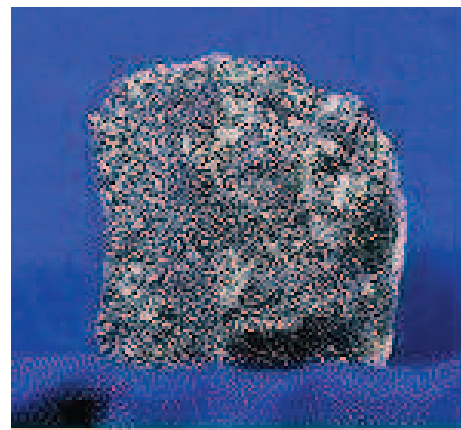


Pole magnetyczne

- starożytność: Tales z Miletu, własności minerału $\mu\alpha\gamma\eta\tau\iota\sigma$ z okolic miasta Magnezja (obecna nazwa minerału: magnetyt, Fe_3O_4)



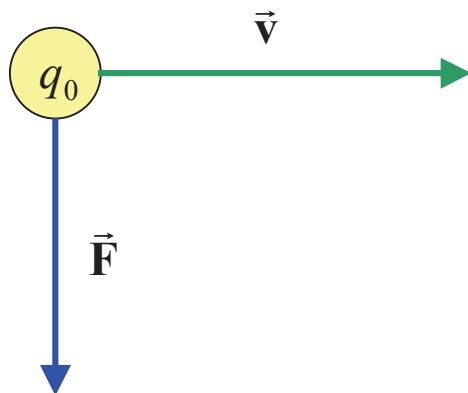
-
- Tales z Miletu



magnetyt (jedna z postaci)

(źródło: wikipedia)

- współczesna definicja pola magnetycznego: obszar przestrzeni, w którym występują oddziaływania magnetyczne (np. oddziałują ze sobą kawałki magnetytu)
- obserwacja: kawałki substancji magnetycznych są zawsze dipolami (magnetycznymi)
- obserwacja: pole magnetyczne działa również na pojedyncze ładunki elektryczne, ale w ruchu



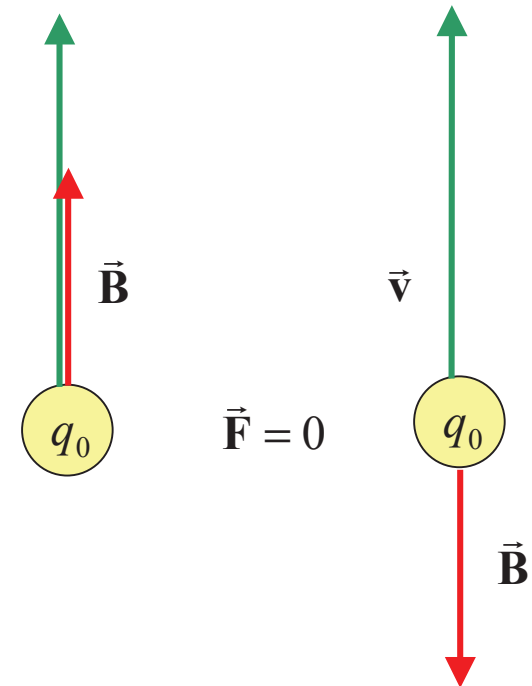
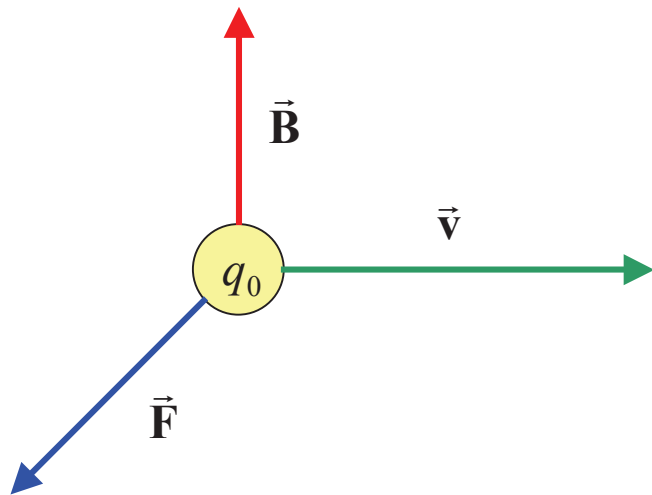
siła ta jest zawsze \perp do prędkości

