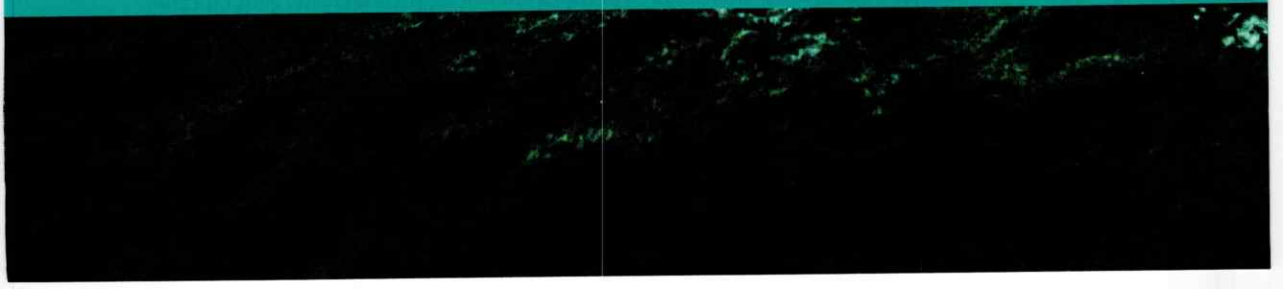




ELEKTROMAGNETYZM

- Pole magnetyczne
 - Przewód z prądem w polu magnetycznym
 - Ładunek elektryczny w polu magnetycznym
 - Indukcja elektromagnetyczna
 - Prądnicą i transformator
- 



14. Pole magnetyczne

- Pole magnetyczne wokół magnesu
- Indukcja magnetyczna
- Ferromagnetyki

Przypomnij sobie, czym są magnesy oraz jak działa kompas.

Zjawiska magnetyczne były znane już w starożytnej Grecji. Grecy wiedzieli, że występujący w pewnych rejonach na Ziemi minerał, zwany magnetytem, przyciąga kawałki żelaza, a dwa kawałki tego minerału przyciągają się lub odpychają w zależności od ich wzajemnego ustawienia. Zauważyli też, że podłużny, mogący się obracać kawałek magnetytu ustawia się wzdłuż linii północ-południe, zawsze tym samym końcem w kierunku północnym. Tak właśnie działają magnesy, a kawałki magnetytu były pierwszymi magnesami odkrytymi przez ludzkość. Ten koniec magnesu, który pokazuje północ geograficzną, nazwano jego biegunem północnym (N), a drugi – biegunem południowym (S). Magnes jest najważniejszym elementem kompasu magnetycznego. Mały podłużny magnes, który może się obracać, określa się mianem igły magnetycznej.

Pole magnetyczne wokół magnesu

Oddziaływanie magnesów na odległość wyjaśniamy istnieniem **pola magnetycznego** (podobnie jak oddziaływanie ładunków elektrycznych – istnieniem pola elektrycznego). Każdy magnes jest źródłem pola magnetycznego, które oddziałuje na inne magnesy. Źródłem takiego pola jest również Ziemia.

W celu zobrazowania pola magnetycznego używamy pojęcia **linii pola**. Są to linie, zgodnie z którymi ustawia się igła magnetyczna. Przyjmuje się umownie, że biegun północny igły wskazuje zwrot linii pola, zatem igła magnetyczna pokazuje kierunek i zwrot linii pola w danym punkcie (ryc. 14.1). Z tego wynika, że gdy idziemy w kierunku wskazywanym przez igłę magnetyczną, poruszamy się wzdłuż linii pola magnetycznego (scenariusz doświadczenia 4, s. 336).

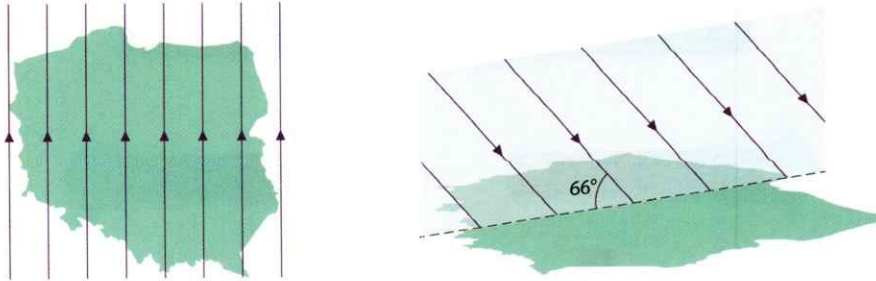
Doświadczenie 1.

Magnes sztabkowy lub igłę magnetyczną połóż na kawałku styropianu. Styropian umieść w plastikowej misce z wodą, tak aby swobodnie pływał. Czy na magnes działa siła przesuwiająca go w określoną stronę? Z obserwacji Słońca lub za pomocą smartfona ustal kierunki geograficzne. Wskaż, który koniec magnesu jest jego biegunem północnym.

WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Pole magnetyczne w Polsce

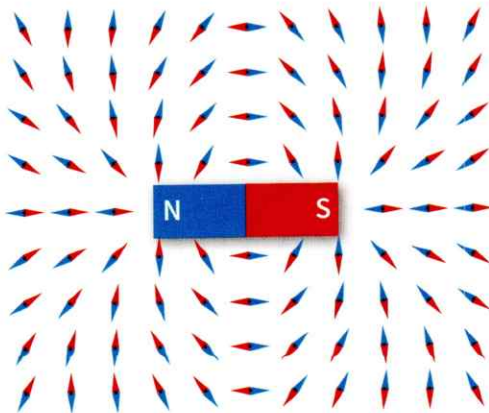
Na terenie Polski kompasy magnetyczne wskazują północ geograficzną z dobrym przybliżeniem. Okazuje się, że w Polsce linie ziemskiego pola magnetycznego nachylone są pod kątem 66° do poziomu. Igła kompasu nie może się obracać w płaszczyźnie pionowej, dlatego kompas nie pokazuje tego nachylenia linii pola.



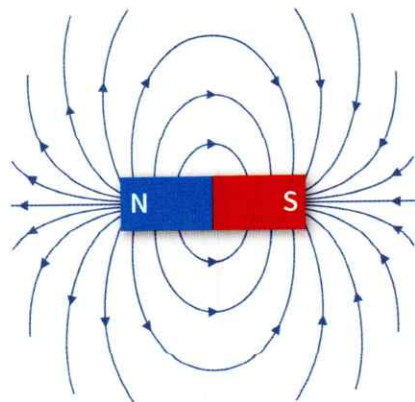
Linie ziemskiego pola magnetycznego na terenie Polski, widziane z góry i z boku

Jeśli użyjemy wielu igieł magnetycznych, możemy zobaczyć linie pola magnesu. Na rycinie 14.1a pokazano ułożenie igieł magnetycznych w pobliżu magnesu sztabkowego, a linie pola magnetycznego przedstawia rycina 14.1b.

a)



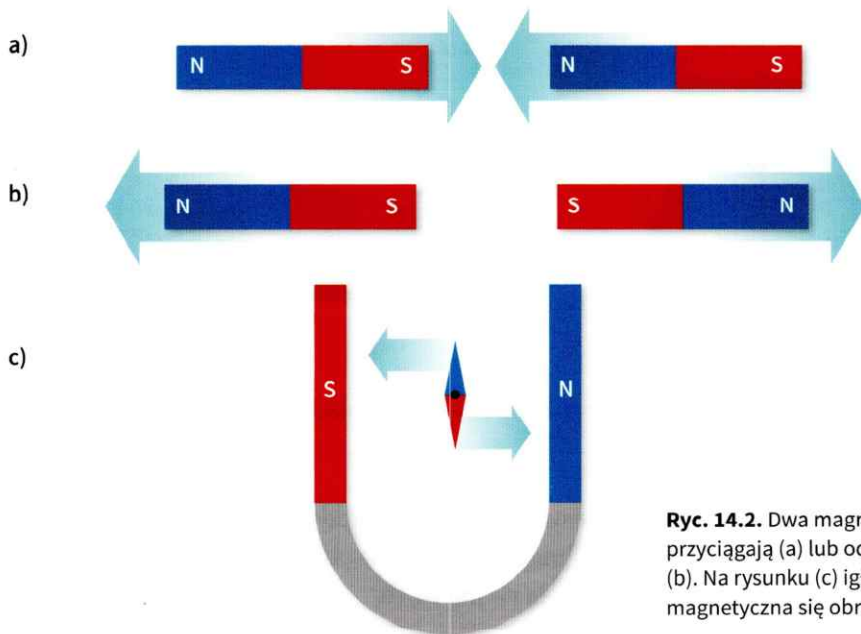
b)



Ryc. 14.1. Układ igieł magnetycznych w pobliżu magnesu sztabkowego (a) i linie pola magnetycznego takiego magnesu (b)

Linie pola magnetycznego wychodzą z bieguna północnego magnesu, a wchodzi do południowego. W pobliżu biegunów linie pola są najbliższe sobie. To znaczy, że w tych obszarach pole jest znacznie silniejsze niż w pozostałych.

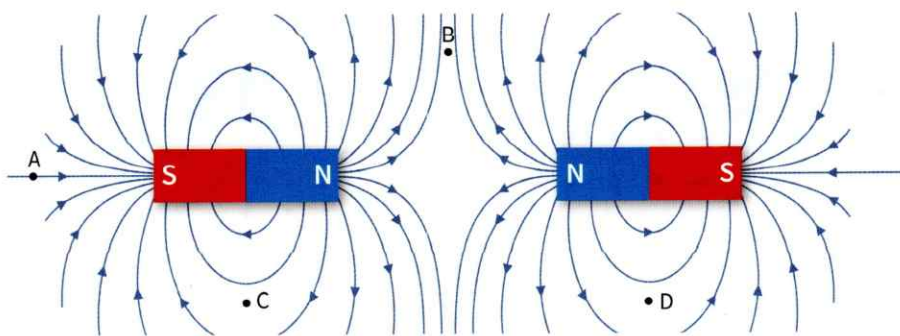
W zewnętrznym polu magnetycznym na magnes działają siły ustawiające go wzdłuż linii pola, a dodatkowo wciągające go w obszar silniejszego pola magnetycznego. Magnesy zwrócone do siebie przeciwnymi biegunami przyciągają się. Każdy z nich jest wciągany w obszar silniejszego pola, obecnego w pobliżu biegunów drugiego magnesu (ryc. 14.2a). Magnesy zwrócone do siebie tymi samymi biegunami odpychają się (ryc. 14.2b).



Ryc. 14.2. Dwa magnesy się przyciągają (a) lub odpychają (b). Na rysunku (c) igła magnetyczna się obróci

Przykład 1.

Na rysunku przedstawiono linie pola magnetycznego, którego źródłem są dwa magnesy. Jak ustawi się igła kompasu w punktach A, B, C, D?



Igła magnetyczna ustawia się zgodnie z liniami pola magnetycznego. Przez punkt A przechodzi linia pola skierowana w prawo, więc igła kompasu będzie w tym miejscu skierowana w prawo. Linie pola w pobliżu punktu B biegną w górę i tak też ustawi się igła kompasu. Bez problemu możemy (w wyobraźni) uzupełnić rysunek o linie pola przechodzące przez punkty C i D – w punkcie C igła będzie skierowana w lewo, w punkcie D – w prawo.

Indukcja magnetyczna

Do opisu pola magnetycznego potrzebna jest wielkość określająca, jak silne jest pole w danym miejscu. Taką wielkością jest **indukcja magnetyczna**, oznaczana symbolem $\vec{B}$. Jednostką indukcji magnetycznej jest **tesla** (T). Pole magnetyczne o indukcji 1 T jest bardzo silne. Indukcja pola magnetycznego na większości obszaru Ziemi wynosi zaledwie 30 μ T. Indukcja pola magnesów na lodówkę (tuż przy ich powierzchni) jest rzędu 0,001 T.

Wielkością opisującą pole magnetyczne jest indukcja magnetyczna $\vec{B}$, a jej jednostką jest tesla (T).

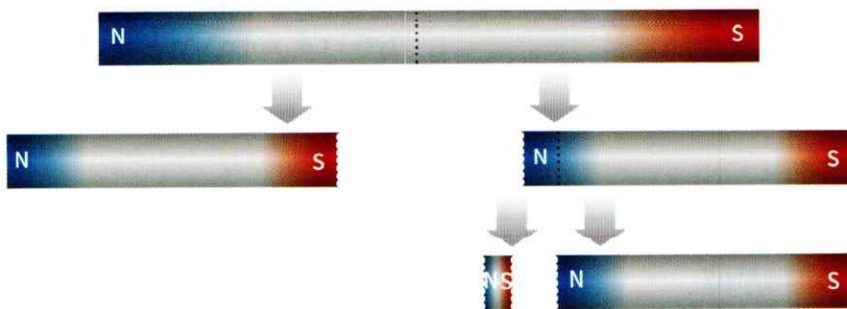
Doświadczenie 2.

Niektóre smartfony są wyposażone w czujnik pola magnetycznego, więc umożliwiają bezpośredni pomiar indukcji magnetycznej.

1. Skorzystaj z aplikacji Phyphox zainstalowanej na tego typu smartfonie i zmierz indukcję ziemskiego pola magnetycznego.
2. Następnie ustaw magnes sztabkowy wzdłuż linii ziemskiego pola magnetycznego i zmierz indukcję wypadkowego pola magnesu i Ziemi w odległości 10 cm od jednego bieguna magnesu, a potem od drugiego. Czy odczytane wartości są podobne? Wyjaśnij wynik pomiarów.
3. Oszacuj indukcję pola magnetycznego magnesu w odległości 10 cm od jego biegunów.

Ferromagnetyki

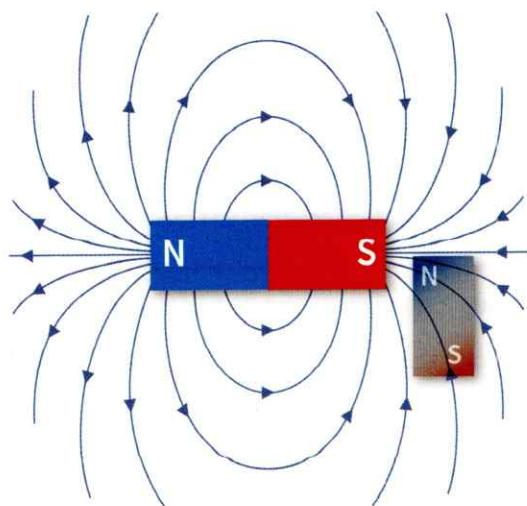
Jak mały może być magnes? Okazuje się, że nawet najdrobniejsze fragmenty magnesu są ciągle magnesami, tylko słabszymi. Nawet atomy wielu pierwiastków są miniaturowymi magnesami.



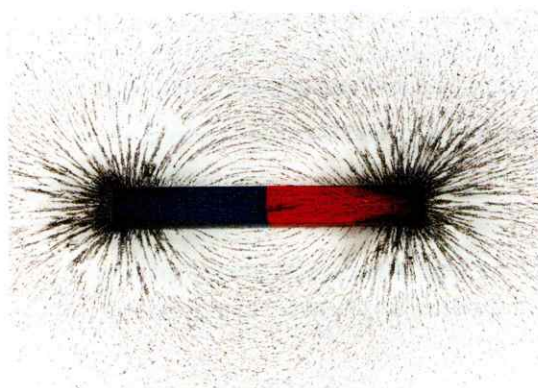
Ryc. 14.3. Jeśli podzielimy magnes na fragmenty, otrzymamy mniejsze magnesy. Nawet najmniejszy jego kawałek ma ciągle dwa bieguny

Zwykle ułożenie atomów w ciele stałym jest takie, że te „atomowe magnesy” są ustawione losowo. Jeśli jednak umieścimy ciało w polu magnetycznym, pole będzie wymuszać ustawienie atomowych magnesów zgodnie z liniami pola. W przypadku

* Kierunek wektora indukcji magnetycznej jest styczny do linii pola magnetycznego, a zwrot tego wektora jest zgodny z umownym zwrotem linii pola.



Ryc. 14.4. W polu magnetycznym żelazo (szary prostokąt) staje się magnesem



Ryc. 14.5. Pole magnetyczne magnesu zobrazowane za pomocą opiłków żelaza

materiałów nazywanych **ferromagnetykami** (należą do nich np. żelazo i niektóre jego stopy) nawet stosunkowo słabe pole magnetyczne tak porządkuje „atomowe magnesy”, że wypadkowe pole magnetyczne pochodzące od wszystkich atomów jest silne. Oznacza to, że w zewnętrznym polu magnetycznym ferromagnetyk staje się magnesem. Wytworzone przez niego pole magnetyczne jest skierowane zgodnie z polem zewnętrznym. To dlatego magnes przyciąga kawałki żelaza (ryc. 14.4). Z tego też powodu opiłki żelaza w odpowiednio silnym polu magnetycznym układają się wzdłuż linii pola – każdy opiłek staje się małą igłą magnetyczną (ryc. 14.5).

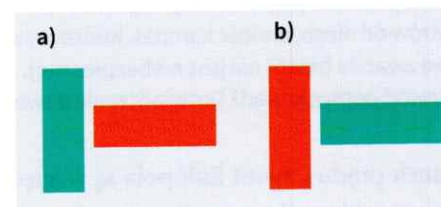
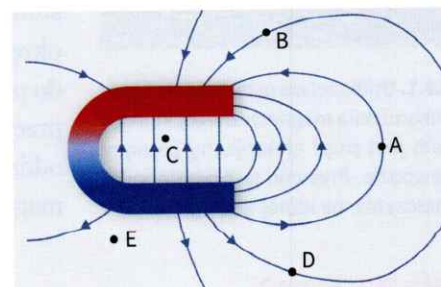
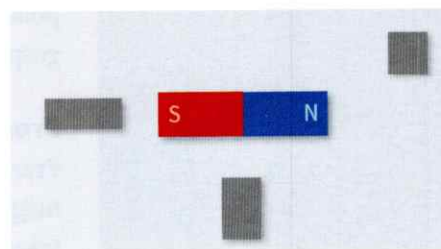
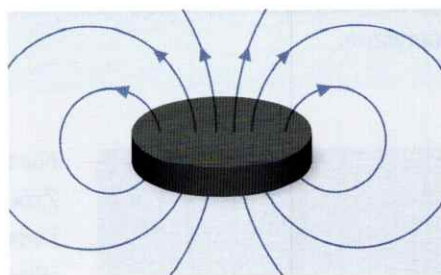
Ferromagnetyki „zapamiętują” namagnesowanie – w różnym stopniu, w zależności od składu chemicznego i budowy wewnętrznej. Po wyjęciu z zewnętrznego pola magnetycznego niektóre ferromagnetyki cały czas wytwarzają silne pole magnetyczne. W ten sposób powstały magnesy w skorupie ziemskiej (magnetyt) i tak samo wytwarza się magnesy trwałe.

PODSUMOWANIE

- ▶ Magnesy oddziałują ze sobą za pośrednictwem **pola magnetycznego**, którego są źródłem.
- ▶ **Linie pola magnetycznego** to linie, zgodnie z którymi ustawia się igła magnetyczna, a jej północny biegun wskazuje zwrot tych linii.
- ▶ **Ferromagnetyki** to materiały, które w polu magnetycznym silnie się magnesują.

PYTANIA I ZADANIA

1. W którą stronę skierowana jest igła kompasu trzymanego przez kobietę w wyciągniętej dłoni? Na zdjęciu słońce znajduje się nad zachodnim horyzontem.
2. W niektórych głośnikach stosowane są magnesy takie jak na rysunku. Gdzie znajduje się biegun północny tego magnesu, a gdzie południowy? Strzałkami zaznaczono zwrot linii pola magnesu.
3. Na rysunku przedstawiono magnes i leżące obok niego kawałki żelaza. Przerysuj rysunek do zeszytu i zaznacz bieguny magnetyczne tych kawałków.
4. Na rysunku przedstawiono linie pola magnetycznego tzw. magnesu podkowiastego. Przerysuj rysunek do zeszytu i dorysuj na nim odpowiednio ustawione igły magnetyczne w punktach A, B, C, D i E.
5. Magnes i kawałek stali przyciągają się w ustawieniu pokazanym na rysunku a, natomiast w ustawieniu na rysunku b nie wykazują znaczącego oddziaływania. Którym kolorem oznaczono magnes?





15. Pole magnetyczne prądu elektrycznego

- Pole magnetyczne prostoliniowego przewodu z prądem
- Pole magnetyczne zwojnicy z prądem
- Elektromagnes

Przypomnij sobie, co to jest prąd elektryczny i natężenie prądu oraz jak opisuje się pole magnetyczne.



Ryc. 15.1. Opilki żelaza ustawiają się zgodnie z liniami pola magnetycznego, którego źródłem jest prąd elektryczny płynący w przewodzie. Przewód jest prostopadły do płaszczyzny, na której leżą opilki

Nie tylko magnesy wytwarzają pole magnetyczne. Źródłem pola może być również prąd elektryczny. I właśnie dzięki niemu możemy otrzymać bardzo silne, stałe lub zmienne pola magnetyczne. Takie pola wykorzystuje się w wielu dziedzinach życia: gospodarce, nauce i medycynie.

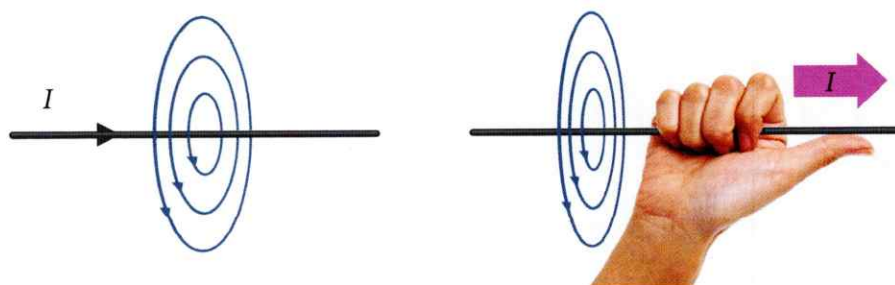
Prostoliniowy przewód z prądem

Przewód z prądem wytwarza wokół siebie pole magnetyczne tym silniejsze, im większe jest natężenie prądu. Linie pola magnetycznego prostoliniowego przewodu z prądem mają kształt okręgów leżących w płaszczyźnie prostopadłej do przewodu. Środkiem tych okręgów jest punkt, przez który przechodzi przewód (ryc. 15.1). Gdy oddalamy się od przewodu, pole słabnie (indukcja magnetyczna maleje).

Doświadczenie 1.

Ustaw przewód poziomo na linii północ-południe. Pod przewodem, w odległości kilku centymetrów od niego, umieść kompas. Końce przewodu podłącz na krótko do baterii płaskiej (chwilowe zwarcie baterii nie jest niebezpieczne). Jakie będzie ustawienie igły kompasu, gdy przez przewód popłynie prąd? Doświadczenie powtórz dla kompasu umieszczonego nad przewodem.

Kierunek prądu i zwrot linii pola są względem siebie prawoskrętne – to znaczy, że gdy patrzymy w kierunku przepływu prądu, to linie pola „kręcą się” zgodnie z ruchem wskazówek zegara. Aby ustalić zwrot linii pola magnetycznego, można posłużyć się prawą ręką w sposób przedstawiony na rycinie 15.2. Gdy obejmiemy przewód prawą dłoń, tak że kciuk pokaże kierunek przepływu prądu, to pozostałe palce pokażą zwrot linii pola.



Ryc. 15.2. Linie pola magnetycznego wokół prostoliniowego przewodu z prądem. Zwrot linii pola można ustalić za pomocą prawej dłoni

WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Indukcja pola prostoliniowego przewodu z prądem

Indukcję pola magnetycznego w punktach leżących w odległości r od długiego prostoliniowego przewodu z prądem można obliczyć ze wzoru:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

gdzie:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}} \text{ – tzw. przenikalność magnetyczna próżni,}$$

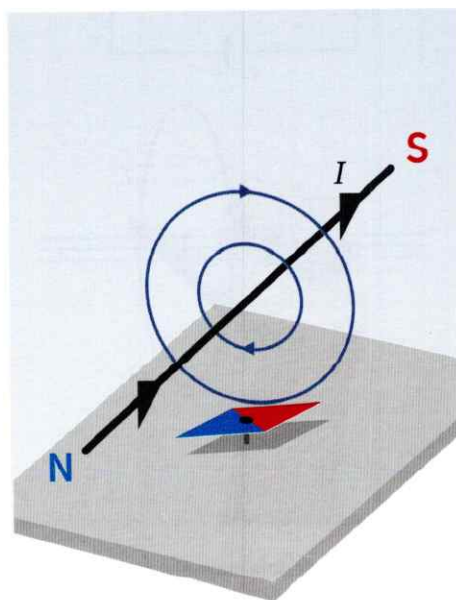
I – natężenie prądu.

