



Wrocław  
University  
of Science  
and Technology

# Fizyka

## semestr letni

### 2020/2021

**Grupa B: Piątek, 15:00 - 16:30**

**Grupa A: Piątek, 16:40 - 18:10**

**sala wirtualna**

**– zajęcia online**

**Sylwia Majchrowska**

**[sylwia.majchrowska@pwr.edu.pl](mailto:sylwia.majchrowska@pwr.edu.pl)**

**<https://majsylw.netlify.app/teaching/>**

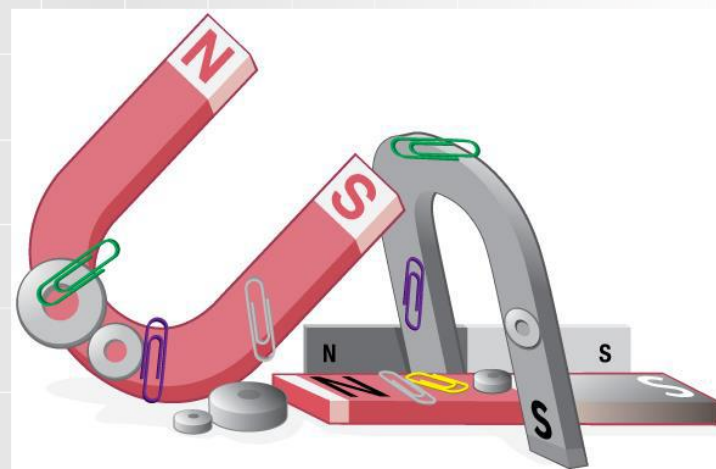
**pokój 213, budynek L-1**



# Magnetyzm

Wszystkie magnesy przyciągają żelazo, takimi magnesami są przykładowo te zawieszane na drzwiach lodówki. Jednak magnesy mogą też przyciągać lub odpychać inne magnesy. Eksperymenty pokazały, wszystkie magnesy mają dwa bieguny. Jeśli będą swobodnie zawieszone, jeden biegun będzie wskazywał w kierunku północnym. Dwa bieguny nazywane są więc północnym biegunem magnetycznym i południowym biegunem magnetycznym.

Magnesy mają różne kształty, rozmiary oraz siłę. Wszystkie mają zarówno biegun północny i biegun południowy. Nigdy nie spotkacie odizolowanego bieguna (a monopolu).

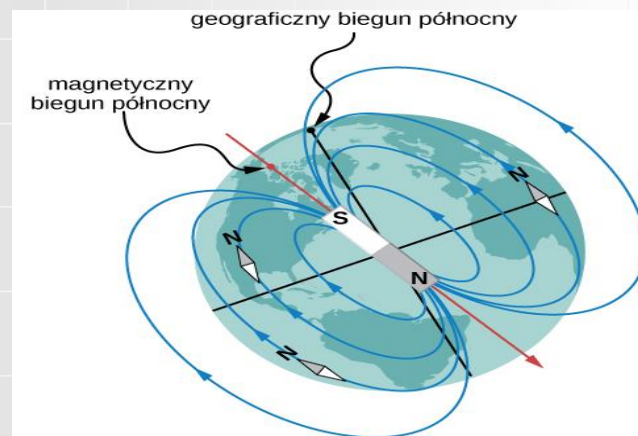




# Ziemskie pole magnetyczne

***Jest to pole magnetyczne występujące naturalnie wewnątrz i wokół Ziemi. Odpowiada ono w przybliżeniu polu dipola magnetycznego z jednym biegunem geomagnetycznym w pobliżu geograficznego bieguna północnego i z drugim biegunem geomagnetycznym w pobliżu bieguna południowego.***

Magnetyki powszechnie stosowane są w przedmiotach codziennego użytku, takich jak zabawki, wieszaki, windy, dzwonki do drzwi czy komputery. Badania nad magnetykami pokazują, że wszystkie posiadają dwa rodzaje biegunów, jeden nazywany północnym (N) i drugi nazywany południowym (S). Jednoimienne bieguny magnetyczne odpychają się wzajemnie, a różnoimienne przyciągają (np. jeden typu N, a drugi typu S), natomiast oba typy przyciągają nienamagnesowane kawałki żelaza. Wspomnijmy, że nie można wyizolować pojedynczych biegunów magnetycznych. Każdy wycinek magnetyka, obojętnie jak mały, jeżeli posiada biegun północny, musi także posiadać południowy.



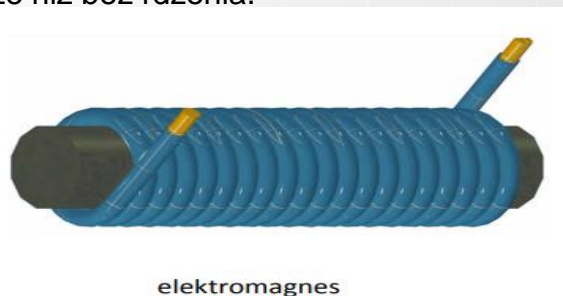
W rzeczywistości bieguny geograficzne i bieguny magnetyczne nie pokrywają się. Między biegunami geograficznymi a biegunami magnetycznymi występuje kąt  $11^\circ$ . Odchylenie magnetyczne nazywamy deklinacją.

Biegun północny igły kompasu ustawia się w kierunku południowego bieguna magnetycznego, co pokazuje obecną orientację pola magnetycznego wnętrza Ziemi. Ustawia się także w kierunku ziemskiego geograficznego bieguna północnego, ponieważ znajduje się on w pobliżu magnetycznego bieguna południowego.