- **eksperyment: przepuszczamy ładunek $q_0 > 0$ stale przez ten sam punkt pola, ale w różnych kierunkach i z różnymi wartościami prędkości, zmieniamy też wartość ładunku**
- **wyniki**
 1. istnieje zbiór kierunków, dla których wartość siły jest maksymalna (płaszczyzna)
 2. istnieje kierunek, dla którego siła znika
 3. wartość siły jest proporcjonalna do prędkości
 4. wartość siły jest proporcjonalna do wielkości ładunku
- **podsumowanie: definiujemy wektor pola \vec{B} , jako wektor spełniający równanie**

$$\vec{F} = q_0 \vec{v} \times \vec{B}$$

jeżeli $\vec{v} \perp \vec{B}$, to $F = F_{\max} = q_0 v B$, stąd $B = \frac{F_{\max}}{q_0 v}$

jeżeli $\vec{v} \parallel \vec{B}$, to $F = 0$, ale stąd mamy kierunek \vec{B}



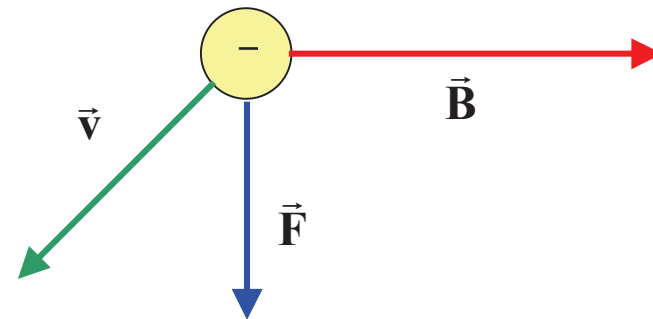
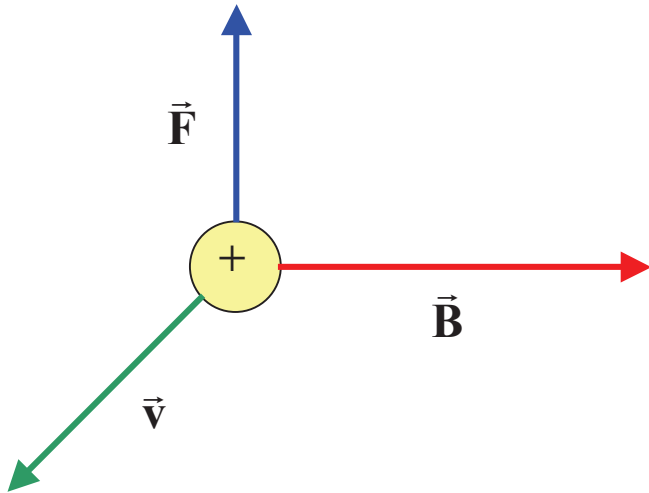
Wektor \vec{B} nazywamy wektorem indukcji magnetycznej.

Jednostka: 1 tesla, $1 \text{ T} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ C} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{Am}}$

Siła Lorentza

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$$

wzór słuszny dla każdego ładunku.



Pełna siła Lorentza

w polu elektromagnetycznym (\vec{E}, \vec{B}) :

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

Strumień pola magnetycznego

$$\Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Jednostka strumienia: 1 weber, $1 \text{ Wb} = 1 \text{ T m}^2$