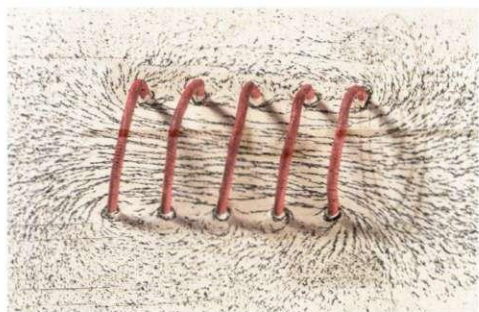
Wzór ten stosujemy dla punktów leżących w pobliżu środka długości prostoliniowego przewodu, gdy długość przewodu jest znacznie większa od odległości r od niego.

Przykład 1.

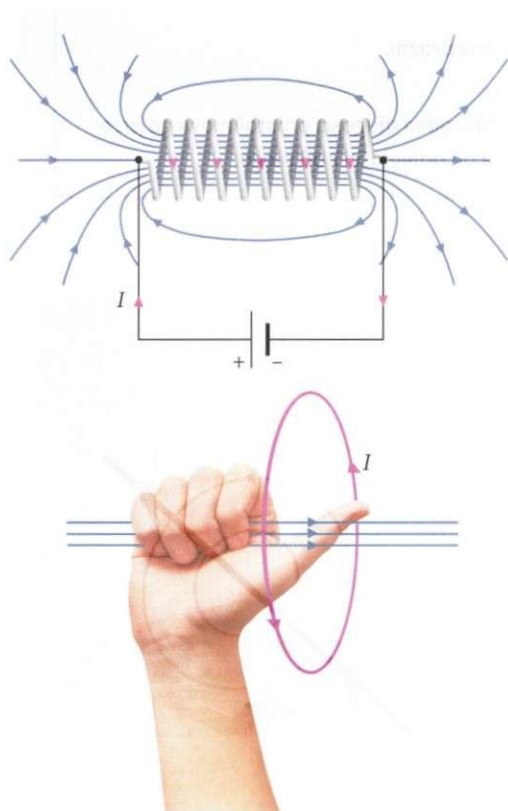
Długi prostoliniowy przewód, w którym płynie prąd elektryczny, ustawiony jest na linii północ-południe. Igła kompasu ustawionego pod przewodem jest odchylona o 45° na wschód od kierunku północnego. W którą stronę płynie prąd w przewodzie?

Igła kompasu ustawia się wzdłuż linii wypadkowego pola magnetycznego Ziemi i przewodu z prądem. Przewód jest ustawiony wzdłuż linii ziemskiego pola magnetycznego, natomiast linie pola, którego źródłem jest prąd płynący w przewodzie, tworzą wokół niego okręgi. Igła kompasu ustawionego pod przewodem z prądem odchyła się na wschód, więc w dolnej części okręgów linie muszą być skierowane w stronę wschodnią. Jeśli prawą rękę ustawimy tak, by cztery palce pokazywały nam zwrot tych linii, to kciuk wskaże nam kierunek przepływu prądu, czyli w tym wypadku kierunek południowy (ryc.).





Ryc. 15.3. Pole magnetyczne zwojnicy z prądem, zobrazone za pomocą opiłków żelaza



Ryc. 15.4. Kierunek pola magnetycznego wewnątrz zwojnicy i kierunku prądu są względem siebie prawoskrętne

Pole magnetyczne zwojnicy

Jeden przewód nawinięty wielokrotnie na walec tworzy zwojnicę (inaczej cewkę). Składa się ona z wielu równoległych do siebie zwojów. Gdy w przewodzie pojawia się prąd elektryczny, zwojnica staje się źródłem pola magnetycznego (ryc. 15.3).

Gdy średnica cewki jest zdecydowanie mniejsza niż jej długość, to w jej wnętrzu linie pola będą równoległe do osi cewki (ryc. 15.3). Również w tym przypadku pole magnetyczne i prąd są względem siebie prawoskrętne. Gdy patrzemy na cewkę tak, że kierunek prądu jest zgodny z ruchem wskazówek zegara, to pole magnetyczne wewnątrz zwojnicy skierowane jest od patrzącego. Lub inaczej: gdy ułożymy prawą dłoń tak, by cztery palce wskazywały kierunek przepływu prądu elektrycznego, to odchylony kciuk wskaże zwrot pola magnetycznego wewnątrz zwojnicy (ryc. 15.4).

Pole magnetyczne na zewnątrz długiej i gęsto nawiniętej zwojnicy przypomina pole magnesu sztabkowego. Podobnie będą też linie pola wewnątrz magnesu i zwojnicy z prądem, chociaż w przypadku magnesu nie mamy możliwości bezpośredniego ich zaobserwowania.

Pole magnetyczne zwojnicy wytwarzają elektrony płynące w zwiniętym przewodzie, natomiast pole magnesu wytwarzają elektrony krążące wokół jąder atomowych. Mechanizm powstawania pola magnetycznego w zwojnicach i magnesach jest podobny.

Źródłem pola magnetycznego są poruszające się cząstki naładowane.

Podobieństwo pola magnetycznego magnesu i zwojnicy uwidacznia jeszcze jedną jego cechę. **Linie pola magnetycznego nie mają żadnego początku ani końca, zawsze tworzą zamknięte pętle.** To je różni od linii pola elektrycznego, które kończą się lub zaczynają na ładunkach elektrycznych.

Czym są zatem bieguny magnetyczne? To pojęcie wprowadzono w czasach, gdy uczeni nie wiedzieli nic o właściwościach pola magnetycznego. Funkcjonuje ono do dziś tylko dlatego, że ułatwia zarówno opisywanie oddziaływania między magnesami, jak i jakościowy opis pól magnetycznych.

Elektromagnes

Zwojnice mogą być źródłem silnych pól magnetycznych. W każdym zwoju cewki prąd płynie w tę samą stronę, więc pola magnetyczne pochodzące od poszczególnych zwojów nakładają się i dają w sumie pole tym silniejsze, im więcej jest zwojów. Pole magnetyczne zwojnicy zależy również od natężenia prądu.

Aby uzyskać silne pole magnetyczne, we wnętrzu cewki należy umieścić stalowy rdzeń. Pod wpływem pola magnetycznego zwojnicy rdzeń staje się silnym magnesem i jego pole magnetyczne wzmacnia pole magnetyczne prądu. Pole wokół zwojnicy z rdzeniem jest znacznie silniejsze od pola zwojnicy bez rdzenia przy tym samym natężeniu prądu.

Cewki konstruowane w celu wytworzenie pola magnetycznego to **elektromagnesy**. Przez zmianę natężenia prądu możemy regulować pole magnetyczne, zmieniać jego biegunowość, włączać i wyłączać. Elektromagnesy znalazły rozliczne zastosowania, np. odblokowują drzwi w samochodzie, gdy naciśniemy przycisk pilota, wprowadzają w ruch młoteczki w dzwonkach elektrycznych, są źródłem pola magnetycznego w silnikach elektrycznych (ryc. 15.5).



Ryc. 15.5. Chwytaaki elektromagnetyczne na złomowisku, dzwonek elektryczny i zamek elektromagnetyczny to tylko niektóre zastosowania elektromagnesów

WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Elektromagnesy nadprzewodnikowe

Nadprzewodniki umożliwiają przepływ prądu o bardzo dużym natężeniu bez nagrzewania się przewodów, dlatego stosuje się je w laboratoriach badawczych do budowy silnych elektromagnesów. Przewody wykonane z nadprzewodnika mogą mieć niewielką średnicę, więc elektromagnes może mieć dużą liczbę zwojów, dzięki czemu wytwarza silne pole. Ze względu na właściwości nadprzewodzące zwojów taki elektromagnes wymaga niskiej temperatury.

Elektromagnes nadprzewodnikowy z Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu (fot. a), który wytwarza pole magnetyczne o indukcji 14 T, wymaga zasilania prądem 120 A. Tradycyjny elektromagnes z tego instytutu (fot. b) wymaga przewodów o znacznie większej średnicy, a zatem ma znacznie mniej zwojów. Aby ten elektromagnes mógł wytworzyć pole o indukcji 14 T, powinien przez niego płynąć prąd o natężeniu 12 000 A! Tak duże natężenie prądu powoduje silne nagrzewanie się przewodów, które podczas pracy muszą być chłodzone. Pionowe rury widoczne na zdjęciu doprowadzają wodę chłodzącą elektromagnes. Prądnice wytwarzające prąd stały o takim natężeniu zajmują dużą halę (fot. c).

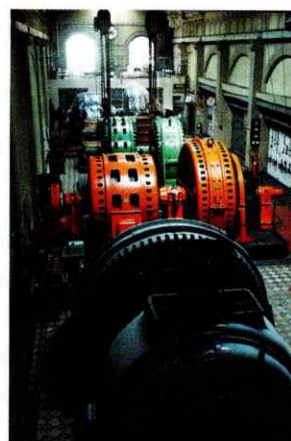
a)



b)



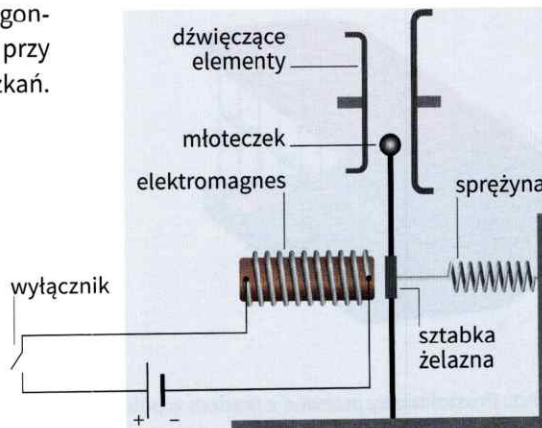
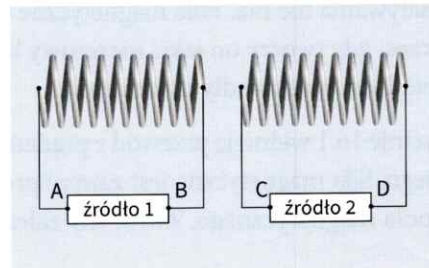
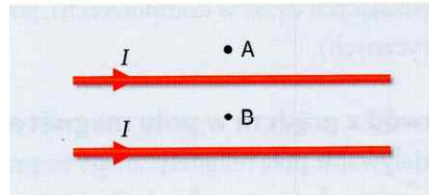
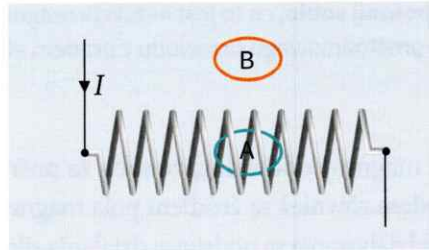
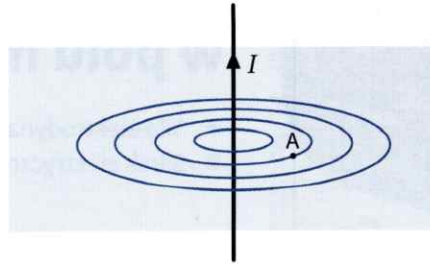
c)

**PODSUMOWANIE**

- ▶ Prąd elektryczny jest źródłem pola magnetycznego.
- ▶ Zwrot linii pola magnetycznego i kierunek prądu są względem siebie **prawoskrętne**.
- ▶ Linie pola magnetycznego **prostoliniowego przewodu** z prądem elektrycznym tworzą okręgi wokół przewodu.
- ▶ Pole magnetyczne **zwojniczy** jest podobne do pola magnesu sztabkowego.
- ▶ Linie pola magnetycznego nie mają początku ani końca, zawsze tworzą zamknięte pętle.

PYTANIA I ZADANIA

1. Jaki będzie zwrot linii pola magnetycznego w punkcie A? Prąd w przewodzie płynie w górę.
2. Jak ustawi się igła kompasu w obszarze A, a jak w obszarze B? W zwojnicy prąd płynie jak na rysunku.
3. Czy linie pola wytwarzanego przez dwa równoległe przewody z prądem mają w punktach A i B zwroty zgodne, czy przeciwne?
4. W których punktach (A, B, C, D) powinien być biegun dodatni jednego i drugiego źródła napięcia, aby cewki przedstawione na rysunku się przyciągały? Zadanie ma dwa rozwiązania. Wskazówka: pole magnetyczne zwojnicy jest podobne do pola magnesu sztabkowego.
5. Rysunek przedstawia schemat gongu elektrycznego stosowanego przy drzwiach wejściowych do mieszkań. Omów jego działanie.





16. Przewód z prądem w polu magnetycznym

- Siła elektrodynamiczna
- Silnik elektryczny

Przypomnij sobie, co to jest indukcja magnetyczna oraz jak biegną linie pola magnetycznego prostoliniowego przewodu z prądem elektrycznym.

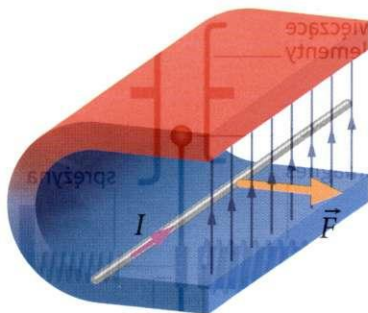
Dwa magnesy oddziałują ze sobą za pośrednictwem pola magnetycznego. Przewody z prądem również są źródłem pola magnetycznego, więc też oddziałują magnetycznie. Te oddziaływania są podstawą działania silników elektrycznych, zarówno miniaturowych (napędzających dyski w komputerach), jak i potężnych (stosowanych w lokomotywach elektrycznych).

Przewód z prądem w polu magnetycznym

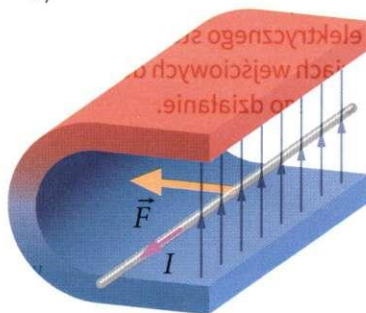
Oddziaływanie pola magnetycznego na prostoliniowy przewód z prądem zależy od ułożenia przewodu w stosunku do linii tego pola. Gdy przewód jest do nich równoległy – oddziaływania nie ma. Pole magnetyczne działa na przewód siłą magnetyczną dopiero wówczas, gdy tworzy on jakiś niezerowy kąt z liniami pola. Ta siła jest największa, gdy przewód jest prostopadły do linii pola.

Na rycinie 16.1 widnieje przewód z prądem ustawiony prostopadłe do linii pola magnetycznego. Siła magnetyczna jest zawsze prostopadła zarówno do przewodnika, jak i do linii pola magnetycznego. Zwrot siły zależy od zwrotu linii pola magnetycznego oraz

a)



b)



Ryc. 16.1. Prostoliniowy przewód z prądem w polu magnetycznym, ustawiony prostopadłe do linii pola. Zwrot siły zależy od zwrotu linii pola i kierunku prądu

od tego, w którą stronę płynie prąd. Gdy zmieni się zwrot linii pola lub kierunek prądu, zmieni się także zwrot siły. Siłę magnetyczną działającą na przewód z prądem nazywa się **siłą elektrodynamiczną**.

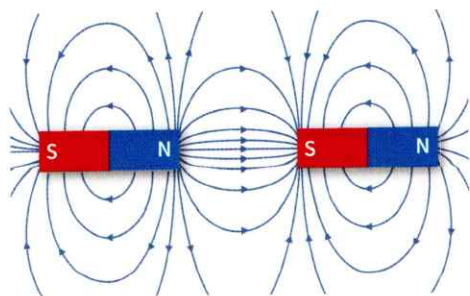
Na przewód z prądem umieszczony nierównoległe do linii pola magnetycznego działa siła elektrodynamiczna prostopadła do przewodu i do linii tego pola.

WIEDZIEĆ WIĘCEJ

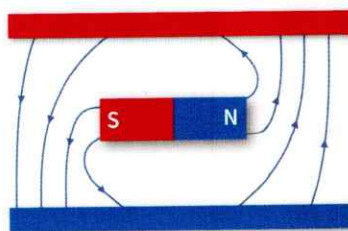
Siła magnetyczna a linie pola

Pole magnetyczne ma energię, podobnie jak pole elektryczne. Możemy sobie wyobrazić linie pola jako długie rozciągnięte gumki lub sprężynki. Pole działa na magnesy i przewodniki z prądem taką siłą, by te „sprężynki” jak najbardziej się skróciły i w ten sposób zmniejszyły swoją energię. Na przykład dwa magnesy przyciągają się przeciwnymi biegunami (ryc. a). W miarę jak zbliżają się do siebie, skracają się linie pola między nimi, więc energia pola magnetycznego maleje. Z tych samych powodów magnesy ustawiają się wzdłuż linii pola. Obrót magnesu powoduje skrócenie linii pola magnetycznego (ryc. b).

a)

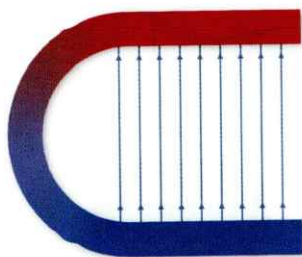


b)

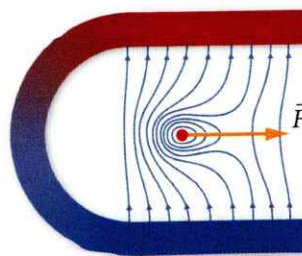


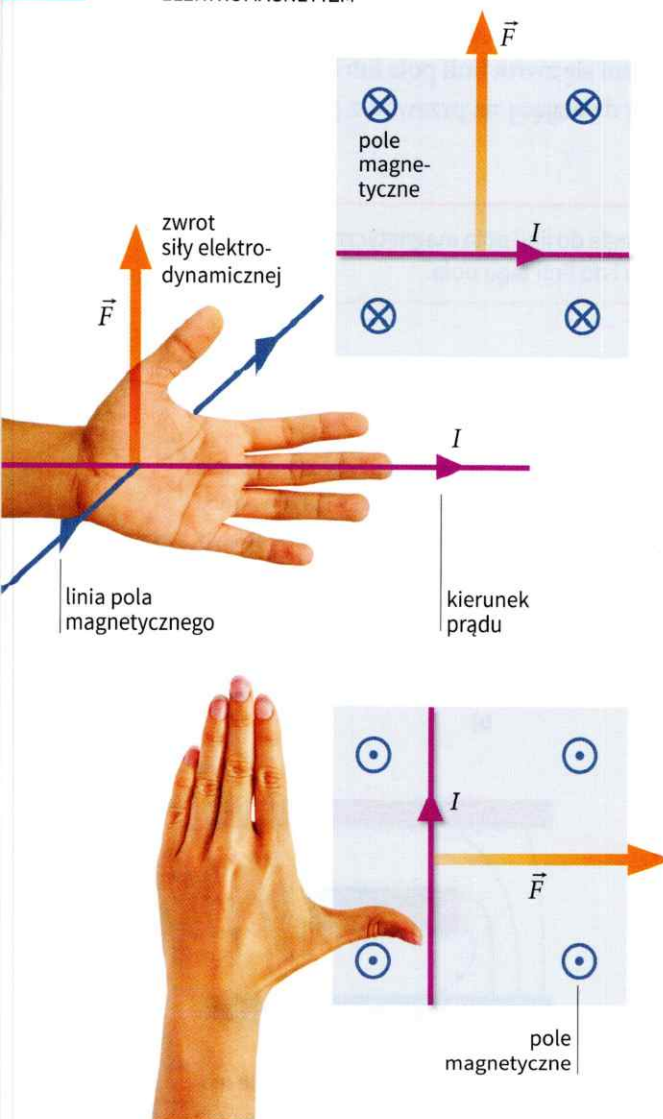
Ten model pola magnetycznego działa również w przypadku przewodu z prądem. Pole magnetyczne w pobliżu przewodu umieszczonego w zewnętrznym polu jest złożeniem pola magnesu i pola pochodzącego od samego przewodu (ryc. c). Linie wypadkowego pola są bardzo wygięte z lewej strony przewodu (ryc. d). Ponieważ „chcą” się rozprostować i skrócić, pchają przewód w prawo.

c)



d)





Zwrot siły elektrodynamicznej można wyznaczyć za pomocą lewej dłoni. Należy dłoń ustawić tak, aby linie pola „wchodziły” do jej wnętrza, a cztery wyciągnięte palce wskazywały kierunek prądu. Wówczas odchylony kciuk wskaże zwrot siły (ryc. 16.2). Jeżeli niemożliwe jest takie ustawienie dłoni (bo linie pola są równoległe do przewodu), oznacza to, że siła nie działa.

Kierunek siły elektrodynamicznej jest zawsze prostopadły zarówno do przewodu, jak i linii pola magnetycznego.

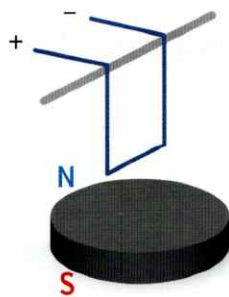
Aby zaznaczać na rysunkach linie pola prostopadłe do płaszczyzny kartki, wprowadzono specjalne oznaczenia: krzyżyk w kółku oznacza, że linie pola mają zwrot za kartkę, a kropka w kółku – że mają zwrot przed kartkę. Tak samo oznaczamy zwrot każdego wektora (np. prędkości, siły) lub kierunek przepływu prądu, jeśli na rysunku jest on prostopadły do płaszczyzny kartki.

Ryc. 16.2. Za pomocą lewej dłoni możemy wyznaczyć zwrot siły działającej na przewód z prądem, umieszczony w polu magnetycznym

Doświadczenie 1.

Do doświadczenia będą potrzebne: silny magnes (np. neodymowy), bateria płaska oraz miękki przewód.

Położ magnes na stole jednym z biegunów do góry. Zawieś nad nim pętlę z przewodu, tak jak pokazano na rysunku. Podłącz na chwilę baterię do przewodu (w przypadku baterii chwilowe zwarcie nie jest niebezpieczne). Zauważ zachowanie się przewodu.



Wartość siły elektrodynamicznej działającej na przewód z prądem ustawiony prostopadle do linii zewnętrznego pola magnetycznego obliczamy ze wzoru:

$$F = BIl$$

(1)

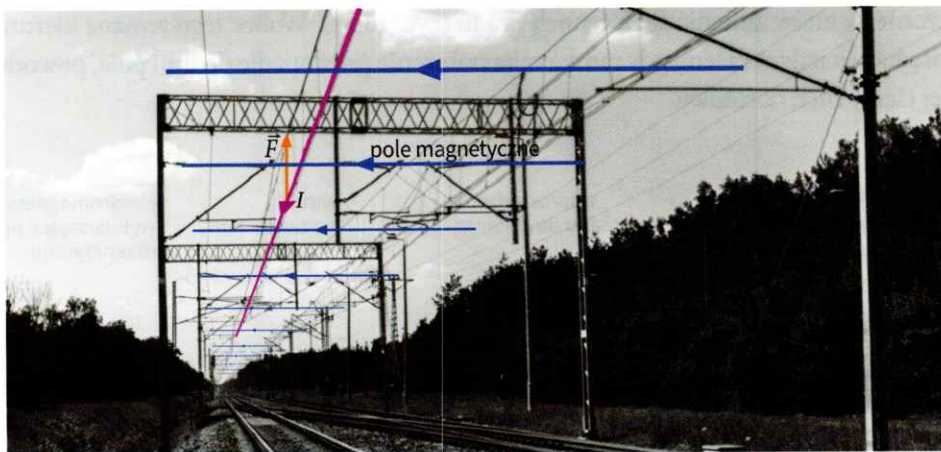
gdzie:

B – indukcja pola magnetycznego, I – natężenie prądu, l – długość tej części przewodu, która znajduje się w zewnętrznym polu magnetycznym.

Przykład 1.

Obliczmy maksymalną siłę, którą ziemskie pole magnetyczne może działać na każdy metr kolejowej sieci trakcyjnej. Przyjmijmy, że w przewodzie płynie prąd o natężeniu 200 A, a indukcja ziemskiego pola magnetycznego wynosi $3 \cdot 10^{-5}$ T.

Najpierw ustalmy, jaki będzie zwrot tej siły przy założeniu, że prąd płynie na wschód (czyli na zdjęciu za płaszczyznę kartki), a linie pola magnetycznego są poziome (przy tym założeniu siła będzie maksymalna). Zwrot siły wyznaczmy za pomocą lewej dłoni. Północ jest po lewej stronie zdjęcia. Linie pola ziemskiego są zatem skierowane w lewo, więc siła działa w górę.



Siłę magnetyczną obliczamy ze wzoru (1):

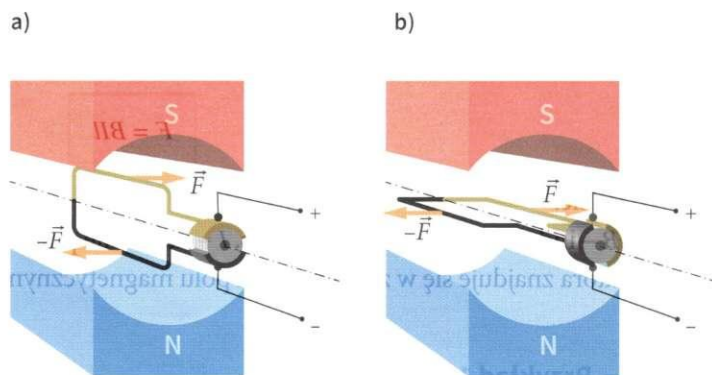
$$F = BIl = 200 \text{ A} \cdot 1 \text{ m} \cdot 3 \cdot 10^{-5} \text{ T} = 0,006 \text{ N}$$

Siła, jaką ziemskie pole magnetyczne działa na przewody, jest dużo mniejsza od ich ciężaru, dlatego też nie obserwujemy unoszenia się przewodów pod działaniem tego pola.