# Materiały magnetyczne

Do tej pory rozważaliśmy przewody z prądem umieszczone w powietrzu lub w próżni. Jednak w praktycznych zastosowaniach przewody przewodzące prąd są często umieszczane wokół rdzenia z litego żelaza. Obecność żelaza lub innych materiałów ferromagnetycznych zwiększa pole magnetyczne i często sprawia, że jest ono kilka tysięcy razy silniejsze niż bez rdzenia.



elektromagnes

Podatność magnetyczna:

$$\chi = \frac{B_{rdzeń}}{B_{przewód}}$$

Przenikalność magnetyczna:

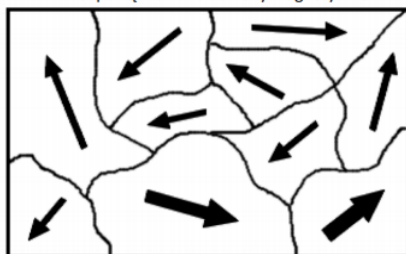
$$\mu = \mu_0 * (1 + \chi)$$

$$B = B_{przewodu} + B_{rdzenia} = B_{przewodu} + \chi B_{przewodu} = (1 + \chi) B_{przewodu}$$

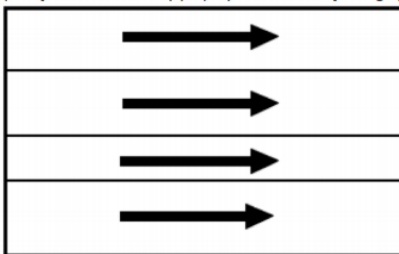
Umieszczenie materiału ferromagnetycznego we wnętrzu solenoidu wzmacnia jego pole.

**Ferromagnetyki** wykazują ogromną podatność magnetyczną  $\chi \gg 1$ . Magnetyzują się zgodnie ze zwrotem zewnętrznego pola.

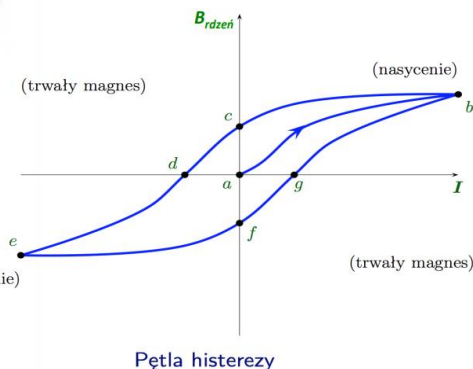
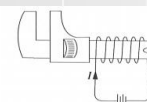
Nieuporządkowane domeny magnetyczne



Uporządkowane domeny po przyłożeniu zewnętrznego pola



Powyżej pewnej temperatury (tzw. temperatury Curie) domeny magnetyczne przestają istnieć



**Paramagnetyki** magnetyzują się zgodnie ze zwrotem pola zewnętrznego, **diamagnetyki** magnetyzują się przeciwnie do zwrotu pola zewnętrznego. W obydwu typach substancji efekt magnetyzacji jest bardzo mały ( $|\chi| \ll 1$ ):

$$\mu = \mu_0 (1 + \chi) \approx \mu_0$$

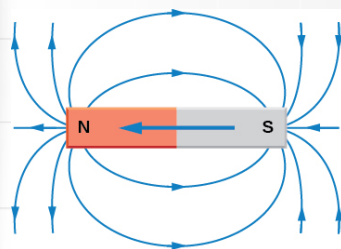


# Pole magnetyczne

Pole magnetyczne to stan przestrzeni wywołany istnieniem materii o właściwościach magnetycznych, np. magnesu lub poruszającego się ładunku elektrycznego; pole magnetyczne wytwarza siłę, która oddziałuje na poruszający się ładunek elektryczny. Wartość tej siły jest proporcjonalna do ładunku  $q$ , prędkości naładowanej cząstki  $v$  oraz wartości indukcji przyłożonego pola magnetycznego. Kierunek siły jest prostopadły zarówno do kierunku ruchu naładowanej cząstki, jak i do kierunku przyłożonego pola magnetycznego. Na podstawie tych obserwacji wyznaczamy **indukcję pola magnetycznego** (indukcję magnetyczną)  $\vec{B}$  za pośrednictwem siły magnetycznej  $\vec{F}$  (siła Lorentza) działającej na ładunek  $q$  poruszający się z prędkością  $\vec{v}$  proporcjonalną do iloczynu wektorowego prędkości i indukcji pola magnetycznego

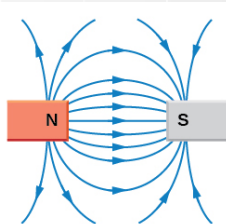
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad \left[ 1 \text{ T} = \frac{1 \text{ N}}{\text{A} \cdot \text{m}} \right]$$

$|\vec{F}| = q|\vec{v}||\vec{B}| \cdot \sin \theta$ , gdzie  $\theta$  to kąt między wektorami  $\vec{v}$  i  $\vec{B}$



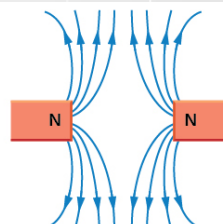
linie pola magnetycznego w płytce magnetyka

(a)



linie pola magnetycznego pomiędzy biegunami różnoimiennymi

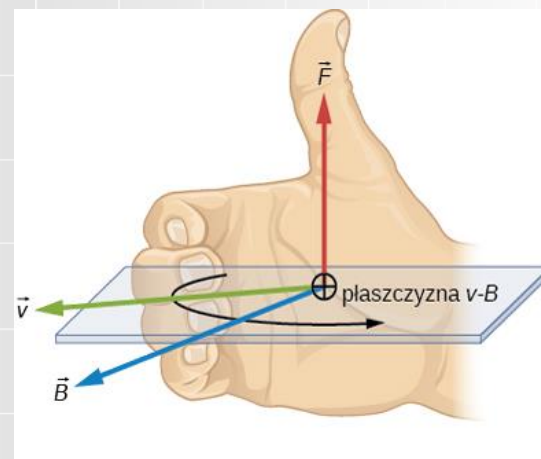
(b)



linie pola magnetycznego pomiędzy biegunami jednoimiennymi

(c)

Linie pola magnetycznego określone są tak, aby kompas umieszczony w danym punkcie przestrzeni wskazywał kierunek linii w tym punkcie. Wartość indukcji pola magnetycznego jest proporcjonalna do wzajemnej bliskości (gęstości) linii. Gdyby przemierzyć wewnątrz magnetyka, to linie pola utworzyłyby ciągłe, zamknięte pętle. Żeby zmieścić rysunki, na niektórych z nich zamknięcia pętli nie są widoczne, jednak przy dostatecznym powiększeniu obszaru rysunku zamknięcie pętli będzie widoczne.