Prawo Gaussa dla pola magnetycznego:

strumień indukcji magnetycznej \vec{B} przez powierzchnię zamkniętą jest zawsze równy zeru

$$\Phi_B = 0$$

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

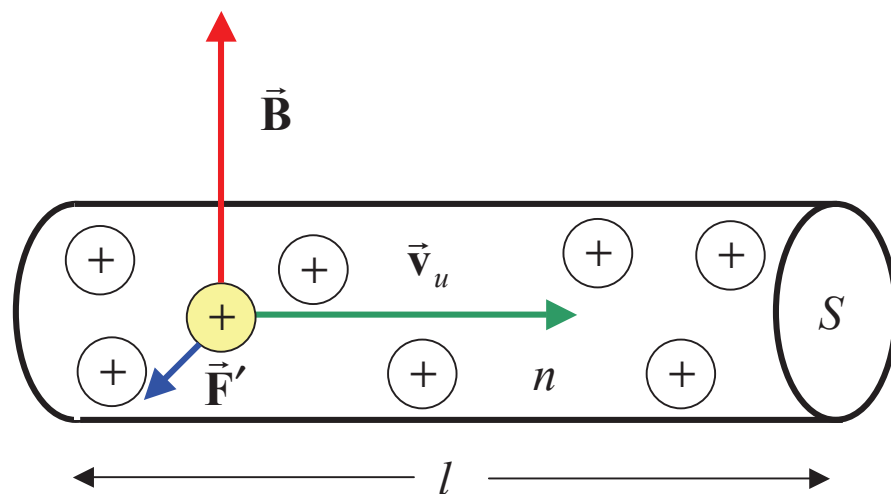
w postaci różniczkowej

$$\text{div } \vec{B} = 0$$

Pole magnetyczne jest bezźródłowe!

Nie ma w przyrodzie ładunków magnetycznych.

Działanie pola magnetycznego na przewodnik z prądem



średnia siła działająca na pojedynczy ładunek

$$\vec{F}' = e\vec{v}_u \times \vec{B}$$

siła wypadkowa działająca na ten fragment przewodnika

$$\vec{F} = nSl\vec{F}'$$

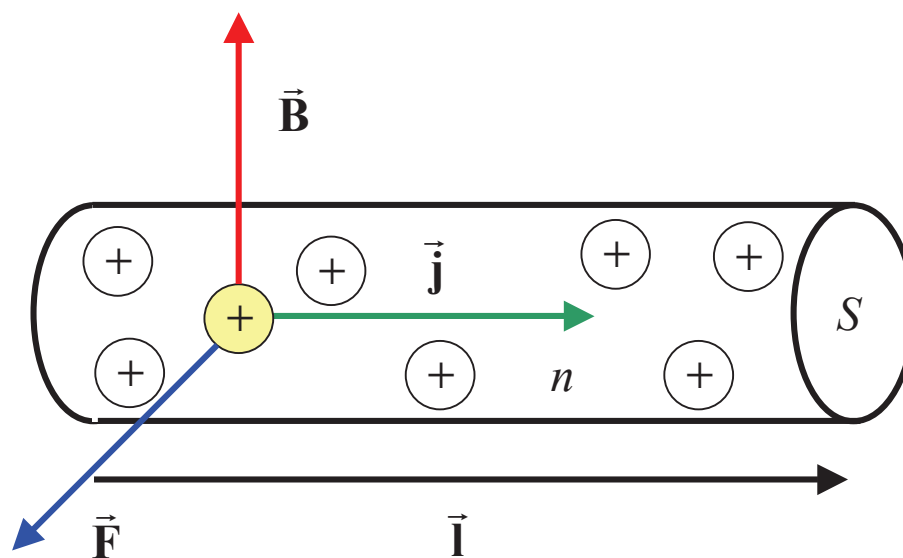
$$\vec{F} = nSle\vec{v}_u \times \vec{B}$$

