



Badamy doświadczalnie, od jakich parametrów zależy wartość siły elektrodynamicznej

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film \(standardowy\)](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Badamy doświadczalnie, od jakich parametrów zależy wartość siły elektrodynamicznej

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.shutterstock.com/image-photo/detail-electronic-conductor-dark-back-171568955> [dostęp 15.05.2022 r.].

Czy to nie ciekawe?

Siła elektrodynamiczna działa na przewodnik z prądem umieszczony w polu magnetycznym. Siła ta „bierze się” z działania siły Lorentza na poruszające się ładunki w przewodniku. Można wobec tego w łatwy sposób wyprowadzić wyrażenie, opisujące zależność wartości tej siły od natężenia prądu płynącego w przewodniku, długości przewodnika umieszczonego w polu magnetycznym, wartości indukcji magnetycznej oraz kąta między liniami pola a przewodnikiem. Zapisujemy tę zależność w następujący sposób:

$$F_{ed} = IlB \cdot \sin \angle(\vec{l}, \vec{B})$$

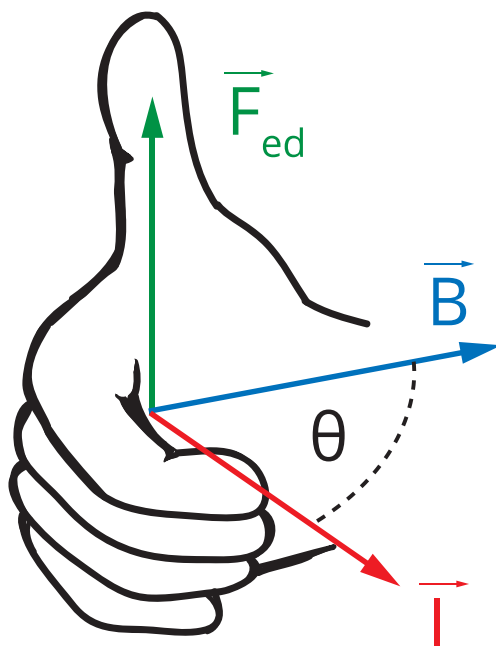
Występujący w tej zależności wektor $\vec{l}$ jest wektorem o długości przewodnika l , kierunku i zwrocie zgodnym z kierunkiem prądu w przewodniku.

Wspomniane wyprowadzenie możecie znaleźć w e-materiale „Co to jest siła elektrodynamiczna?”.

Tutaj spróbujemy przedstawioną wyżej zależność zweryfikować doświadczalnie – sprawdzić, że rzeczywiście ma ona sens.

Potrzebne będzie nam jeszcze przypomnienie, jaki jest kierunek i zwrot siły elektrodynamicznej.

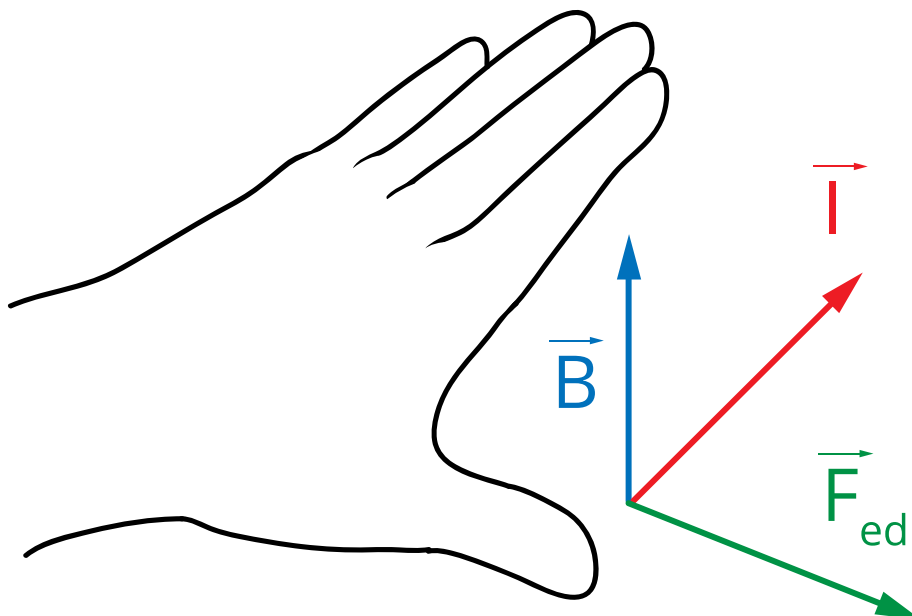
Wektor $\vec{F}_{ed}$ jest prostopadły zarówno do wektora $\vec{l}$ jak i do wektora $\vec{B}$. Zwrot siły elektrodynamicznej wyznaczamy za pomocą reguły śruby prawoskrętnej, co pokazano na Rys. a.



Rys. a. Zwrot siły elektrodynamicznej $\vec{F}_{ed}$ wyznaczamy za pomocą reguły śruby prawoskrętnej

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Niektórzy uczniowie wolą wyznaczać kierunek i zwrot siły elektrodynamicznej korzystając z reguły lewej dłoni, przedstawionej na Rys. b. Jest ona oczywiście tożsama z regułą śruby prawoskrętnej.