Pole magnetyczne wywiera siłę na poruszający się ładunek. Kierunek siły magnetycznej działającej na ładunek w ruchu jest prostopadły do płaszczyzny wyznaczonej przez  $\vec{v}$  oraz  $\vec{B}$  i wynika z **reguły prawej dłoni** (RHR), jak zostało to pokazane. Wartość siły jest proporcjonalna do  $q$ ,  $v$ ,  $B$  oraz sinusa kąta pomiędzy  $\vec{v}$  i  $\vec{B}$ .





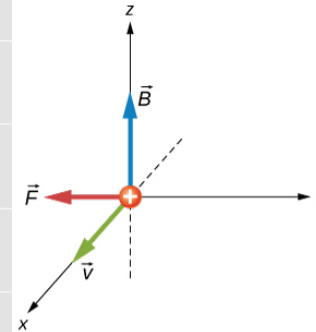
# Przykład 1.1

## Cząstka poruszająca się w polu magnetycznym

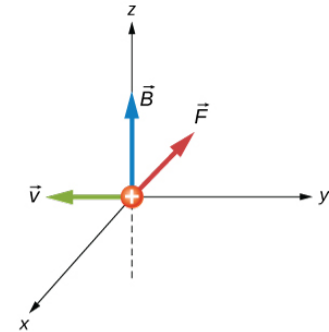
Cząstka  $\alpha$  (jądro helu to układ złożony z dwóch protonów i dwóch neutronów czyli atom helu bez dwóch elektronów o ładunku  $q=3,2 \cdot 10^{-19} \text{C}$ ) porusza się w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji 1,5T. Indukcja pola magnetycznego jest równoległa do osi z prostokątnego układu współrzędnych i zwrócona w górę osi. Jaka siła magnetyczna działa na cząstkę  $\alpha$  podczas jej ruchu

- w kierunku osi x – w górę osi, z prędkością  $5 \cdot 10^4 \text{m/s}$ ;
- w kierunku osi y – w dół osi, z prędkością  $5 \cdot 10^4 \text{m/s}$ ;
- w kierunku osi z – w górę osi, z prędkością  $5 \cdot 10^4 \text{m/s}$ ;
- z prędkością  $\vec{v} = 2 \cdot 10^4 \text{m/s} \cdot \hat{i} - 3 \cdot 10^4 \text{m/s} \cdot \hat{j} + 10^4 \text{m/s} \cdot \hat{k}$ ?

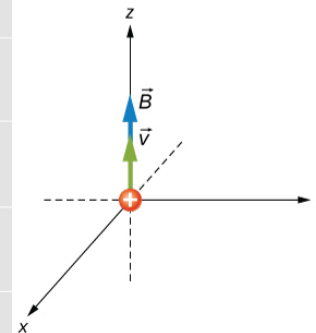
- $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{C} * \left(5 \cdot 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \hat{i}\right) * (1,5 \text{T} * \hat{k}) = -2,4 \cdot 10^{-14} \text{N} * \hat{j}$
- $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{C} * \left(-5 \cdot 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \hat{j}\right) * (1,5 \text{T} * \hat{k}) = -2,4 \cdot 10^{-14} \text{N} * \hat{i}$   
 $|\vec{F}| = qvB \sin \theta = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{C} * 5 \cdot 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1,5 \text{T} * \sin 90^\circ = 2,4 \cdot 10^{-14} \text{N}$
- $\vec{F} = 0 \text{N}$
- $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{C} * \left(2 \cdot 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \hat{i} - 3 \cdot 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \hat{j} + 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \hat{k}\right) * (1,5 \text{T} * \hat{k}) = -14,4 \cdot 10^{-15} \text{N} * \hat{i} - 9,6 \cdot 10^{-15} \text{N} * \hat{j}$



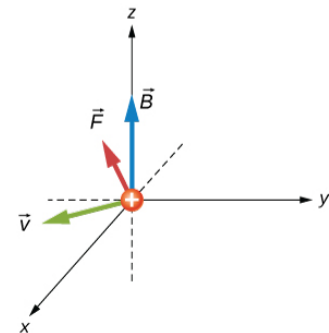
(a)



(b)



(c)

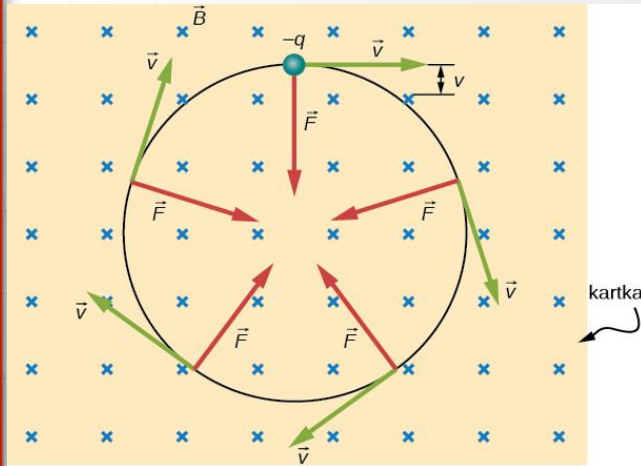


(d)