$$\vec{j} = ne\vec{v}_u$$

$$\vec{F} = lS\vec{j} \times \vec{B}$$

$$i = Sj$$

$$\vec{F} = i\vec{l} \times \vec{B}$$

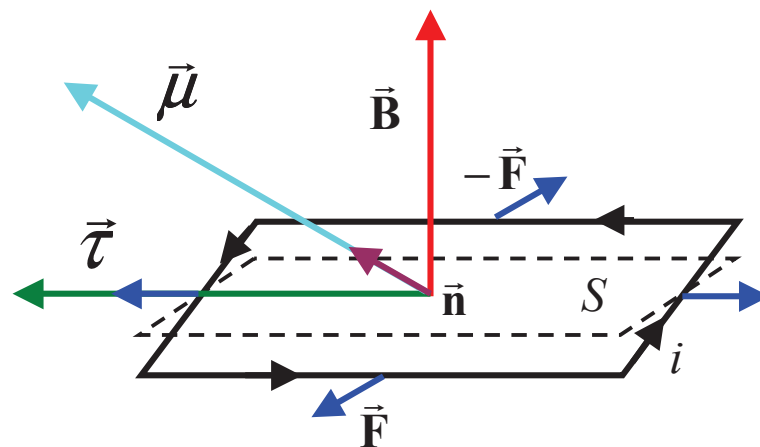


w przypadku małego fragmentu przewodnika

$$d\vec{F} = i d\vec{l} \times \vec{B}$$

\vec{F} jest siłą elektrodynamiczną.

Działanie pola magnetycznego na ramkę z prądem



magnetyczny moment dipolowy

$$\vec{\mu} \equiv i\vec{S} \equiv iS \vec{n}$$

podlega działaniu momentu siły

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

energia dipola magnetycznego w polu \vec{B}

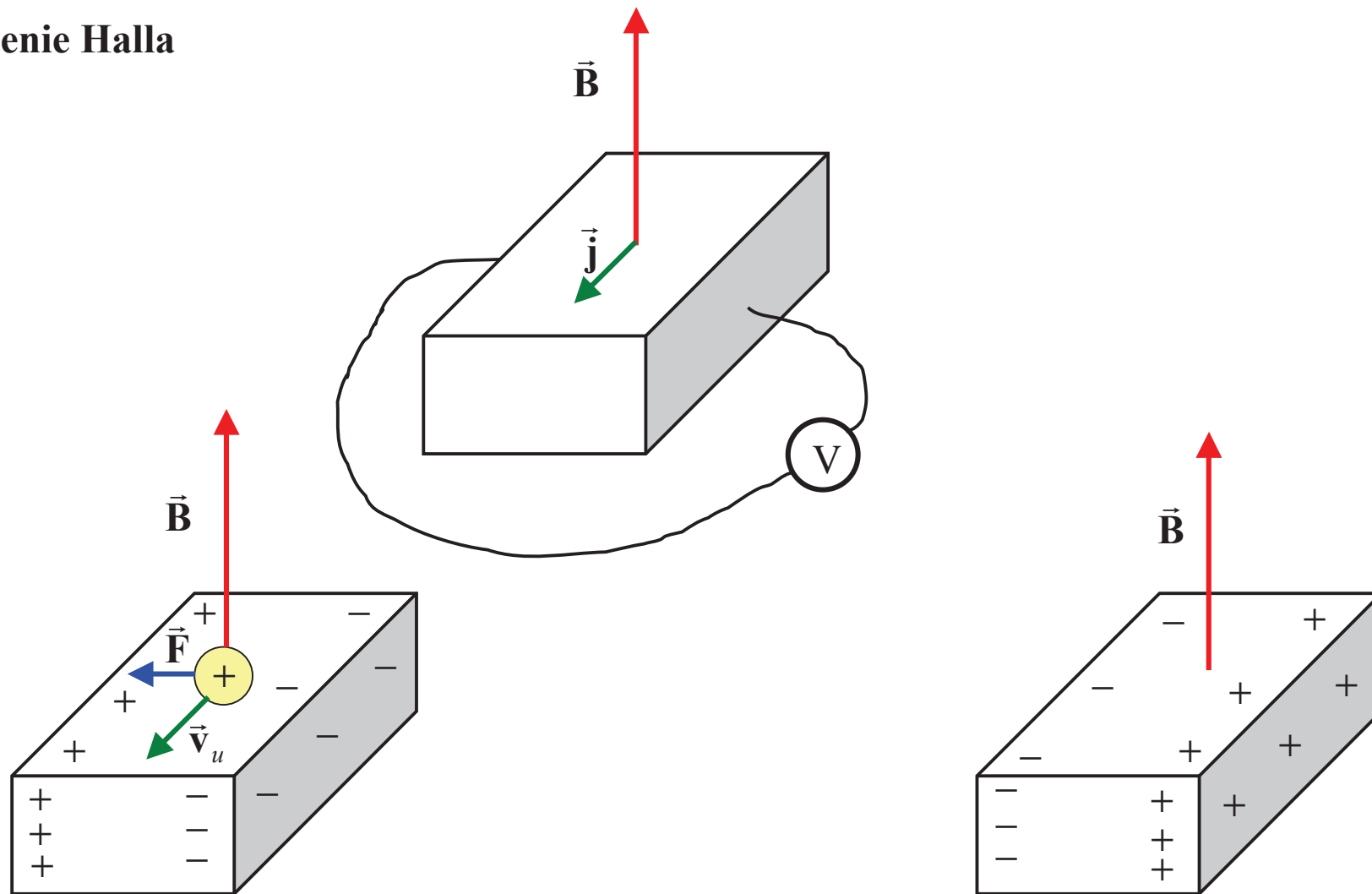
$$U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