Rys. b. Do wyznaczenia zwrotu siły elektrodynamicznej $\vec{F}_{ed}$ można też zastosować regułę lewej dłoni

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Jeśli lewą dłoń skierujemy czterema palcami wzdłuż przewodnika w kierunku przepływającego prądu, a linie pola magnetycznego będą „wchodziły” w dłoń, to kciuk pokaże kierunek i zwrot siły elektrodynamicznej.

Twoje cele

W tym e-materiale:

- pogłębisz rozumienie zależności opisującej wartość siły elektrodynamicznej,
- poznasz działanie wagi prądowej,
- dowiesz się, jak zastosować wagę prądową do jakościowej weryfikacji zależności opisującej wartość siły elektrodynamicznej,
- uzasadnisz w sposób jakościowy poprawność wyrażenia:

$$F_{ed} = IlB \cdot \sin \angle(\vec{l}, \vec{B}).$$

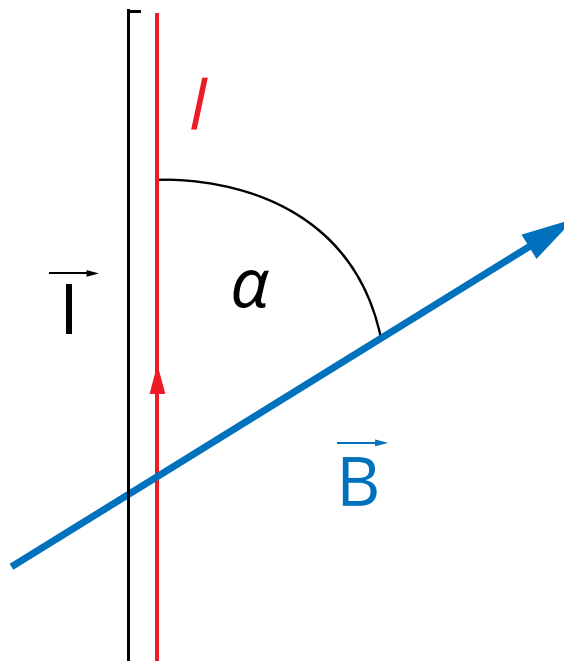
Przeczytaj

Warto przeczytać

Powinniśmy tak zaplanować eksperyment, żeby móc badać wartość siły elektrodynamicznej F_{ed} w zależności od niezależnie występujących zmian: natężenia prądu I , długości przewodnika l umieszczonego w [polu magnetycznym](#), wartości indukcji zastosowanego pola magnetycznego B i kąta α - pomiędzy przewodnikiem a [liniami pola magnetycznego](#).

Można oczywiście w kontrolowanych warunkach przeprowadzać badanie ilościowe, my jednak tutaj nie będziemy aż tak precyzyjni i poprzestaniemy na mniej szczegółowych badaniach jakościowych. Co to oznacza?

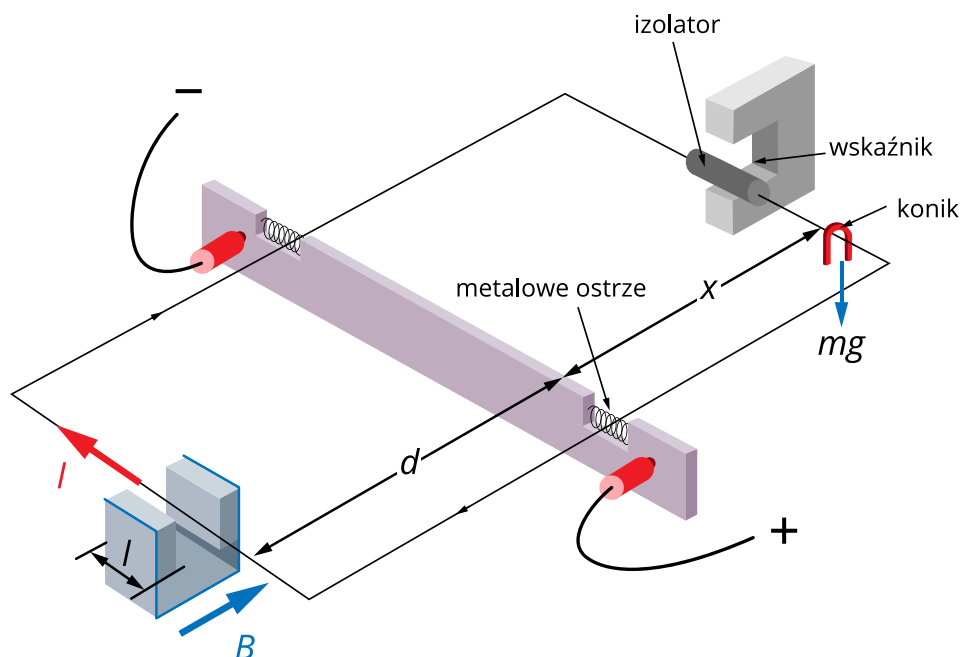
Będziemy badać jedynie relacje. Czyli na przykład zwiększamy natężenie prądu płynącego w przewodniku i spodziewamy się efektu działania większej siły elektrodynamicznej. Podobnie zmieniamy długość przewodnika poddanego działaniu pola magnetycznego i zauważamy odpowiednią zmianę wartości siły F_{ed} . Jeszcze możemy zmieniać wartość indukcji magnetycznej B i kąt α (zobacz Rys. 1.) i obserwować, czy kierunek zmian wartości siły elektrodynamicznej jest zgodny z przewidywaniami.