Silnik elektryczny

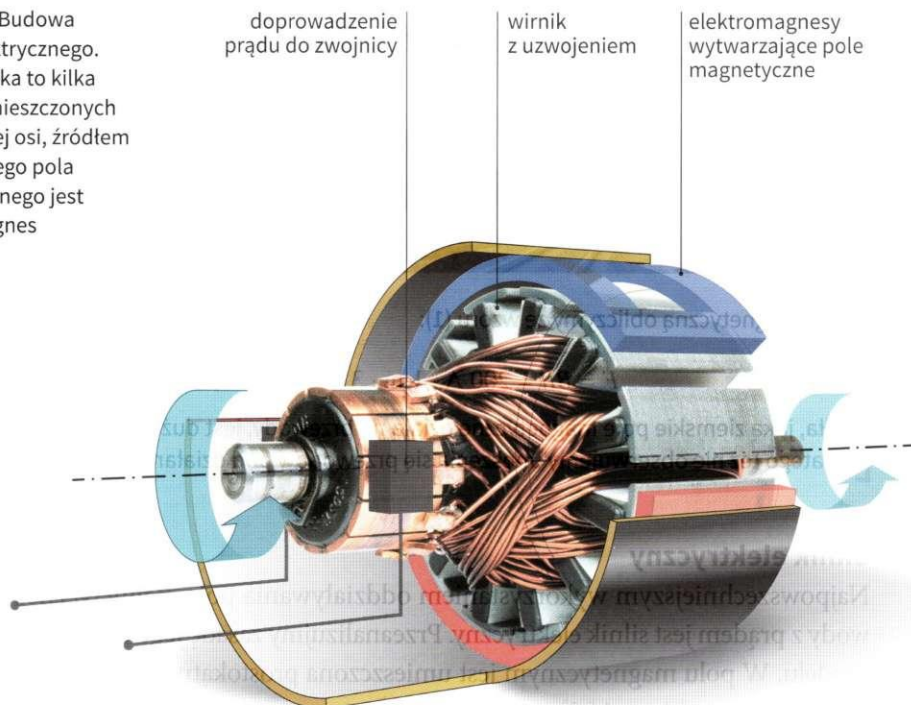
Najpowszechniejszym wykorzystaniem oddziaływania pola magnetycznego na przewody z prądem jest silnik elektryczny. Przeanalizujmy zasadę jego działania na prostym modelu. W polu magnetycznym jest umieszczona prostokątna metalowa ramka, która może się obracać (ryc. 16.3).

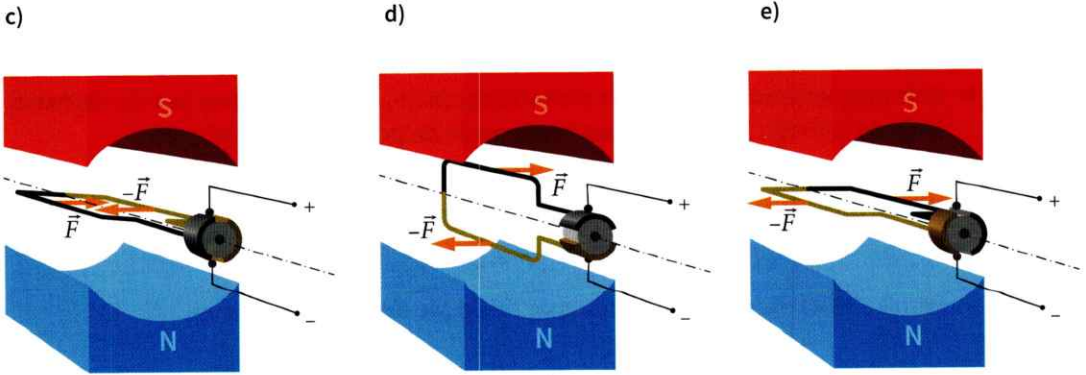
Ryc. 16.3. Schemat działania silnika elektrycznego



Gdy w ramce pojawi się prąd, na dwa jej boki zaczną działać siły magnetyczne powodujące jej obrót (ryc. 16.3a). W momencie przejścia rozprężonej ramki przez położenie prostopadłe do linii pola zmienia się kierunek przepływu prądu. Wtedy siły magnetyczne zmieniają zwrot na przeciwny (ryc. 16.3b, c) i ramka kontynuuje obrót w tę samą stronę (ryc. 16.3d). W momencie, gdy ramka ponownie jest prostopadła do linii pola magnetycznego, znów zmienia się kierunek prądu (ryc. 16.3e). Wobec tego zmiana kierunku prądu za każdym razem, gdy ramka mija położenie prostopadłe do linii pola, powoduje jej ciągły ruch obrotowy.

Ryc. 16.4. Budowa silnika elektrycznego. Wirnik silnika to kilka zwojnic umieszczonych na wspólnej osi, źródłem zewnętrznego pola magnetycznego jest elektromagnes





Siły magnetyczne działające na jedną ramkę są małe. Można je zwiększyć – wystarczy zastąpić ramkę zwojnicą nawiniętą na rdzeń. W rzeczywistych silnikach wirnik zbudowany jest z kilku zwojnic umieszczonych na wspólnej osi – zapewnia to płynną pracę silnika. Zmiana kierunku prądu odbywa się automatycznie – steruje tym układ elektroniczny albo przełącznik mechaniczny sprzężony z wirującymi zwojnicami (ryc. 16.4).

Doświadczenie 2.

Zbuduj prosty silnik elektryczny z baterii AA i magnesu neodymowego. Magnes przyczep do spodu baterii (fot.). Z pozbawionego izolacji drutu wygnij ramkę w kształcie przedstawionym na zdjęciu. Ramka nie powinna być idealnie symetryczna, aby pierścień delikatnie opierał się o boczną ściankę magnesu. To zapewni zamknięcie obwodu z prądem. Ramkę umieść na baterii w sposób pokazany na zdjęciu.

Co się stanie, gdy magnes przytwierdzimy do baterii z drugiej jej strony? Czy zmiana położenia biegunów magnesu ma wpływ na kierunek przepływu prądu w ramce? A czy ma wpływ na kierunek obrotu ramki?



Silniki elektryczne wprawiają w ruch prawie wszystkie urządzenia wokół nas. Również w samochodach silniki spalinowe powoli zastępuje się elektrycznymi. Upowszechnienie takich silników było możliwe dzięki wynalezieniu prądnicy, czyli urządzenia do wytwarzania prądu elektrycznego.

PODSUMOWANIE

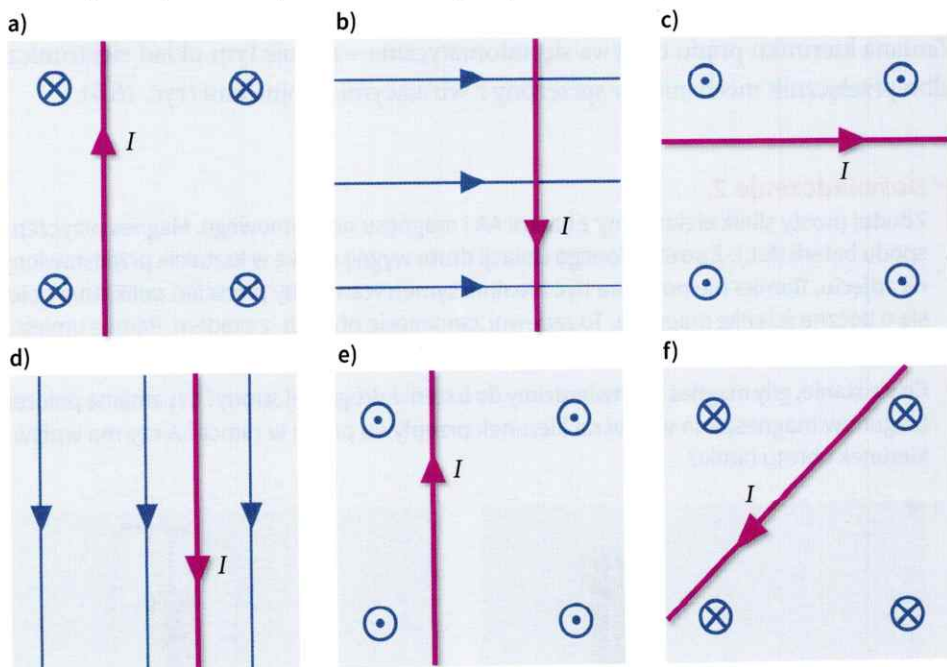
- Pole magnetyczne działa siłą na przewód z prądem, gdy umieszczony jest on nierównoległe do linii tego pola. Ta siła jest prostopadła do przewodu i do linii pola.
- Wartość siły elektrodynamicznej działającej na przewód z prądem ustawiony prostopadłe do linii pola magnetycznego obliczamy ze wzoru:

$$F = BIl$$

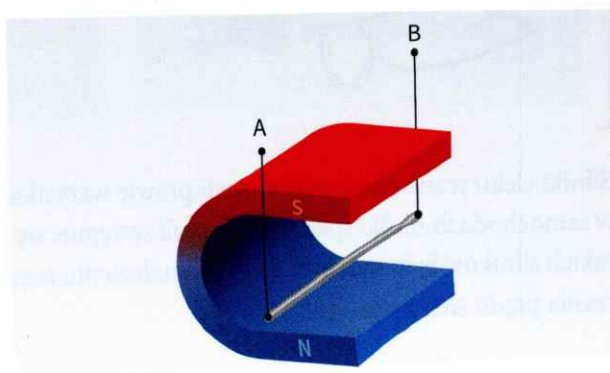
- Wirnik silnika elektrycznego obraca się dzięki sile elektrodynamicznej.

PYTANIA I ZADANIA

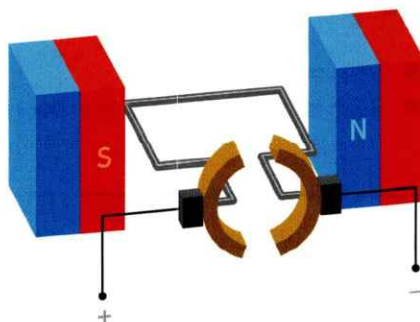
1. Na rysunkach przedstawiono przewód z prądem znajdujący się w polu magnetycznym. W którą stronę działa na przewód siła magnetyczna w każdej z pokazanych tu sytuacji?



2. Który koniec przewodu należy podłączyć do dodatniego zacisku źródła napięcia, aby w podanej sytuacji siła elektrodynamiczna działała na poziomy przewód w lewo?



3. W którą stronę obróci się ramka z prądem przedstawiona na rysunku poniżej?



4. W kwadratowej metalowej ramce o boku $0,1\text{ m}$ płynie prąd o natężeniu 5 A . Ramka umieszczona jest w polu magnetycznym o indukcji $0,001\text{ T}$ tak, że dwa jej boki są równoległe do linii pola.
- Przedstaw sytuację na rysunku.
 - Oblicz siłę działającą na każdy bok ramki.
 - Czy pod działaniem tych sił ramka się przesunie, czy obróci?
5. Czy dwa równoległe przewody, w których prąd elektryczny płynie w tę samą stronę, odpychają się, czy przyciągają?
- Wskazówka: Przyjmij, że jeden przewód leży prostopadle do płaszczyzny rysunku, narysuj jego pole magnetyczne. W pewnym punkcie na linii pola umieść drugi przewód równoległy do pierwszego i wyznacz kierunek działającej na niego siły.

17. Ładunek elektryczny w polu magnetycznym

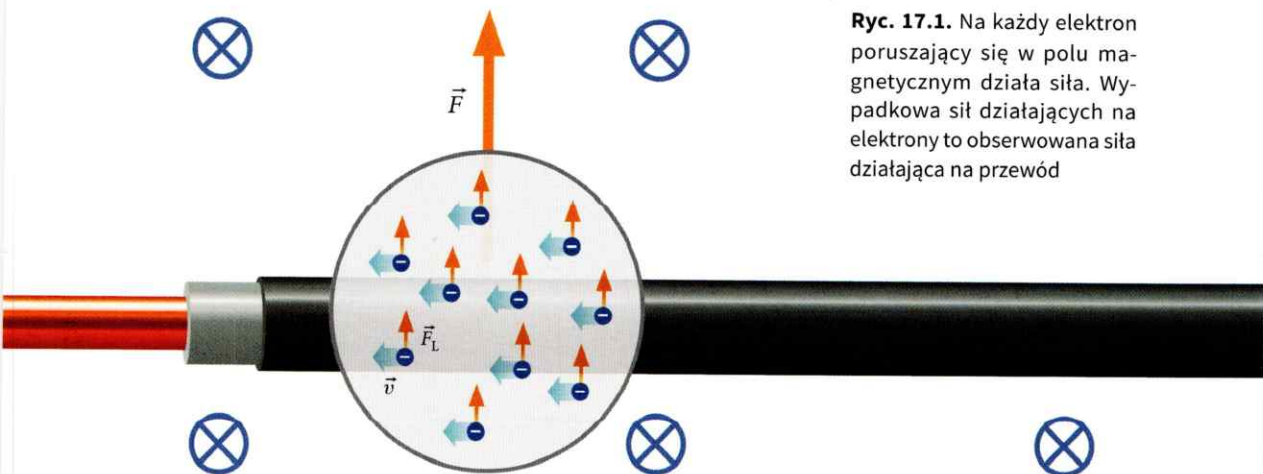
- Siła Lorentza
- Ruch cząstki naładowanej w polu magnetycznym

Przypomnij sobie, jak działa pole magnetyczne na przewód z prądem.

Na przewód z prądem elektrycznym ustawiony nierównoległe do linii zewnętrznego pola magnetycznego działa siła. Gdy prąd przestaje płynąć, ta siła znika. Można więc przypuszczać, że oddziaływanie pola magnetycznego na przewód z prądem jest związane z ruchem ładunków elektrycznych.

Siła działająca na poruszający się ładunek

Prąd elektryczny to uporządkowany ruch ładunków elektrycznych. Pole magnetyczne działa siłą na przewód z prądem, gdyż działa na poruszające się ładunki. Wobec tego siła działająca na przewód z prądem jest po prostu wypadkową sił magnetycznych działających z osobna na każdy poruszający się ładunek (ryc. 17.1).



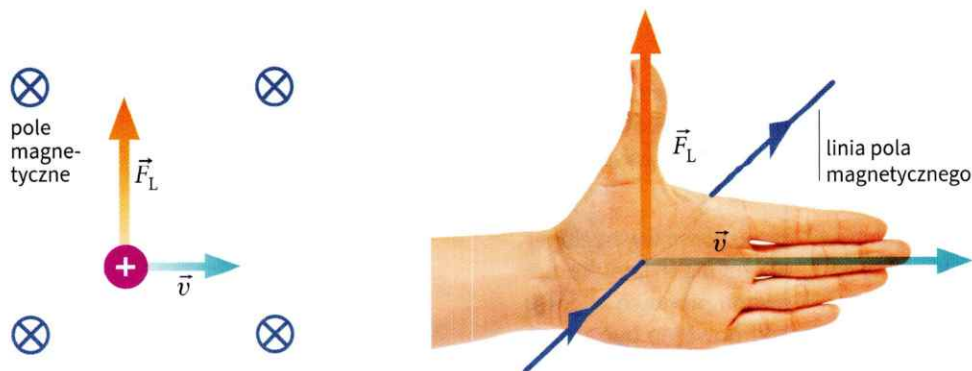
Ryc. 17.1. Na każdy elektron poruszający się w polu magnetycznym działa siła. Wypadkowa sił działających na elektrony to obserwowana siła działająca na przewód

Pole magnetyczne oddziałuje na cząstki naładowane poruszające się nierównoległe do linii pola.

Siła magnetyczna działająca na poruszającą się cząstkę naładowaną jest nazywana **siłą Lorentza**. Siła ta jest prostopadła do linii pola magnetycznego i do kierunku ruchu

cząstki, czyli do wektora jej prędkości. Gdy cząstka ma ładunek dodatni, zwrot tej siły wyznaczamy tak, jak zwrot siły działającej na przewód z prądem (ryc. 17.2). W przypadku cząstki o ładunku ujemnym zwrot siły jest przeciwny do zwrotu, który byśmy wyznaczyli dla cząstki z ładunkiem dodatnim.

Gdy cząstka porusza się wzdłuż linii pola magnetycznego, siła magnetyczna nie działa.



Ryc. 17.2. W określeniu zwrotu siły działającej na poruszający się ładunek dodatni w polu magnetycznym pomocna jest lewa dłoń

Siłę Lorentza działającą na poruszającą się prostopadle do linii pola cząstkę naładowaną obliczamy ze wzoru:

$$F_L = qvB$$

gdzie:

q – ładunek elektryczny cząstki,

v – prędkość cząstki,

B – indukcja pola magnetycznego.

Ruch cząstki naładowanej w polu magnetycznym

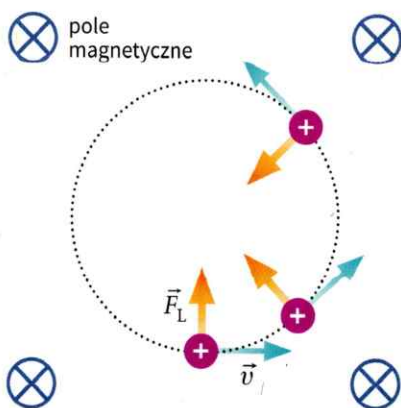
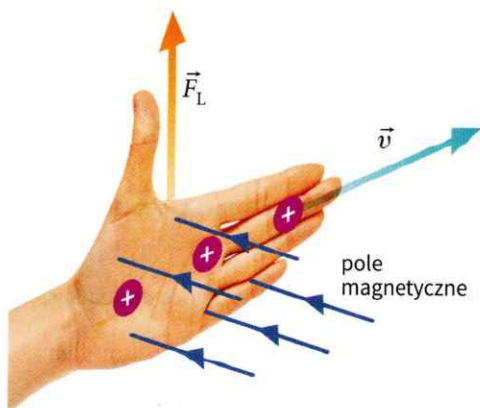
Jaki wpływ na ruch ładunków może mieć pole magnetyczne? Na cząstki spoczywające pole magnetyczne nie działa w ogóle, a na te poruszające się nierównolegle do linii pola – działa siłą prostopadłą do wektora prędkości. Taka siła jest prostopadła również do przemieszczenia cząstki (przynajmniej w krótkim czasie). Oznacza to, że siła magnetyczna nie wykonuje pracy i nie zmienia energii cząstki, a więc pole magnetyczne nie może ani rozpędzić, ani wyhamować cząstek. Pole magnetyczne zmienia jedynie kierunek ruchu cząstek bez zmiany wartości ich prędkości. Pod działaniem siły magnetycznej cząstka naładowana, poruszająca się w polu magnetycznym, będzie skręcać w kierunku działania tej siły.

Stałe pole magnetyczne nie zmienia energii kinetycznej cząstek naładowanych.

Przykład 1.

Na zdjęciu przedstawiono drukarkę służącą do wykonywania nadruków na opakowaniach produktów spożywczych. W poziomo ustawionej głowicy drukującej małe kropelki tuszu elektryzowane są dodatnio i wyrzucane w kierunku opakowania. Pole magnetyczne wewnątrz głowicy odchyła kropelki od prostoliniowego kierunku, tak że na opakowaniu powstają napisy. Jak powinno być skierowane pole magnetyczne, aby poziomo wyrzuciona kropelka skręcała w górę?

Aby zakrzywić tor poziomo wyrzuczonej kropli w górę, siła na nią działająca też musi być skierowana pionowo w górę. Pole magnetyczne powinno być zatem skierowane prostopadłe do kierunku ruchu kropli i działającej siły, czyli linie pola muszą być poziome – równoległe do przesuwającej się taśmy z butelkami. Zwrot linii pola ustalamy zgodnie z regułą lewej dłoni: cztery palce ($\vec{v}$) są skierowane w stronę butelki, kciuk ($\vec{F}_L$) jest odchylony w górę, czyli linie pola magnetycznego są skierowane w lewą stronę (ryc.).



Ruch cząstki naładowanej zależy od tego, jak skierowany jest wektor prędkości cząstki w stosunku do linii pola magnetycznego. Gdy cząstka wpadnie w pole równoległe do jego linii, siła nie będzie działać, więc ruch cząstki będzie jednostajny po linii prostej. W sytuacji, gdy prędkość początkowa cząstki jest prostopadła do linii pola, działa na nią siła Lorentza o stałej wartości, prostopadła do prędkości cząstki. Taka siła powoduje ruch po łuku okręgu. Wobec tego siła Lorentza pełni w tym przypadku funkcję siły dośrodkowej i cząstka porusza się po okręgu (ryc. 17.3).

Ryc. 17.3. Cząstka naładowana dodatnio w jednorodnym polu magnetycznym. W każdym momencie siła magnetyczna jest prostopadła do prędkości cząstki, więc porusza się ona po okręgu

Przykład 2.

Słońce emituje tzw. wiatr słoneczny. Tworzą go różne cząstki naładowane, poruszające się z prędkością kilkuset kilometrów na sekundę.

Oszacujmy promień okręgu, po którym będzie poruszał się elektron z wiatru słonecznego w ziemskim polu magnetycznym, gdy wpadnie w pole prostopadle do jego linii z prędkością 400 km/s. Przyjmijmy, że indukcja ziemskiego pola magnetycznego wynosi $3 \cdot 10^{-5}$ T.

Siła magnetyczna działająca na elektron jest siłą dośrodkową, zatem:

$$F_L = F_d$$

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

Po przekształceniu otrzymujemy:

$$r = \frac{mv}{qB}$$

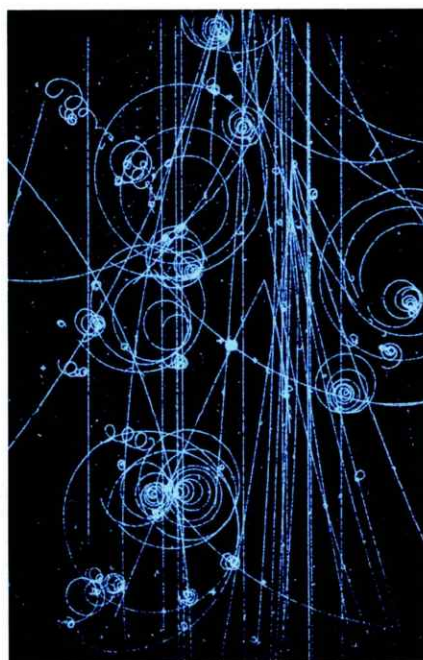
Podstawiamy dane w odpowiednich jednostkach (ładunek elektronu jest równy ładunkowi elementarnemu):

$$r = \frac{9 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 4 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 3 \cdot 10^{-5} \text{ T}} = 0,075 \text{ m}$$

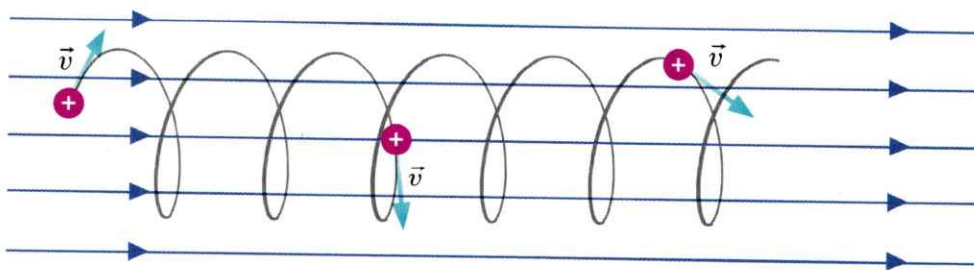
Promień okręgu wynosi zaledwie 7,5 cm.

Analiza toru ruchu cząstek w polu magnetycznym to cenne narzędzie badawcze, szczególnie w dziedzinie fizyki atomowej i cząstek elementarnych. Nie widzimy tych cząstek, ale gdy poruszają się w materii, zostawiają za sobą ścieżkę zjonizowanych atomów. Istnieją metody, aby zobrazować ich położenie i dzięki temu zobaczyć ślady przez nie pozostawione. Na podstawie analizy tych śladów możemy wyznaczyć masę, ładunek czy energię cząstek (ryc. 17.4).

