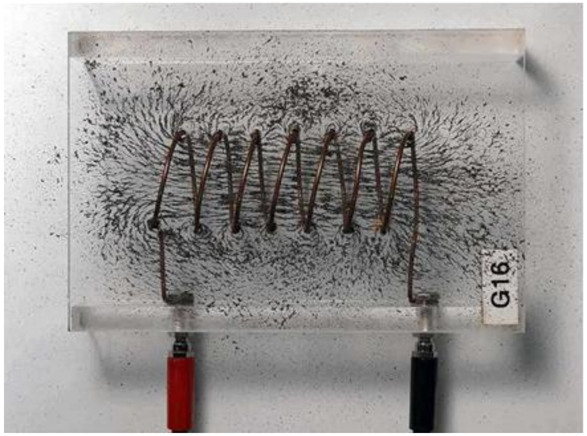
POLE MAGNETYCZNE_1

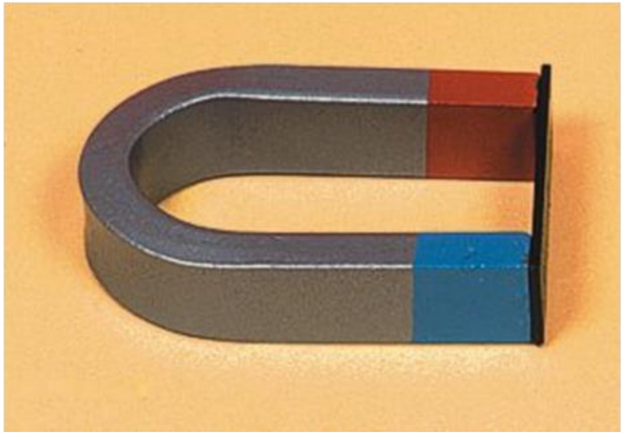
Pole magnetyczne – przestrzeń, w której na poruszające się ładunki elektryczne, a także na ciała posiadające moment magnetyczny (niezależnie, czy się poruszają) działają siły (magnetyczne). Pole magnetyczne współistnieje z polem elektrycznym (pole elektromagnetyczne).

Źródła pola magnetycznego:

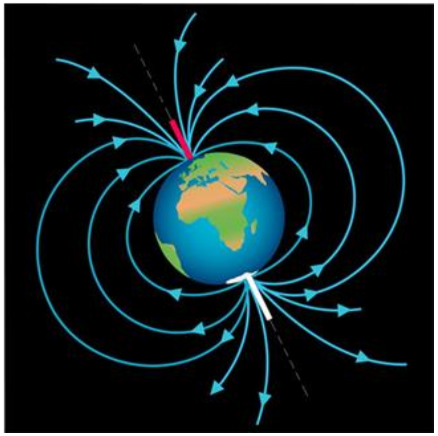
przewodnik z prądem



magnes trwały



Ziemia



SIŁA LORENTZA

Siła działająca na ładunek poruszający się w polu magnetycznym:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{V} \times \vec{B}$$

Gdzie:
$\vec{F}$ – siła Lorentza $[N]$,
q – ładunek $[C]$,
$\vec{V}$ – prędkość cząstki $\left[\frac{m}{s}\right]$,
$\vec{B}$ – wektor indukcji magnetycznej $[T]$.

Jednostką wektora indukcji magnetycznej jest tesla $[T] = \left[\frac{N}{A \cdot m}\right]$*!*

Wartość siły Lorentza:

