Istota zjawiska indukcji elektromagnetycznej

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Animacja
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

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

Czy to nie ciekawe?

Dlaczego zjawisko indukcji elektromagnetycznej jest dla nas ważne?

Dzięki niemu możliwe jest:

- dostarczanie energii elektrycznej do domów (wytwarzanie i przesyłanie z elektrowni),
- obniżanie napięcia sieciowego (230 V) do np. 5 V (stosowanego w zasilaczach, ładowarkach akumulatorów itp.),
- stosowanie zapisu magnetycznego (z karty magnetycznej, twardego dysku, czy taśmy magnetycznej),
- działanie kuchenki indukcyjnej,

oraz, historycznie, odkrycie istnienia fal elektromagnetycznych i zastosowanie ich np. do przenoszenia obrazu i dźwięku na odległość.

Faradaya, odkrywcę zjawiska indukcji elektromagnetycznej, odwiedził w laboratorium brytyjski minister skarbu i zapytał:

- Jaką korzyść z pana badań będzie miała ludzkość?

Faraday odpowiedział:

- Trudno to ocenić, ale jestem pewien, iż pan z tego będzie pobierał podatki.

Nie pomylił się – do opłat za energię elektryczną dostarczaną do domu doliczany jest podatek VAT.

Przedstawiona powyżej lista zastosowań, choć niepełna, robi wrażenie. Z całą pewnością są one obecne w naszym życiu i są inżynierskimi rozwinięciami zjawiska indukcji elektromagnetycznej. Myślę, że nie masz wątpliwości, że należy je wnikliwie poznać.

Twoje cele

W tym e-materiale:

- opiszesz znaczenie, jakie w naszym życiu ma zjawisko indukcji elektromagnetycznej,
- objaśnisz, na czym polega zjawisko indukcji elektromagnetycznej i dlaczego Faradayowi trudno było je odkryć,
- przedstawisz warunki, w jakich zachodzi zjawisko indukcji elektromagnetycznej,
- uzasadnisz, że zjawisko indukcji elektromagnetycznej wywoływane jest przez siłę magnetyczną Lorentza lub przez siłę elektryczną.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Na czym polega zjawisko indukcji elektromagnetycznej?

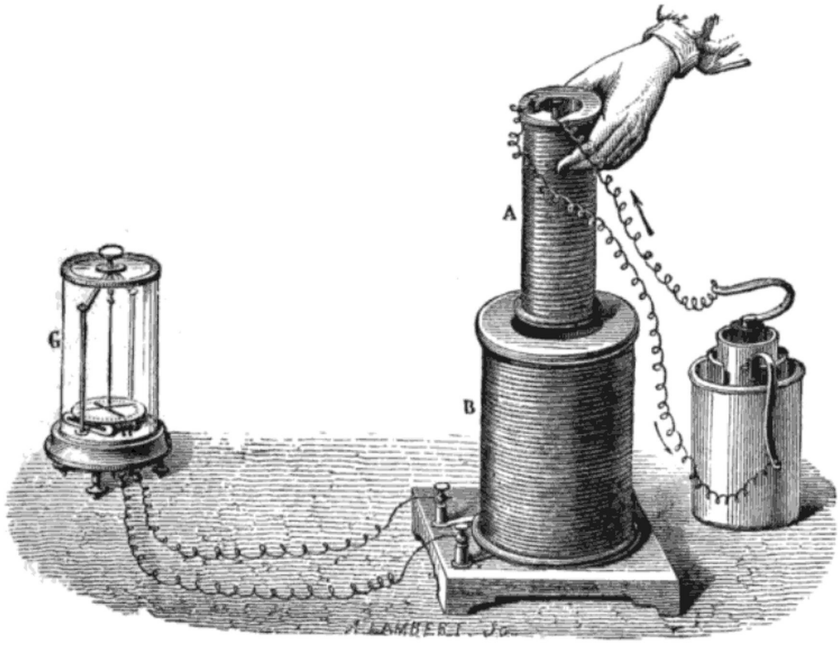
Ogólnie mówiąc: na wytwarzaniu prądu elektrycznego za pomocą pola magnetycznego.

Od 1820 roku (prace Oersteda) wiadomo było, że prąd elektryczny jest źródłem pola magnetycznego (e-materiał „Badanie wpływu przewodników z prądem na zachowanie igły magnetycznej"). Faraday zadał sobie pytanie, czy nie jest też odwrotnie – czy pole magnetyczne nie może być źródłem (przyczyną) prądu elektrycznego. Sprawa nie okazała się jednak prosta. Dopiero w 1831 roku uczony zaobserwował to zjawisko w pewnych szczególnych okolicznościach. Okazało się, że w stabilnych warunkach prąd nie powstaje.