Gdy cząstka naładowana wpada w pole magnetyczne pod kątem innym niż prosty, jej ruch jest bardziej skomplikowany. Cząstka wpadająca ukośnie w pole magnetyczne jednocześnie przemieszcza się wzdłuż i w poprzek linii pola. Jej ruch jest złożeniem ruchu postępowego i ruchu po okręgu. Torem ruchu jest tzw. linia śrubowa (helisa), wyglądająca jak sprężyna owijająca linie pola magnetycznego (ryc. 17.5).



Ryc. 17.4. Ślady cząstek elementarnych w tzw. komorze pęcherzykowej



Ryc. 17.5. W polu magnetycznym ładunki najczęściej poruszają się po linii śrubowej



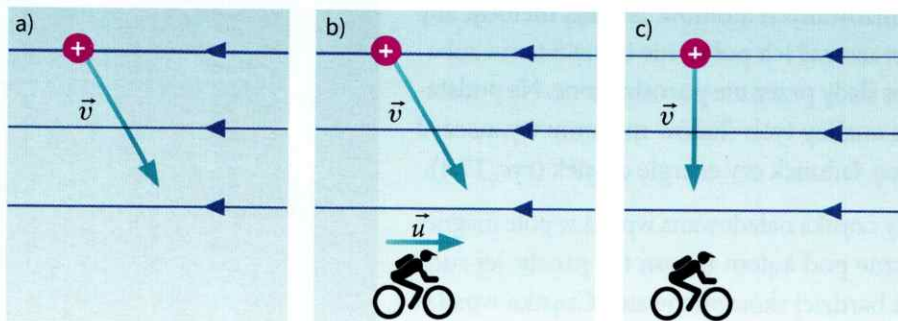
Tak poruszają się np. cząstki naładowane materii słonecznej. Na zdjęciach widzimy, jak zjonizowany gaz wyrzucany z powierzchni Słońca porusza się wzdłuż linii pola magnetycznego (rzeczywisty tor cząsteczek gazu tworzący helisę nie jest widoczny; ryc. 17.6).

Ryc. 17.6. Zdjęcia materii wyrzucanej z powierzchni Słońca dostarczają informacji o polu magnetycznym naszej gwiazdy

WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Helisa a ruch po okręgu

Gdy cząstka naładowana wpada skośnie do linii pola magnetycznego (ryc. a), jej tor jest dla obserwatora dosyć skomplikowaną krzywą. Ale nie dla każdego obserwatora.



Możemy spojrzeć na tę cząstkę z punktu widzenia rowerzysty poruszającego się w prawo z prędkością $\vec{u}$ (ryc. b). Przy pewnej prędkości – takiej, że przemieszczenie poziome cząstki i roweru jest w każdej sekundzie takie samo – rowerzysta zobaczy, że cząstka porusza się prostopadłe do linii pola (ryc. c). Innymi słowy, w jego układzie odniesienia tor cząstki jest okręgiem. Jeśli wrócimy do naszego początkowego układu odniesienia, zobaczymy, że te okręgi unoszone są w prawo z prędkością $\vec{u}$.

Ładunki elektryczne wpadające w pole magnetyczne nierównoległe do jego linii zaczynają poruszać się po okręgu lub po linii śrubowej wzdłuż linii pola. W obydwu przypadkach cząstki zostają uwięzione przez pole magnetyczne. Fakt ten ma duże znaczenie nie tylko dla zjawisk zachodzących na Słońcu. Więcej informacji o jego znaczeniu dla życia na Ziemi będzie w następnym rozdziale.

PODSUMOWANIE

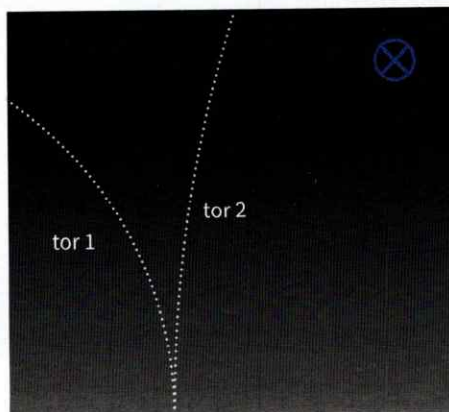
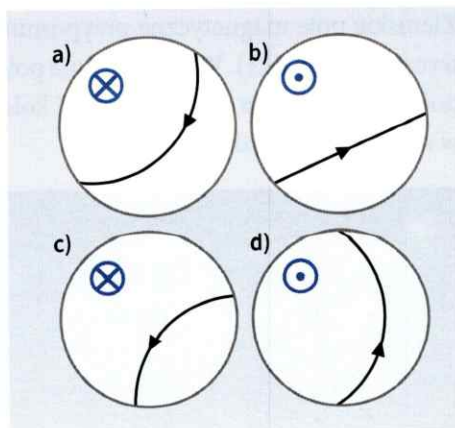
- Pole magnetyczne działa siłą Lorentza na cząstki naładowane poruszające się nierównoległe do linii tego pola. Gdy cząstka porusza się prostopadle do linii pola, siłę tę obliczamy ze wzoru:

$$F_L = qvB$$

- Pod działaniem pola magnetycznego ładunki zakrzywiają tor swojego ruchu bez zmiany wartości prędkości.

PYTANIA I ZADANIA

1. Który rysunek poprawnie przedstawia tor cząstki o ładunku dodatnim w polu magnetycznym (pole zaznaczone jest krzyżykiem lub kropką)?
2. Promienie okręgów, po których poruszały się niektóre cząstki z ryciny 17.4, były coraz mniejsze. Jak zmieniła się prędkość tych cząstek?
3. Oblicz prędkość protonu, który w polu magnetycznym o indukcji 10^{-3} T porusza się po okręgu o promieniu 0,05 m.
4. Rysunek przedstawia ślady dwóch cząstek, które wpadły w pole magnetyczne z tą samą prędkością i poruszały się – względem rysunku – w górę. Wartość bezwzględna ładunków obu cząstek była taka sama. Która z nich miała ładunek dodatni, a która ujemny? Która z nich miała większą masę?
5. Udowodnij, że wszystkie elektrony w polu magnetycznym o zadanej indukcji magnetycznej poruszają się po okręgach z tym samym okresem obiegu.





18. Pole magnetyczne Ziemi

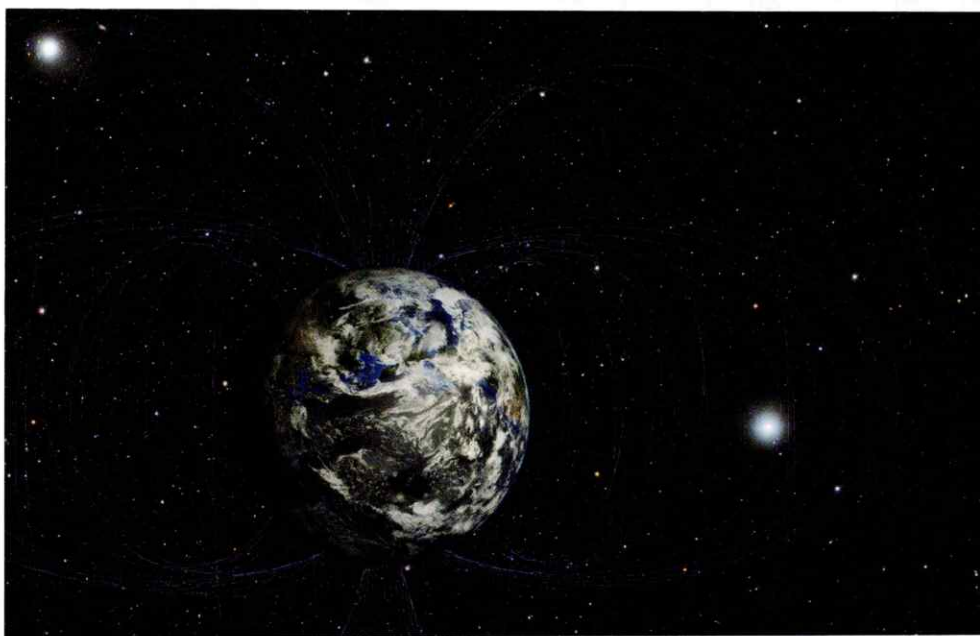
- Ziemskie pole magnetyczne
- Wiatr słoneczny
- Magnetosfera

Przypomnij sobie wielkości opisujące pole magnetyczne i to, jak porusza się ładunek w polu magnetycznym.

Przestrzeń kosmiczna wokół Ziemi nie jest całkiem pusta – jest wypełniona m.in. wiatrem słonecznym i polem magnetycznym. Ziemskie pole magnetyczne chroni życie na Ziemi przed groźnymi skutkami działania cząstek nadlatujących ze Słońca i z dalekiego Kosmosu. Zorze polarne to widoczny efekt tych zmagają.

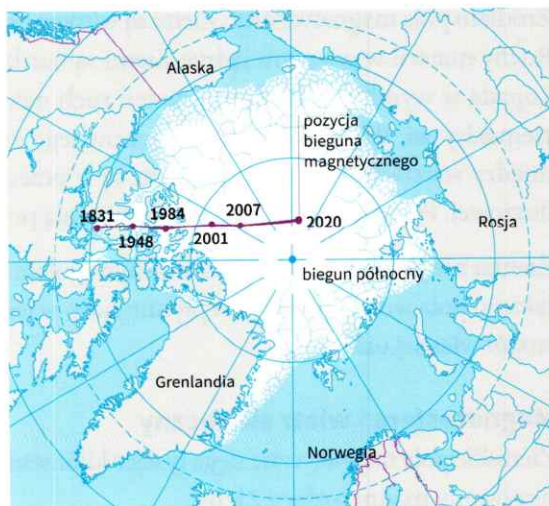
Pole magnetyczne Ziemi

Ziemskie pole magnetyczne przypomina pole magnetyczne zwojnicy z prądem elektrycznym (ryc. 18.1). W Arktyce linie pola magnetycznego się zbiegają – tam znajduje się południowy biegun magnetyczny. Z kolei północny biegun magnetyczny jest położony w rejonie Antarktydy.



Ryc. 18.1. Linie ziemskiego pola magnetycznego

Bieguny magnetyczne Ziemi to punkty, w których linie pola magnetycznego skierowane są dokładnie pionowo. Okazuje się, że nie leżą one na osi ziemskiej, więc nie pokrywają się z biegunami geograficznymi. Co więcej – ich położenie zmienia się na przestrzeni lat (ryc. 18.2).

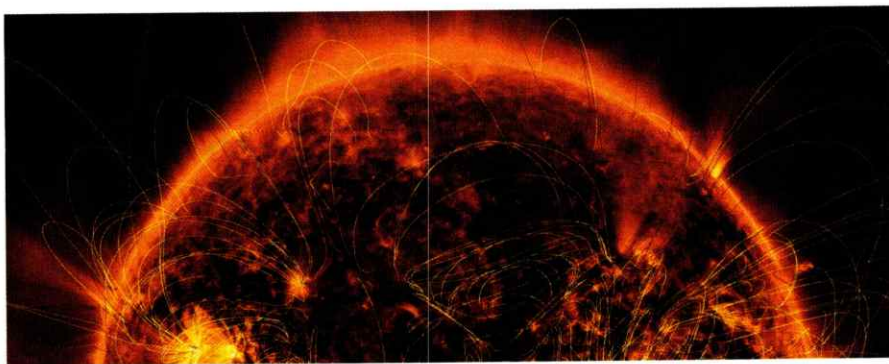


Ryc. 18.2. Położenie południowego bieguna magnetycznego Ziemi w ciągu ostatnich 200 lat

WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Zmienność pola magnetycznego Ziemi i Słońca

W historii naszej planety wiele razy dochodziło do zamiany miejscami biegunów magnetycznych. Zapis kierunku pola magnetycznego na Ziemi znajdujemy w szczątkowym namagnesowaniu niektórych drobin zawartych w skałach. Z badań geologicznych wynika, że średnio raz na kilkaset tysięcy lat zachodzi przebiegunowanie ziemskiego pola magnetycznego. Ten proces trwa kilkaset lat. Podczas zmiany pole staje się bardzo złożone, w różnych miejscach na powierzchni Ziemi pojawia się wiele biegunów magnetycznych, które za jakiś czas znikają. Ostatecznie pozostają tylko dwa bieguny, położone w rejonach bliskich biegunom geograficznym. Ostatnia zmiana biegunów magnetycznych miała miejsce ok. 800 tysięcy lat temu. Podobnie wygląda to na Słońcu, choć w tym przypadku cykl w miarę regularnych zmian pola magnetycznego trwa ok. 11 lat. Przebiegunowanie to czas wysokiej aktywności Słońca. W tym czasie pojawiają się na nim w różnych miejscach tzw. plamy słoneczne (jaśniejsze obszary na fotografii poniżej; w świetle widzialnym są to obszary ciemniejsze). Są to obszary o nieco niższej temperaturze powierzchni, w których linie pola magnetycznego wychodzą prawie pionowo ponad fotosferę (widzialną powierzchnię Słońca). Indukcja magnetyczna w obszarze plamy jest kilkadziesiąt tysięcy razy większa niż w pozostałych obszarach Słońca.

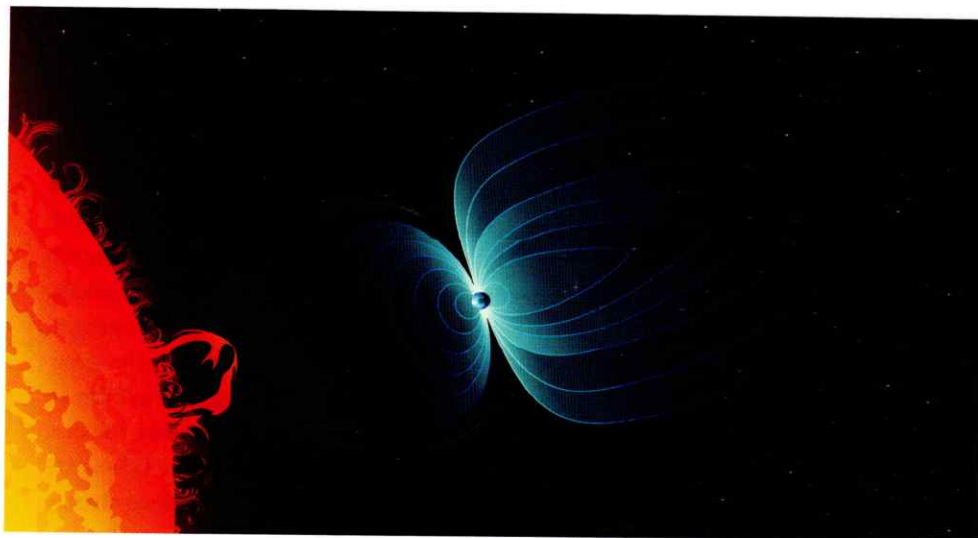


Źródłem pola magnetycznego Ziemi są wirowe prądy elektryczne powstające w jej jądrze. Ruchy materii w gorącym jądrze Ziemi są bardzo złożone: płynna materia wznosi się i opada w wyniku konwekcji, a na ten ruch nakłada się jeszcze ruch obrotowy wokół ziemskiej osi. W efekcie ładunki przeciwnego znaku, które powstają w wyniku tarcia między warstwami materii, unoszone są w przeciwne strony, podobnie jak w chmurze burzowej. Poruszające się ładunki wytwarzają pole magnetyczne.

Ziemia nie jest jedyną planetą z własnym polem magnetycznym. Warunkiem istnienia takiego pola wokół planety jest płynne jądro w jej wnętrzu i stosunkowo szybki jej obrót wokół własnej osi.

Magnetosfera i wiatr słoneczny

Ziemskie pole magnetyczne sięga tysiące kilometrów w przestrzeń kosmiczną. Ten obszar nazywamy **magnetosferą Ziemi**.



Ryc. 18.3. Magnetosfera Ziemi. Od strony Słońca pole magnetyczne jest spłaszczone, zaś po przeciwnej stronie rozciąga się w przestrzeń kosmiczną

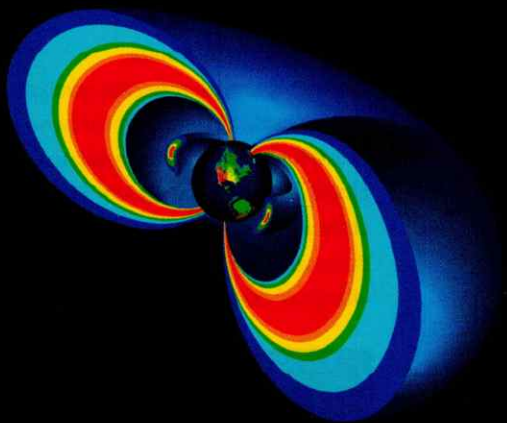
Słońce – poza falami elektromagnetycznymi – emituje na wszystkie strony cząstki naładowane, głównie elektrony i protony. Ten strumień cząstek nosi nazwę **wiatru słonecznego**. To przez niego magnetosfera Ziemi nie jest symetryczna. W bardzo dużych odległościach od Ziemi wiatr słoneczny jakby „wywiewa” pole magnetyczne w przestrzeń kosmiczną (ryc. 18.3).

Cząstki naładowane zbliżające się do Ziemi zostają przechwycone przez ziemskie pole magnetyczne i poruszają się wzdłuż linii pola. Poruszające się w sposób uporządkowany cząstki naładowane to prąd elektryczny, który również jest źródłem pola magnetycznego. W efekcie w pobliżu Ziemi mamy więc wypadkowe pole magnetyczne pochodzące z dwóch źródeł: samej Ziemi i wiatru słonecznego.

Pole magnetyczne stanowi swoistą pułapkę dla cząstek naładowanych. Nie inaczej jest z ziemskim polem magnetycznym: przechwycone cząstki gromadzą się w przestrzeni między biegunami magnetycznymi. Szczególnie dużą ich koncentrację rejestruje się w pasach dookoła Ziemi, leżących na wysokości tysięcy kilometrów. Są to tzw. **pas Van Allena** (ryc. 18.4).

Wiatr słoneczny jest niebezpieczny dla ludzi i wszystkich innych organizmów, gdyż szybkie cząstki uderzające w nasze ciało mogą uszkodzić komórki. Pole magnetyczne przechwytuje te cząstki wysoko nad Ziemią, więc nie docierają one do jej powierzchni. Ziemskie pole magnetyczne osłania nas przed nimi.

Jak widać na rycinie 18.4, cząstki wiatru słonecznego zbliżają się do powierzchni Ziemi w zasadzie tylko w rejonach podbiegunowych. Tam wpadają w górne warstwy atmosfery i pobudzają do świecenia cząsteczki powietrza. Tak powstają zorze polarne (ryc. 18.5 oraz infografika na s. 136–137). Podobny mechanizm emisji światła jest wykorzystywany np. w świetlówkach, gdzie pole elektryczne rozpędza jony.



Ryc. 18.4. Cząstki naładowane przechwycone przez ziemskie pole magnetyczne tworzą pasy Van Allena. Kolor czerwony symbolizuje największe zagęszczenie cząstek

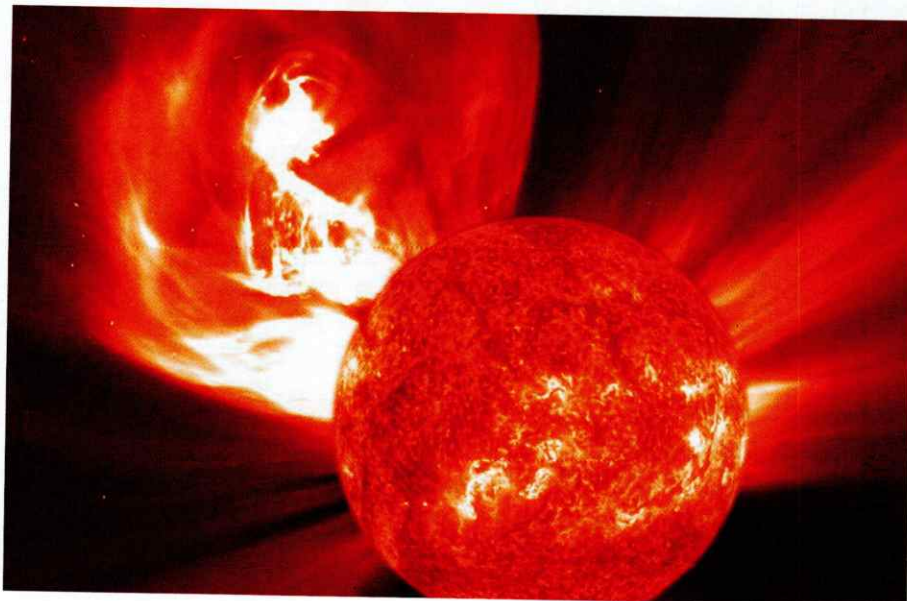


Ryc. 18.5. Zorza polarna to świecenie górnych warstw atmosfery

WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Zorza polarna w Polsce

Czy mamy szansę zobaczyć zorzę polarną w Polsce? Okazuje się, że tak. Jak wiemy, magnetosfera kształtowana jest zarówno przez pole magnetyczne Ziemi, jak i pole magnetyczne cząstek naładowanych krążących w jej pobliżu. Liczba tych cząstek zależy od aktywności Słońca. W okresie wysokiej aktywności dochodzi do rozbłysków słonecznych, czyli wybuchów na powierzchni naszej gwiazdy (ryc.). Podczas tych eksplozji emitowanych jest bardzo dużo cząstek. Te cząstki na tyle splaszczają magnetosferę Ziemi od strony Słońca, że mogą wtargnąć do atmosfery nawet na niskich szerokościach geograficznych.



Aby zobaczyć zorzę w Polsce, należy zatem śledzić aktywność słoneczną. Obserwatoria słoneczne cały czas monitorują Słońce pod tym względem, ale w innym celu niż polowanie na zorze polarne. Cząstki nadlatujące ze Słońca mogą uszkodzić aparaturę elektroniczną w sztucznych satelitach obiegających Ziemię. Zwykle satelity są osłonięte ziemskim polem magnetycznym i wiatr słoneczny do nich nie dociera, jednak gdy istnieje ryzyko ich odsłonięcia w wyniku odkształcenia pola magnetycznego, na jakiś czas się je wyłącza.

PODSUMOWANIE

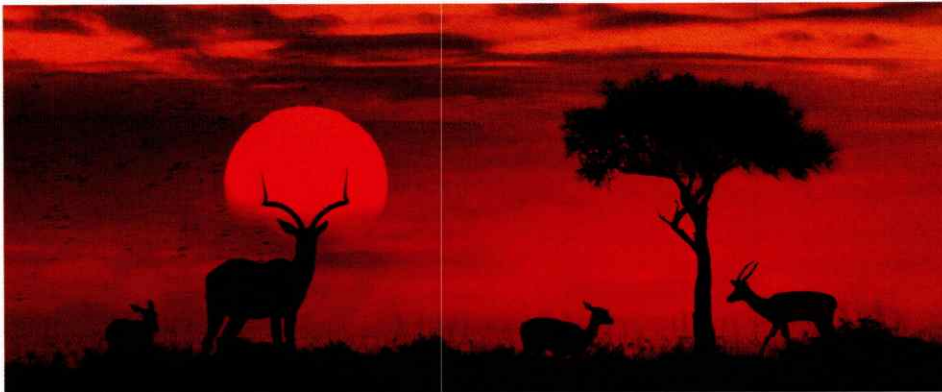
- Pole magnetyczne Ziemi przechwytuje cząstki naładowane nadlatujące ze Słońca.
- **Magnetosfera**, czyli pole magnetyczne wokół Ziemi, jest kształtowana przez ziemski magnetyzm oraz pole magnetyczne cząstek wiatru słonecznego.
- **Zorze polarne** to świecenie górnych warstw atmosfery, wywołane wiatrem słonecznym.

PYTANIA I ZADANIA

1. Jaki jest zwrot linii ziemskiego pola magnetycznego w sytuacjach przedstawionych na zdjęciach?



Marek Kamiński na biegunie północnym



Wieczór na sawannie

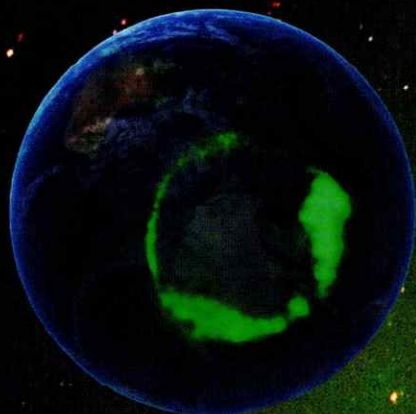
2. Wenus i Ziemia mają dosyć podobną budowę, ale okres obrotu Wenus wokół osi to aż 243 dni. Sformułuj hipotezę dotyczącą tego, która z tych planet ma silniejsze pole magnetyczne. Hipotezę uzasadnij na podstawie informacji zawartych w rozdziale.
3. Czy cząstki wiatru słonecznego są hamowane przez ziemskie pole magnetyczne? Uzasadnij odpowiedź.
4. Dlaczego burze polarne powstają najczęściej w rejonach podbiegunowych?
5. Czy astronauta lecący na Marsa byłby bardziej narażony na skutki wystawienia na wiatr słoneczny niż załoga Międzynarodowej Stacji Kosmicznej krążącej wokół Ziemi na wysokości ok. 400 km? Uzasadnij odpowiedź.