$$F = q \cdot V \cdot B \cdot sin\alpha$$

POLE MAGNETYCZNE_1

1. Dla ładunku spoczywającego siła Lorentza jest równa 0 (prędkość jest równa 0).

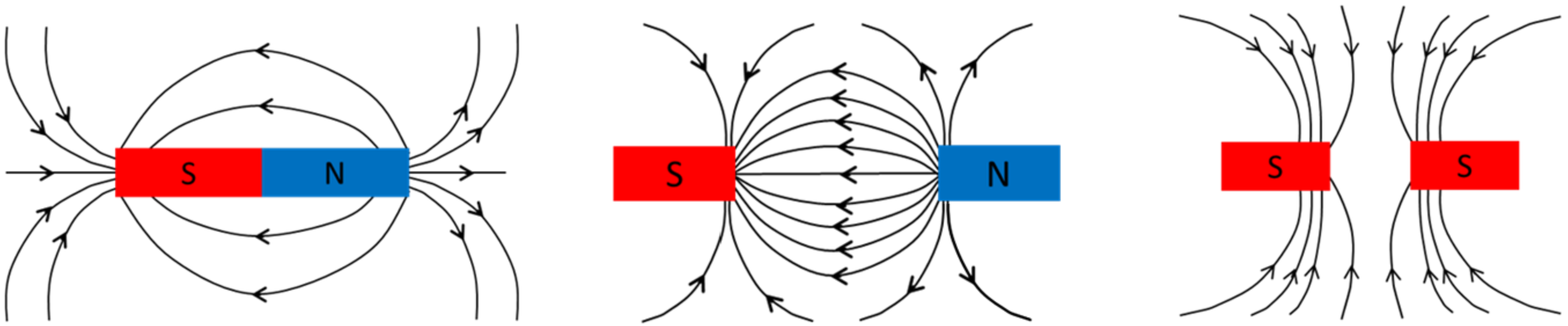
2. Siła jest równa zeru, gdy wektor prędkości jest równoległy (antyrównoległy) do wektora indukcji magnetycznej ($sin\alpha = 0$).

3. Siła osiąga największą wartość, jeśli wektory $\vec{V}$ i $\vec{B}$ są do siebie prostopadłe ($sin\alpha = 1$).

4. Siła Lorentza ma kierunek prostopadły do płaszczyzny utworzonej przez wektory $\vec{V}$ i $\vec{B}$. Zwrot wyznaczamy korzystając z reguły śruby prawoskrętnej, przy uwzględnieniu znaku ładunku.

LINIE POLA MAGNETYCZNEGO

Linie pola magnetycznego – wykorzystuje się je do graficznego obrazowania pola magnetycznego. Pokazują jak w przestrzeni zmienia się kierunek wektora indukcji magnetycznej, który jest w każdym punkcie styczny do tych linii. Im gęściej są rozmieszczone, tym większe pole magnetyczne.



Linie pola są zawsze liniami zamkniętymi (nie ma monopoli magnetycznych)!

Najsilniejsze pole występuje w pobliżu końców magnesu (linie ułożone są najgęściej)!

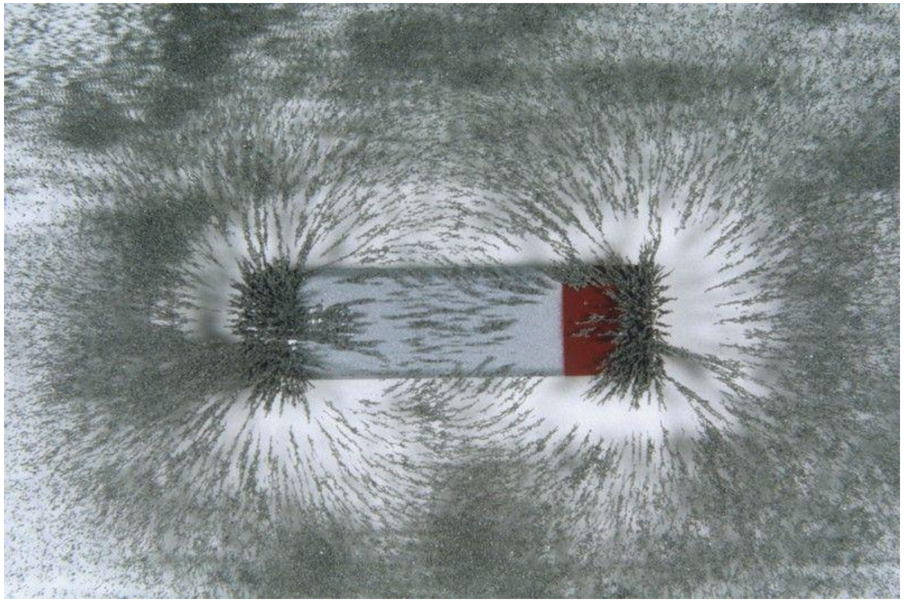
Linie zaczynają się na biegunach N (północne), a kończą na S (południowe)!