Rys. 1. Zmiana kąta α pomiędzy przewodem z prądem a wektorem indukcji magnetycznej $\vec{B}$ wpływa na zmianę wartości siły elektrodynamicznej

Wygodnie będzie użyć do naszych eksperymentów jednego przyrządu, tak aby zapewnić zmianę tylko jednego parametru przy stałości pozostałych. Wydaje się, że odpowiednim przyrządem będzie tu tzw. waga prądowa, która wcale nie będzie nam tu służyła do „ważenia” prądu.

Na Rys. 2. przedstawiono schemat takiego przyrządu.



Rys. 2. Schemat wagi prądowej

Na fragment przewodnika z prądem (o długości l) znajdujący się w polu magnetycznym będzie działała siła elektrodynamiczna skierowana w dół, tak jak siła grawitacji działająca na „konik” z drugiej strony ramki. Waga prądowa będzie pozostawała w równowadze – ustawiona w pozycji poziomej, wtedy gdy momenty sił grawitacji i elektrodynamicznej będą się równoważyły, czyli:

$$F_{ed} \cdot d = mg \cdot x$$

Przez dobranie obciążnika („konika”) o odpowiedniej masie przyrównamy prawą stronę równania do lewej – zrównoważymy wagę. I to jest nasza sytuacja wyjściowa.

Doświadczenie I.

Jeśli zwiększymy natężenie prądu, nie zmieniając jego kierunku, to spodziewamy się zwiększenia wartości siły elektrodynamicznej. Lewa strona wagi, przy polu magnetycznym skierowanym jak na rysunku, powinna opuścić się w dół. Można to wywnioskować z zależności

$$F_{ed} = IlB \cdot \sin \angle(\vec{l}, \vec{B})$$

która w rozważanym przypadku przybierze postać: $F_{ed} = IlB$, bowiem kąt między kierunkiem prądu i liniami pola magnetycznego wynosi 90° .

Można by nawet zmierzyć, wykorzystując zapisany wyżej warunek równowagi, że wartość F_{ed} wzrośnie tyle razy, ile wzrosło natężenie prądu.

Doświadczenie II.

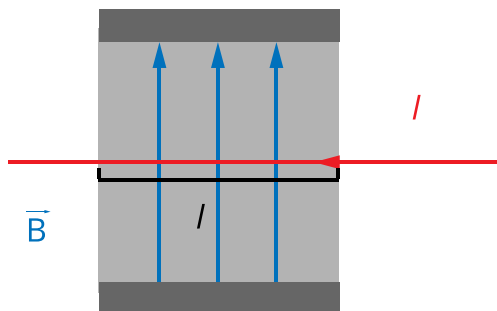
Teraz zastąpimy magnes „silniejszym”, czyli takim, który wytwarza pole magnetyczne o większej indukcji. Musimy tylko uważać przy tym, żeby nie zmienić parametru l . Szerokość obszaru pola obejmującego swoim działaniem przewodnik musi być taka sama jak poprzednio. No i znowu, analogicznie jak w doświadczeniu I. spodziewamy się zwiększenia siły elektrodynamicznej i większego odchylenia w dół lewej części ramki wagi.

Doświadczenie III.

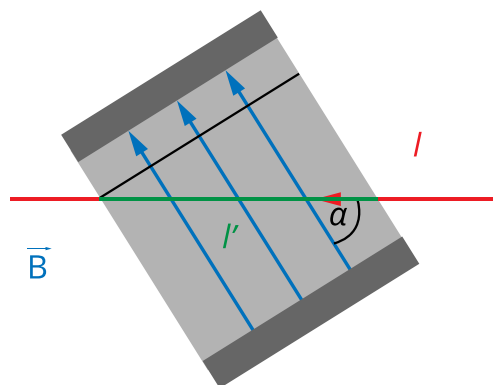
Tutaj z kolei pozostawiamy bez zmian natężenie prądu, powracamy do słabszego magnesu, tak aby uzyskać pierwotny stan równowagi wagi. I teraz dostawiamy drugi taki sam magnes obok pierwszego, tak aby zwiększyć l – długość przewodnika, na który działa pole magnetyczne. Znowu powinniśmy spodziewać się zwiększenia siły elektrodynamicznej, co będzie skutkowało obniżeniem lewej części ramki.

Doświadczenie IV.

Wracamy do początkowych ustawień eksperymentu i przekręcamy magnes tak, aby linie pola nie były teraz prostopadłe do przewodnika, ale by tworzyły z nim pewien kąt α . Na Rys. 3a. i 3b. pokazane są widziane „od góry” takie ustawienia magnesu użytego w naszej wadze prądowej z Rys. 2.