Zorze polarne

Zorze polarne są pięknym efektem zmagania wiatru słonecznego z ziemską magnetosferą. Jak sama nazwa wskazuje, można je zobaczyć głównie w rejonach podbiegunowych.

Feeria kolorów i szybko zmieniające się kształty, gwiazdy za barwnymi kurtynami i pasmami – to wszystko zawdzięczamy cząsteczkom tlenu i azotu, bombardowanym przez cząstki wyrzucane ze Słońca.

Zorza polarna wokół bieguna południowego zarejestrowana przez satelitę NASA oraz zorza widoczna z pokładu Międzynarodowej Stacji Kosmicznej





Zorze polarne są obserwowane także na innych planetach, które mają pole magnetyczne i atmosferę. Na zdjęciu widać obszary zórz polarnych na Saturnie (zdjęcie wykonano w nadfiolecie, więc jego kolory są sztuczne).



W Polsce również obserwuje się czasem zorzę polarną. Można ją dojrzeć wówczas, gdy na Słońcu nastąpi silny wyrzut materii słonecznej (rozbłysk). Zorze widoczne nisko nad horyzontem znajdują się kilkaset kilometrów od obserwatora.





19. Indukcja elektromagnetyczna. Część 1.

- Obwód poruszający się w polu magnetycznym
- Zjawisko indukcji elektromagnetycznej

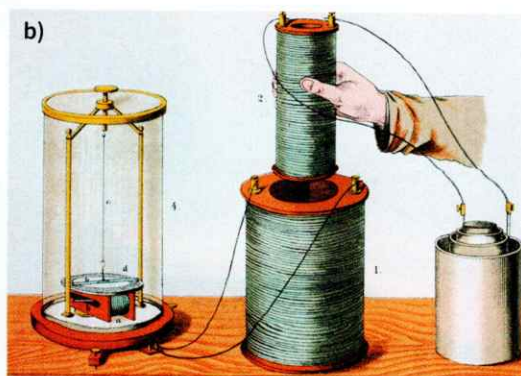
Przypomnij sobie, czym jest prąd elektryczny, jak działa elektromagnes oraz jaka siła działa na cząstki naładowane, poruszające się w polu magnetycznym.

Przepływ ładunków w obwodzie elektrycznym można uzyskać przez podłączenie go do ogniwa. Okazuje się, że nie jest to jedyny sposób na uzyskanie prądu. Pole magnetyczne również może powodować przepływ ładunków i właśnie dzięki temu zjawisku powstaje prąd, z którego korzystamy w naszych mieszkaniach.



Zjawisko indukcji elektromagnetycznej

W pierwszej połowie XIX wieku angielski fizyk Michael Faraday odkrył, że prąd elektryczny może powstać w wyniku ruchu obwodu w polu magnetycznym. W swoim doświadczeniu jako źródła pola magnetycznego używał elektromagnesu, czyli zwojnicy podłączonej do ogniwa (ryc. 19.1). Faraday wkładał elektromagnes do wnętrza drugiej zwojnicy, podłączonej do amperomierza, i wyciągał go z tej zwojnicy. W obu przypadkach przez zwojnicę płynął prąd. Wzbudzanie prądu przez pole magnetyczne nazwano zjawiskiem **indukcji elektromagnetycznej**, a powstający prąd – **prądem indukcyjnym**.



Ryc. 19.1. Laboratorium Faradaya w Royal Institution w Londynie (a); schemat doświadczenia wykonanego przez Faradaya (b)

Warto jest powtórzyć doświadczenie Faradaya. Zamiast zwojnicy podłączonej do baterii jako źródło pola magnetycznego wykorzystamy magnes. Zwojnicę, w której widać kierunek nawijania zwojów, podłączamy do cyfrowego amperomierza (ryc. 19.2). Następnie poruszamy zwojnicą i magnesem względem siebie.

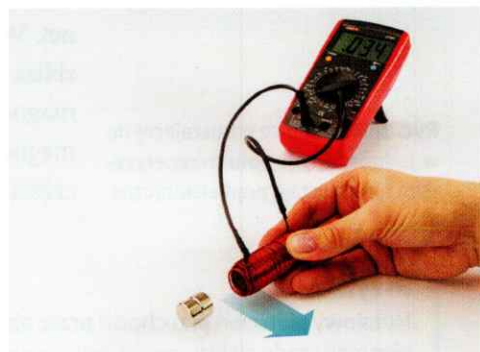
Amperomierz pokazuje, że prąd elektryczny powstaje zarówno wówczas, gdy porusza się magnes, jak i wtedy, gdy porusza się zwojnica. Im szybszy jest ruch względny magnesu i zwojnicy, tym większe jest natężenie prądu wskazywane przez amperomierz. Jeśli podczas zbliżania magnesu do zwojnicy przed wartością natężenia prądu miernik pokazuje znak „-”, to podczas oddalania magnesu od zwojnicy tego znaku nie ma. Oznacza to, że podczas zbliżania magnesu i zwojnicy prąd płynie w stronę przeciwną niż podczas ich oddalania. Prąd indukcyjny w zwojnicy powstanie również wówczas, gdy będziemy przesuwając zwojnicę prostopadłe do magnesu (ryc. 19.3).

Ramka w polu magnetycznym

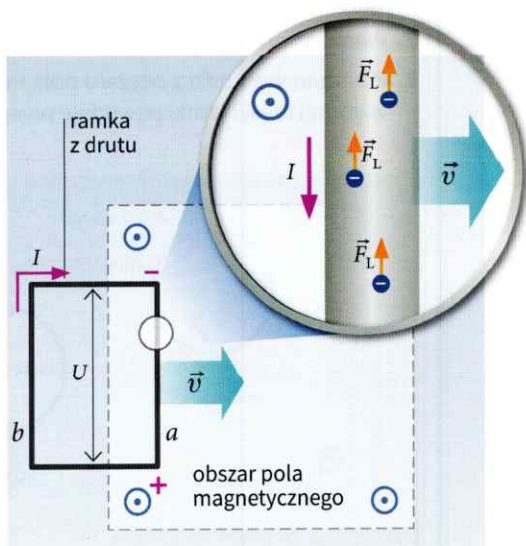
W tym rozdziale wyjaśnimy mechanizm powstawania prądu w wyniku ruchu zwojnicy względem nieruchomego magnesu. Zamiast całej zwojnicy pokazanej na rycinie 19.3 przeanalizujemy ruch jednej ramki z drutu. Załóżmy, że ramka ta wchodzi z pewną prędkością w obszar jednorodnego pola magnetycznego, prostopadłe do linii pola. Na każdy elektron znajdujący się w przewodzie poruszającym się w polu magnetycznym działa siła Lorentza, prostopadła do prędkości przewodu oraz do linii pola magnetycznego. Siła ta powoduje przemieszczanie się elektronów swobodnych (ryc. 19.4). Nadmiar elektronów w górnej części ramki i ich niedobór w dolnej powoduje powstanie pola elektrycznego,



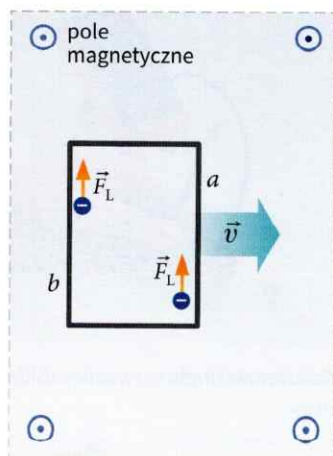
Ryc. 19.2. Wzbudzenie prądu w zwojnicy zbliżającej się do magnesu



Ryc. 19.3. Zwojnica porusza się w kierunku prostopadłym do osi magnesu



Ryc. 19.4. Mechanizm przesuwania elektronów w ramce wchodzącej w pole magnetyczne



Ryc. 19.5. W ramce poruszającej się w jednorodnym polu magnetycznym nie powstaje prąd elektryczny

wywołującego prąd w całej ramce. Wobec tego siła magnetyczna może być źródłem napięcia w obwodzie, tak jak ogniwo.

Gdy cała ramka znajdzie się w obszarze jednorodnego pola magnetycznego, siła magnetyczna działająca na elektrony w bokach a i b ramki będzie wymuszała ich obieg w przeciwnie strony, więc prąd w ramce nie powstanie (ryc. 19.5).

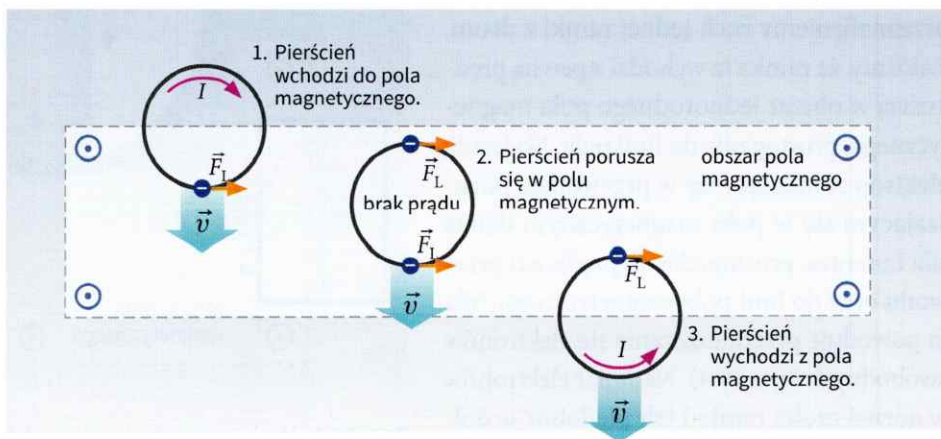
Powstawanie prądu w ramce poruszającej się prostopadle do linii pola magnetycznego jest prostym modelem, wyjaśniającym mechanizm indukcji elektromagnetycznej. W podobny sposób powstaje prąd, gdy zwojnica zbliża się do nieruchomego magnesu. W tej sytuacji pole magnetyczne obejmowane przez zwojnicę narasta. Siły magnetyczne działające na elektrony w poszczególnych częściach zwojnicy spowodują przepływ prądu.

Przykład 1.

Metalowy pierścień przechodzi przez obszar jednorodnego pola magnetycznego. Wyznamy kierunek prądu elektrycznego powstającego w pierścieniu podczas przechodzenia przez to pole.

Ruch pierścienia można podzielić na trzy etapy.

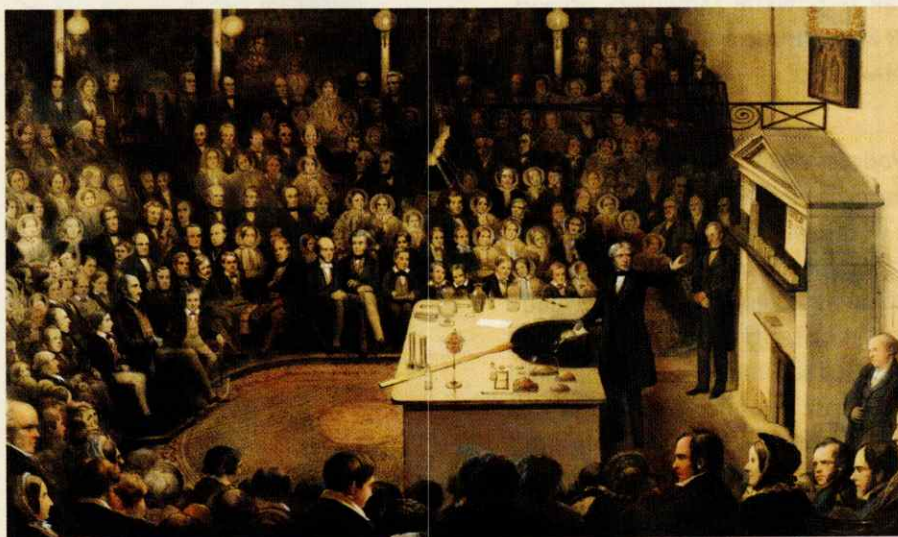
1. Pierścień wchodzi w obszar pola magnetycznego. Siła magnetyczna działająca na elektrony w dolnej części pierścienia powoduje ich ruch w prawo. Powstaje prąd elektryczny płynący zgodnie z ruchem wskazówek zegara.
2. Pierścień przechodzi przez obszar pola magnetycznego. Prąd nie płynie.
3. Pierścień wychodzi z obszaru pola magnetycznego. Siła Lorentza działająca na elektrony w górnej części ramki powoduje przepływ prądu przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.



WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Opodatkowane odkrycie Faradaya

The Royal Institution of Great Britain to brytyjskie stowarzyszenie naukowo-edukacyjne, którego głównym celem jest popularyzacja nauki. Jednym z członków tego stowarzyszenia był Michael Faraday. Uczony ten w roku 1825 zainicjował serię wykładów popularyzujących osiągnięcia naukowe. Anegdota mówi, że po jednym z wykładów do Faradaya podszedł minister odpowiedzialny za finanse rządu brytyjskiego i zapytał, co właściwie ludzkość będzie miała z odkrycia możliwości otrzymywania prądu w wyniku ruchu zwojnicy w polu magnetycznym. Faraday odparł, iż nie ma pojęcia, ale jest pewien, że praktyczne wykorzystanie tego zjawiska zostanie opodatkowane. Obecnie systemy energetyczne na całym świecie wykorzystują odkrycie Faradaya, a stawka podatku VAT dla indywidualnych odbiorców prądu w Polsce w roku 2020 wynosiła 23%.



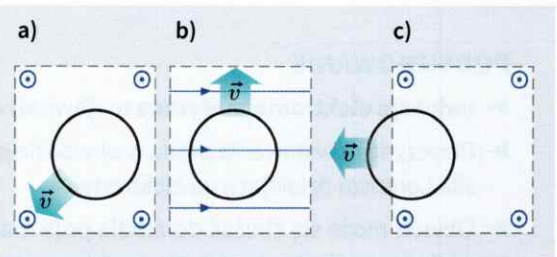
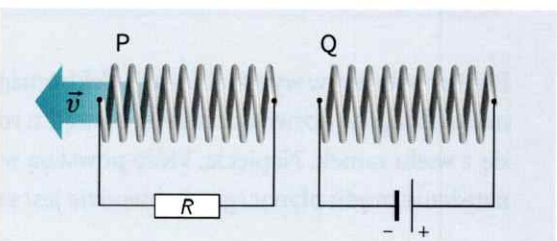
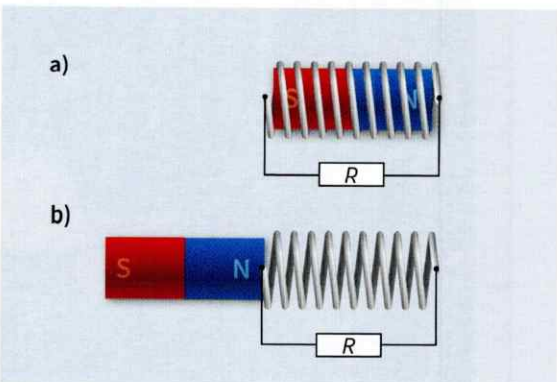
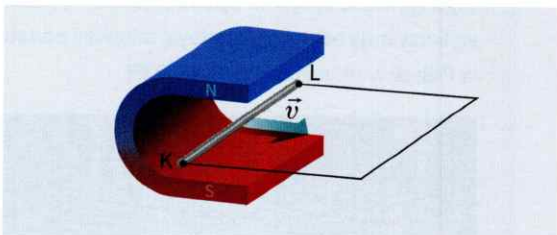
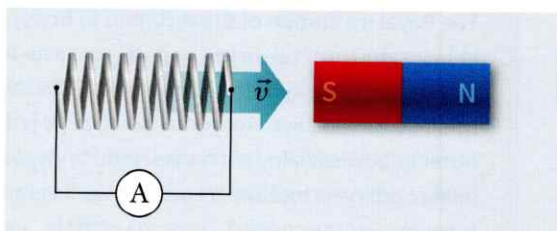
Prąd powstający w wyniku indukcji elektromagnetycznej w pojedynczej ramce jest bardzo mały, dlatego w doświadczeniu na początku rozdziału opisywaliśmy zwojnicę składającą się z wielu ramek. Napięcia, które powstają w każdej z ramek, dodają się, dzięki czemu natężenie prądu płynącego w obwodzie jest znacznie większe.

PODSUMOWANIE

- ▶ **Indukcja elektromagnetyczna** to zjawisko wzbudzania prądu przez pole magnetyczne.
- ▶ Przyczyną powstawania prądu w obwodzie poruszającym się w polu magnetycznym jest siła Lorentza działająca na elektrony.
- ▶ Obwód może się zbliżać do źródła pola magnetycznego lub też od niego oddalać. Im większa prędkość obrotu, tym większe natężenie powstającego w nim prądu.

PYTANIA I ZADANIA

1. Uczniowie zbliżali zwojnicę do magnesu. Za pierwszym razem prędkość zwojnicy była niewielka, a za drugim dużo większa. W której sytuacji w zwojnicy powstał prąd o większym natężeniu?
2. Przewód KL (ryc.) jest wyciągany z obszaru pola magnetycznego. Końce tego przewodu połączono ze sobą, tak że powstał zamknięty obwód. W którą stronę popłynie prąd w tym obwodzie?
3. Podczas doświadczeń ze zjawiskiem indukcji elektromagnetycznej jeden z uczniów stwierdził, że do wytworzenia prądu indukcyjnego wystarczy umieszczenie magnesu wewnątrz zwojnicy. Drugi uczeń zaproponował, żeby jednak umieścić ten magnes na zewnątrz zwojnicy. Czy w którymś z tych przypadków popłynie prąd indukcyjny? Uzasadnij odpowiedź.
4. Do końców zwojnicy P podłączony jest opornik, a końce zwojnicy Q są połączone z baterią. Zwojnica P oddala się od zwojnicy Q. Czy w zwojnicy P powstanie prąd indukcyjny? Uzasadnij odpowiedź.
5. W której z przedstawionych sytuacji w metalowym pierścieniu powstanie prąd indukcyjny? W każdej sytuacji pole magnetyczne jest jednorodne, a ruch pierścienia – jednostajny.





20. Indukcja elektromagnetyczna. Część 2.

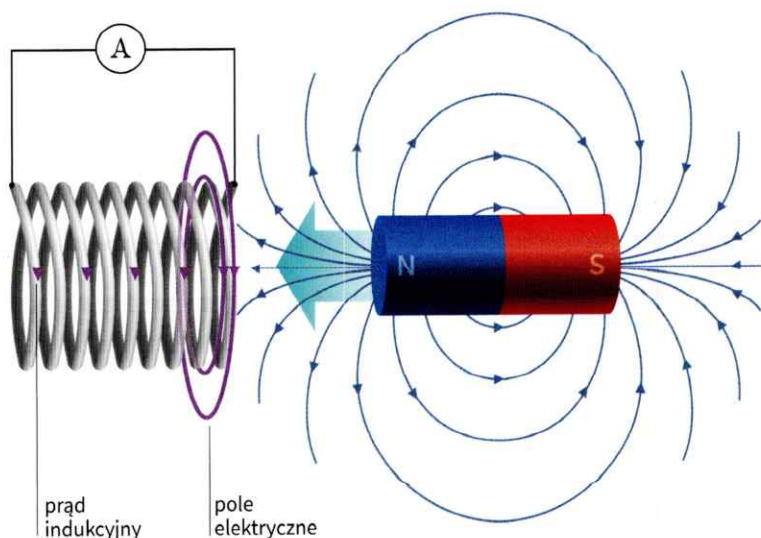
- Powstawanie prądu w nieruchomym obwodzie
- Fale elektromagnetyczne

Przypomnij sobie mechanizm powstawania prądu elektrycznego w wyniku indukcji elektromagnetycznej.

W poprzednim rozdziale omawialiśmy powstawanie prądu, gdy obwód porusza się względem pola magnetycznego. Teraz wyjaśnimy przyczyny powstawania prądu, gdy obwód jest nieruchomy, a zmienia się pole magnetyczne.

Powstawanie prądu w nieruchomym obwodzie

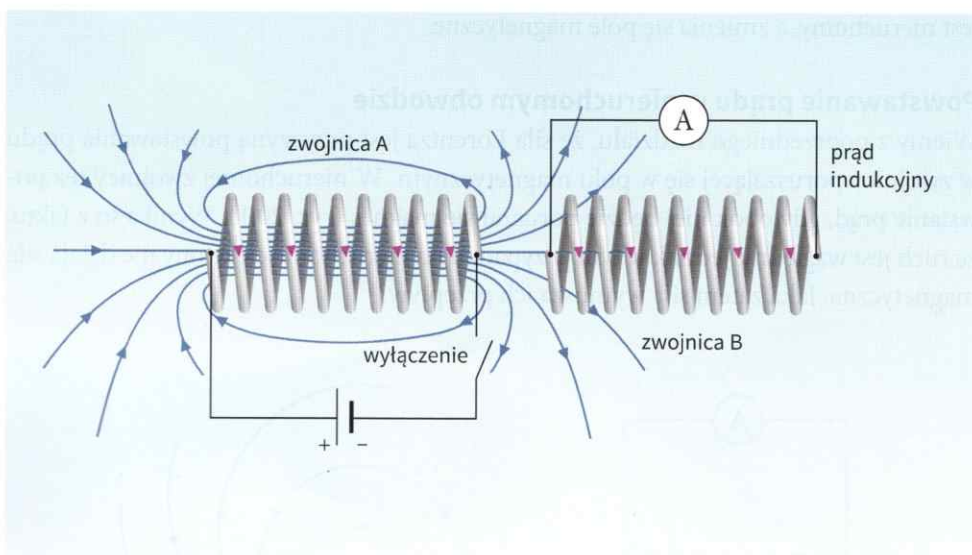
Wiemy z poprzedniego rozdziału, że siła Lorentza jest przyczyną powstawania prądu w zwojnicy poruszającej się w polu magnetycznym. W nieruchomej zwojnicy też powstanie prąd, gdy obok niej będzie poruszał się magnes (ryc. 20.1). Wynika to z faktu, że ruch jest względny. Jednak w tym przypadku na nieruchome elektrony nie działa siła magnetyczna. Jaka zatem siła wymusza ich przepływ?



Ryc. 20.1. Powstawanie prądu elektrycznego w wyniku zbliżania magnesu do zwojnicy. Zwojnica znajduje się w zmiennym polu magnetycznym

Okazuje się, że wokół zmiennego w czasie pola magnetycznego powstaje tzw. **wirowe pole elektryczne**. Jego linie tworzą okręgi prostopadłe do linii pola magnetycznego. Gdy to wirowe pole elektryczne obejmuje zwojnicę, powoduje w niej przepływ elektronów, czyli wzbudza prąd elektryczny.

Źródłem zmiennego pola magnetycznego może być elektromagnes i wówczas zwojnica oraz elektromagnes mogą być względem siebie w spoczynku. Spójrzmy na rycinę 20.2. Elektromagnes (zwojnica A) jest podłączony do baterii, więc jest źródłem pola magnetycznego. Obok ustawiamy zwojnicę B, do której podłączamy amperomierz. Gdy przez elektromagnes płynie stały prąd, to amperomierz włączony do obwodu zwojnicy B nie wskazuje przepływu prądu, gdyż nie zmienia się pole magnetyczne w jej wnętrzu. Dopiero wyłączenie prądu w elektromagniesie oznacza nagłą zmianę pola magnetycznego, gdyż pole po prostu zniknie. W tym momencie powstanie wirowe pole elektryczne, w którym zanurzona jest zwojnica B. W zwojnicy B wzbudzi się na chwilę prąd elektryczny.



Ryc. 20.2. Powstawanie prądu elektrycznego w wyniku zaniku pola magnetycznego

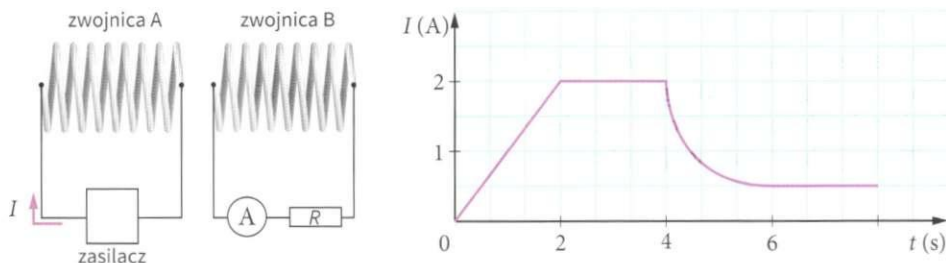
Prąd w zwojnicy B powstanie również wtedy, gdy włączymy prąd zasilający elektromagnes. Tym razem prąd popłynie w przeciwną stronę niż w przypadku pokazanym na rycinie 20.2. Zmiany prądu w elektromagniesie wywołują zmiany jego pola magnetycznego, co powoduje powstawanie prądu w zwojnicy B.

