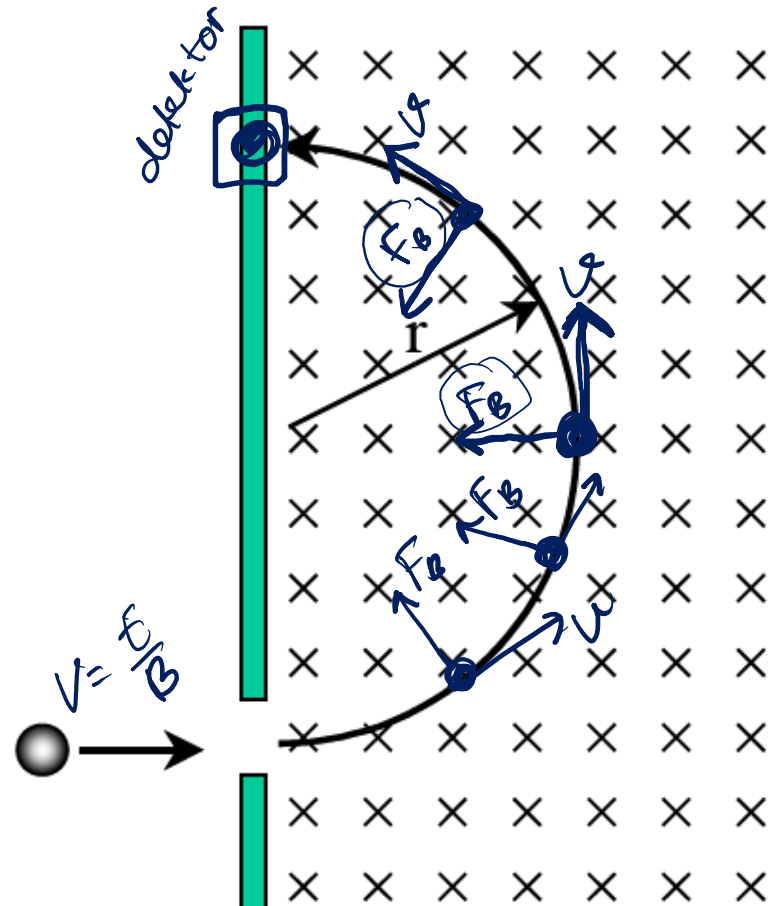
$$qE = qvB$$

$$v = \frac{E}{B}$$

Jadi, hanya partikel dengan laju $\mathbf{v} = \mathbf{E}/\mathbf{B}$ yang memiliki lintasan yang lurus.

Spektrometer Massa: Selektor Massa

Tinjau partikel bermuatan $+q$ yang masuk ke daerah B dengan kecepatan v .



Partikel bermuatan akan mengalami gaya sentripetal:

$$F_B = F_s = m \frac{v^2}{r}$$

Dimana sumber gaya sentripetal adalah gaya yang dihasilkan oleh medan magnet:

$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$F_B = |\vec{F}_B| = qvB$$

Karena $F_s = F_B$ maka kita peroleh:

$$qvB = m \frac{v^2}{r}$$

$$m = \frac{qBr}{v}$$

$$F_s = ma_s$$
$$a = \frac{v^2}{r}$$

Spektrometer Massa Lengkap

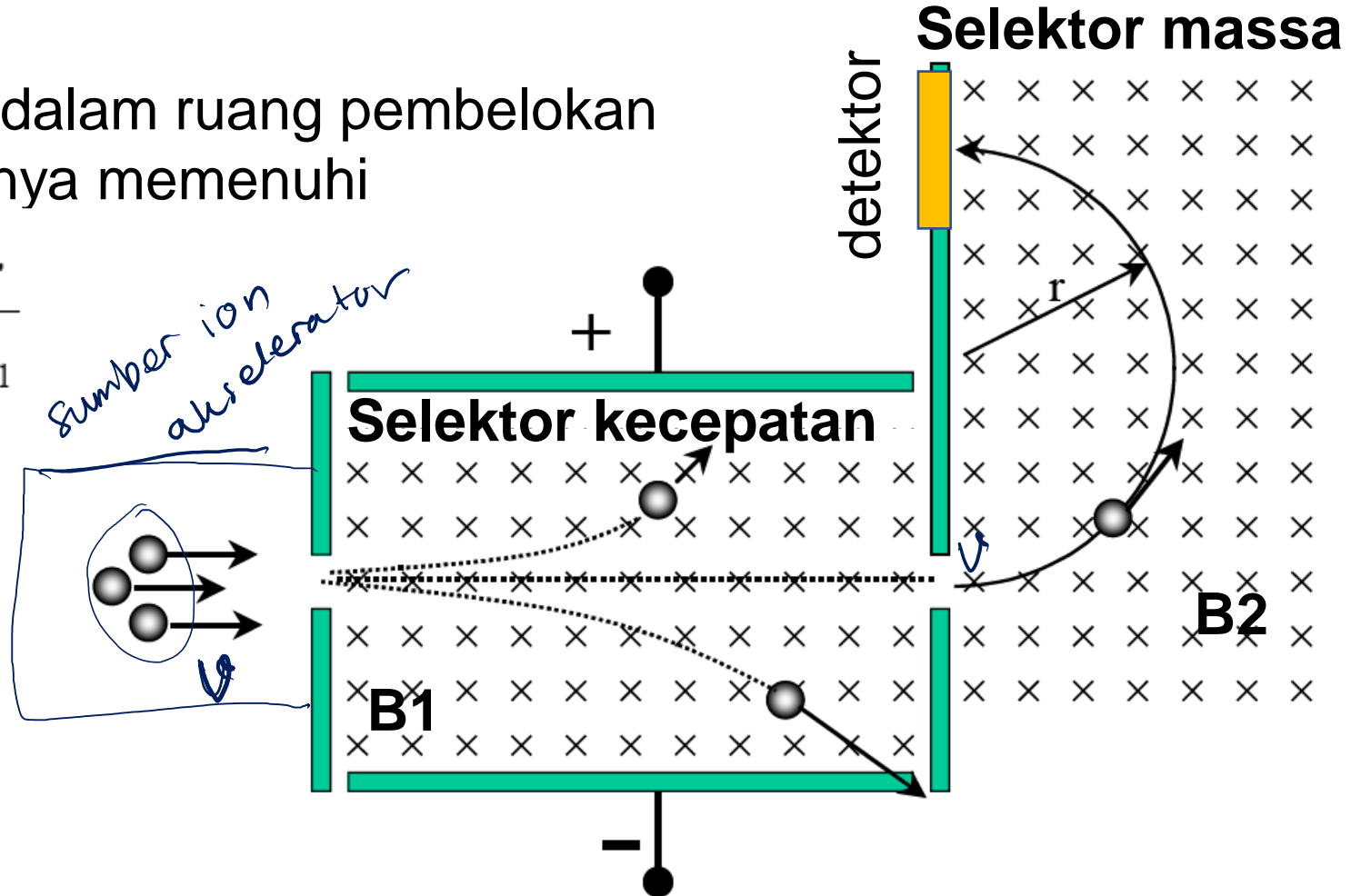
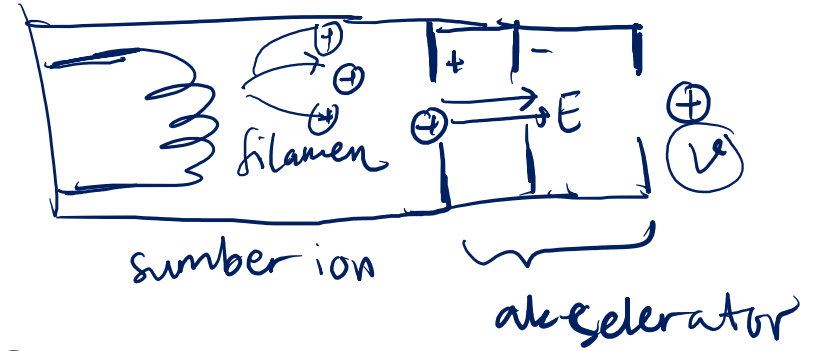
Laju partikel yang lolos selektor kecepatan memenuhi

$$v = \frac{E}{B_1}$$

Atom membelok dalam ruang pembelokan sehingga massanya memenuhi

$$m = \frac{qB_2 r}{v} = \frac{qB_2 r}{E / B_1}$$

$$m = \frac{qB_1 B_2}{E} r$$



Spektrometer Massa

Soal:

Atom karbon dengan massa atomik 12,0 sma ditemukan dalam bentuk campuran dengan unsur lain yang tidak diketahui. Ketika dikaji dengan spektrometer massa, atom karbon menempuh lintasan dengan jari-jari 22,4 cm sedangkan atom yang belum diketahui menempuh lintasan dengan jari-jari 26,2 cm. Dapatkah kalian perkirakan unsur apakah yang tidak dikenal tersebut? Anggap muatan atom karbon dan atom yang tidak dikenal sama.

Solusi:

Massa atom dihitung dengan rumus $m = \frac{qB_1B_2}{E} r$

Jika muatan atom yang melewati spektrometer sama: $m \propto r$

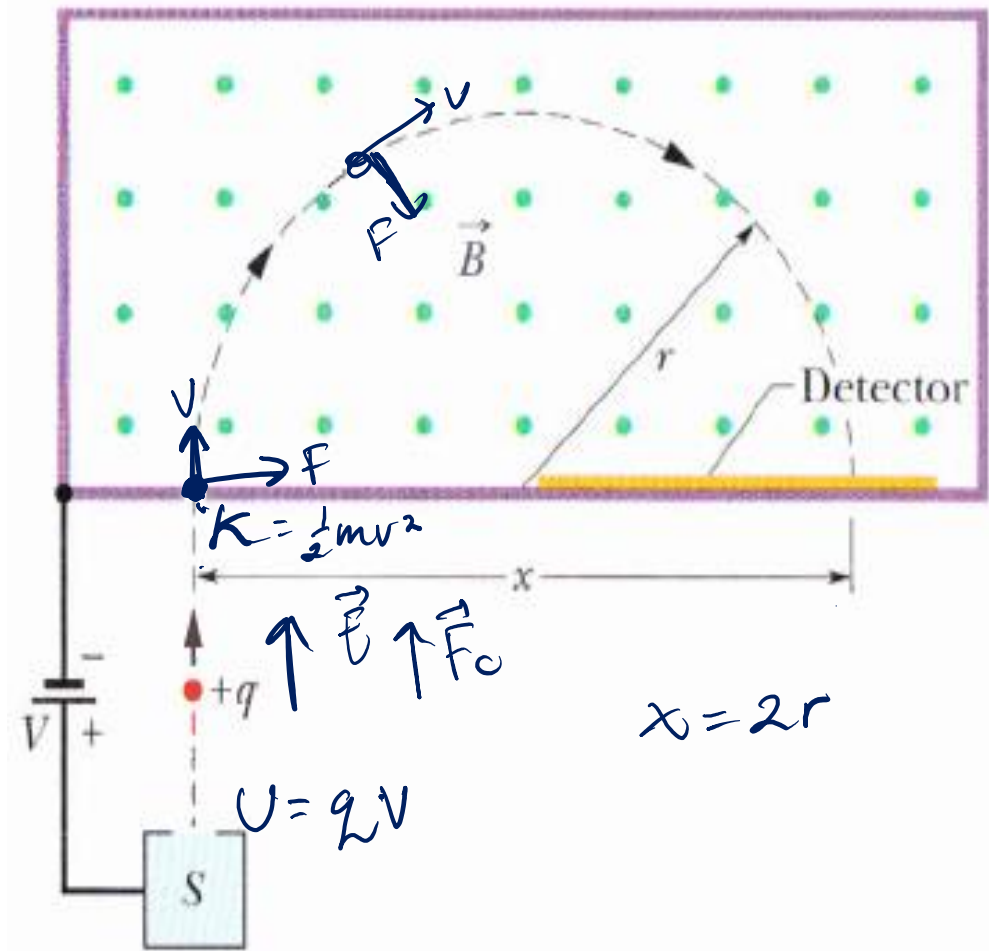
$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{r_2}{r_1} \quad m_2 = \frac{r_2}{r_1} m_1 = \frac{26,2}{22,4} \times 12,0 = 14,03 \text{ sma}$$

Berdasarkan tabel periodik, unsur dengan massa atomik 14,0 adalah nitrogen.

Spektrometer Massa

Soal:

Gambar di samping menunjukkan spectrometer massa yang dapat digunakan untuk mengukur massa ion. Suatu ion bermassa m bermuatan q dari sumber s . Ion dipercepat oleh medan listrik karena beda potensial V . Ion meninggalkan S dan masuk ke chamber yang berisi medan magnet seragam yang tegak lurus terhadap lintasan ion.



Medan magnet menyebabkan ion bergerak setengah lingkaran dan menumbuk detektor. Jika diketahui bahwa $B = 80.000 \text{ mT}$, $V = 1000 \text{ Volt}$, muatan ion $q = 1,6022 \times 10^{-19} \text{ C}$, dan ion menumbuk detektor pada suatu titik yang berada pada jarak $x = 1,6254 \text{ m}$. Berapakah massa ion tersebut?

Spektrometer Massa

Solusi:

Menentukan kecepatan

$$\Delta K + \Delta U = 0,$$

$$\frac{1}{2}mv^2 - qV = 0$$

$$v = \sqrt{\frac{2qV}{m}}$$

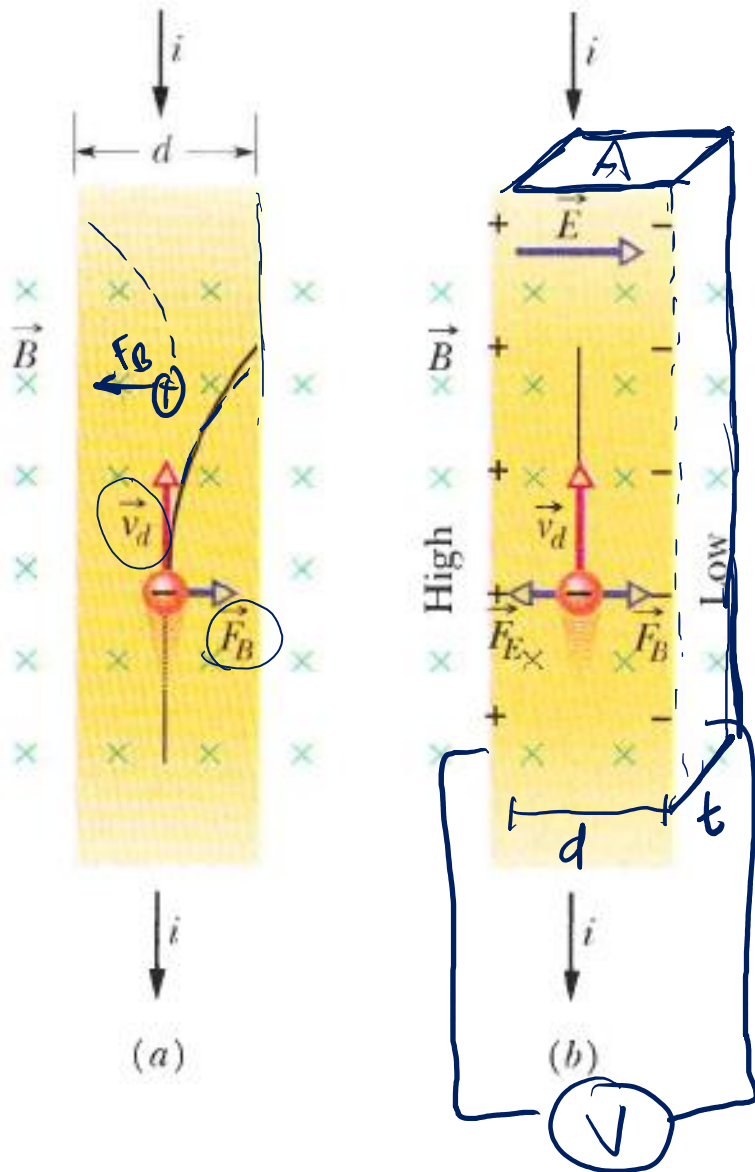
Menentukan massa

$$r = \frac{mv}{qB} = \frac{m}{qB} \sqrt{\frac{2qV}{m}} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mV}{q}}$$

$$x = 2r = \frac{2}{B} \sqrt{\frac{2mV}{q}}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{B^2 q x^2}{8V} \\ &= \frac{(0.080000 \text{ T})^2 (1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}) (1.6254 \text{ m})^2}{8(1000.0 \text{ V})} \\ &= 3.3863 \times 10^{-25} \text{ kg} \quad \checkmark \end{aligned}$$

Efek Hall



$$V = \frac{IB}{nqt} \quad R_H = I/nq \quad (\text{koefisien Hall}) \quad V = \frac{B R_H}{t}$$

Ketika arus listrik mengalir pada suatu konduktor, maka medan B akan membelokkan pergerakan muatan-muatan di dalam konduktor. Akibatnya muncul medan listrik E , dan beda potensial V diantara kedua sisi konduktor.

Beda potensial Hall

$$V = Ed.$$

Ketika medan listrik dan medan magnet seimbang

$$F_E = F_B$$

$$eE = ev_d B.$$

$$E = vB \text{ dan } V = \underline{Ed}$$

$$V = vBd.$$

$v =$ kecepatan drift

$$V = \frac{I}{nqA} B d = \frac{I}{nqdt} B d$$

$$V = \frac{I B}{nqt}$$

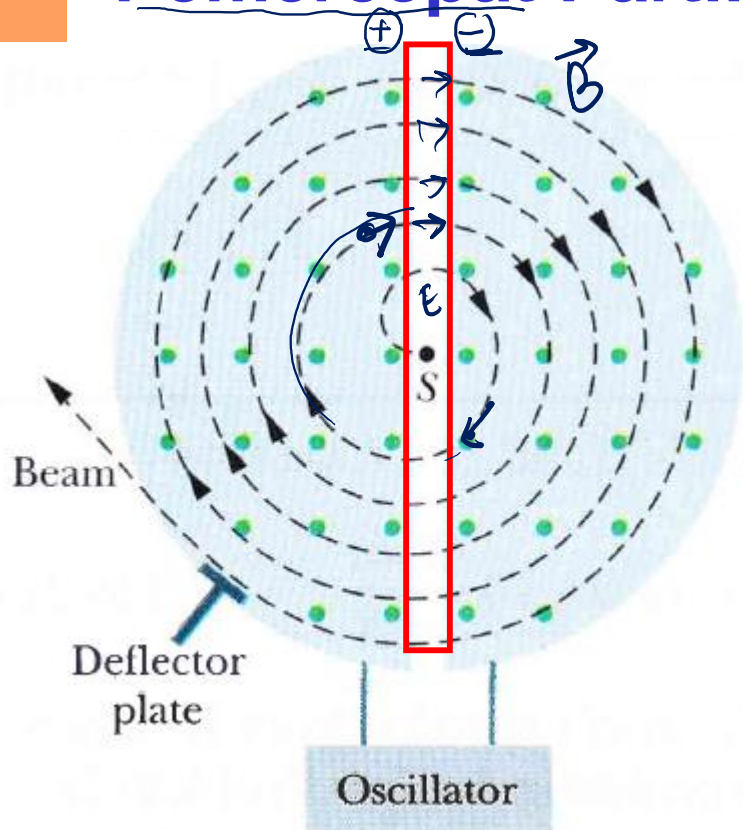
$v_d =$ kecepatan drift



$$I = nq v A$$

$$v = \frac{I}{nqA}$$

Pemercepat Partikel (Synclotron)



Proton diinjeksikan oleh sumber S pada pusat cyclotron. Proton akan bergerak mengikuti persamaan:

$$F = m \frac{v^2}{r}$$

$$|q|vB = \frac{mv^2}{r}$$

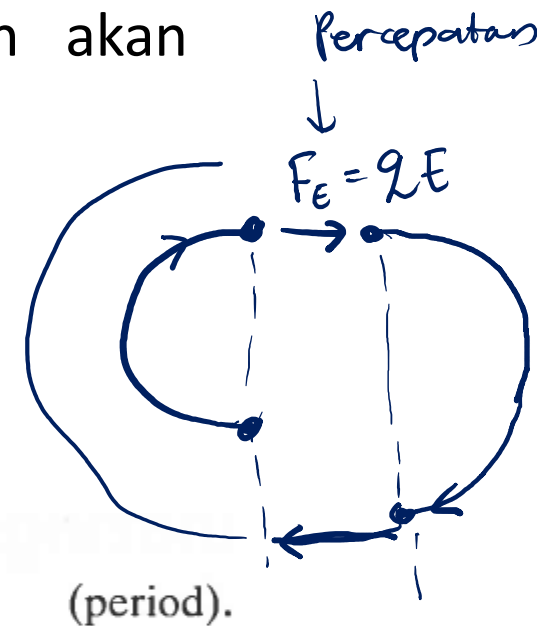
$$r = \frac{mv}{|q|B}$$

(radius).