POLE MAGNETYCZNE_1

Kierunek linii pola magnesu można wyznaczyć za pomocą:

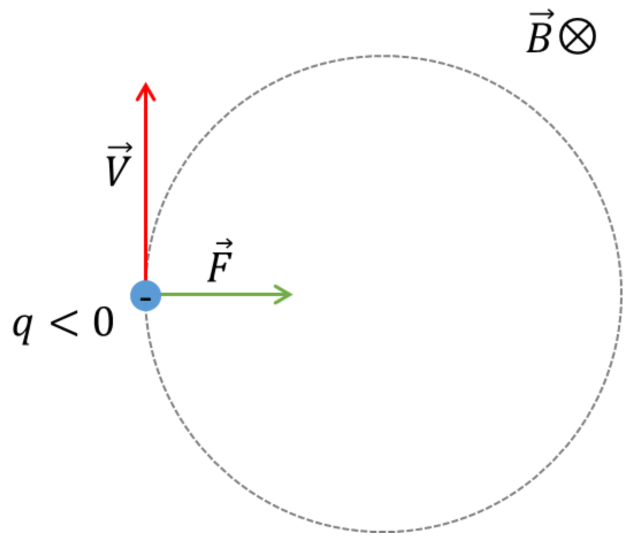
- kompasu – igła magnetyczna kompasu, która jest magnesem sztabkowym, pokazuje kierunek pola magnetycznego

- opiłków żelaza – opiłki żelaza są dipolami magnetycznymi, które ustawiają się zgodnie z wektorem indukcji magnetycznej (liniami pola magnetycznego)



RUCH CZĄSTKI NAŁADOWANEJ W POLU MAGNETYCZNYM

$$F = q \cdot V \cdot B \cdot sin\alpha$$



Dla $\alpha = 90°$:

$$F = q \cdot V \cdot B$$

$$F = \frac{m \cdot V^2}{r}$$

$$q \cdot V \cdot B = \frac{m \cdot V^2}{r}$$

$$r = \frac{m \cdot V}{q \cdot B}$$

POLE MAGNETYCZNE_1

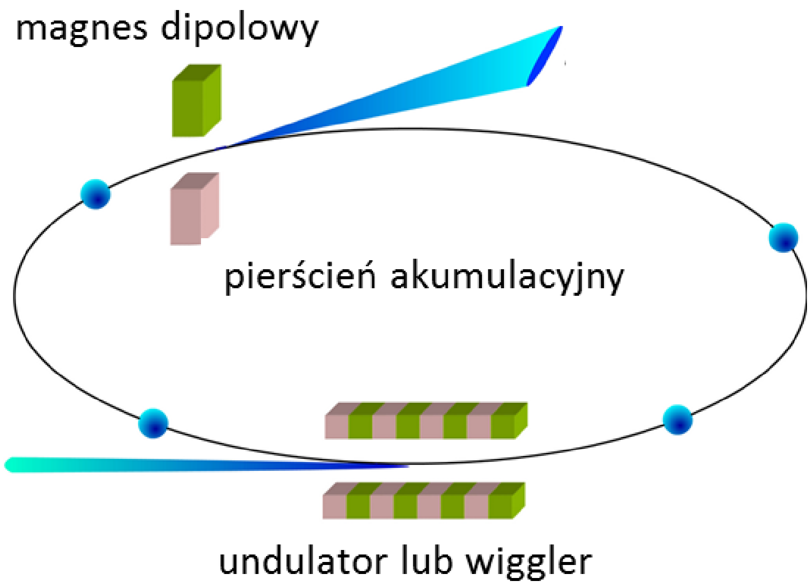
$$r = \frac{m \cdot V}{q \cdot B}$$

Promień po jakim będzie się poruszać cząstka pod wpływem pola będzie zależał od stosunku masy do ładunku cząstki!