Moment dipolowy ustawia się zgodnie z polem.

Efekt Halla

polega na pojawieniu się napięcia poprzecznego w przewodniku z prądem, znajdującym się w zewnętrznym polu magnetycznym.

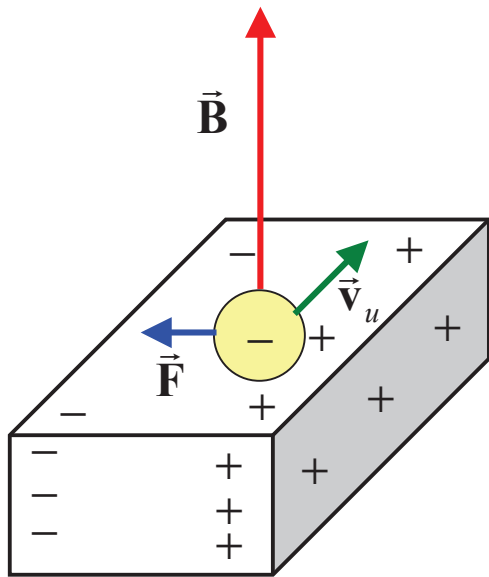
doświadczenie Halla



wynik przewidywany

wynik otrzymany

Wyjaśnienie: w metalu nośnikami prądu elektrycznego są ładunki ujemne.