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{v} \frac{mv}{|q|B} = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{|q|B}{2\pi m}$$

(frequency).



Kondisi resonansi: jika energi proton meningkat, energi diberikan ke proton adalah pada frekuensi resonansi (f), yaitu sebanding dengan frekuensi alamiah dari proton yang beredar dalam medan magnet.

Pemercepat Partikel (Synclotron)

Soal:

Perkirakan sebuah cyclotron dioperasikan pada frekuensi osilasi 12 MHz dan memiliki jari-jari $R=53$ cm. Berapakah besar medan magnet yang diperlukan deuteron untuk dipercepat dalam cyclotron? Massa deuteron $3,34 \times 10^{-27}$ Kg

Solusi:

$$B = \frac{2\pi m f_{osc}}{|q|} = \frac{(2\pi)(3.34 \times 10^{-27} \text{ kg})(12 \times 10^6 \text{ s}^{-1})}{1.60 \times 10^{-19} \text{ C}}$$
$$= 1.57 \text{ T} \approx 1.6 \text{ T.}$$

Berapakah energi kinetik deuteron?

$$v = \frac{RqB}{m} = \frac{(0.53 \text{ m})(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})(1.57 \text{ T})}{3.34 \times 10^{-27} \text{ kg}}$$
$$= 3.99 \times 10^7 \text{ m/s. } \checkmark$$

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$
$$= \frac{1}{2}(3.34 \times 10^{-27} \text{ kg})(3.99 \times 10^7 \text{ m/s})^2$$
$$= 2.7 \times 10^{-12} \text{ J,}$$



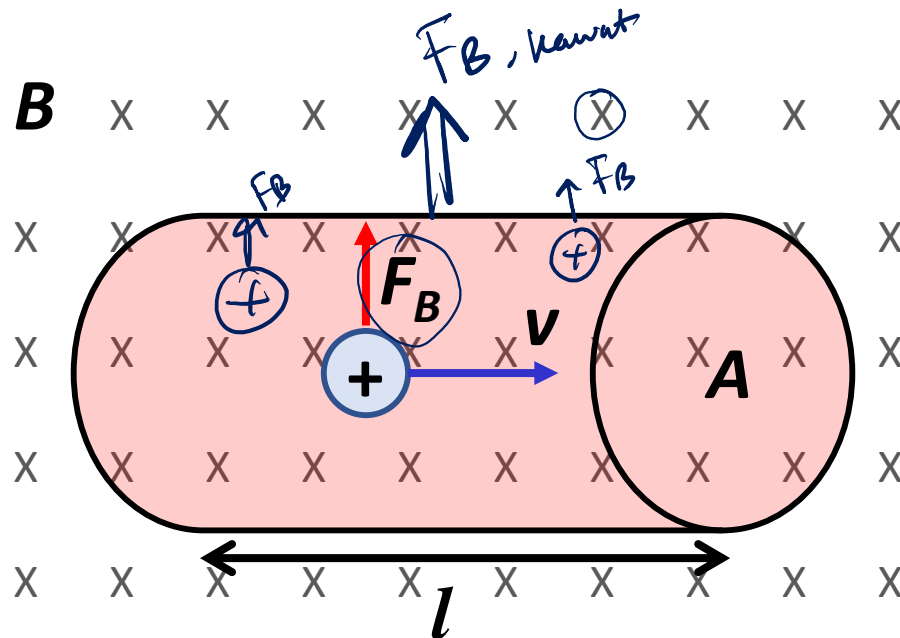
Gaya Pada Kawat Berarus

Gaya Pada Kawat Berarus

Partikel bermuatan yang bergerak dengan kecepatan v didalam daerah bermedan magnet B akan mengalami gaya F_B sebesar:

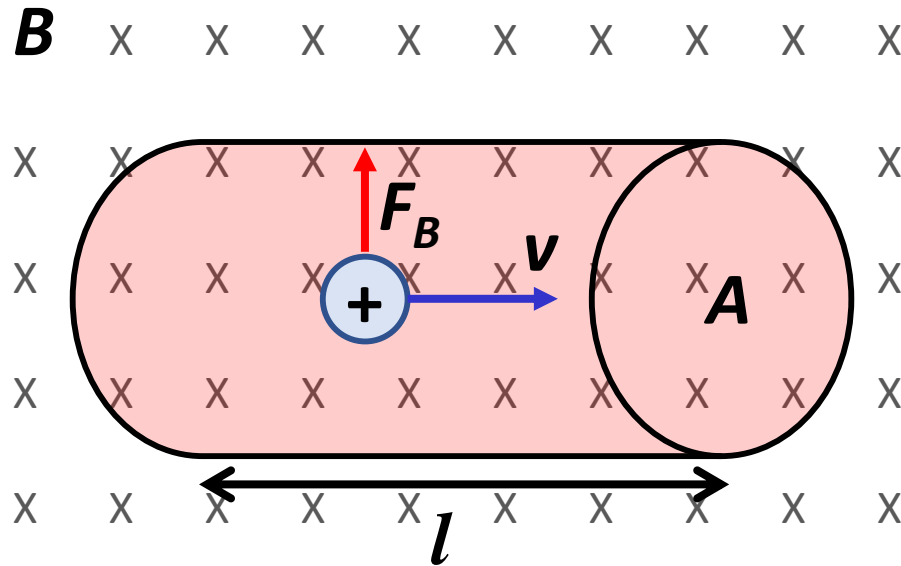
$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Karena arus listrik menggambarkan aliran muatan, maka kawat berarus didalam daerah B juga akan mengalami gaya F_B .