Zakrzywianie toru cząstki naładowanej w polu magnetycznym znalazło bardzo wiele zastosowań:

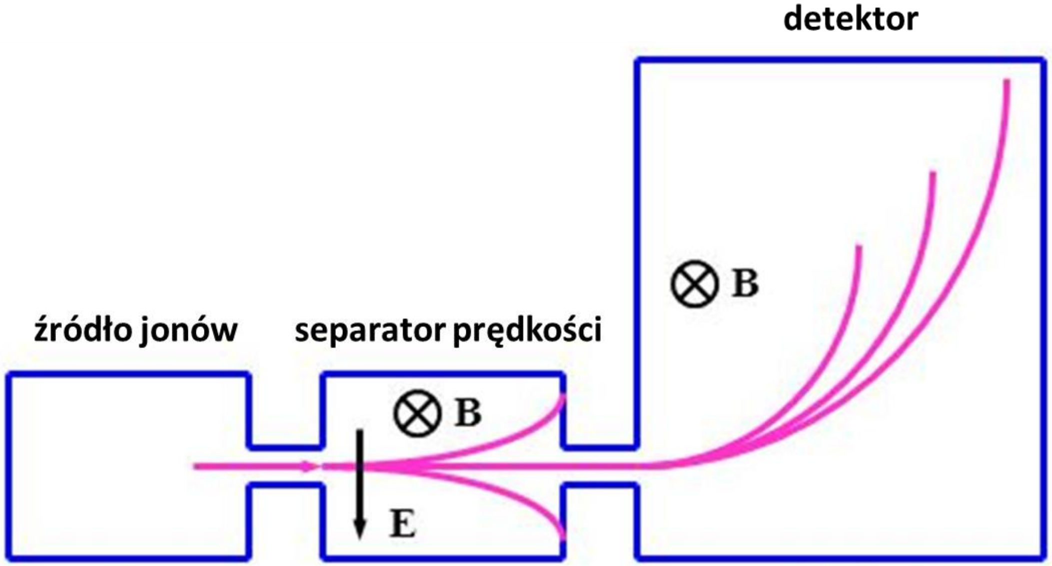
lampa kineskopowa

synchrotron



POLE MAGNETYCZNE_1

spektrometr masowy



W detektorze rejestruje się wiązki cząstek naładowanych rozseparowane (poruszają się po torach o różnych promieniach) ze względu na stosunek $\frac{m}{q}$!

Zastosowania spektrometrii mas:

- identyfikacja związków chemicznych,
- badania struktury związków chemicznych,
- analiza składu pierwiastkowego próbki,
- analiza składu izotopowego substancji.

SIŁA DZIAŁAJACA NA PRZEWODNIK Z PRĄDEM

Ładunek w przewodniku:

$$q = N \cdot e$$

Gdzie:
N – liczba elektronów,
e – ładunek elementarny (pojedynczego elektronu) $[C]$.

Koncentracja ładunków w przewodniku:

$$n = \frac{N}{S \cdot l} = \frac{q}{e \cdot S \cdot l}$$

Gdzie:
S – przekrój poprzeczny przewodnika $[m^2]$,
l – długość przewodnika $[m]$

POLE MAGNETYCZNE_1

Natężenie prądu w przewodniku:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{n \cdot e \cdot S \cdot l}{t} = n \cdot e \cdot S \cdot V$$

$$V = \frac{I}{n \cdot e \cdot S}$$

Siła działająca na poruszający się ładunek w polu magnetycznym:

$$F = q \cdot V \cdot B \cdot sin\alpha$$

Siła działająca na przewodnik z prądem:

$$F = n \cdot e \cdot S \cdot l \cdot \frac{I}{n \cdot e \cdot S} \cdot B \cdot sin\alpha$$