Iloczyn wektorowy w tym wzorze prowadzi do trzeciego wektora, który musi być prostopadły do dwóch pozostałych



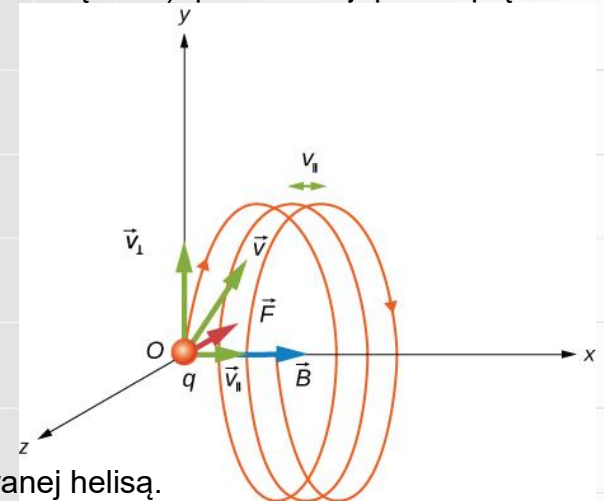
# Ruch cząstki naładowanej w polu magnetycznym



Ujemnie naładowana cząstka porusza się w płaszczyźnie rysunku w obszarze, gdzie pole magnetyczne jest prostopadłe do płaszczyzny rysunku (reprezentowane przez małe  $\times$  obrazujące „ogony” strzałek). Siła magnetyczna jest prostopadła do prędkości, więc prędkość zmienia kierunek, ale nie wartość. Efektem jest ruch jednostajny po okręgu (zauważmy, że z powodu ujemnego znaku ładunku siła jest zwrócona przeciwnie do kierunku określonego na podstawie reguły prawej dłoni).

Na naładowaną cząstkę poruszającą się w polu magnetycznym działa siła, gdy kierunek ruchu tej cząstki ma niezerową składową prostopadłą do wektora indukcji magnetycznej (innymi słowy, siła nie działa na cząstkę poruszającą się w kierunku równoległym do wektora indukcji magnetycznej). Co się dzieje, gdy pole to jest jednorodne w całym obszarze ruchu naładowanej cząstki? Jaką trajektorię zakresła cząstka?

W sytuacji gdy cząstka porusza się prostopadłe do linii jednorodnego pola magnetycznego, siła magnetyczna wnosi jedyny wkład do siły dośrodkowej  $F_d = \frac{mv^2}{r}$ . Ze względu na to, że prędkość jest prostopadła do pola magnetycznego, wartość siły magnetycznej sprowadza się do  $F = qvB$ . Ponieważ siła magnetyczna  $F$  jest siłą dośrodkową  $F_d$ , otrzymujemy  $\frac{mv^2}{r} = qvB$ , co prowadzi do wzoru na  $r = \frac{mv}{qB}$ . Czas obiegu cząstki wokół trajektorii kołowej nazywamy okresem i równa się on przebytej odległości (długości okrążenia) podzielonej przez prędkość,  $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{v} * \frac{mv}{qB} = \frac{2\pi m}{qB}$ .



Rezultatem jest ruch po krzywej śrubowej, nazywanej helisą.



# Przykład 1.2

## Uginacz wiązki

Pewna grupa badawcza zajmuje się krótko żyjącymi izotopami radioaktywnymi. Chce ona zaprojektować sposób transportu cząstek  $\alpha$  (jąder helu) z miejsca ich powstania do miejsca, w którym ulegają one zderzeniom z innego typu materiają, co prowadzi do powstania izotopu. Wiązka cząstek  $\alpha$  ( $m=6,64 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ,  $q=3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ) ulega ugięciu o  $90^\circ$  w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji  $0,05 \text{ T}$ .

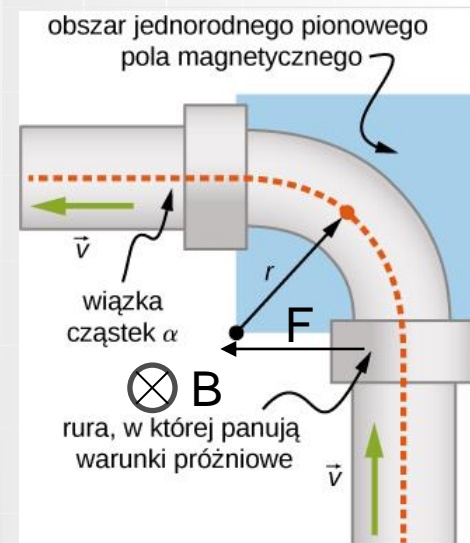
- a) Jakie powinny być kierunek i zwrot przyłożonego pola magnetycznego?
- b) Jak długo trwa przejście cząstek  $\alpha$  przez obszar jednorodnego pola magnetycznego?

- a) Kierunek i zwrot pola magnetycznego wskazuje RHR. Palce prawej dłoni ustawiamy w kierunku  $v$ , a kciuk kierujemy i zwracamy zgodnie z siłą, w lewo. Wtedy, skoro cząstki  $\alpha$  są naładowane dodatnio, wektor indukcji magnetycznej musi być zwrócony w dół (za kartkę).