Podsumujmy wnioski uzyskane w tym i poprzednim rozdziale. Gdy pewna część obwodu porusza się w polu magnetycznym, prąd powstaje w wyniku działania siły Lorentza na elektrony. Gdy natomiast obwód się nie porusza, ale zmienia się pole magnetyczne, prąd zaczyna płynąć dzięki powstawaniu wirowego pola elektrycznego. W obydwu przypadkach **prąd powstaje wtedy, gdy zmienia się pole magnetyczne w obrębie obwodu**.

Przykład 1.

Dwie zwojnice ustawiono obok siebie. Zwojnica A jest podłączona do zasilacza, za pomocą którego można zmieniać natężenie płynącego w niej prądu. Do zwojnicy B podłączone są opornik oraz amperomierz, który pokazuje natężenie prądu indukcyjnego powstającego w zwojnicy. Na wykresie przedstawiono zależność natężenia prądu w zwojnicy A od czasu.

W których przedziałach czasu w zwojnicy B płynął prąd?



Prąd indukcyjny powstaje w zwojnicy B, gdy zmienia się obejmowane przez nią pole magnetyczne. Zmiana natężenia prądu w zwojnicy A wywołuje zmianę pola magnetycznego wokół niej. Wobec tego w zwojnicy B powstanie prąd indukcyjny, gdy zmieniać się będzie natężenie prądu w zwojnicy A. W czasie pierwszych dwóch sekund natężenie prądu w zwojnicy A rośnie, a zatem rośnie pole magnetyczne wewnątrz zwojnicy B, więc pojawia się w niej prąd indukcyjny. Od drugiej do czwartej sekundy nie zmienia się natężenie prądu w zwojnicy A, a zatem pole magnetyczne jest stałe i prąd w zwojnicy B nie płynie. Od czwartej do szóstej sekundy natężenie prądu maleje, zatem słabnie pole magnetyczne, więc w zwojnicy B płynie prąd, ale w stronę przeciwną niż poprzednio. Począwszy od szóstej sekundy, natężenie prądu w zwojnicy A, a więc i pole magnetyczne są stałe, zatem prąd w zwojnicy B nie płynie.

WIEDZIEĆ WIĘCEJ**Kuchenka indukcyjna**

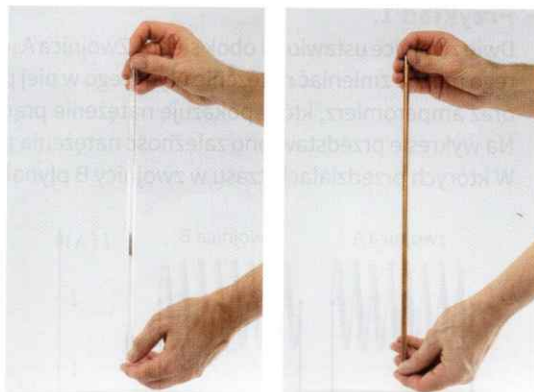
Pod szklanym blatem kuchenki indukcyjnej znajdują się zwoje, przez które przepływa prąd. Kierunek tego prądu może się zmieniać nawet 50 tysięcy razy na sekundę, więc jest źródłem zmiennego pola magnetycznego. Konstrukcja kuchenki sprawia, że obszar najsilniejszego pola obejmuje dno garnka. Powinno ono być wykonane z materiału ferromagnetycznego, gdyż wówczas pole magnetyczne wewnątrz niego będzie silniejsze. Zmienne pole magnetyczne wzbudza w dnie garnka prąd elektryczny, który powoduje jego ogrzewanie. Gdy na blacie kuchenki, nad włączoną spiralą z prądem, położymy dłoń, prąd, który powstanie w dłoni, będzie bardzo słaby, więc nic nie odczujemy.



Doświadczenie 1.

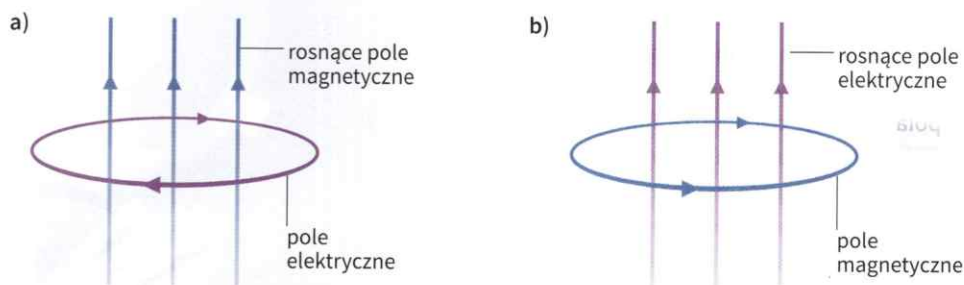
Do przeprowadzenia doświadczenia będą potrzebne dwie rurki – plastikowa i miedziana (lub aluminiowa) oraz magnes neodymowy mieszczący się w rurkach. Obie rurki należy ustawić pionowo, tak jak pokazano na fotografii.

Przepuść magnes najpierw przez jedną, a potem przez drugą rurkę. Porównaj ruch magnesu w obu rurkach. Wyjaśnij obserwowane zjawisko.

**Fale elektromagnetyczne**

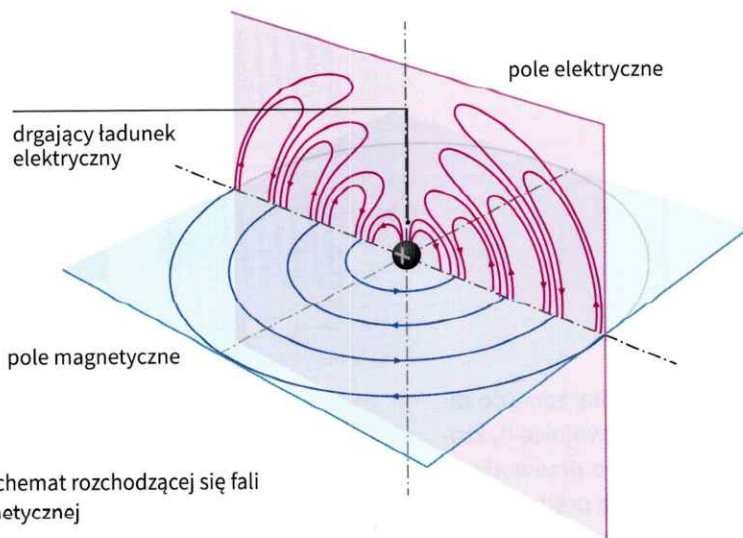
Związek między zjawiskami elektrycznymi oraz magnetycznymi w matematyczny sposób opisał w połowie XIX wieku szkocki uczony James Clerk Maxwell. Za pomocą równań udowodnił, że elektryczność i magnetyzm są w istocie dwoma rodzajami tego samego zjawiska – elektromagnetyzmu. Z równań Maxwella wynika, że związane ze sobą pola elektryczne i magnetyczne rozchodzą się w próżni z prędkością światła.

Gdy w pewnym miejscu przestrzeni wytworzymy zmienne w czasie pole magnetyczne, wokół tego pola powstanie wirowe pole elektryczne (ryc. 20.3a). Linie pola elektrycznego są prostopadłe do linii pola magnetycznego. Zaslugą Maxwella było odkrycie, że gdy w pewnym miejscu przestrzeni wytworzymy zmienne w czasie pole elektryczne, wokół jego linii powstanie wirowe pole magnetyczne (ryc. 20.3b). Do powstania pola magnetycznego nie potrzeba zatem prądu elektrycznego, wystarczy zmienne pole elektryczne. Linie pola magnetycznego są prostopadłe do linii pola elektrycznego.



Ryc. 20.3. a) Wokół zmiennego pola magnetycznego powstaje wirowe pole elektryczne. b) Wokół zmiennego pola elektrycznego powstaje wirowe pole magnetyczne

Wobec tego gdy w pewnym miejscu przestrzeni zmieni się pole elektryczne, natychmiast powstanie wokół jego linii wirowe pole magnetyczne. Wokół zmiennego pola magnetycznego powstanie z kolei wirowe pole elektryczne. W ten sposób w przestrzeni rozchodzi się ciąg związanych ze sobą wzajemnie pól magnetycznych i elektrycznych (o dość skomplikowanym kształcie), nazywany **falą elektromagnetyczną** (ryc. 20.4). Źródłem fali elektromagnetycznej jest każdy przyspieszający ładunek elektryczny, dlatego świat wokół nas wypełniony jest różnymi falami elektromagnetycznymi.



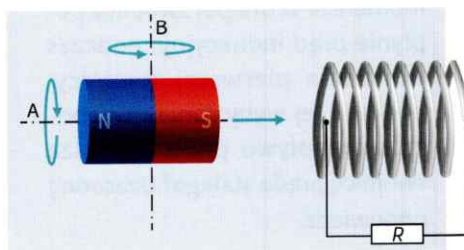
Ryc. 20.4. Schemat rozchodzącej się fali elektromagnetycznej

PODSUMOWANIE

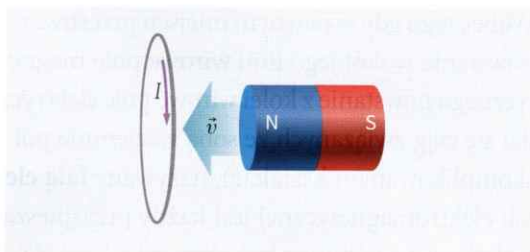
- Wokół zmiennego w czasie pola magnetycznego powstaje **wirowe pole elektryczne**.
- Wokół zmiennego w czasie pola elektrycznego powstaje **wirowe pole magnetyczne**.
- **Zjawisko indukcji elektromagnetycznej** może być wywołane zmianą natężenia prądu w elektromagnesie.
- **Fala elektromagnetyczna** to związane ze sobą pola magnetyczne i elektryczne, rozchodzące się w przestrzeni.

PYTANIA I ZADANIA

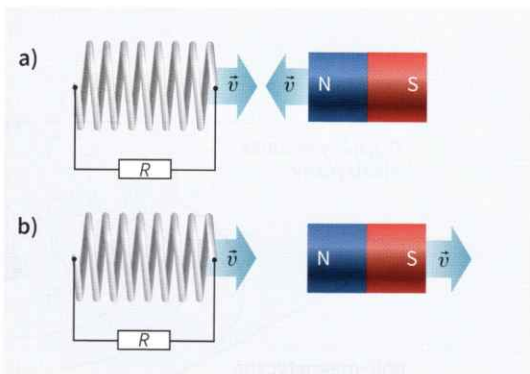
1. W pobliżu nieruchomej zwojnicy umieszczono magnes. Zapisz, w których przypadkach w zwojnicy powstanie prąd elektryczny.
 - a) Obrót magnesu wokół osi A.
 - b) Obrót magnesu wokół osi B.
 - c) Ruch wzdłuż osi A.
 Uzasadnij odpowiedź.



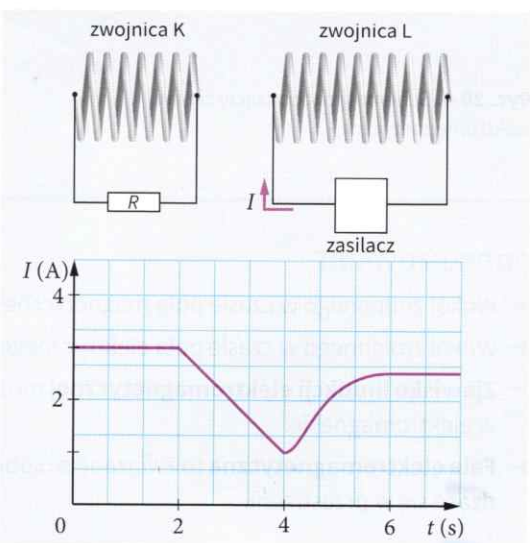
2. Podczas zbliżania magnesu do metalowego pierścienia płynie w nim prąd indukcyjny w stronę pokazaną na rysunku. W którą stronę będzie płynął prąd w pierścieniu, gdy magnes będzie się do niego zbliżał biegunem S?



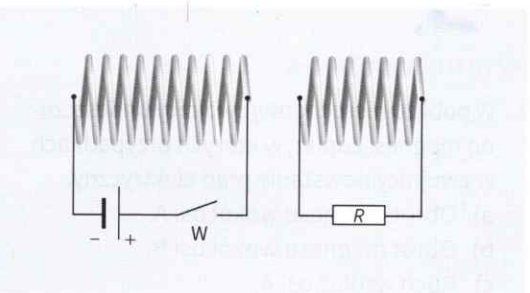
3. W której z sytuacji przedstawionych na rysunkach w zwojnicy zostanie wzbudzony prąd indukcyjny? Uzasadnij odpowiedź.



4. Obok zwojnicy L podłączonej do zasilacza ustawiono zwojnicę K, której końce połączono przewodem. Zależność natężenia prądu od czasu w zwojnicy L przedstawiono na wykresie. W których przedziałach czasu w zwojnicy K **nie** płynął prąd indukcyjny?



5. Obok siebie ustawiono dwie zwojnice. Do jednej z nich dołączono baterię, a do drugiej opornik. Za pomocą wyłącznika W można włączać i wyłączać prąd w zwojnicy podłączonej do baterii. W którym momencie w drugiej zwojnicy popłynie prąd indukcyjny: podczas włączania pierwszej zwojnicy, podczas jej wyłączenia czy podczas przepływu przez pierwszą zwojnicę prądu stałego? Uzasadnij odpowiedź.





21. Prądnicą

- Zasada działania prądnicy
- Przemiany energii w zjawisku indukcji elektromagnetycznej
- Odzyskiwanie energii elektrycznej

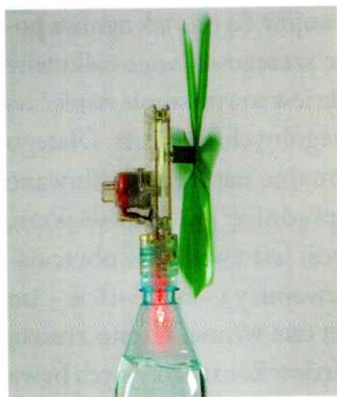
Przypomnij sobie zjawisko indukcji elektromagnetycznej.

Podczas podróży po Polsce można zobaczyć na polach obracające się wiatraki, które wytwarzają energię elektryczną. Oczywiście nie są to podstawowe źródła energii elektrycznej w naszym kraju, ale łatwe do zauważenia. Obracające się śmigła wiatraków napędzają prądnice, czyli urządzenia wykorzystujące zjawisko indukcji elektromagnetycznej do wytwarzania prądu.

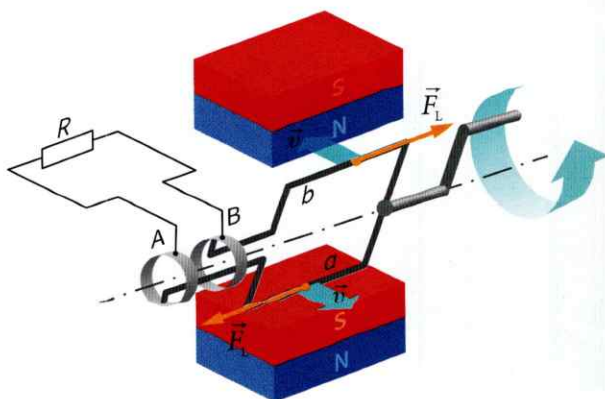
Zasada działania prądnicy

W sklepach z zabawkami można kupić minielektrownie wiatrowe do samodzielnego złożenia (ryc. 21.1). Gotowe urządzenie postawione na wietrze wytwarza prąd, dzięki któremu świeci dioda. Tak właśnie działają elektrownie wiatrowe. Podstawowym urządzeniem w każdej elektrowni jest prądnica.

Wiemy już, że prąd elektryczny powstaje w obwodach, gdy zwojnica i magnes poruszają się względem siebie. Prąd powstanie również wówczas, gdy zwojnica będzie obracać się w polu magnetycznym. Najprostszym modelem prądnicy jest ramka z drutu umieszczona w polu magnetycznym (ryc. 21.2). Ramka jest tak zamocowana, aby mogła się



Ryc. 21.1. Po skierowaniu strumienia powietrza na łopatkę wiatraka zaczyna świecić dioda

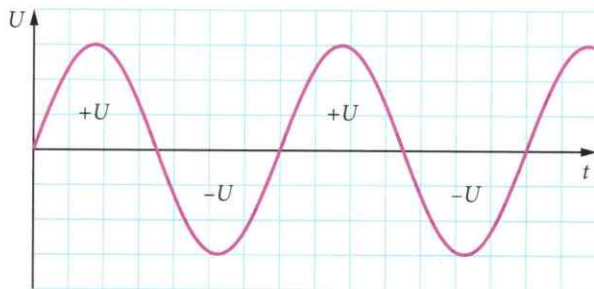


Ryc. 21.2. Model prądnicy

obracać wokół osi prostopadłej do linii pola magnetycznego. Obrót ramki wymuszany jest siłą zewnętrzną działającą na korbę. Do końców ramki przymocowane są metalowe pierścienie umożliwiające kontakt elektryczny z dołączonym obwodem.

Gdy bok b ramki będzie się od nas oddalał (jak na ryc. 21.2), siła Lorentza działająca na elektrony w tym boku ramki będzie przesuwająca je w prawo, natomiast siła działająca na elektrony w boku a – w lewo. W wyniku przesunięcia elektronów pomiędzy końcami ramki (zaciskami prądnicy) powstanie napięcie. Znak „ $-$ ” będzie przy zacisku A, gdyż w tę stronę przesuwane są elektrony, a przy zacisku B będzie wówczas ich niedomiar, czyli znak „ $+$ ”.

Gdy wskutek obrotu bok a ramki znajdzie się na górze, elektrony będą kierowane do zacisku B, więc tym razem będzie przy nim będzie znak „ $-$ ”. W praktyce zmiany napięcia zachodzą płynnie. Na rycinie 21.3 przedstawiono zależność napięcia na zaciskach prądnicy od czasu. Napięcie przeciwne oznacza, że „plus” i „minus” na zaciskach zamieniają się miejscami.



Ryc. 21.3. Zależność napięcia na zaciskach prądnicy od czasu



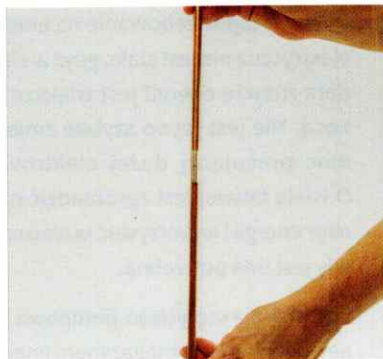
Ryc. 21.4. Zewnętrzna część prądnicy, która będzie używana w elektrowni

W rzeczywistych prądnicach obracający się element (wirnik) ma wiele zwojów. Są one jak ogniwa połączone szeregowo, więc całkowite napięcie jest równe sumie napięć na poszczególnych zwojach. Dlatego maksymalne napięcie uzyskiwane przez prądnicę jest tym większe, im więcej jest zwojów w obracającej się zwojnicy i – oczywiście – im szybciej ona wiruje. Często zresztą ze względów konstrukcyjnych bywa i tak, że zwojnica jest nieruchoma (ryc. 21.4), a wirującym elementem jest magnes.

Przemiany energii w zjawisku indukcji elektromagnetycznej

Gdy źródłem napięcia w obwodzie jest bateria, to ona „wytwarza” energię elektryczną, którą do odbiorników przenosi prąd. Źródłem energii elektrycznej jest w tym przypadku energia wiązań między cząsteczkami. Co jest źródłem energii elektrycznej, którą przenosi prąd indukcyjny?

Gdy zbliżamy magnes do zwojnicy, płynie w niej prąd elektryczny. Przekonują nas o tym wskazania amperomierza (ryc. 21.5a). Źródłem energii potrzebnej do wytworzenia prądu jest praca siły przesuwej magnesa.



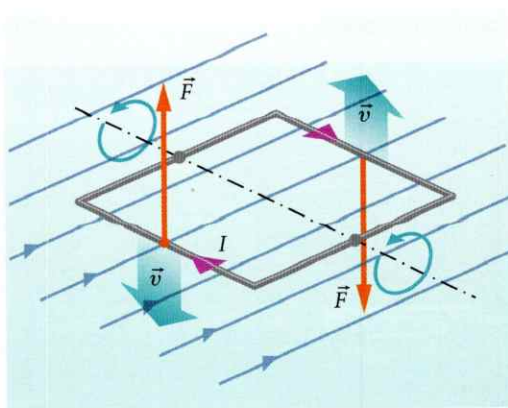
Ryc. 21.5. a) Powstawanie prądu indukcyjnego w zwojnicy podczas zbliżania magnesu. b) Hamowanie spadającego magnesu w miedzianej rurce

Gdy puścimy swobodnie magnes w miedzianej rurce (ryc. 21.5b), będzie spadał ze stałą prędkością. W tym przypadku maleje energia grawitacji magnesu, ale jego prędkość nie zwiększa się, zatem nie rośnie jego energia kinetyczna. Energia grawitacji podczas spadania zamienia się na energię powstającą wewnątrz rurki prądu indukcyjnego.

WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Czy prąd może powstać „za darmo”?

Jeśli w ramce obracającej się w polu magnetycznym płynie prąd, na jej boki działa siła elektrodynamiczna skierowana przeciwnie do prędkości jej ramion (ryc.). Siła ta hamuje obrót ramki. Aby mogła się ona ciągle obracać, na jej boki muszą działać siły zewnętrzne równoważące siłę elektrodynamiczną. Energia elektryczna, jak każda inna, nie może być uzyskana „za darmo”.



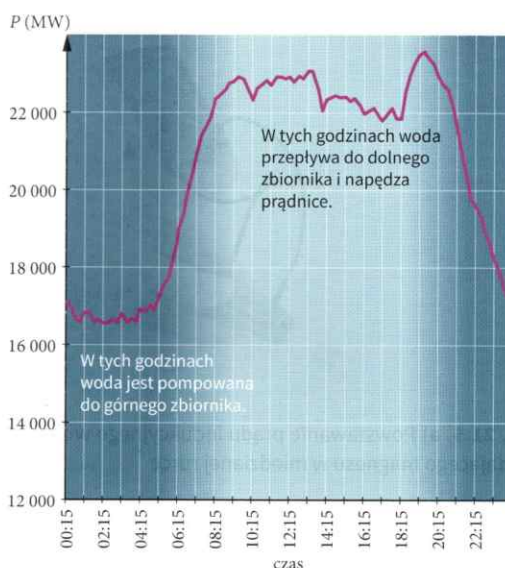
Do poruszania wirników prądnic potrzebna jest energia. Jej źródła mogą być różne. W niedużej prądniccy rowerowej jest to praca naszych mięśni. W samochodach prądnicę napędza silnik spalinowy. W elektrowniach wodnych wykorzystuje się energię grawitacji wody, która spadając, porusza wirniki prądnic. Elektrownie wiatrowe wykorzystują energię kinetyczną wiatru. W elektrowniach konwencjonalnych wykorzystuje się część energii wewnętrznej paliwa.

WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Elektrownia szczytowo-pompowa

Dobowe zapotrzebowanie na energię elektryczną nie jest stałe, gdyż w ciągu dnia zużycie energii jest większe niż nocą. Nie jest łatwo szybko zmienić moc pracującej dużej elektrowni. O wiele łatwiej jest zgromadzić nadmiar energii i wykorzystać ją wówczas, gdy jest ona potrzebna.

Elektrownia szczytowo-pompowa jest pewnego rodzaju magazynem energii. Taka elektrownia ma dwa zbiorniki wodne: górny służy do gromadzenia wody podczas mniejszego zapotrzebowania na energię, a dolny jest rezerwuarem wody. Turbiny mogą tu odgrywać rolę pomp. Gdy przez prądnicę przepuszczamy prąd elektryczny, stają się one silnikami elektrycznymi napędzającymi pompy, a podczas przepływu wody z górnego zbiornika do dolnego stają się turbinami napędzającymi prądnicę.



Dobowe zmiany zapotrzebowania na moc w Polsce

Największą w Polsce elektrownią tego typu jest elektrownia wodna Żarnowiec. Jej moc podczas pompowania wody do górnego zbiornika jest równa 800 MW, a podczas wytwarzania energii elektrycznej wynosi 700 MW.



Odzyskiwanie energii elektrycznej

Podczas klasycznego hamowania za pomocą hamulców energia kinetyczna pojazdu zamienia się w ciepło. Sposobem na ograniczenie zużycia energii w transporcie jest rekuperacja, czyli odzyskiwanie energii w trakcie hamowania pojazdów (ryc. 21.6).



Ryc. 21.6. Pociąg podmiejski wykorzystujący odzyskiwanie energii kinetycznej

Do tego celu wykorzystuje się fakt, że budowa silnika elektrycznego i prądnicy jest bardzo podobna. Podczas rozpędzania pojazdu pod wpływem przyłożonego napięcia przez uzwojenia silników przepływa prąd elektryczny. Gdy pojazd hamuje, źródło napięcia jest odłączane i silnik staje się prądnicą, która zamienia energię kinetyczną obracających się kół w energię elektryczną. Powstający w prądnicę prąd może służyć do ładowania akumulatorów lub kondensatorów, a w przypadku pojazdów szynowych może być kierowany do sieci trakcyjnej. W niektórych sytuacjach system taki pozwala na zaoszczędzenie nawet 25% zużywanej energii. Zapewnienie rekuperacji energii w pojazdach wymaga stosowania dość skomplikowanych układów elektronicznych sterowania. Również zdobywające coraz większą popularność samochody elektryczne i hybrydowe są wyposażane w systemy pozwalające odzyskiwać część zużytej energii.