Rys. 3a



Rys. 3b

Rys. 3. Zmiana kąta α między przewodnikiem z prądem a liniami pola magnetycznego sprawia, że większa część przewodnika ($l' > l$) znajduje się w obszarze pola magnetycznego

Kąt α jest teraz mniejszy niż 90° i sinus tego kąta będzie mniejszy niż 1. Ale uwaga, jeśli przekreślimy w ten sposób magnes, jak zostało to pokazane na Rys. 3b., to zwiększamy l – długość przewodnika, na który działa pole magnetyczne. Zaznaczona zielonym kolorem odległość l' jest dłuższa niż l . Z elementarnej trygonometrii wynika, że $l = l' \sin \alpha$. Zatem

$$F'_{ed} = I B l' \sin \alpha = I B l = F_{ed}.$$

Nie należy w ogóle spodziewać się zmiany wartości siły elektrodynamicznej. A zatem tym razem waga prądowa powinna pozostać w równowadze. Jeśli tak się stanie, będzie to świadczyło o poprawności badanego przez nas wyrażenia opisującego wartość siły elektrodynamicznej ze względu na kąt występujący pomiędzy przewodnikiem a [liniami pola magnetycznego](#).

Słowniczek

Pole magnetyczne

(ang.: *magnetic field*) – stan przestrzeni charakteryzujący się działaniem siły, zwanej siłą magnetyczną (Lorentza) na poruszający się ładunek umieszczony w tej przestrzeni bądź na obiekt obdarzony momentem magnetycznym; wielkością charakteryzującą pole magnetyczne jest wektor indukcji magnetycznej $\vec{B}$.

Linie pola magnetycznego

(ang.: *magnetic line of induction*) – poglądowy obraz tego pola. Przebieg linii odzwierciedla układ wektorów indukcji magnetycznej $\vec{B}$ w przestrzeni. W każdym, dowolnym punkcie linii pola zaczepiony jest wektor $\vec{B}$, styczny do tej linii.

Moment siły

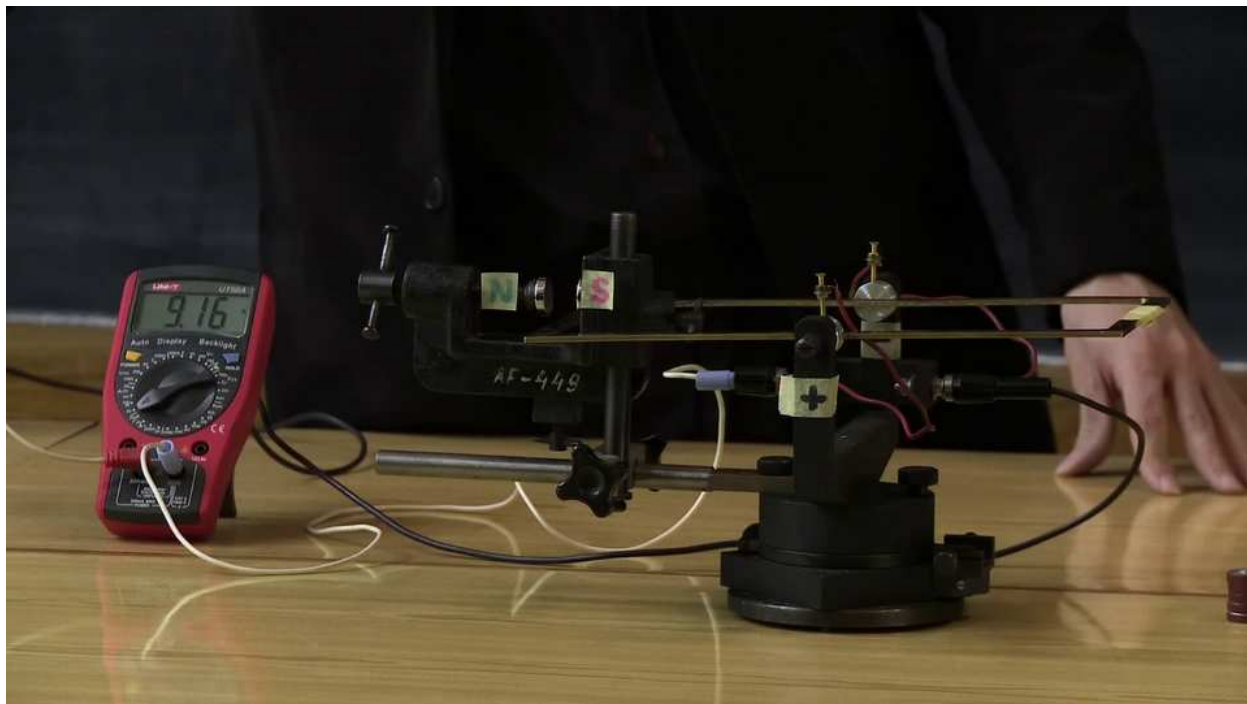
(ang.: *torque, moment of force*) – wielkość wektorowa, zdefiniowana jako:

$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$ – iloczyn wektorowy wektora $\vec{r}$ łączącego oś obrotu ciała z punktem przyłożenia siły oraz wektora siły $\vec{F}$.

Film (standardowy)

Od jakich parametrów zależy wartość siły elektrodynamicznej?

Obejrzyj film, który przedstawia realizację eksperymentów z wykorzystaniem wagi prądowej, zaplanowanych w części „Przeczytaj”. Zwróć uwagę, jakie przyrządy zostały zastosowane przy badaniu własności siły elektrodynamicznej.



Film dostępny pod adresem [/preview/resource/R1HSWQntIQUGA](#)

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Zapoznaj się z audiodeskrypcją filmu.

Polecenie 1

Wskaż przyrządy, które zostały wykorzystane w prezentowanych eksperymentach.