W stanie równowagi

$$\vec{F} = 0$$

$$q\vec{E} + q\vec{v}_u \times \vec{B} = 0$$

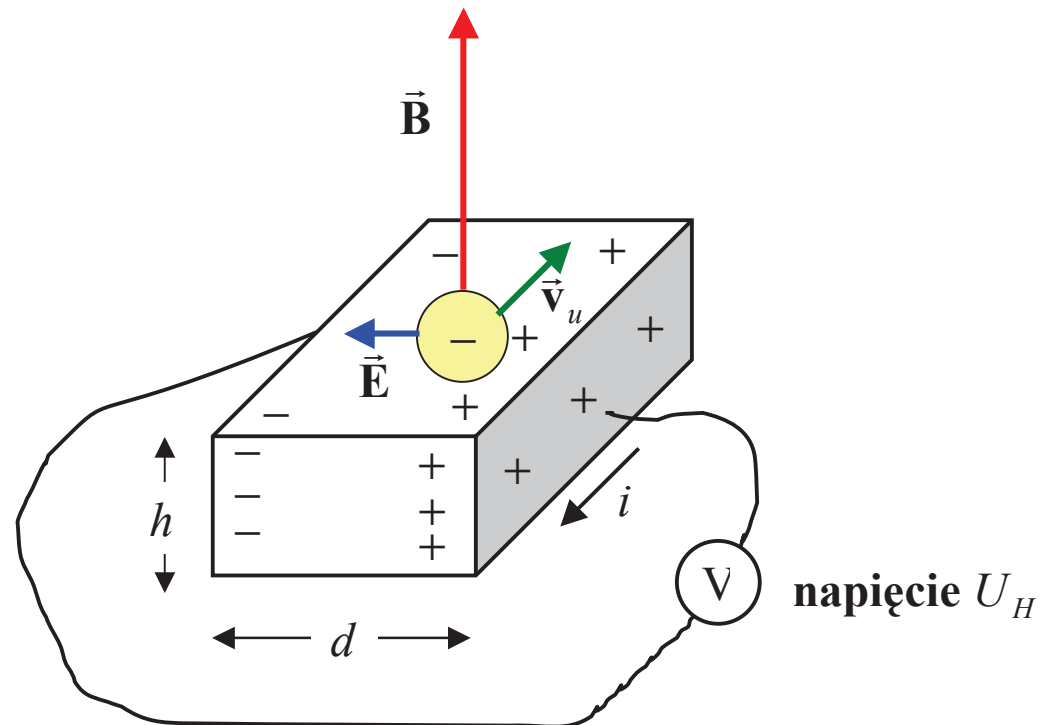
$$\vec{E} = -\vec{v}_u \times \vec{B}$$

$$E_H = v_u B$$

$$E_H = \frac{j}{ne} B$$

stała Halla: $R_H = \frac{1}{ne}$

$$E_H = R_H j B$$



$$\frac{U_H}{d} = R_H \frac{i}{hd} B$$

napięcie Halla: $U_H = R_H \frac{iB}{h}$

Zastosowania efektu Halla:

a) naukowe

- określanie znaku nośników prądu
- pomiar koncentracji nośników n

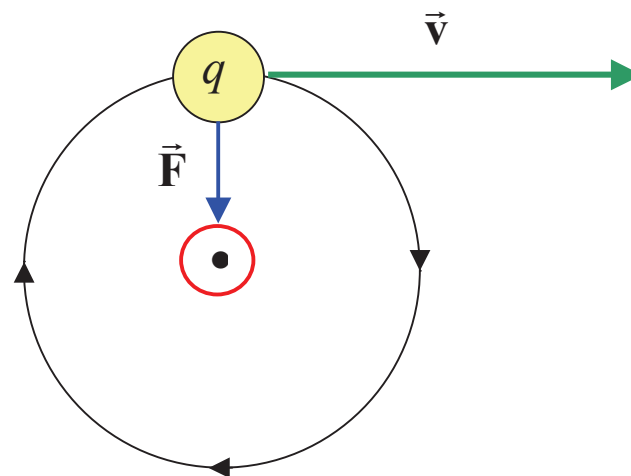
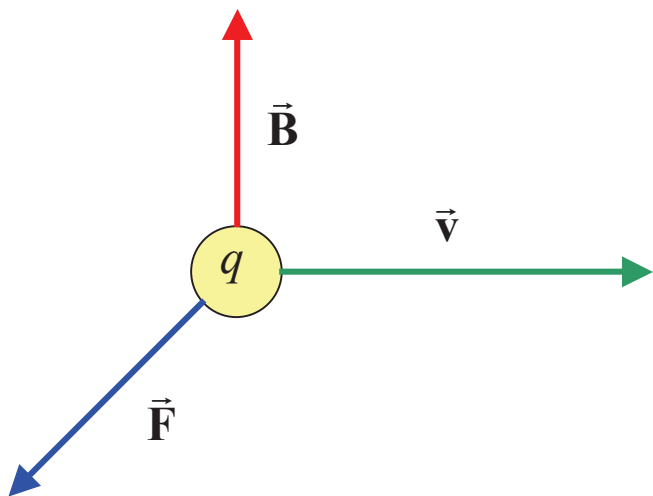
b) techniczne

- kontrola jakości metali i półprzewodników
- pomiar indukcji magnetycznej \vec{B} (hallotron)
- automatyka (stabilizacja \vec{B})

Ruch swobodnego ładunku w polu magnetycznym (jednorodnym)