PODSUMOWANIE

- ▶ **Prądnica** to urządzenie wytwarzające napięcie elektryczne dzięki pracy siły zewnętrznej.
- ▶ Na końcach ramki wirującej w polu magnetycznym powstaje napięcie.
- ▶ Praca wykonana przy obrocie wirnika prądnicy jest źródłem energii elektrycznej.

PYTANIA I ZADANIA

1. Czy obrót ramki prądnicy, której zaciski nie są podłączone do odbiornika, wymaga większej czy mniejszej siły, niż gdy prądnica zasila jakieś urządzenie? Uzasadnij odpowiedź.
2. Wewnątrz piasty niektórych kół w rowerach umieszcza się prądnice pozwalające na uzyskanie energii elektrycznej niezbędnej do oświetlenia roweru. Czy jazda takim rowem z włączonym oświetleniem wymaga większego wysiłku niż jazda bez oświetlenia? Uzasadnij odpowiedź.
3. Czy jest możliwe zaprojektowanie układu, który będzie odzyskiwał ponad 100% energii kinetycznej jadącego pojazdu? Uzasadnij odpowiedź.
4. Dlaczego podczas słabego wiatru elektrownie wiatrowe mają mniejszą moc niż podczas silnego wiatru?
5. Michał zbudował prądnice, w której oś obrotu ramki była równoległa do linii pola magnetycznego. Czy taka prądnica wytworzy napięcie? Uzasadnij odpowiedź.

22. Prąd przemienny

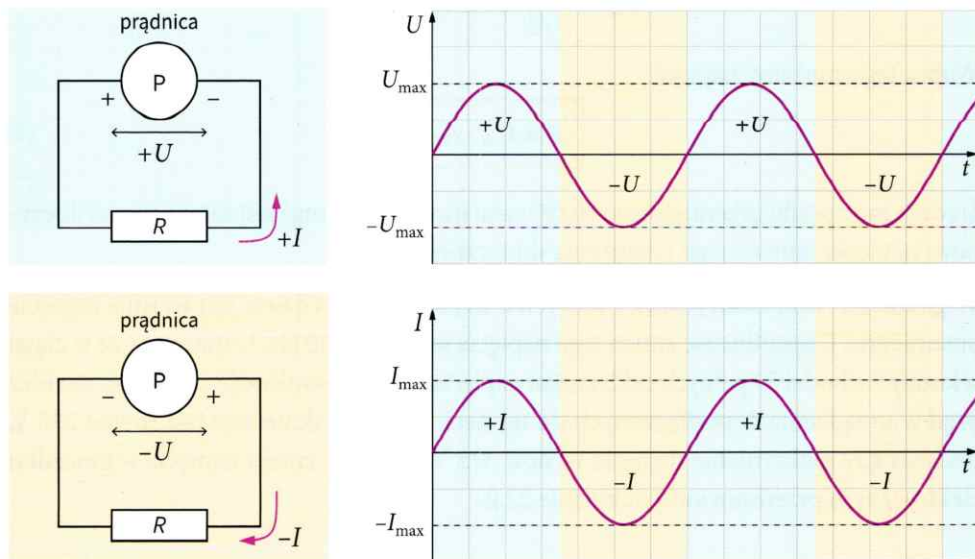
- Prąd przemienny
- Dane znamionowe

Przypomnij sobie zjawisko indukcji elektromagnetycznej oraz definicję mocy prądu elektrycznego.

Powstały w prądnicy prąd elektryczny ma nieco inne cechy niż prąd, którego źródłem jest bateria. W tym rozdziale wyjaśnimy podstawowe właściwości prądu przemiennego.

Prąd przemienny

Napięcie elektryczne wytwarzane na zaciskach prądnicy opisanej w poprzednim rozdziale jest nazywane **napięciem przemiennym**. Prąd płynący w obwodzie zasilanym takim źródłem jest **prądem przemiennym**. Na rycinie 22.1 przedstawiono schemat obwodu z prądnicą prądu przemiennego jako źródłem napięcia. Zgodnie z prawem Ohma natężenie prądu płynącego przez opornik jest wprost proporcjonalne do przyłożonego napięcia. Stąd wynika, że zależności napięcia i natężenia prądu od czasu są podobne.



Ryc. 22.1. Schemat obwodu z prądnicą prądu przemiennego oraz wykresy zależności napięcia na zaciskach prądnicy i natężenia prądu w obwodzie od czasu

Na wykresie napięcie traktujemy jako dodatnie, gdy lewy zacisk prądnicy z rysunku ma wyższy potencjał (znak „+”). Prąd, którego przepływ spowodowany jest takim napięciem, ma dodatnie natężenie. Jednak po chwili drugi zacisk prądnicy zaczyna mieć wyższy potencjał (napięcie jest przeciwne), więc prąd płynie w drugą stronę, co oznaczamy jako „-I”. Natężenie prądu w odbiorniku osiąga pewną wartość maksymalną $I_{\max}$ (ryc. 22.1), po czym maleje do zera, aby ponownie osiągnąć wartość maksymalną, choć tym razem prąd płynie w przeciwną stronę. Moc wydzielona na odbiorniku nie zależy od kierunku prądu, ale zależy od jego natężenia i napięcia:

$$P = U \cdot I$$

Ze wzoru tego wynika, że jeśli zmienia się napięcie lub natężenie prądu, to zmienia się również moc. Okres zmian napięcia i natężenia prądu prądu przemiennego jest taki sam jak okres obrotu wirnika prądnicy, więc jest bardzo krótki. Prądnica natomiast zasila urządzenia zwykle przez dłuższy czas, dlatego interesuje nas średnia moc prądu przemiennego, czyli stosunek wydzielonej energii do czasu, gdy czas pracy urządzenia jest znacznie dłuższy od okresu zmian prądu.

Okazuje się, że średnią moc prądu przemiennego można wyrazić następująco:

$$P = \frac{U_{\max} \cdot I_{\max}}{2} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Pierwszy czynnik w powyższym wzorze nazywamy napięciem skutecznym, drugi – natężeniem skutecznym:

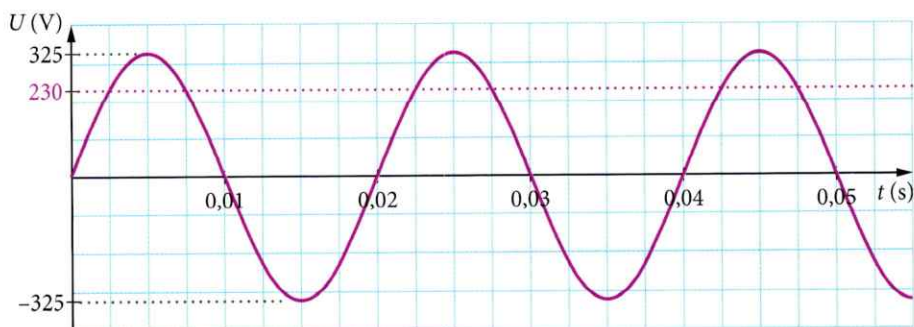
$$U_{\text{sk}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \text{ oraz } I_{\text{sk}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Wobec tego możemy napisać:

$$P = U_{\text{sk}} \cdot I_{\text{sk}} \quad (1)$$

Średnia moc prądu przemiennego (nazywana mocą skuteczną) jest zatem równa iloczynowi napięcia skutecznego i natężenia skutecznego.

W gniazdach sieci elektrycznej, z których korzystamy na co dzień, jest właśnie napięcie przemienne. Częstotliwość zmian tego napięcia jest równa 50 Hz. Oznacza to, że w ciągu sekundy zachodzi 50 pełnych cykli zmian napięcia. Taką częstotliwość zmian ma również prąd w urządzeniach podłączonych do tej sieci. Napięcie skuteczne jest równe 230 V, podczas gdy maksymalne napięcie wynosi 325 V. Przebieg zmian napięcia w gniazdku elektrycznym przedstawiono na rycinie 22.2.

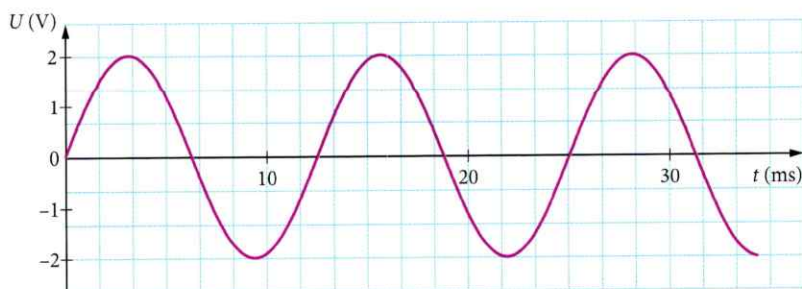


Ryc. 22.2. Wykres zależności napięcia w gniazdku elektrycznym od czasu

Przykład 1.

Na wykresie przedstawiono zależność napięcia na zaciskach pewnej prądnicy od czasu. Do prądnicy podłączono odbiornik o oporze 7Ω .

Na podstawie wykresu wyznaczmy: częstotliwość zmian napięcia, napięcie skuteczne oraz moc wydzieloną na odbiorniku.



Z wykresu odczytujemy, że czas dwóch pełnych okresów zmian wynosi 25 ms, stąd okres zmian napięcia jest równy 12,5 ms. Częstotliwość obliczymy ze wzoru:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{12,5 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 80 \text{ Hz}$$

Maksymalne napięcie jest równe 2 V, zatem napięcie skuteczne wynosi:

$$U_{\text{sk}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}} = \frac{2 \text{ V}}{\sqrt{2}} \approx 1,4 \text{ V}$$

Aby obliczyć moc prądu wydzieloną w odbiorniku, najpierw wyznaczmy z prawa Ohma natężenie skuteczne:

$$I_{\text{sk}} = \frac{U_{\text{sk}}}{R} = \frac{1,4 \text{ V}}{7 \Omega} = 0,2 \text{ A}$$

Po podstawieniu danych do wzoru (1) otrzymamy moc:

$$P = 1,4 \text{ V} \cdot 0,2 \text{ A} = 0,28 \text{ W}$$

Mierniki elektryczne (np. woltomierz, amperomierz) podłączone do obwodu prądu przemiennego wskazują wartości skuteczne mierzonych wielkości. Również informacje podane w instrukcjach obsługi lub na tabliczkach znamionowych, dotyczące napięć i natężeń prądów przepływających przez urządzenia elektryczne, dotyczą ich wartości skutecznych.

Dane znamionowe urządzeń elektrycznych

Do każdego urządzenia elektrycznego, z którym mamy do czynienia na co dzień, jest przymocowana tabliczka znamionowa. Tabliczka ta zawiera podstawowe dane techniczne urządzenia. Można się z niej dowiedzieć, kto jest producentem tego urządzenia oraz jaki jest numer seryjny produktu. Jest też informacja o spełnieniu wymagań Unii Europejskiej. Na rycinie 22.3 przedstawiono tabliczkę znamionową odkurzacza.



Ryc. 22.3. Tabliczka znamionowa odkurzacza

Na tabliczce znamionowej zapisano, jakie powinno być napięcie skuteczne zasilania, aby urządzenie pracowało prawidłowo. Jest to tak zwane **napięcie znamionowe**. Podane w tym przypadku 230 V jest napięciem znamionowym. Symbol falki przy tej wartości oznacza, że jest to napięcie przemiennne. 50 Hz to częstotliwość zmian napięcia. Na tabliczce zapisana jest również **moc znamionowa** odkurzacza, która zostanie osiągnięta, gdy urządzenie będzie podłączone do napięcia znamionowego.

Czasami producenci podają przedział wartości napięć dla danego urządzenia (np. 220 V – 240 V). Taki zapis oznacza, że nie trzeba się przejmować niewielkimi, kilkuprocentowymi zmianami napięcia w domowej instalacji elektrycznej, zachodzącymi wtedy, gdy w wyniku włączenia lub wyłączenia innego odbiornika o dużej mocy zmienia się natężenie prądu w sieci. Takie zmiany napięcia nie wpływają negatywnie na funkcjonowanie danego urządzenia.

Przykład 2.

Na ilustracji przedstawiono tabliczkę znamionową wentylatora elektrycznego. Na podstawie danych z tej tabliczki obliczmy natężenie skuteczne prądu zasilającego wentylator podczas jego pracy.

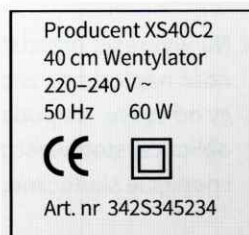
Wentylator jest przeznaczony do pracy pod napięciem 230 V. Takie napięcie jest stosowane w Unii Europejskiej (znaczek CE). Zakres 220 V–240 V podany przez producenta oznacza, że niewielkie wahania napięcia w sieci nie mają znaczącego wpływu na działanie urządzenia oraz jego moc. Zakładamy więc, że napięcie, do którego podłączamy wentylator, jest równe 230 V i przy takim napięciu moc urządzenia jest równa 60 W. Aby obliczyć natężenie prądu, skorzystamy z przekształconego wzoru na moc:

$$I_{sk} = \frac{P}{U_{sk}}$$

Po podstawieniu danych do wzoru otrzymamy:

$$I_{sk} = \frac{60 \text{ W}}{230 \text{ V}} \approx 0,26 \text{ A}$$

Natężenie skuteczne prądu zasilającego wentylator wynosi ok. 0,26 A.

**PODSUMOWANIE**

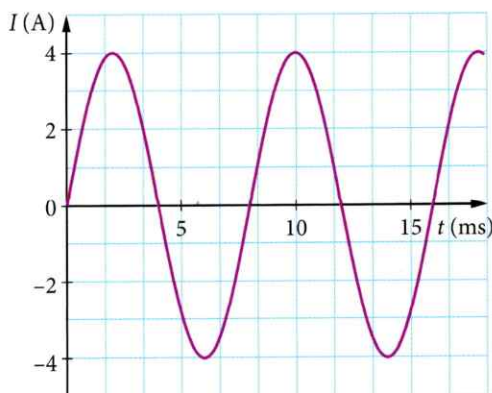
- ▶ Napięcie powstające na zaciskach prądnicy jest **napięciem przemiennym**.
- ▶ W odbiornikach podłączonych do napięcia przemiennego płynie **prąd przemienny**.
- ▶ Średnia **moc prądu przemiennego** jest iloczynem napięcia i natężenia skutecznego.

$$P = U_{sk} I_{sk}$$

- ▶ **Napięcie znamionowe** to napięcie, przy którym dane urządzenie pracuje prawidłowo.

PYTANIA I ZADANIA

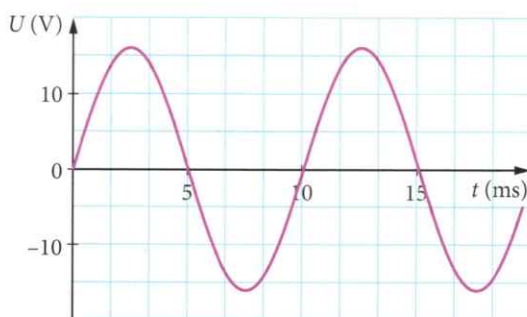
1. Na opakowaniu lampy LED znajduje się napis: MIO LED 4W GU10-WW 220–240 V~ 300 lm. Na podstawie zapisanych informacji podaj moc i napięcie znamionowe lampy.
2. Na wykresie przedstawiono zależność natężenia prądu przepływającego przez opornik o oporze 60 Ω od czasu. Oblicz natężenie skuteczne tego prądu oraz jego częstotliwość.



3. Woltomierz podłączono do źródła napięcia przemiennego, a wynik pomiaru napięcia przedstawiono na zdjęciu. Na podstawie wyniku tego pomiaru zapisz napięcie skuteczne oraz napięcie maksymalne tego źródła.



4. Na wykresie przedstawiono zależność napięcia na zaciskach prądnicy od czasu. Na podstawie wykresu oblicz częstotliwość zmian napięcia i napięcie skuteczne.



5. W domowej instalacji elektrycznej zamontowano bezpiecznik, na którym znajduje się napis: 230 V~ L16A. Jaką największą moc może mieć urządzenie włączone do instalacji zabezpieczonej takim bezpiecznikiem?



23. Transformator, sieci energetyczne

- Budowa i zasada działania transformatora
- Zastosowanie transformatorów
- Sieci energetyczne

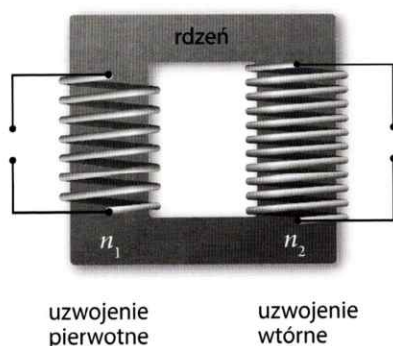
Przypomnij sobie wiadomości o polu magnetycznym prądu, indukcji elektromagnetycznej oraz prądzie przemiennym.

Dlaczego tak powszechne jest stosowanie prądu przemiennego, a nie stałego? Okazuje się, że ma on wiele zalet. Jedną z najważniejszych jest łatwość zmiany przemiennego napięcia elektrycznego. Do tego celu służy urządzenie zwane transformatorem.

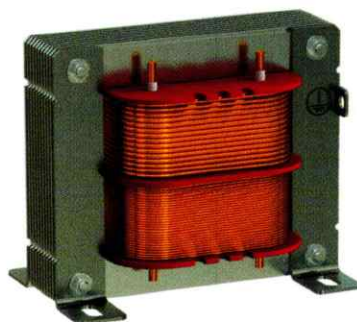
Budowa i zasada działania transformatora

Transformator składa się z dwóch (lub więcej) zwojnic (uzwojeń) umieszczonych na wspólnym ferromagnetycznym rdzeniu. Uzwojenie, które podłączamy do źródła napięcia, nazywamy pierwotnym, a drugie, do którego podłączony jest odbiornik prądu – wtórny (ryc. 23.1). Uzwojenia są od siebie odizolowane elektrycznie. Podstawą działania transformatora jest istnienie wspólnego pola magnetycznego, którego linie przechodzą przez obie zwojnice. Zapewnia to rdzeń tworzący zamkniętą pętlę, który można łatwo namagnesować i roznamagnesować. Pole magnetyczne w rdzeniu wytwarzają prądy elektryczne płynące w obu zwojnicach.

a)

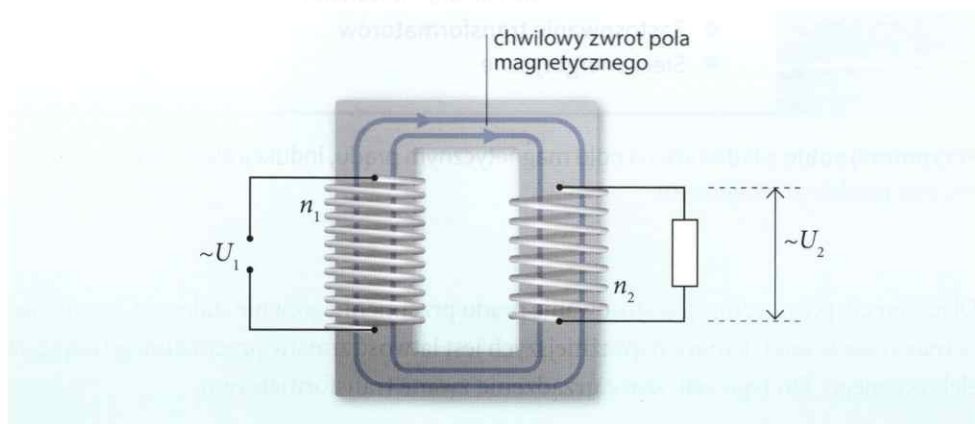


b)



Ryc. 23.1. a) Schemat budowy transformatora. b) Fotografia transformatora, widoczne są fragmenty uzwojeń

Gdy uzwojenie pierwotne transformatora podłączymy do źródła napięcia przemiennego, płynący w nim prąd wytworzy w rdzeniu pole magnetyczne (ryc. 23.2). To pole będzie się zmieniać, gdyż prąd płynący przez uzwojenie pierwotne zmienia zarówno swoje natężenie, jak i swój kierunek.



Ryc. 23.2. Schemat działania transformatora

Zmienne pole magnetyczne w rdzeniu spowoduje, że w wyniku indukcji elektromagnetycznej na zaciskach uzwojenia wtórnego pojawi się również napięcie przemiennne. Pole magnetyczne jest takie samo w całym rdzeniu, dlatego w każdym zwoju powstanie takie samo napięcie U (napięcie w uzwojeniu wtórnym powstaje w wyniku zjawiska indukcji elektromagnetycznej, natomiast prąd w uzwojeniu pierwotnym jest konsekwencją napięcia źródła oraz zjawiska indukcji). Zwoje są połączone szeregowo, więc całkowite napięcie na końcach uzwojenia pierwotnego jest równe:

$$U_1 = n_1 \cdot U$$

Analogicznie dla uzwojenia wtórnego:

$$U_2 = n_2 \cdot U$$

Uzwojenie pierwotne jest podłączone do źródła zasilania, więc napięcie na uzwojeniu pierwotnym jest równe napięciu źródła.

Z powyższych wzorów można ustalić stosunek napięć na uzwojeniach transformatora:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

gdzie:

U_1 i U_2 – napięcia na uzwojeniu pierwotnym i wtórnym,

n_1 i n_2 – liczba zwojów uzwojenia pierwotnego i wtórnego.

Z tego wzoru wynika, że gdy uzwojenie wtórne ma więcej zwojów od uzwojenia pierwotnego, transformator podwyższa napięcie. W przypadku przeciwnym – obniża.

Przykład 1.

Transformator, który obniża napięcie z 230 V do 24 V, ma w uzwojeniu wtórnym 180 zwojów. Obliczmy liczbę zwojów w uzwojeniu pierwotnym tego transformatora.

Korzystamy ze wzoru (1) i po przekształceniu go do odpowiedniej postaci otrzymujemy, że liczba zwojów w uzwojeniu pierwotnym jest równa:

$$n_1 = n_2 \frac{U_1}{U_2} = 180 \cdot \frac{230 \text{ V}}{24 \text{ V}} = 1725$$

Transformator opisany w przykładzie ma 1725 zwojów w uzwojeniu pierwotnym.

Jak będzie działał transformator podłączony do napięcia stałego? W takiej sytuacji pole magnetyczne w rdzeniu się nie zmienia, zatem w uzwojeniu wtórnym nie wzbudzi się prąd. Napięcie na uzwojeniu wtórnym będzie równe zero.

Przemiany energii w transformatorze

Do uzwojenia wtórnego podłączamy odbiornik. Zacznie on pobierać energię, którą przekazuje prąd w uzwojeniu pierwotnym poprzez pole magnetyczne w rdzeniu. Konstrukcja transformatora sprawia, że straty energii podczas tych przemian są do pominięcia. Wobec tego moc dostarczana do uzwojenia pierwotnego jest równa mocy odbieranej z uzwojenia wtórnego:

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

Przykład 2.

Do transformatora, który obniża napięcie z 230 V do 12 V, podłączono odkurzacz samochodowy o mocy 60 W. Obliczmy natężenie prądu w uzwojeniu wtórnym i pierwotnym.

Natężenie prądu w uzwojeniu wtórnym jest takie samo jak prądu płynącego przez odkurzacz, zatem:

$$I_2 = \frac{P}{U_2} = \frac{60 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 5 \text{ A}$$

Zakładamy, że w transformatorze nie ma strat energii, czyli:

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

Po przekształceniu otrzymujemy:

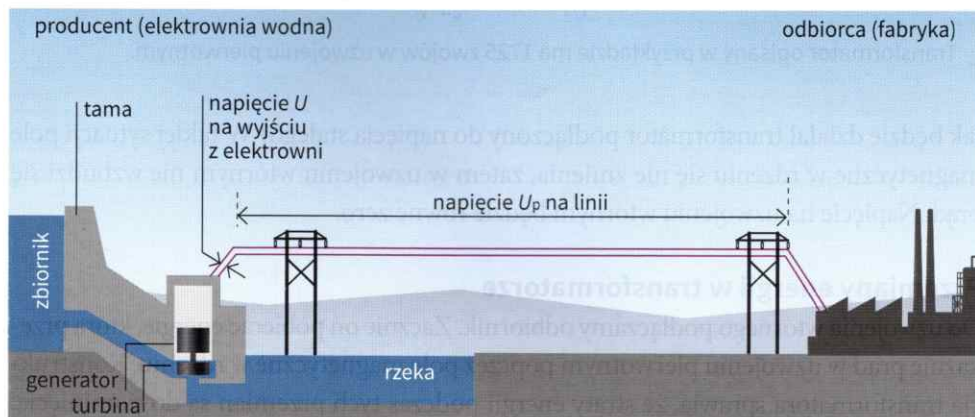
$$I_1 = \frac{U_2}{U_1} \cdot I_2 = \frac{12 \text{ V}}{230 \text{ V}} \cdot 5 \text{ A} \approx 0,26 \text{ A}$$

Natężenie prądu w uzwojeniu wtórnym jest równe 5 A, zaś w pierwotnym wynosi ok. 0,26 A.