☐ zasilacz regulowany

☐ magnesy

☐ siłomierz

☐ termometr

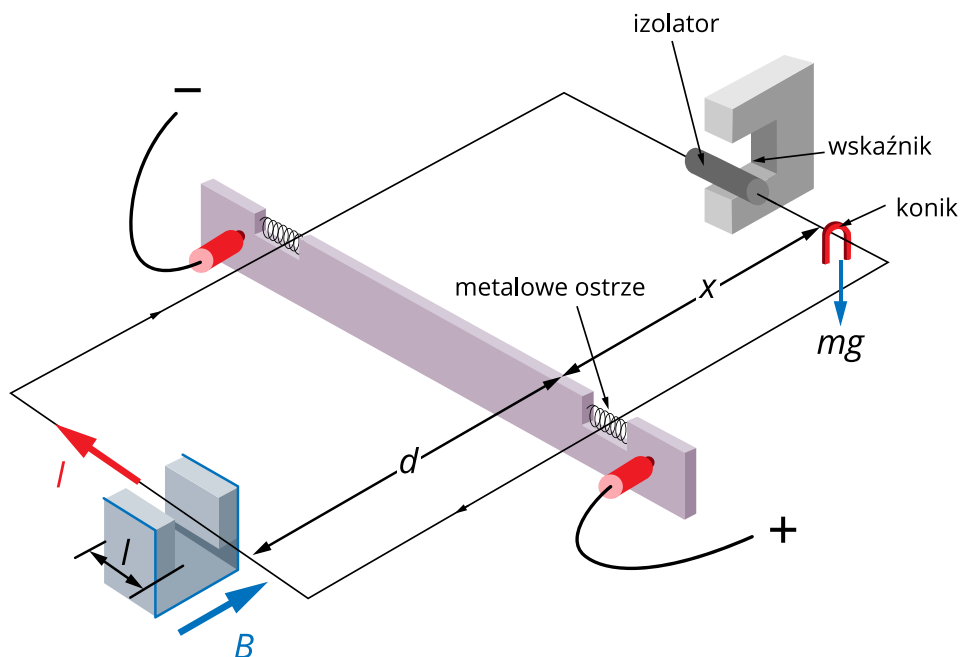
☐ waga prądowa

☐ kalorymetr

☐ amperomierz

☐ waga laboratoryjna

Polecenie 2



Rys. 2. Schemat wagi prądowej

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Rysunek przedstawia schemat wagi prądowej.

Uzupełnij tekst wstawiając odpowiednie elementy.

Waga prądowa to rodzaj dźwigni . Jest ona w równowadze - w położeniu poziomym, gdy i są równe, czyli spełniona jest zależność: .

moment siły elektrodynamicznej

siła elektrodynamiczna

dwustronnej

siła grawitacji

moment siły grawitacji

jednostronnej

$IlB \cdot d = mg \cdot x$

$IlB = mg$

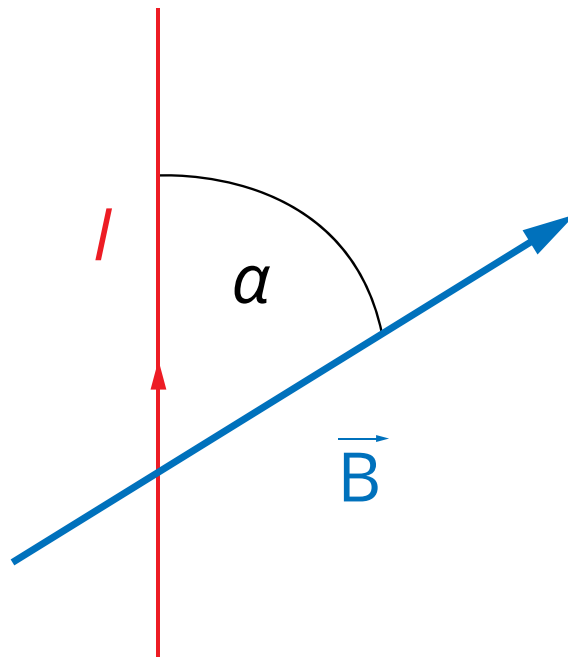
Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

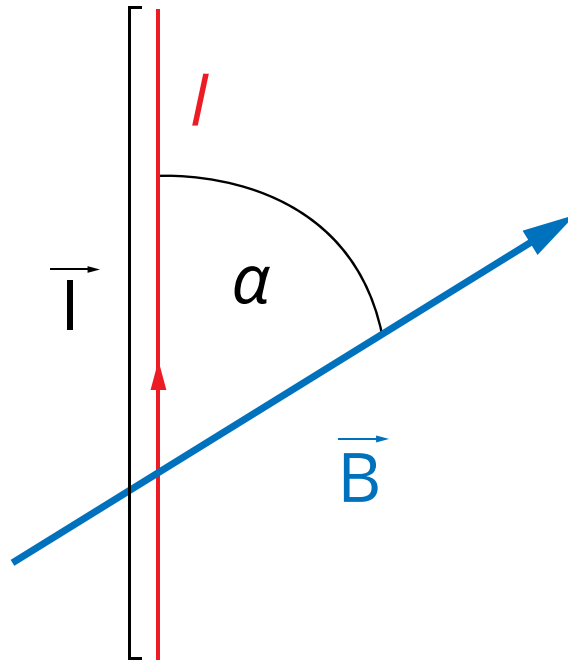
Ćwiczenie 1



Rysunek przedstawia przewodnik z prądem umieszczony w jednorodnym polu magnetycznym. Jak skierowana jest działająca na przewodnik siła elektrodynamiczna? Zaznacz poprawną odpowiedź.
Wektor siły elektrodynamicznej będzie:



- ☐ prostopadły do płaszczyzny rysunku i zwrócony „do nas”
- ☐ leżał w płaszczyźnie rysunku i był prostopadły do wektora $\vec{B}$
- ☐ prostopadły do płaszczyzny rysunku i zwrócony „w głąb”
- ☐ leżał w płaszczyźnie rysunku i był prostopadły do przewodnika z prądem



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

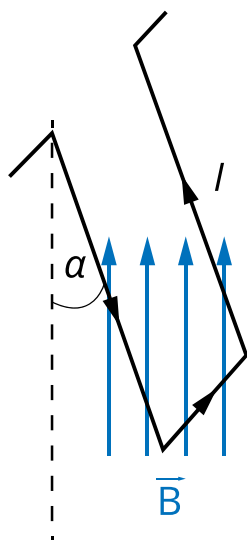
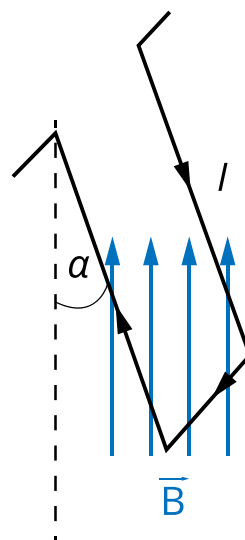
Jak wpływa na wartość siły elektrodynamicznej kąt między przewodem z prądem a wektorem indukcji $\vec{B}$ (rysunek)? Dla jakiego kąta α wartość siły jest maksymalna, a kiedy równa zero? Odpowiedź uzasadnij.

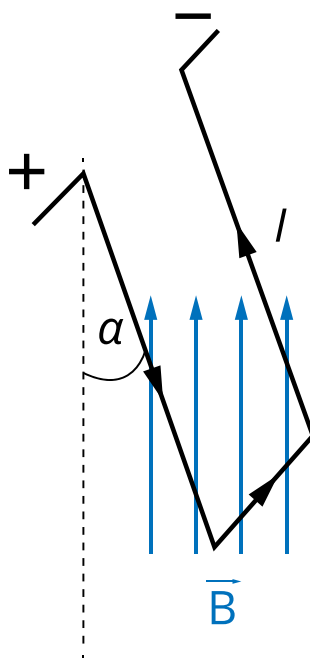
Ćwiczenie 3



Na cienkich przewodach zawieszona jest przewodząca poprzeczka, tworząc swojego rodzaju huśtawkę (zobacz rysunki poniżej). W huśtawce płynie prąd. Po wprowadzeniu huśtawki w obszar jednorodnego pola magnetycznego (jak na rysunkach) huśtawka odchyli się od pionu o kąt α pozostając nadal w polu jednorodnym.

Wskaż rysunek z poprawnie zaznaczonym kierunkiem przepływu prądu.

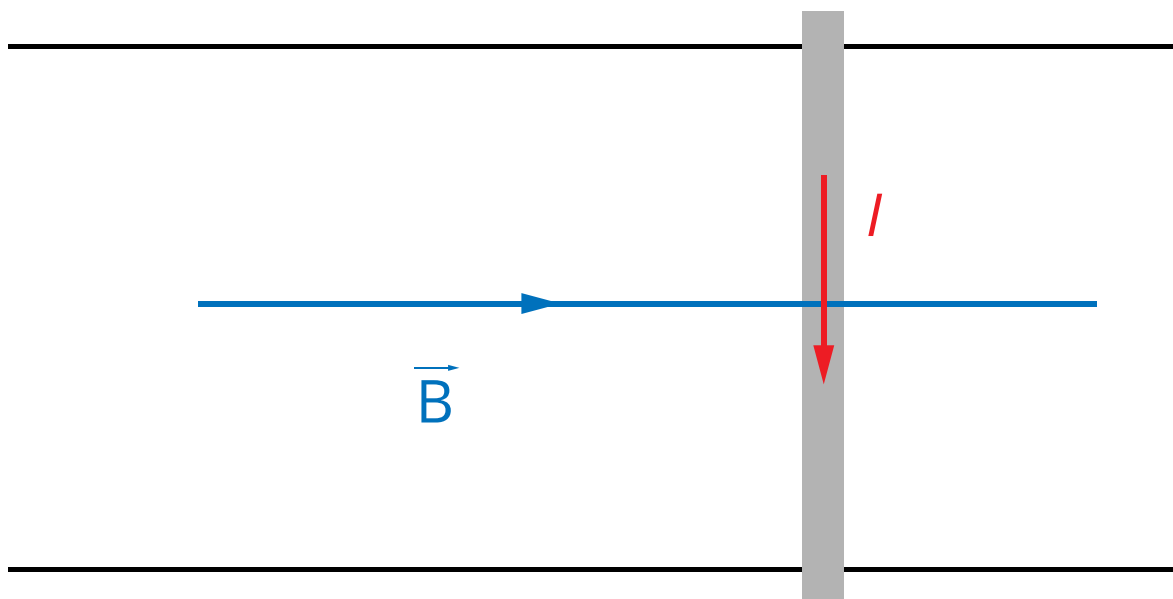
☐☐



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Na nieważkich przewodach zawieszona jest przewodząca poprzeczka, tworząc swojego rodzaju huśtawkę (zobacz rysunek). W huśtawce płynie prąd o pewnym natężeniu I . Po wprowadzeniu huśtawki w obszar jednorodnego pola magnetycznego huśtawka odchyli się od pionu o kąt $\alpha = 15^\circ$. Oblicz, o jaki kąt odchyli się huśtawka, gdy zwiększymy dwukrotnie wartość natężenia prądu. Wynik podaj z dokładnością do dziesiątych stopnia.