Tinjau segmen kawat dengan luas penampang lintang A dan panjang l .

Gaya Pada Kawat Berarus



Jumlah muatan (N) = densitas muatan (n) \times volume (Al)

Memasukkan kecepatan drift

$$I = qnAv$$

$$v = \frac{I}{qnA}$$

Gaya pada satu muatan

$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad \text{satu muatan}$$

Gaya pada segmen kawat = total gaya dari semua muatan dalam segmen tsb.

$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B})N \quad \text{(gaya yg dialami kawat)}$$

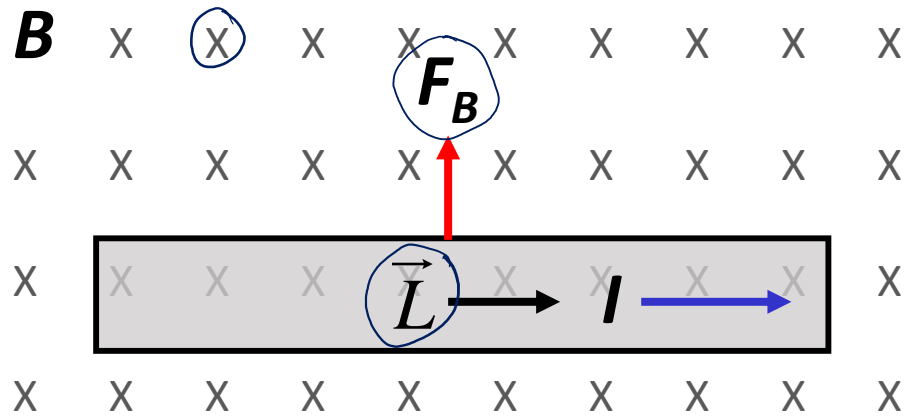
$N = nAl$

$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B})nAl$$

$$\vec{F}_B = \underbrace{qvnA}_I \underbrace{Al}_{\vec{L}} (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\vec{F}_B = I(\vec{L} \times \vec{B})$$

Gaya Pada Kawat Berarus



$$\vec{F}_B = I(\vec{L} \times \vec{B})$$

F_B = Gaya yang dialami kawat

I = Arus listrik yang mengalir pada kawat

\vec{L} = Vektor panjang kawat, arahnya searah dengan arah I

\vec{B} = Medan Magnet

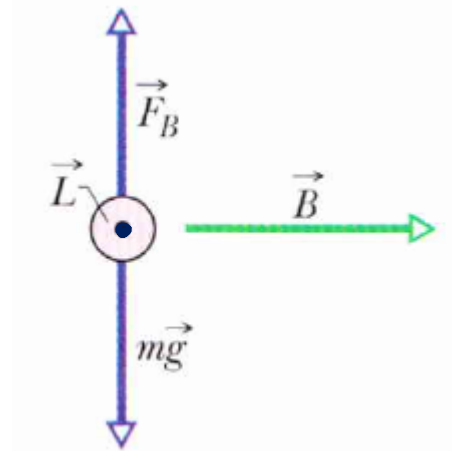
Gaya Pada Kawat Berarus

Soal:

Kawat tembaga horizontal memiliki arus $i=28$ A. Berapakah besar dan arah medan magnet minimum yang diperlukan untuk menggantungkannya agar seimbang dengan gaya gravitasi?

Densitas kawat 46,6 g/m.

Solusi:



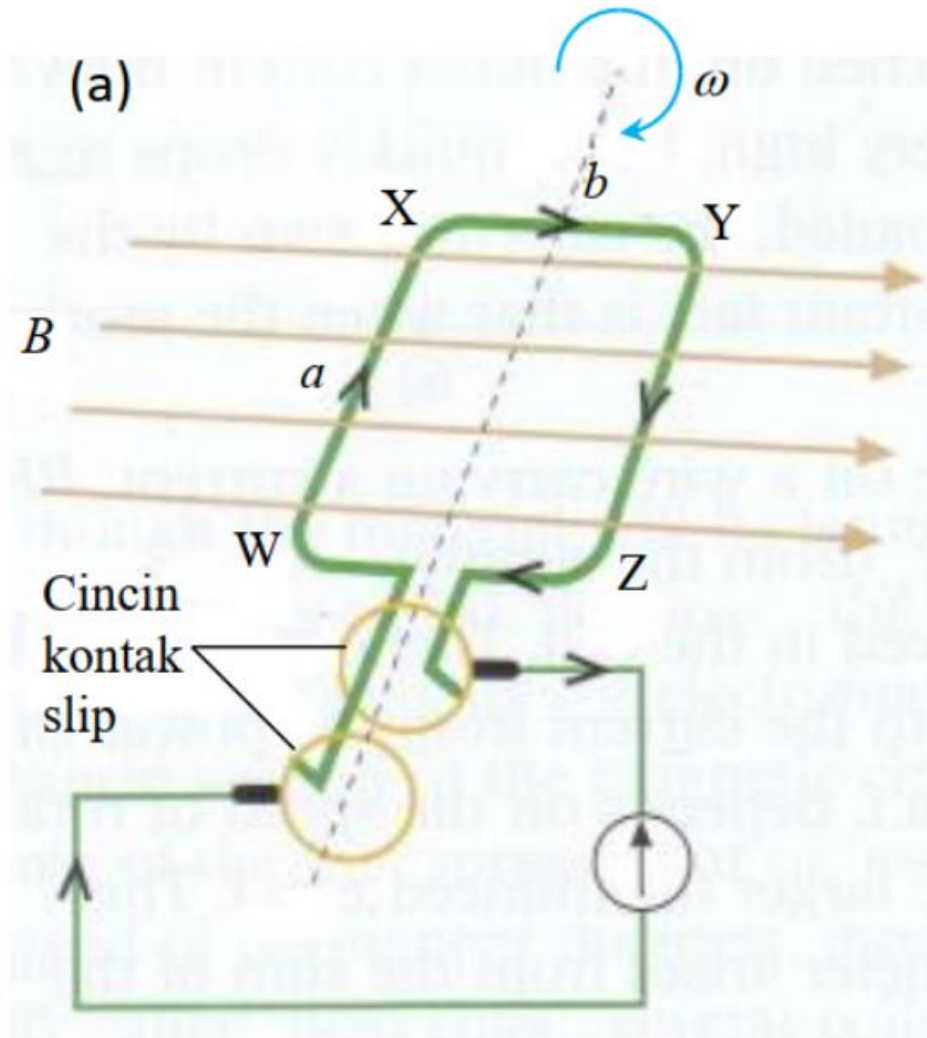
$$F_B = F_g = mg$$

densitas

$$F_B = I(\vec{L} \times \vec{B}) = ILB \sin \theta$$
$$B = \frac{mg}{iL \sin \phi} = \frac{(m/L)g}{i}$$
$$B = \frac{(46.6 \times 10^{-3} \text{ kg/m})(9.8 \text{ m/s}^2)}{28 \text{ A}}$$
$$= 1.6 \times 10^{-2} \text{ T. } \checkmark$$
$$ILB \sin \theta = mg$$
$$B = \frac{mg}{IL \sin \theta}$$

Arahnya seperti pada gambar.

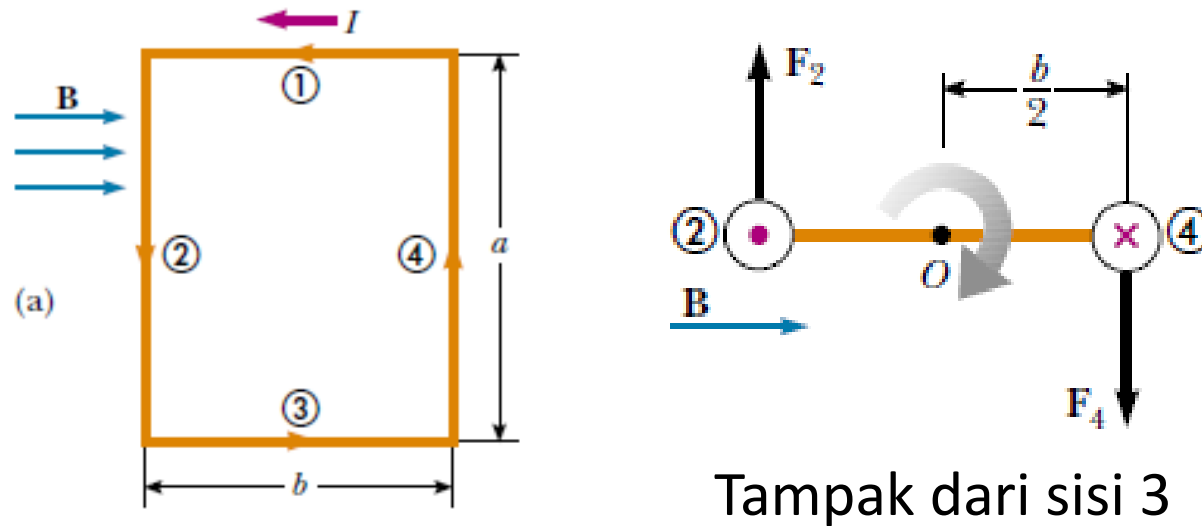
Torsi Pada Loop Tertutup Berarus





Torsi Pada Loop Tertutup Berarus

Torsi Pada Loop Tertutup Berarus



$$F_2 = F_4 = IaB$$

Maka besar maksimum torsi adalah

$$\tau_{\max} = F_2 \frac{b}{2} + F_4 \frac{b}{2} = (IaB) \frac{b}{2} + (IaB) \frac{b}{2} = IabB$$

$$\tau_{\max} = IAB$$

A adalah luas loop

Torsi Pada Loop Tertutup Berarus

Torsi pada saat sudut theta tidak sama dengan 90°

$$\begin{aligned}\tau &= F_1 \frac{a}{2} \sin \theta + F_3 \frac{a}{2} \sin \theta \\ &= IbB \left(\frac{a}{2} \sin \theta \right) + IbB \left(\frac{a}{2} \sin \theta \right) = IabB \sin \theta \\ &= IAB \sin \theta\end{aligned}$$