Zastosowanie transformatorów

Nieodłącznym elementem krajobrazu w krajach uprzemysłowionych są linie wysokiego napięcia. Za pomocą tych linii dostarcza się energię elektryczną z elektrowni do odbiorców. Napięcia między poszczególnymi przewodami tych linii są naprawdę wysokie, wynoszą nawet kilkaset tysięcy voltów. Dlaczego do przesyłania energii elektrycznej używa się tak niebezpiecznych napięć? Okazuje się, że im wyższe napięcie, tym mniejsze

straty energii podczas jej przesyłania. Rycina 23.3 przedstawia schemat przesyłania energii elektrycznej z elektrowni do odbiorcy. Zwróćmy uwagę, że czym innym jest napięcie na końcach linii przesyłowej, a czym innym – napięcie między przewodami wychodzącymi z elektrowni. Napięcie U między przewodami może być rzędu wielu tysięcy woltów, a napięcie U_p na linii, wynikające z oporu przewodów, powinno być jak najmniejsze.



Ryc. 23.3. Schemat przesyłania energii z elektrowni do odbiorcy



Ryc. 23.4.
Transformator
zamocowany
na słupie
energetycznym

Natężenie prądu w przewodach linii wysokiego napięcia zależy od tego, jak duża moc jest przesyłana do odbiorcy:

$$I = \frac{P}{U}$$

gdzie:

P – moc przesyłana do odbiorcy,

U – napięcie między przewodami wychodzącymi z elektrowni.

Wobec tego im wyższe napięcie jest zastosowane do przesyłania energii, tym mniejsze jest natężenie prądu.

Moc P_c wydzielającą się w postaci ciepła w przewodach linii wysokiego napięcia można obliczyć ze wzoru:

$$P_c = U_p \cdot I$$

gdzie U_p – napięcie na końcach przewodów. Napięcie to można obliczyć z prawa Ohma:

$$U_p = I \cdot R$$

gdzie R – opór elektryczny przewodów.

Im mniejsze jest natężenie prądu, tym mniej ciepła wydziela się na przewodach, a zatem mniejsze są straty energii podczas jej przesyłania do odbiorcy. Oczywiście wysokie napięcie jest bardzo niebezpieczne dla użytkownika energii elektrycznej, stąd konieczność jego obniżenia przed skierowaniem tej energii do naszych mieszkań. Do podwyższania oraz obniżania napięcia w sieci energetycznej służą właśnie transformatory (ryc. 23.4).

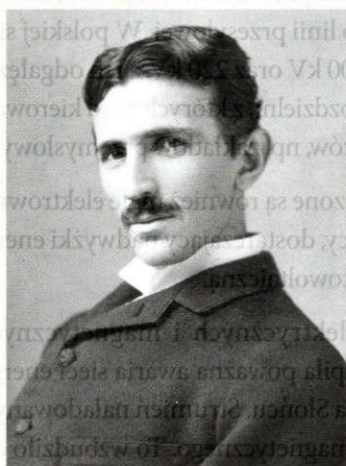
WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Wojna o prąd

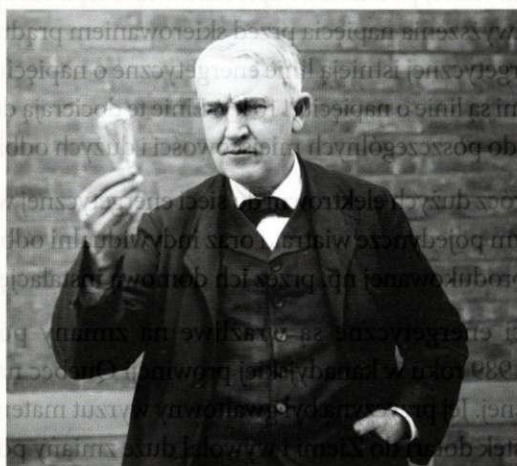
Wiek XIX był wiekiem pary, ale jego końcówka była etapem przejścia do ery elektryczności. O szybkim rozwoju elektryczności zdecydowało dwóch wynalazców – Thomas Alva Edison oraz Nikola Tesla. Pierwszy z nich był tytanem pracy twierdzącym, że geniusz to 1% natchnienia i 99% wypocenia. W każdym wynalazku widział pieniądze, które można zarobić dzięki jego sprzedaży. Drugi był raczej genialnym idealistą, obdarzonym nadzwyczajnym darem wizualizacji swoich pomysłów.

Tesla, początkowo zafascynowany Edisonem, zatrudnił się w jego firmie. Jednak ich drogi się rozeszły, gdy Edison odmówił zapłaty za udoskonalenie, którego dokonał Tesla w urządzeniach produkowanych przez tę firmę. Dalszy konflikt był podsycany przez spór o wyższości prądu przemiennego nad stałym.

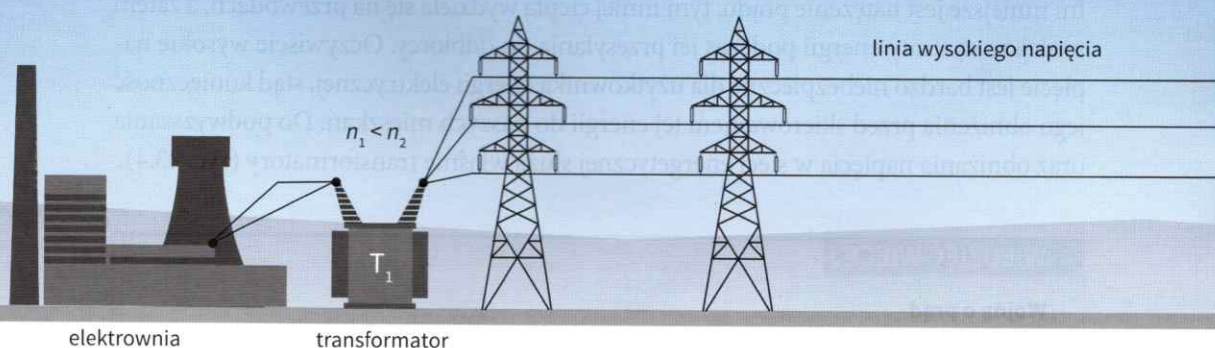
Żarówka, którą wynalazł Edison, wymagała zasilania prądem elektrycznym. Prądnice używane w elektrowniach budowanych przez Edisona wytwarzały prąd stały, co bardzo ograniczało zasięg ich działania. Gdybyśmy do dzisiaj używali systemu Edisona, elektrownie musiałyby stać co kilkaset metrów. Tesla zaprojektował system energetyczny oparty na prądzie przemiennym. Dzięki możliwości przesyłania energii elektrycznej pod wysokim napięciem odległość od elektrowni do odbiorcy mogła być znacznie większa. O sukcesie prądu przemiennego zdecydowało opracowanie silników na prąd przemienny, używanych na skalę przemysłową.



Nikola Tesla



Thomas Edison



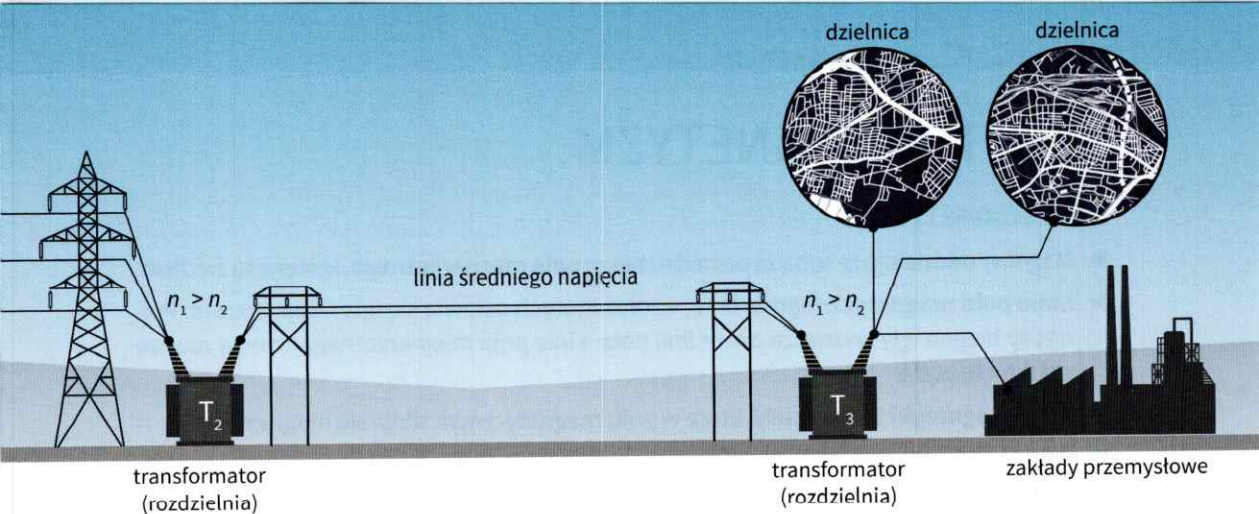
Sieci energetyczne

Zastosowanie prądu przemiennego pod wysokim napięciem do przesyłania energii elektrycznej na duże odległości znacząco obniża straty energii w sieciach przesyłowych. Stąd możliwość budowy elektrowni w pobliżu źródeł energii i przesyłanie energii do miast znajdujących się daleko od tych źródeł. Polska energetyka oparta jest ciągle głównie na węglu kamiennym i brunatnym. Na szczęście nie musimy budować miast i fabryk wyłącznie w pobliżu Bełchatowa lub Rybnika i mieszkańcy np. Gdańska mogą korzystać z energii elektrycznej, która jest wytwarzana setki kilometrów od ich miasta. Polska ma również połączenia energetyczne z sąsiednimi krajami, więc czasem droga od wytwórcy do odbiorcy energii elektrycznej wydłuża się jeszcze bardziej.

Na rycinie 23.5 przedstawiono uproszczony schemat sieci energetycznej. W dużych elektrowniach generatory wytwarzają napięcie wynoszące ok. 22 kV. Przesyłanie energii elektrycznej pod takim napięciem wiąże się z bardzo dużymi stratami, stąd konieczność podwyższenia napięcia przed skierowaniem prądu do linii przesyłowej. W polskiej sieci energetycznej istnieją linie energetyczne o napięciu 400 kV oraz 220 kV, a ich odgałęzieniami są linie o napięciu 110 kV. Linie te docierają do rozdzielni, z których prąd kierowany jest do poszczególnych miejscowości i dużych odbiorców, np. zakładów przemysłowych.

Oprócz dużych elektrowni do sieci energetycznej włączone są również małe elektrownie, w tym pojedyncze wiatraki oraz indywidualni odbiorcy, dostarczający nadwyżki energii wyprodukowanej np. przez ich domową instalację fotowoltaiczną.

Sieci energetyczne są wrażliwe na zmiany pól elektrycznych i magnetycznych. W 1989 roku w kanadyjskiej prowincji Quebec nastąpiła poważna awaria sieci energetycznej. Jej przyczyną był gwałtowny wyrzut materii na Słońcu. Strumień naładowanych cząstek dotarł do Ziemi i wywołał duże zmiany pola magnetycznego. To wzbudziło dodatkowe napięcia w sieci elektrycznej i spowodowało jej uszkodzenie.



PODSUMOWANIE

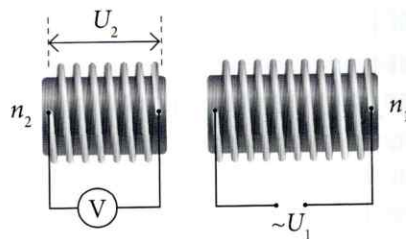
- **Transformator** zbudowany jest z dwóch (lub więcej) zwojnic umieszczonych na wspólnym rdzeniu. Dzięki transformatorom można zmienić napięcie prądu przemiennego.
- Stosunek napięć na uzwojeniach transformatora jest równy stosunkowi liczby zwojów:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

- Zastosowanie prądu przemiennego ogranicza straty podczas przesyłania energii elektrycznej na duże odległości.

PYTANIA I ZADANIA

1. Transformator obniża napięcie z 230 V do 24 V. Uzwojenie wtórne tego transformatora ma 240 zwojów. Oblicz liczbę zwojów uzwojenia pierwotnego.
2. Do uzwojenia pierwotnego transformatora mającego 20 razy więcej zwojów na uzwojeniu wtórnym podłączono baterię o napięciu 4,5 V. Jakie będzie napięcie na uzwojeniu wtórnym?
3. Aneta umieściła obok siebie dwie zwojnice, tak jak przedstawiono na rysunku. Okazało się, że napięcie na zwojnicy n_2 było mniejsze niż to, które można obliczyć ze wzoru (1). Dlaczego do obliczenia napięcia na zwojnicy n_2 nie można stosować tego wzoru?



4. Gdy zmienimy odbiornik podłączony do uzwojenia wtórnego transformatora (bez zmiany napięcia zasilającego), zmieni się natężenie prądu płynącego przez to uzwojenie. Czy równocześnie zmieni się natężenie prądu w uzwojeniu pierwotnym? Uzasadnij odpowiedź.
5. Elektrownia przesyła w ciągu doby 2,5 GWh energii elektrycznej za pomocą sieci o napięciu 110 kV. Oblicz średnie dobowe natężenie prądu elektrycznego w tej sieci.

ELEKTROMAGNETYZM

POLE MAGNETYCZNE

- ▶ Magnesy oddziałują ze sobą za pośrednictwem **pola magnetycznego**, którego są źródłem.
- ▶ **Linie pola magnetycznego** to linie, wzdłuż których ustawia się igła magnetyczna. Północny biegun igły wyznacza zwrot linii pola. Linie pola magnetycznego tworzą zawsze zamknięte pętle.
- ▶ **Ferromagnetyki** to materiały, które w polu magnetycznym silnie się magnesują.
- ▶ Prąd elektryczny jest źródłem pola magnetycznego. Zwrot linii pola magnetycznego i kierunek prądu są względem siebie prawoskrętne.
- ▶ Linie pola magnetycznego prostoliniowego przewodu z prądem elektrycznym tworzą okręgi wokół tego przewodu.
- ▶ Pole magnetyczne zwojnicy jest podobne do pola magnesu sztabkowego.
- ▶ Ziemskie pole magnetyczne przypomina pole magnetyczne zwojnicy z prądem elektrycznym.
- ▶ Pole magnetyczne Ziemi przechwytuje cząstki naładowane nadlatujące ze Słońca.
- ▶ **Magnetosfera**, czyli pole magnetyczne wokół Ziemi, kształtowana jest przez ziemski magnetyzm oraz pole magnetyczne cząstek wiatru słonecznego.
- ▶ **Zorze polarne** to świecenie górnych warstw atmosfery wywołane wiatrem słonecznym.

SIŁY MAGNETYCZNE

- ▶ Pole magnetyczne działa **siłą elektrodynamiczną** na przewód z prądem umieszczony nierównoległe do linii tego pola. Siła ta jest prostopadła do przewodu i do linii pola magnetycznego.
- ▶ Wirnik silnika elektrycznego obraca się dzięki sile elektrodynamicznej.
- ▶ Pole magnetyczne działa **siłą Lorentza** na cząstki naładowane poruszające się nierównoległe do linii pola. Pod wpływem pola magnetycznego cząstki te zakrzywiają tor swojego ruchu bez zmiany wartości prędkości.

INDUKCJA ELEKTROMAGNETYCZNA

- ▶ **Indukcja elektromagnetyczna** to zjawisko powstawania prądu elektrycznego w wyniku zmian pola magnetycznego obejmowanego przez obwód.
- ▶ Przyczyną prądu w obwodzie poruszającym się w polu magnetycznym jest siła magnetyczna działająca na elektrony. Im większa prędkość obrotu, tym większe natężenie powstającego w nim prądu.
- ▶ Przyczyną prądu indukcyjnego w nieruchomym obwodzie jest wirowe pole elektryczne wywołane przez zmienne pole magnetyczne.
- ▶ Prąd elektryczny w **prądnicach** powstaje w wyniku zjawiska indukcji elektromagnetycznej. Energia elektryczna w prądnicach powstaje kosztem wykonanej pracy.

PRĄD PRZEMIENNY

- Średnia **moc prądu przemiennego** jest iloczynem napięcia i natężenia skutecznego:

$$P = U_{sk} I_{sk}$$

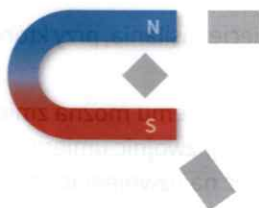
- **Napięcie znamionowe** to takie napięcie zasilania, przy którym dane urządzenie pracuje prawidłowo.
- **Transformator** to urządzenie, dzięki któremu można zmieniać napięcie przemiennie. Jest on zbudowany z dwóch (lub więcej) zwojnic umieszczonych na wspólnym rdzeniu ferromagnetycznym. Stosunek napięć na uzwojeniach transformatora jest równy stosunkowi liczby zwojów:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

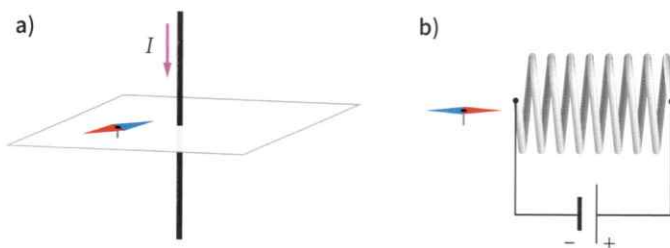
- Zastosowanie prądu przemiennego umożliwia przesyłanie energii elektrycznej na duże odległości.

PYTANIA I ZADANIA

1. W pobliżu silnego magnesu trwałego umieszczono niewielkie kawałki żelaza. Przerysuj schemat do zeszytu i zaznacz na nim bieguny magnetyczne w tych kawałkach.



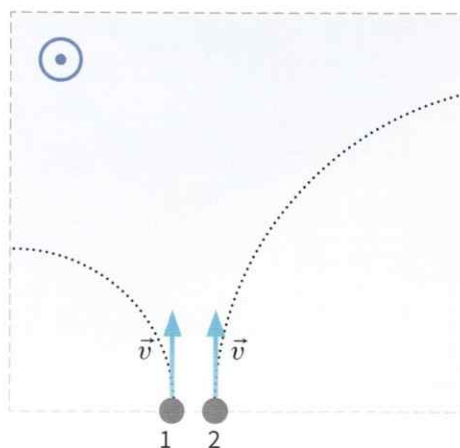
2. Na rysunkach przedstawiono źródła pól magnetycznych w postaci przewodów z prądem.



Oceń prawdziwość zdań. Wybierz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F, jeśli jest fałszywe.

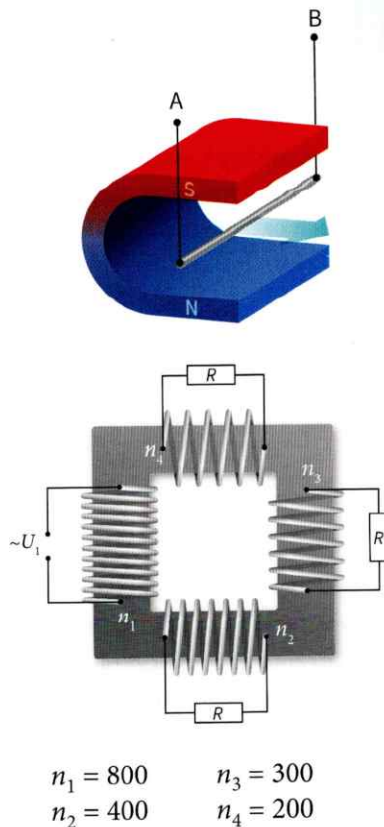
1.	Gdy w prostoliniowym przewodzie popłynie prąd, to igła magnetyczna ustawi się tak, jak przedstawiono na rysunku a.	P	F
2.	Gdy w zwojnicy popłynie prąd, to igła magnetyczna ustawi się tak, jak przedstawiono na rysunku b.	P	F
3.	Im dalej od przewodu z prądem ustawiona jest igła, tym słabiej pole magnetyczne działa na tę igłę.	P	F

3. Do obszaru jednorodnego pola magnetycznego skierowano dwie cząstki naładowane o takich samych prędkościach. Cząstki poruszały się niezależnie od siebie. Na rysunku przedstawiono tor obu cząstek.



Wybierz wszystkie zdania prawdziwe.

- A. Jeśli cząstki miały taką samą wartość bezwzględną ładunku, to cząstka 1 miała większą masę.
- B. Jeśli cząstki miały taką samą masę, to cząstka 1 miała ładunek o większej wartości bezwzględnej.
- C. Cząstka 1 miała ładunek ujemny, a cząstka 2 dodatni.
- D. Gdyby prędkości cząstek były równoległe do linii pola magnetycznego, to cząstki poruszałyby się po spirali.
4. W polu magnetycznym zawieszono przewód w sposób przedstawiony na rysunku (w punktach A i B podłączony do źródła napięcia). Gdy w przewodzie zaczął płynąć prąd, wychylił się on w stronę pokazaną za pomocą strzałki. Ustal kierunek przepływu prądu w przewodzie.
5. Ziemię można traktować jak wielki magnes. Opisz, w których częściach naszej planety linie pola magnetycznego są w przybliżeniu równoległe do jej powierzchni, a w których są do niej prostopadłe.
6. Transformator może również pełnić funkcję rozdzielni. W tym celu oprócz uzwojenia pierwotnego na rdzeniu umieszcza się kilka uzwojeń wtórnych. Na rysunku przedstawiono schemat takiego transformatora. Do każdego z uzwojeń wtórnych dołączony jest opornik o takim samym oporze. Możemy założyć, że w opisywanym układzie nie ma strat energii.

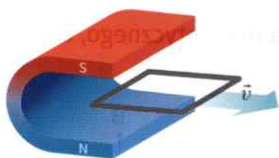


Oceń prawdziwość zdań. Wybierz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F, jeśli jest fałszywe.

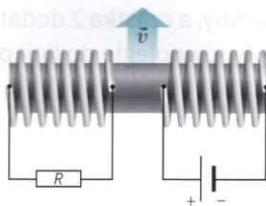
1.	Najmniejsze napięcie jest na uzwojeniu n_4 .	P	F
2.	Pole magnetyczne w rdzeniu jest wytwarzane wyłącznie przez uzwojenie pierwotne.	P	F
3.	Suma mocy na uzwojeniach wtórnych jest równa mocy na uzwojeniu pierwotnym.	P	F

7. W których z przedstawionych sytuacji powstanie prąd indukcyjny? W każdej z nich ruch jest jednostajny i odbywa się po linii prostej. Uzasadnij odpowiedź

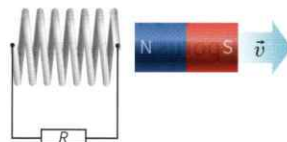
a)



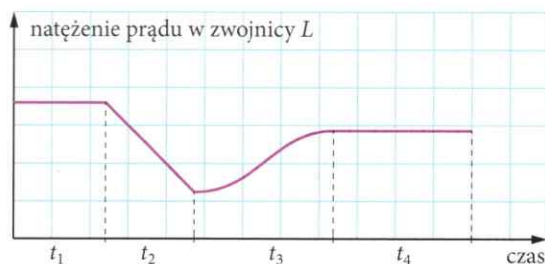
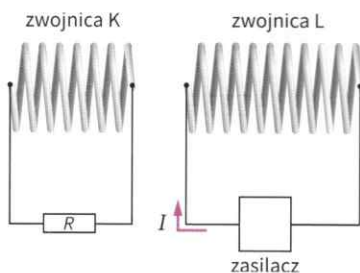
b)



c)



8. W pobliżu zwojnicy L umieszczono zwojnicę K. Przez zwojnicę L płynie prąd, którego natężenie można zmieniać. Końce zwojnicy K są podłączone do opornika R . W których przedziałach czasu w zwojnicy K popłynie prąd indukcyjny?



9. Napięcie w sieci elektrycznej w USA jest równe 110 V. Karol podczas podróży po tym kraju używał grzałki, którą zabrał z Polski. Moc grzałki w Polsce była równa 600 W. Oszacuj moc grzałki po podłączeniu jej do sieci elektrycznej w USA. Zakładamy, że opór grzałki nie zmienił się po podłączeniu do innego niż w Polsce napięcia.
10. Amperomierz podłączono do obwodu prądu przemiennego i otrzymano wynik pomiaru przedstawiony na fotografii. Na podstawie tego wyniku zapisz natężenie skuteczne oraz natężenie maksymalne prądu w tym obwodzie.