Odp.: $\alpha =$ $^\circ$.

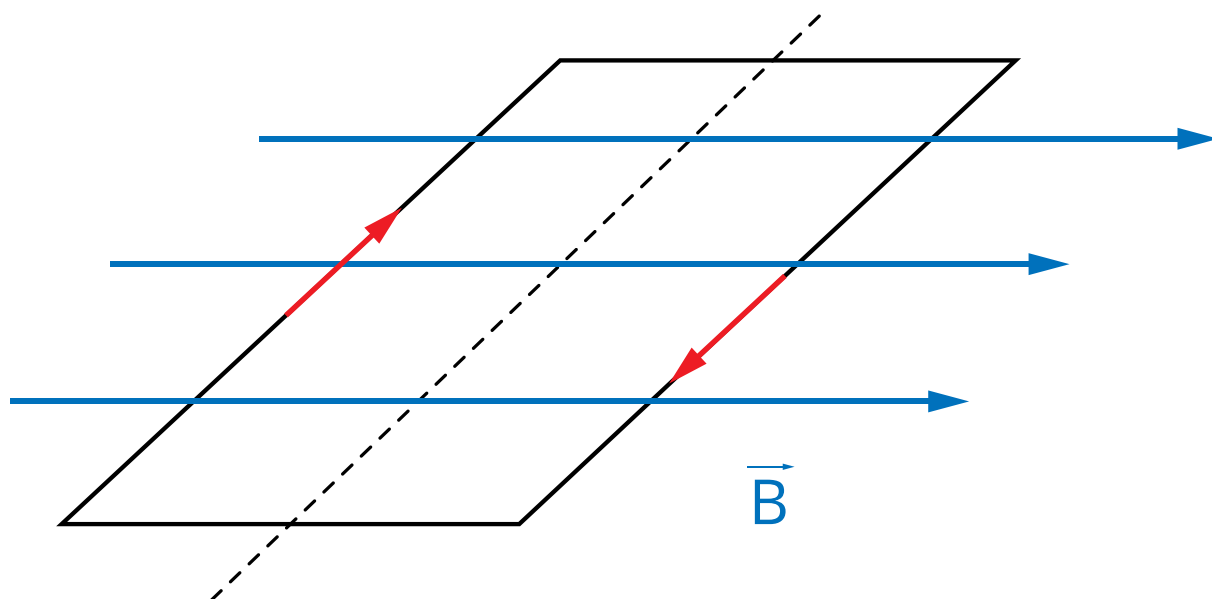


Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Pręt o masie $m = 0,5 \text{ kg}$ leży na poziomych szynach oddległych o $l = 1 \text{ m}$. Cały układ znajduje się w jednorodnym polu magnetycznym o liniach prostopadłych do pręta i równoległych do płaszczyzny wyznaczonej przez szyny (zobacz rysunek, na którym przedstawiono widok z góry). Wartość indukcji $B = 0,5 \text{ T}$. Współczynnik tarcia statycznego pręta o szyny wynosi $\mu_s = 0,4$. Oblicz wartość poziomo skierowanej siły koniecznej do poruszenia pręta, jeśli płynie w nim prąd o natężeniu $I = 1 \text{ A}$ w kierunku pokazanym na rysunku.

Odp.: $F =$ N.

Ćwiczenie 6



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Na rysunku przedstawiono osadzoną na osi obrotu ramkę z prądem, która została umieszczona w polu magnetycznym.

Wybierz poprawne dokończenie zdania.

Pod wpływem sił elektrodynamicznych ramka będzie obracała się

zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara ☐ /

przeciwnie do ruchu wskazówek zegara ☐ .

Ćwiczenie 7



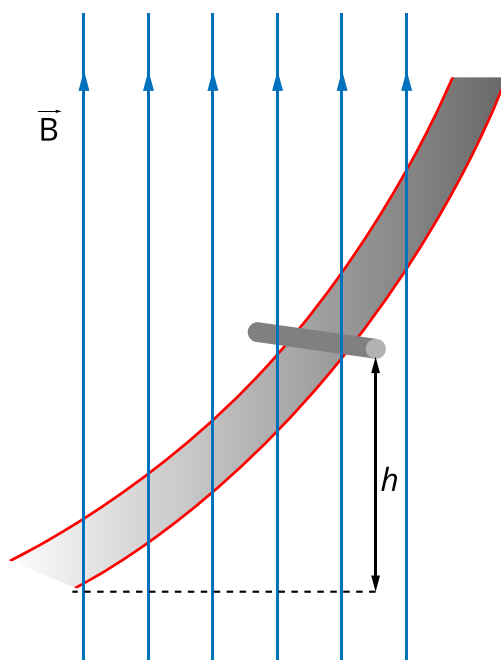
Wybierz poprawne uzupełnienie zdania.