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

$$\vec{F} = I \cdot \vec{l} \times \vec{B}$$

SIŁA DZIAŁAJĄCA NA RAMKĘ Z PRĄDEM

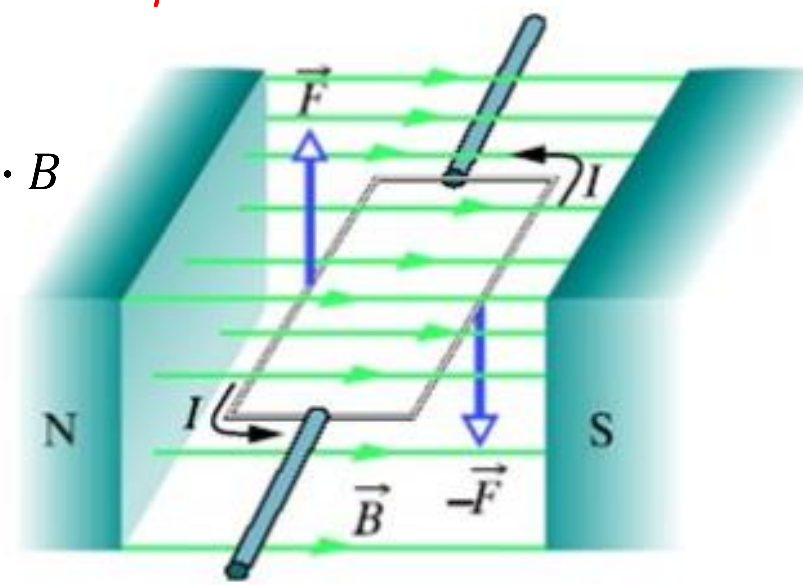
$$F = I \cdot l \cdot B \cdot sin\alpha$$

Dla krótszych boków ramki (o długości a) siła wynosi 0, bo $sin\alpha = 0$!

Dla boków dłuższych (o długości b) siły są skierowane przeciwnie!

$$F = I \cdot l \cdot B \cdot sin\alpha = I \cdot b \cdot B \cdot sin90° = I \cdot b \cdot B$$

$$F\_ = I \cdot b \cdot B \cdot sin90° = I \cdot b \cdot B$$



Z siłami działającymi na dłuższe boki związane są momenty sił!

POLE MAGNETYCZNE_1

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$M = r \cdot F \cdot sin\theta$$

Ramie siły zarówno $\vec{F}$, jak i $\overrightarrow{F_{-}}$ ma długość równą połowie krótszego boku ramki!

$$r = \frac{a}{2}$$

Momenty obu sił są skierowane za płaszczyznę rysunku, więc wartość wypadkowego momentu pary sił jest ich sumą algebraiczną!

$$M_W = M_F + M_{F_-}$$

$$M_F = \frac{a}{2} \cdot I \cdot b \cdot B \cdot sin\theta$$

$$M_{F_-} = \frac{a}{2} \cdot I \cdot b \cdot B \cdot sin\theta$$

POLE MAGNETYCZNE_1

$$M_W = M_F + M_{F\_} = 2 \cdot \frac{a}{2} \cdot I \cdot b \cdot B \cdot sin\theta = a \cdot I \cdot b \cdot B \cdot sin\theta$$

$$M_W = I \cdot B \cdot S \cdot sin\theta$$

$$\overrightarrow{M_W} = I \cdot \vec{S} \times \vec{B}$$

Moment pary sił jest iloczynem wektorowym wektora powierzchniowego i wektora indukcji magnetycznej przemnożonym przez I!

MAGNETYCZNY MOMENT DIPOLOWY

$$\vec{\mu} = I \cdot \vec{S}$$

Gdzie:
I – natężenie prądu $[A]$,
$\vec{S}$ – wektor powierzchniowy $[m^2]$,
$\vec{\mu}$ – magnetyczny moment dipolowy $[A \cdot m^2]$.