$$b) T = \frac{2\pi m}{qB} = \frac{2\pi \cdot 6,64 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 0,05 \text{ T}} = 2,6 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$t = \frac{T}{4} = 6,5 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

w naszym zadaniu cząstka przebyła tylko ćwierć okręgu

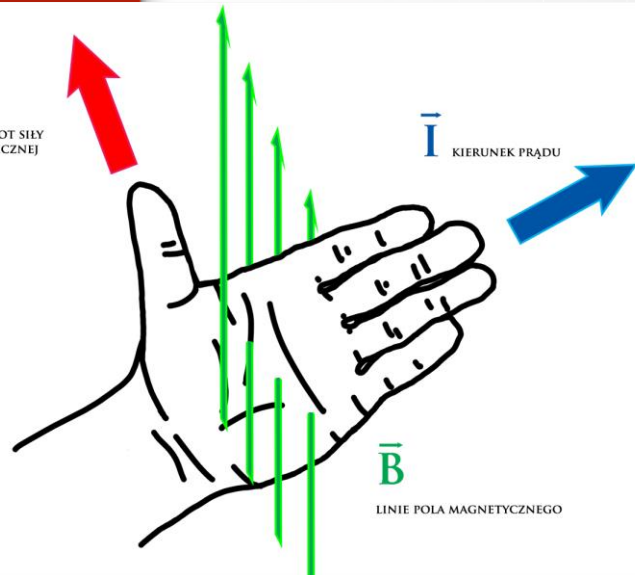
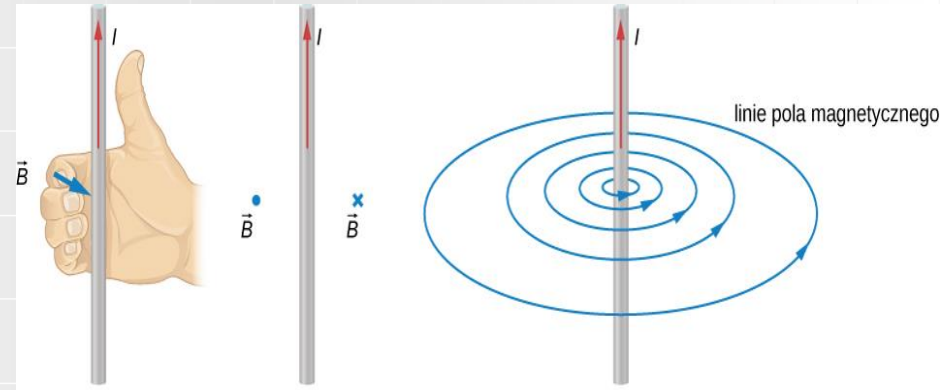






# Siła magnetyczna działająca na przewodnik z prądem

Gdy przewodnik z prądem leży w płaszczyźnie kartki, pole jest prostopadłe do niej. Zastosowane symbole wskazują zwrot wektora indukcji do wewnątrz (jako strzałkę widzianą od tyłu) oraz na zewnątrz (jako strzałkę widzianą od przodu). Długi prostoliniowy przewodnik z prądem wytwarza pole magnetyczne z liniami tworzącymi kołowe pętle.



Siła elektrodynamiczna (magnetyczna) działa na fragment przewodnika, w którym płynie prąd elektryczny, a umieszczony jest on w polu magnetycznym. Zauważmy, że naprawdę jest to wypadkowa sił działających na same nośniki ładunku. Kierunek tej siły wyznacza **reguła prawej dłoni**, zgodnie z którą zgięte palce prawej dłoni ustawiamy tak, by wskazywały kierunek przepływu prądu, a zatem również kierunek pola magnetycznego. Wtedy kciuk wskazuje kierunek i zwrot siły.

$$F = IlB \quad [1 \text{ N} = 1 \text{ A} * 1 \text{ m} * 1 \text{ T}]$$



# Przykład 1.3

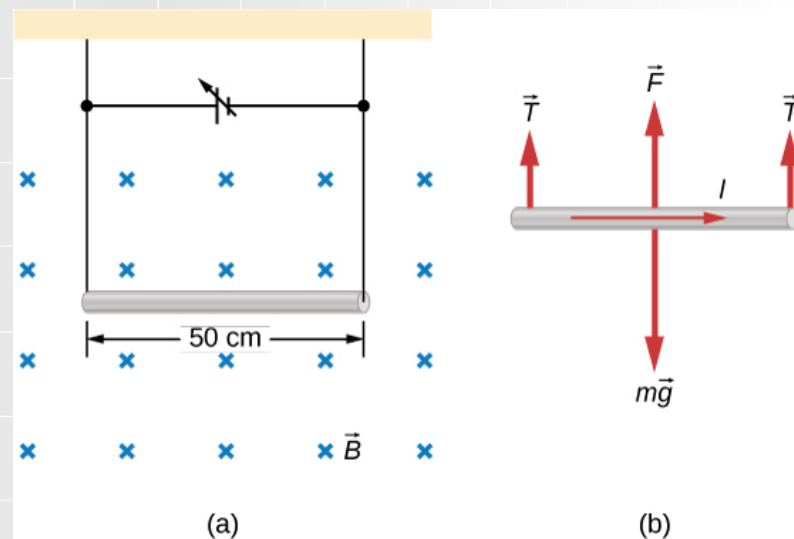
## Równoważenie się sił grawitacji i magnetycznej działających na przewodzący prąd drut

Drut o długości 50cm i masie 10g zawieszono w pozycji poziomej za pomocą pary elastycznych przewodów. Następnie poddano go oddziaływaniu stałego pola magnetycznego o indukcji 0,5T, skierowanego i zwróconego jak na rysunku. Jaka wartość i kierunek musi mieć prąd płynący w drucie, aby usunąć naprężenie w podtrzymujących go przewodach?

Zgodnie ze schematem bryły sztywnej z rysunku, naprężenia w podtrzymujących przewodach dążą do zera, gdy siły grawitacyjna i magnetyczna równoważą się wzajemnie. Stosując regułę prawej dłoni, znajdujemy kierunek i zwrot siły magnetycznej – pionowo w górę. Możemy wyznaczyć natężenie prądu  $I$ , przyrównując obie siły.

$$mg = IlB$$

$$I = \frac{mg}{lB} = \frac{0.01\text{kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0.5\text{m} * 0.5\text{T}} = 0.39\text{ A}$$



- (a) Przewodnik zawieszony w polu magnetycznym.  
(b) Schemat przewodnika jako bryły sztywnej, na którym  $F$  oznacza siłę magnetyczną, działającą na przewodnik natomiast  $T$  – naprężenia drutu.