Wektor siły elektrodynamicznej $\vec{F}_{ed}$ jest ☐ prostopadły / ☐ równoległy do płaszczyzny wyznaczonej przez wektory $\vec{l}$ i $\vec{B}$.

Ćwiczenie 8



Metalowe szyny odległe od siebie o $d = 10$ cm zostały wygięte w łuk o promieniu $R = 50$ cm. Szyny umieszczono w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji $B = 1$ T, skierowanym jak na rysunku. Jedną z szyn połączono z dodatnim biegunem ogniwa, drugą z ujemnym. Położony na szynach metalowy pręcik o masie $m = 20$ g „podjechał” po szynach na wysokość $h = 20$ cm i tam pozostał.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

a/ W jakim kierunku musi płynąć prąd przez pręcik, aby uzyskać taki efekt?

Odp.: Prąd powinien płynąć w pręciku / rysunku.

b/ Oblicz natężenie prądu płynącego przez szyny. Wynik podaj z dokładnością do dziesiątych części ampera.

Odp.: $I =$ A.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Nina Tomaszewska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Od jakich parametrów zależy wartość siły elektrodynamicznej - na podstawie doświadczeń
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony

**Podstawa
programowa**

Cele kształcenia – wymagania ogólne

II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.

III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:

- 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;
- 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach;
- 10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość.

VIII. Magnetyzm. Uczeń:

- 2) opisuje jakościowo oddziaływanie pola magnetycznego na przewodniki z prądem i poruszające się cząstki naładowane; omawia rolę pola magnetycznego Ziemi jako osłony przed wiatrem słonecznym.

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:

- 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;
- 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach;
- 10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; planuje i modyfikuje ich przebieg; formułuje hipotezę i prezentuje kroki niezbędne do jej weryfikacji.

IX. Magnetyzm. Uczeń:

- 2) posługuje się pojęciem wektora indukcji magnetycznej wraz z jego jednostką, analizuje oddziaływanie pola magnetycznego na przewodnik z prądem oraz na poruszającą się cząstkę naładowaną (siła Lorentza, siła elektrodynamiczna); opisuje rolę pola magnetycznego Ziemi jako osłony przed wiatrem słonecznym.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	Uczeń: 1. omówi zależność opisującą wartość siły elektrodynamicznej; 2. wyjaśni zasadę działania wagi prądowej; 3. opíše, jak zastosować wagę prądową do jakościowej weryfikacji zależności opisującej wartość siły elektrodynamicznej; 4. uzasadni w sposób jakościowy poprawność wyrażenia: $F_{ed} = IlB \cdot \sin < \left(\vec{l}, \vec{B} \right)$
Strategie nauczania	blended-learning
Metody nauczania	wykład informacyjny wspomagany pokazem multimedialnym
Formy zajęć:	praca w zespole klasowym
Środki dydaktyczne:	niniejszy e-materiał + komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	-
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel pyta uczniów, czy wiedzą, co to jest siła elektrodynamiczna? Przewidywana odpowiedź: Jest to siła działająca na przewodnik z prądem znajdujący się w polu magnetycznym. Następnie nauczyciel zadaje pytanie: od jakich wielkości fizycznych zależy wartość tej siły. Podany zostaje wzór (przez uczniów albo przez nauczyciela, co zależy od kolejności realizacji zagadnień programu nauczania): $F_{ed} = IlB \cdot \sin < \left(\vec{l}, \vec{B} \right)$. Nauczyciel wraz z uczniami przypomina o wyznaczaniu kierunku i zwrotu siły elektrodynamicznej.	
Faza realizacyjna:	

Celem lekcji jest doświadczalne sprawdzenie zależności siły elektrodynamicznej od niezależnie występujących zmian: natężenia prądu I , długości przewodnika umieszczonego w polu magnetycznym l , wartości indukcji zastosowanego pola magnetycznego B i kąta α - pomiędzy przewodnikiem a liniami pola magnetycznego. Nauczyciel wyświetla schemat wagi prądowej (Rys. 2.) i omawia zasadę jej działania. Teraz następuje faza zastosowania filmu z doświadczeniami. Nauczyciel prezentuje uczniom film, przerywając w miejscach, w których stawiane są pytania. Uczniowie biorą aktywnie udział w lekcji odpowiadając na pytania. W pewnym momencie (Doświadczenie IV.) pojawia się sytuacja problemowa. I jest to moment na podjęcie w klasie prawdziwej dyskusji. W „słabszym” zespole po prostu wyświetlamy odpowiedź zawartą w filmie.

Faza podsumowująca:

W fazie podsumowującej uczniowie z pomocą nauczyciela rozwiązują zadania: 4, 5 i 8 z zestawu ćwiczeń. Poprzez analizę wypowiedzi uczniów nauczyciel określa, w jakim stopniu osiągnięte zostały wyznaczone cele.

Praca domowa:

Uczniowie utrwalają wiedzę i zdobyte umiejętności przez rozwiązanie w domu zadań, których nie rozwiązywali na lekcji: 1, 2, 3, 6 i 7 z zestawu ćwiczeń.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące
różne
zastosowania
danego
multimedium**

Film z doświadczeniami można zastosować w trakcie realizacji innych tematów dotyczących siły elektrodynamicznej.