POLE MAGNETYCZNE_1

$$\vec{\mu} = I \cdot \vec{S}$$

Wektor dipolowego momentu magnetycznego ma kierunek i zwrot wektora powierzchniowego, jest prostopadły do płaszczyzny ramki z prądem!

$$\overrightarrow{M_W} = I \cdot \vec{S} \times \vec{B} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

1. Pole magnetyczne powoduje ruch skręcający ramki z prądem.

2. Stan równowagi występuje kiedy $\vec{\mu}$ jest równoległe do $\vec{B}$ (ramka jest prostopadła do $\vec{B}$).

Zatem ramka z prądem stanowi analogię do igły kompasu, która ustawia się w polu magnetycznym zgodnie z liniami pola!

Ramka z prądem stanowi dipol magnetyczny!

ENERGIA POTENCJALNA DIPOLA MAGNETYCZNEGO

$$E = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} = -\mu \cdot B \cdot cos\theta$$

1. Energia potencjalna jest maksymalna dla $cos\theta = -1$, czyli wtedy, kiedy $\vec{\mu}$ jest antyrównoległe do $\vec{B}$.

2. Energia potencjalna jest minimalna dla $cos\theta = 1$, czyli wtedy, kiedy $\vec{\mu}$ jest równoległe do $\vec{B}$.

POLE MAGNETYCZNE_1

ELEKTRON W ATOMIE

Elektron krążący po orbicie w atomie stanowi analogię do kołowej ramki z prądem!

Moment dipolowy elektronu:

$$\mu_e = I \cdot S = I \cdot \pi r^2$$

Gdzie:
I – natężenie prądu $[A]$,
S – powierzchnia orbity (kołowej) $[m^2]$,
r – promień orbity kołowej $[m]$.

Natężenie prądu wytwarzanego przez elektron w czasie pojedynczego obiegu:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{e}{T}$$

Gdzie:
e – ładunek elektronu $[C]$,
T – okres obiegu elektronu $[s]$.

POLE MAGNETYCZNE_1

Okres obiegu elektronu:

$$T = \frac{s}{V} = \frac{2\pi r}{V}$$

Gdzie:
s – droga elektronu $[m]$,
V – prędkość elektronu $\left[\frac{m}{s}\right]$.

$$\mu_e = I \cdot \pi r^2 = \frac{e}{T} \cdot \pi r^2 = \frac{e \cdot V}{2\pi r} \cdot \pi r^2 = \frac{e \cdot V}{2} \cdot r$$

$$\mu_e = \frac{e}{2m} \cdot (m \cdot V \cdot r) = \frac{e}{2m} \cdot L$$

Gdzie:
m – masa elektronu $[kg]$,
L – orbitalny moment pędu elektronu $\left[\frac{kg \cdot m^2}{s^2}\right]$.