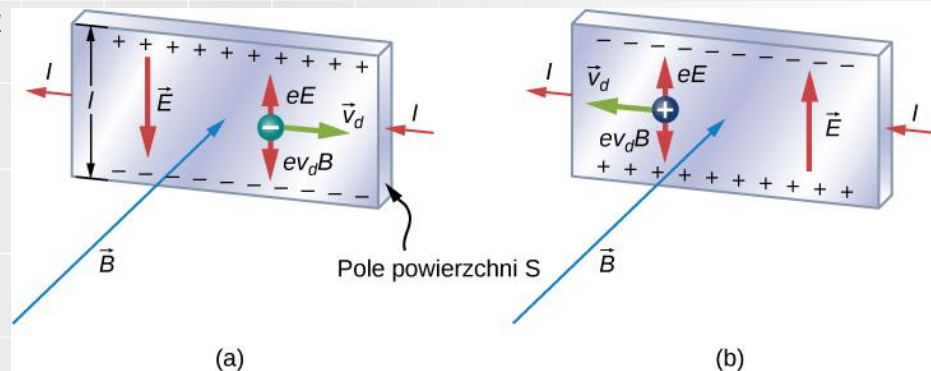
# Efekt Halla

Zjawisko Halla, efekt Halla, to zjawisko fizyczne polegające na wystąpieniu różnicy potencjałów w przewodniku, w którym płynie prąd elektryczny, gdy przewodnik znajduje się w poprzecznym do płynącego prądu polu magnetycznym. Ta różnica potencjałów, zwana napięciem Halla, pojawia się między płaszczyznami ograniczającymi przewodnik, prostopadle do płaszczyzny wyznaczonej przez kierunek prądu i wektor indukcji magnetycznej. Jest ona spowodowana działaniem siły Lorentza na ładunki poruszające się w polu magnetycznym.

Napięcie  $U_H$  powstałe pomiędzy ściankami przewodnika, nazywane jest napięciem Halla.

$$U_H = \frac{IBl}{neS} = Blv_d$$

$n$  – koncentracja nośników ładunku,  
 $e$  – ładunek nośnika (elektronu),  
 $S$  – pole poprzeczne przewodnika,  
 $l$  – długość przewodnika,  
 $B$  – wartość indukcji magnetycznej,  
 $I$  – natężenie prądu,  
 $v_d$  – prędkość wiązki nośników.



W efekcie Halla różnica potencjałów pomiędzy górną a dolną krawędzią metalowej taśmy powstaje, gdy tory poruszających się ładunków uginane są przez pole magnetyczne. (a) Efekt Halla dla nośników ładunku ujemnego. (b) Efekt Halla dla nośników ładunku dodatniego.



# Prawo Ampera

## – pole magnetyczne wokół przewodnika z prądem

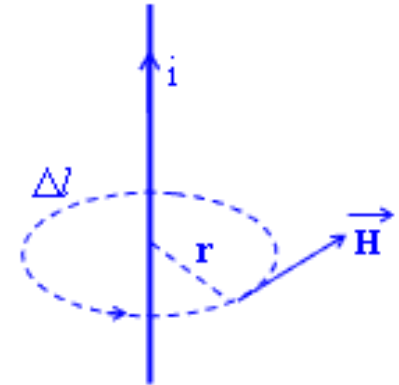
Jeśli przewodnik z prądem  $i$  otoczmy krzywą pokrywającą się z linią pola magnetycznego, to obrazowo można powiedzieć, że po tej krzywej odbywa się krążenie wektora natężenia pola magnetycznego  $H$ , (które w naszym przypadku jest styczne do krzywej).

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

oraz

$$\Delta l = 2\pi r$$

krążenie natężenia pola magnetycznego po krzywej zamkniętej jest równe sumie algebraicznej natężeń prądów zamkniętych wewnątrz tej powierzchni.



Otrzymaliśmy prawo Ampera, które jest słuszne dla każdego kształtu krzywej zamkniętej, wewnątrz której płyną prądy w różne strony, a których suma algebraiczna jest równa  $i$ . Prawo Ampera pozwala w prosty sposób obliczać wypadkowe natężenia pól wytwarzanych przez wiele prądów.



# Oddziaływanie magnetyczne dwóch równoległych przewodów z prądem

Ponieważ prądy wytwarzają pola magnetyczne, dość silnie oddziałujące na poruszające się ładunki elektryczne, być może spodziewasz się, że między dwoma przewodami, przez które płynie prąd, działa siła o znacznej wartości. Zjawisko to zostało wykorzystane w definicji jednostki natężenia prądu – ampera. Być może zaskoczy cię, że siła ta ma związek z procesem wypalania się styków wielkich rozłączników podczas przerywania silnoprądowych obwodów elektrycznych.

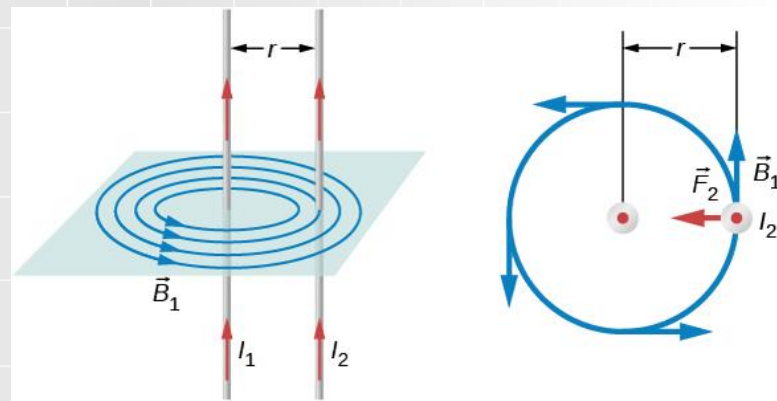
Indukcja pola magnetycznego, wytworzonego w odległości  $r$  przez prąd o natężeniu  $I_1$  wynosi