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$$

a) $\vec{v} \perp \vec{B}$



$$qvB = \frac{mv^2}{r}, \quad \text{stąd } r = \frac{mv}{qB}$$

w tym przypadku orbita jest okręgiem, w płaszczyźnie $\perp \vec{B}$

b) $\vec{v} \parallel \vec{B} \Leftrightarrow \vec{F} = 0$

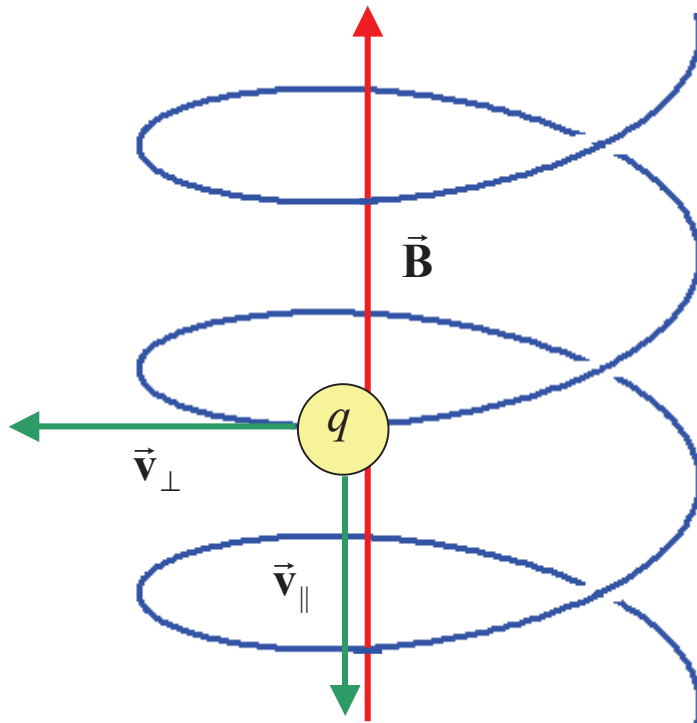
w tym przypadku ładunek porusza się po linii prostej ze stałą prędkością

c) \vec{v} skierowane dowolnie

można rozłożyć \vec{v} na dwie składowe: \vec{v}_\perp i \vec{v}_\parallel ;

ruch jest złożeniem ruchu po okręgu z prędkością $|\vec{v}_\perp|$ i ruchu po prostej z prędkością \vec{v}_\parallel ;

jest to ruch po linii śrubowej



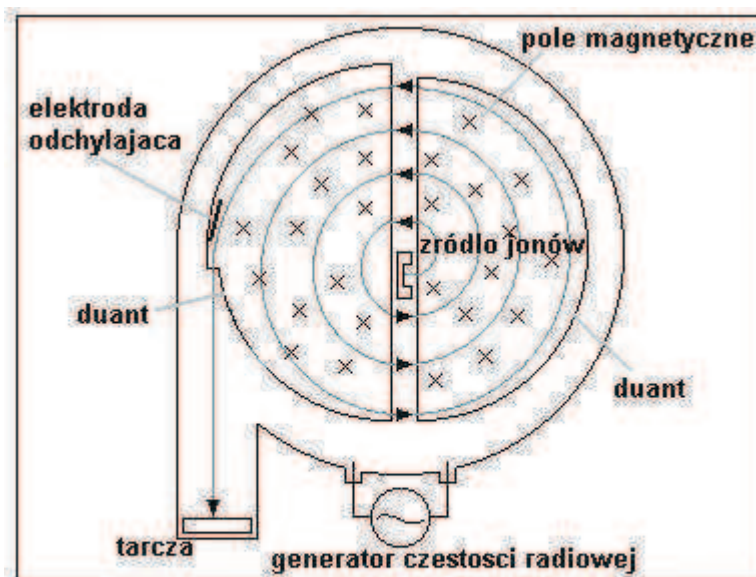
Przypadek a) jest wykorzystywany w akceleratorach cząstek elementarnych.

Pierwsze takie urządzenie: cyklotron (Lawrence, USA, 1931; nagroda Nobla 1939)

zasada działania: częstość obiegu po orbicie kołowej

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$$

jest niezależna od promienia (jest to tzw. częstość cyklotronowa).



Cyklotron. Jony dodatnie wytwarzane wewnątrz urządzenia, są wielokrotnie przyspieszane między duantami - zataczają coraz większe tory kołowe prostopadle do kierunku pola.



cyklotron.asx

Cyklotron służy do leczenia nowotworów (oprócz tego, że jego główną funkcją są badania naukowe).