ORBITALNY MOMENT PĘDU ELEKTRONU

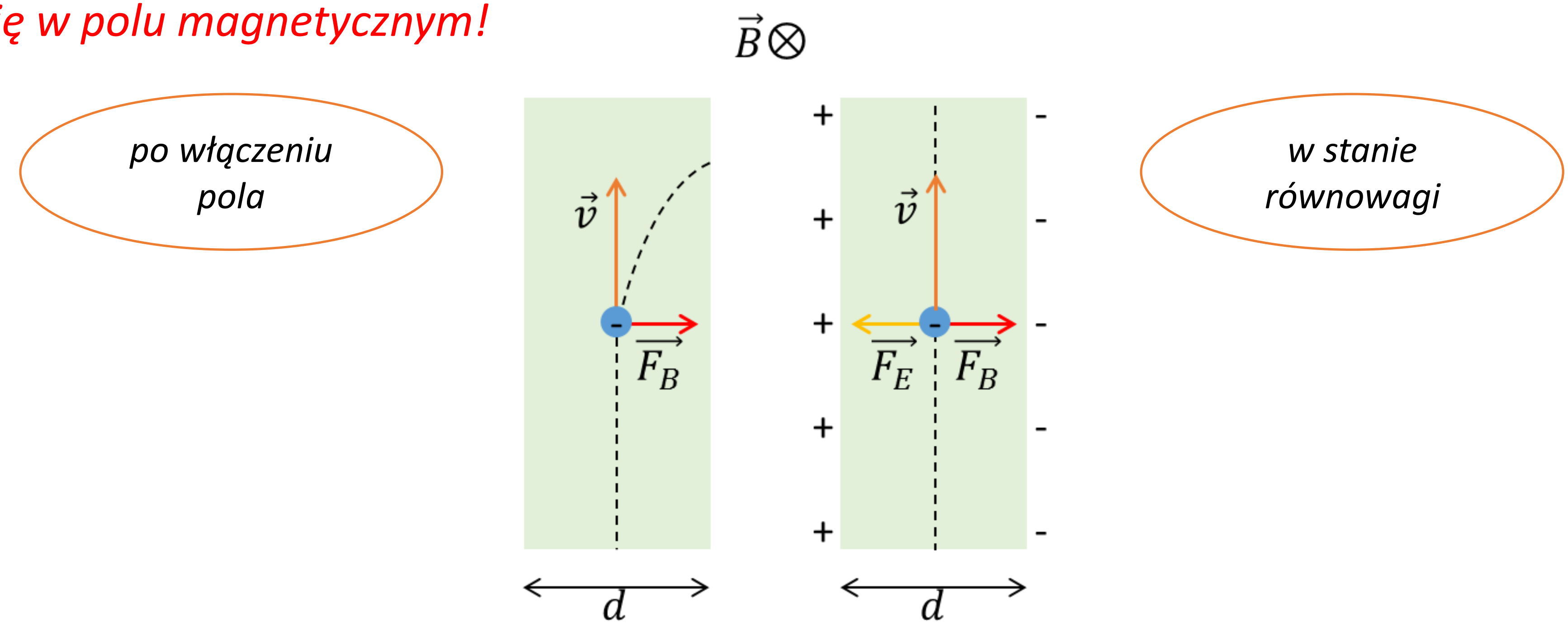
$$L = m \cdot V \cdot r$$

Elektron krążący po orbicie jest elementarnym dipolem magnetycznym!

EFEKT HALLA

Efekt Halla – wystąpienie w przewodniku różnicy potencjałów (napięcia Halla), kiedy znajdzie się on w polu magnetycznym poprzecznym do kierunku płynącego w przewodniku prądu.

Napięcie Halla jest spowodowane działaniem siły Lorentza na ładunki poruszające się w polu magnetycznym!



Gromadzenie się ładunków na ściance bocznej powoduje powstanie poprzecznego pola elektrycznego (pole Halla)!

POLE MAGNETYCZNE_1

W stanie równowagi siła Lorentza i siła pochodząca od napięcia Halla są co do wartości równe!

$$\overrightarrow{F_E} = -\overrightarrow{F_B}$$

$$e \cdot \overrightarrow{E_H} = -e \cdot \vec{V} \times \vec{B}$$

$$\overrightarrow{E_H} = -\vec{V} \times \vec{B}$$

$$E_H = -V \cdot B$$

Gdzie:

$E_H -$ natężenie pola elektrycznego Halla $[\frac{N}{C}]$,

$V -$ prędkość elektronów (lub innych nośników ładunku) $[\frac{m}{s}]$,

$B -$ indukcja magnetyczna $[T]$.

Mierząc natężenie pola elektrycznego Halla (a właściwie napięcie Halla) możemy wyznaczyć prędkość nośników ładunku!

POLE MAGNETYCZNE_1

Prędkość nośników ładunku (pokazane wcześniej):

$$V = \frac{I}{n \cdot e \cdot S} = \frac{j}{n \cdot e}$$

Gdzie:

I – natężenie prądu $[A]$,

n – koncentracja elektronów (lub innych nośników ładunku) $[\frac{1}{m^3}]$,

S – przekrój poprzeczny przewodnika $[m^2]$,

j – gęstość prądu $\left[\frac{A}{m^2}\right]$.

$$n = \frac{j}{V \cdot e} = \frac{j \cdot B}{E_H \cdot e}$$

Znając pole B i mierząc pole Halla (w praktyce napięcie Halla) możemy wyznaczyć koncentrację nośników ładunku!

Zjawisko Halla wykorzystuje się również do pomiaru pól magnetycznych i natężenia prądu elektrycznego!