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$$

Pole magnetyczne pierwszego przewodu jest jednorodne i do niego prostopadłe. Zatem siłę  $F_{12}$ , z którą pierwszy przewód oddziałuje na przewód drugi, o długości  $l$ , określa wzór  $F = IlB\sin\theta$  przy  $\sin\theta=1$

$$F = F_{12} = I_2 l B_1$$

Stosunek  $F/l$  oznacza, jak już wspomnieliśmy, wartość siły działającej pomiędzy równoległymi przewodami z prądem o natężeniu  $I_1$  oraz  $I_2$ , oddległymi o  $l$ , odniesioną do jednostkowej ich długości. Przewody przyciągają się, gdy prąd płynie w tym samym kierunku, a odpychają, gdy kierunki przepływu prądów są przeciwne.



Ponieważ przewody są bardzo długie, wygodnie jest dalej rozważać wielkość  $F/l$ , to jest wartość siły odniesioną do jednostkowej ich długości. Podstawiając wyrażenie na  $B_1$  do powyższego równania, po przekształceniach otrzymujemy

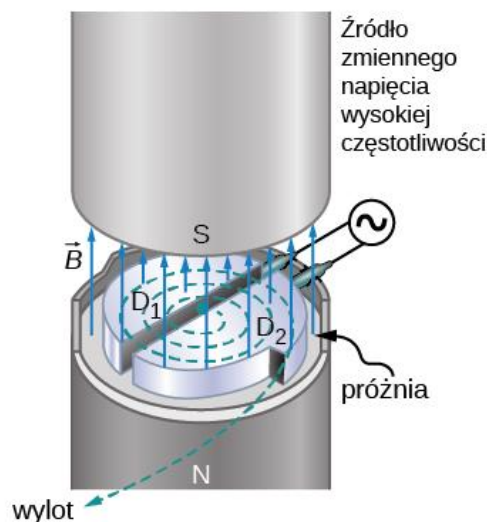
$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$$



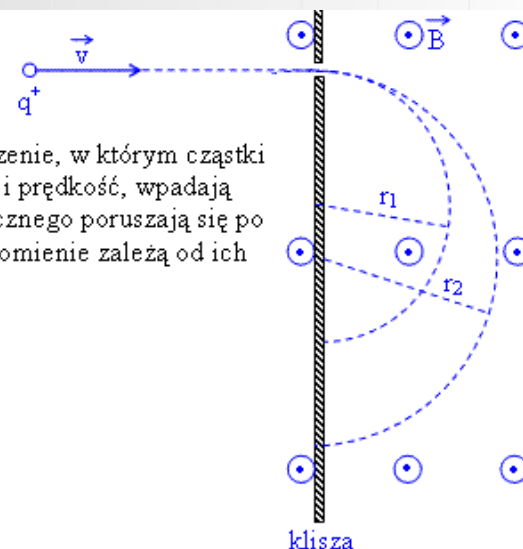


# Zastosowanie pól magnetycznych

## Cyklotron

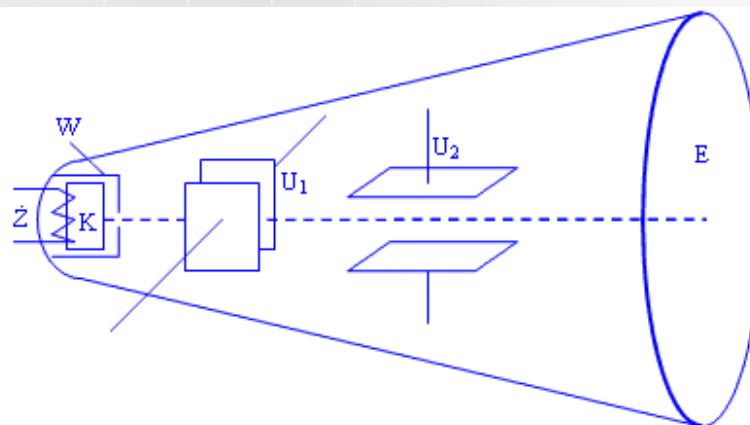


- Spektrograf masowy to urządzenie, w którym cząstki posiadające taki sam ładunek i prędkość, wpadają prostopadle do pola magnetycznego poruszają się po różnych okręgach, których promienie zależą od ich masy. Tak odkryto izotopy.



<https://www.youtube.com/watch?v=cNnNM2Zqlsc>

- Kineskop wykorzystuje odchylenie się strumienia elektronów we wzajemnie prostopadłych polach elektrycznych. Na ekranie piksele świecą z natężeniem proporcjonalnym do ilości padających nań elektronów.





# Słowniczek

## **cyklotron (ang. cyclotron)**

– urządzenie służące do przyspieszania cząstek naładowanych do wielkich energii kinetycznych

## **dipol magnetyczny (ang. magnetic dipole)**

– zamknięta pętla przewodnika z przepływającym prądem lub para biegunów magnetycznych w przypadku gdy rozmiary źródła, pętli lub pary biegunów, są traktowane jako niewielkie (w granicy – znikające)

## **efekt Halla (ang. Hall effect)**

– wytwarzanie poprzecznego napięcia w przewodniku z prądem przez zewnętrzne pole magnetyczne

## **linie pola magnetycznego (ang. magnetic field lines)**

– ciągłe krzywe wskazujące kierunek pola magnetycznego; linie te są styczne do kierunków wskazań kompasu i zorientowane do magnetycznego bieguna południowego płytki magnesu