Jika loop berjumlah N lilitan maka

$$\tau = N\tau' = NIabB \sin \theta = (NIA)B \sin \theta.$$

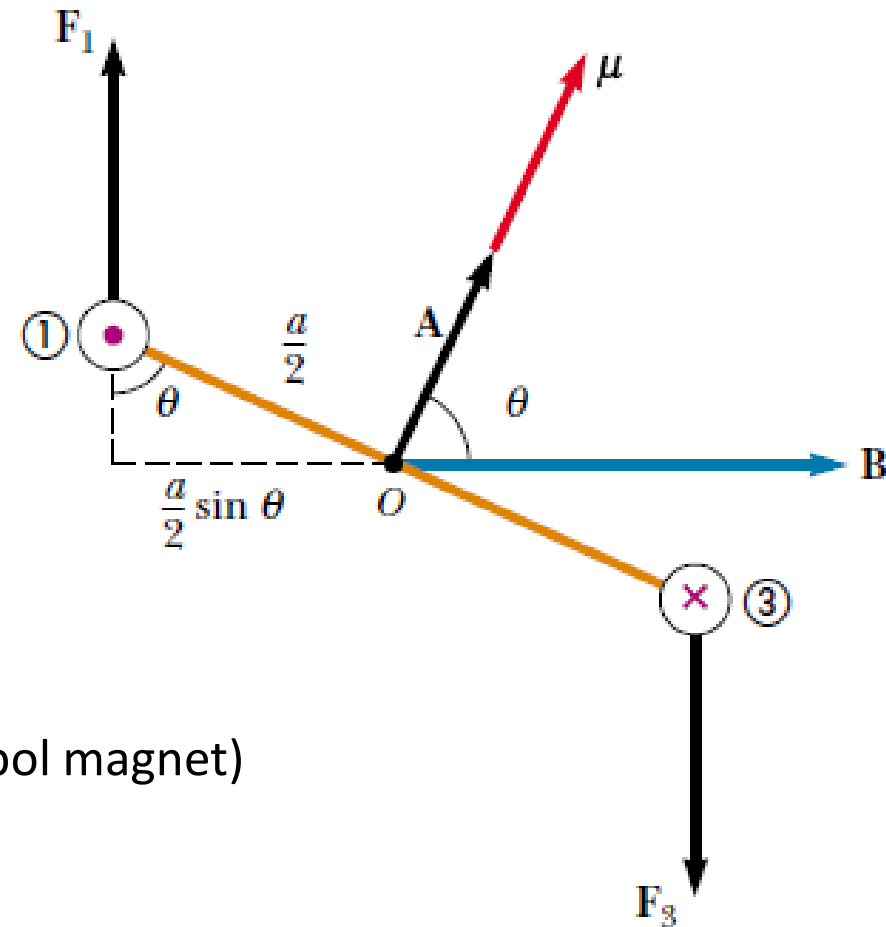
Persamaan umum torsi pada loop listrik

$$\tau = \mathbf{IA} \times \mathbf{B}$$

$\mu = I\mathbf{A}$ Magnetic dipole moment (momen dipol magnet)

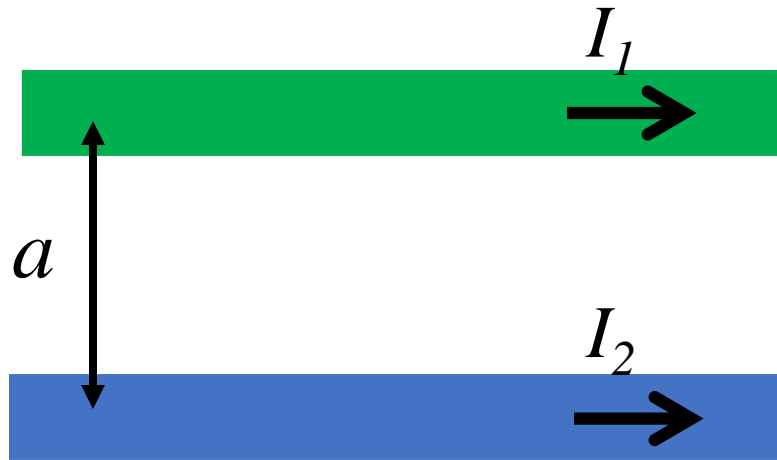
$\mu = NIA$ N jumlah lilitan

Maka, $\tau = \mu \times \mathbf{B}$



Gaya Pada Dua Kawat Pararel

Tinjau dua kawat yang dialiri arus I_1 dan I_2



Kawat 2 menimbulkan medan magnet B_2

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi a}$$

Gaya pada kawat 1 akibat B_2

$$|F_{B1}| = I_1 l_1 |B_2|$$

B_2

$$|F_{B1}| = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} l_1$$

Gaya persatuan panjang

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}$$

Analogi dengan F_{B1} dapat diperoleh F_{B2}

$$|F_{B2}| = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} l_2$$