## **magnetyczny biegun północny (ang. north magnetic pole)**

– obecnie, gdy kompas wskazuje północ, wskazuje pobliże geograficznego bieguna północnego; jest to biegun południowy zastępczego magnesu, który wielokrotnie zamieniał się z biegunem północnym na przestrzeni istnienia Ziemi

## **magnetyczny biegun południowy (ang. south magnetic pole)**

– obecnie, gdy kompas wskazuje południe, wskazuje pobliże geograficznego bieguna południowego; jest to biegun północny zastępczego magnesu, który zamieniał się z biegunem południowym, podobnie jak magnetyczny biegun północny



# Słownik

**magnetyczny moment dipolowy (ang. magnetic dipole moment)**

– iloczyn natężenia prądu oraz pola powierzchni przewodnika, oznaczane także jako  $\mu$

**promieniowanie kosmiczne (ang. cosmic rays)**

– strumień cząstek (zazwyczaj o dużej energii) będący mieszaniną cząstek elementarnych (elektronów, protonów, antyneutronów, neutrin i innych) i fotonów promieniowania elektromagnetycznego

**reguła prawej dłoni 1 (ang. right-hand rule-1)**

– wykorzystanie prawej dłoni do określenia kierunku i zwrotu siły magnetycznej albo kierunku i zwrotu prędkości naładowanej cząstki, albo indukcji magnetycznej

**ruch po helisie (ang. helical motion)**

– złożenie ruchu po okręgu z ruchem prostoliniowym; wykonywany w obszarze pola magnetycznego przez naładowaną cząstkę, poruszającą się pod pewnym kątem do kierunku pola

**rozdzielacz prędkości (ang. velocity selector)**

– aparat, w którym skrzyżowane pola elektryczne i magnetyczne wytwarzają równej wartości, przeciwnie zwrócone siły, działające na naładowaną cząstkę o określonej prędkości; cząstka ta porusza się przez obszar rozdzielacza prędkości tak, jak cząstka swobodna, podczas gdy cząstki poruszające się z innymi prędkościami są uginane w aparacie

**siła magnetyczna (ang. magnetic force)**

– siła przyłożona do naładowanej cząstki przemierzającej pole magnetyczne

**silnik (prądu stałego) (ang. motor (DC))**

– pętla drutu w polu magnetycznym; gdy prąd przepływa przez pętlę, pole magnetyczne wywiera na nią moment sił, co powoduje obrót wału; w procesie tym energia elektryczna ulega przetworzeniu w pracę mechaniczną

**spektrometr masowy (ang. mass spectrometer)**

– urządzenie, które rozdziela jony w zależności od ich stosunku ładunku do masy

**tesla (ang. tesla)**

– jednostka indukcji magnetycznej układu SI:  $1\text{T}=1\text{N}/(\text{Am})$



# Słowniczek

## **domeny magnetyczne (ang. magnetic domains)**

– spontaniczne namagnesowane obszary w ferromagnetykach, w których momenty magnetyczne są uporządkowane

## **histereza (ang. hysteresis)**

– niejednoznaczna zależność indukcji magnetycznej wewnątrz substancji magnetycznej od zewnętrznego pola magnetycznego, wynikająca z nieodwracalności procesów przemagnesowania

## **materiały diamagnetyczne (ang. diamagnetic material)**

– materiały, których dipole magnetyczne ustawiają się przeciwnie do zewnętrznego pola magnetycznego; po usunięciu pola materiały te pozostają nienamagnesowane

## **materiały ferromagnetyczne (ang. ferromagnetic material)**

– materiały zawierające spontanicznie namagnesowane obszary (domeny); po usunięciu pola materiały te są nadal namagnesowane

## **materiały paramagnetyczne (ang. paramagnetic material)**

– materiały, których dipole magnetyczne ustawiają się zgodnie z kierunkiem przyłożonego pola magnetycznego; po usunięciu pola materiał nie jest namagnesowany

## **prawo Biota-Savarta (ang. Biot-Savart law)**

– równanie określające w danym punkcie przestrzeni wektor indukcji pola magnetycznego wytwarzanego przez przewód z prądem

## **przenikalność magnetyczna próżni (ang. permeability of free space)**

– uniwersalna stała fizyczna wiążąca wartość indukcji magnetycznej z natężeniem prądu będącym źródłem tego pola



# Praca domowa

## - wytyczne

1. Format: plik pdf lub skan/zdjęcie (upewnij się, że Twoje pismo jest czytelne!)
2. Czytaj uważnie polecenia i wykonuj zawarte w nich zadania.
3. Pamiętaj aby **podpisać** swoją pracę.
4. Do rozwiązania dołącz:
  1. Rysunek – szkic sytuacji przedstawionej w zadaniu lub wykres wraz z danymi z zadania.
  2. Obliczenia – razem z przekształceniami wzorów, jeśli jest to konieczne.
  3. Wnioski sformułowane na podstawie dokonanej analizy.
5. Pamiętaj aby przesłać rozwiązania w terminie na swoją przestrzeń na dysku gogle (lub na adres email prowadzącej).





Wrocław  
University  
of Science  
and Technology

# Terminy

	LUTY	MARZEC					KWIECIEŃ					MAJ					CZERWIEC				LIPIEC	
PN	22	1	8	15	22	29	5	12 Pn N	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5		
WT	23	2	9	16	23	30 Pt P	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	29	6		
ŚR	24	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2 Cz P	9	16	23	30	7		
CZ	25	4	11	18 H1	25 H2	1	8 H3	15 H4	22 H5	29 H6	6 H7	13 H8	20 H9	27 H10	3	10	17	24	1	8		
PT	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9		
SO	27	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10		
N	28	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11		
P - PARZYSTY N - NIEPARZYSTY	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P		

Lista dodatkowa nr 2

H4: 16.04.21 godz. 12:00

Email: [sylwia.majchrowska@pwr.edu.pl](mailto:sylwia.majchrowska@pwr.edu.pl)