Dlaczego tak się dzieje? Nawet w bardzo silnym, ale **stałym w czasie** polu magnetycznym prąd w zamkniętym obwodzie „sam z siebie" nie popłynie. **Popłynie dopiero wtedy, gdy poruszymy odpowiednio obwód albo zmienimy pole magnetyczne, w którym ten obwód się znajduje**.

Kiedy Faraday dostrzegł warunki, przy których powstaje prąd w obecności pola magnetycznego, przeprowadził dziesiątki eksperymentów, które uogólnił i z których wyciągnął ilościowe wnioski w postaci prawa indukcji elektromagnetycznej (e-materiał „Prawo indukcji elektromagnetycznej Faradaya"). Nie będziemy tu mówić o tym prawie, skupimy się jedynie na istocie zjawiska indukcji elektromagnetycznej. Spróbujemy dostrzec **dwoistość** tego zjawiska, czyli to, że posiada ono dwie odmiany i odpowiedzieć na pytanie, **dlaczego** w pewnych warunkach popłynie prąd.

Zastanowimy się, jakie siły powodują prąd indukcyjny, tj. jakie siły działają na swobodne ładunki w przewodniku, powodując ich ruch. Wykorzystamy w tym celu animację.



Doświadczenie Faradaya z 1831 demonstrujące indukcję elektromagnetyczną pomiędzy dwiema cewkami. Po prawej stronie znajduje się bateria zasilająca mniejszą z dwóch cewek (A), która wytwarza pole magnetyczne. W sytuacji, gdy cewka ta znajduje się w spoczynku, nie obserwujemy prądu indukowanego. Jeśli jednak poruszymy ją wewnątrz większej cewki (B), zmienny strumień magnetyczny indukuje w niej prąd. Wykrywamy go obserwując wahania wskazówki galwanometru (G) po lewej. Szkic z podręcznika z 1892, aparatura współczesna.

Źródło: dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Induction_experiment.png [dostęp 16.05.2022], domena publiczna.

Słowniczek

Pole elektryczne

stan przestrzeni charakteryzujący się działaniem siły (zwanej siłą elektryczną) na ładunek umieszczony w tej przestrzeni; wielkością charakteryzująca pole elektryczne jest wektor natężenia pola elektrycznego $\overrightarrow{E}$.

Pole magnetyczne

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

Prąd elektryczny w przewodnikach

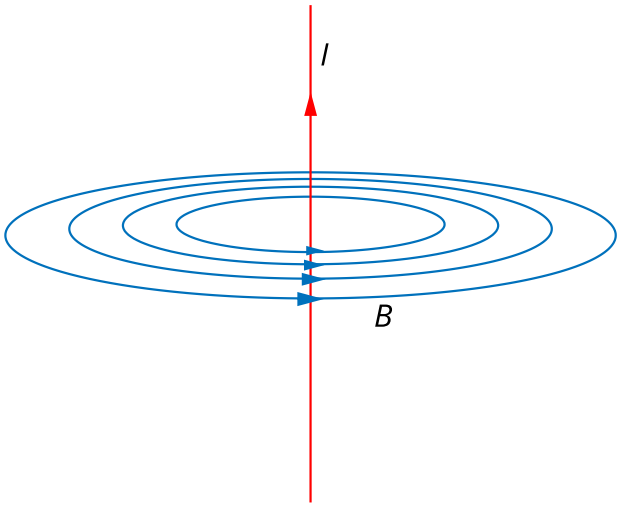
uporządkowany (jeśli chodzi o kierunek) ruch elektronów swobodnych spowodowany działaniem pola elektrycznego bądź magnetycznego; przyjęto, że kierunek prądu elektrycznego jest kierunkiem hipotetycznych ładunków dodatnich – jest przeciwny do kierunku ruchu elektronów.

Siła magnetyczna Lorentza

siła działająca na ładunek poruszający się w polu magnetycznym, opisana wzorem: $\overrightarrow{F_L} = q \cdot \overrightarrow{v} \times \overrightarrow{B}$. Wartość siły Lorentza: $F_L = |q|vB \sin \alpha$, gdzie α jest kątem pomiędzy wektorem prędkości ładunku i wektorem indukcji $\overrightarrow{B}$. Kierunek i zwrot tej siły określony jest regułą trzech palców.

Elektryczne pole wirowe

pole wektorowe o strukturze pokazanej na rysunku obok. Takie pole nie jest polem zachowawczym (potencjalnym), gdyż praca wykonana przez siłę elektryczną nad ładunkiem wzdłuż obwodu zamkniętego nie jest równa zeru. Realizacją takiej sytuacji jest wzbudzenie prądu indukcyjnego w zamkniętym przewodniku, gdy pole magnetyczne przechodzące przez powierzchnię na nim rozpiętą jest zmienne w czasie.



schemat pola wirowego na przykładzie pola magnetycznego wytworzonego przez prostoliniowy przewodnik z prądem

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

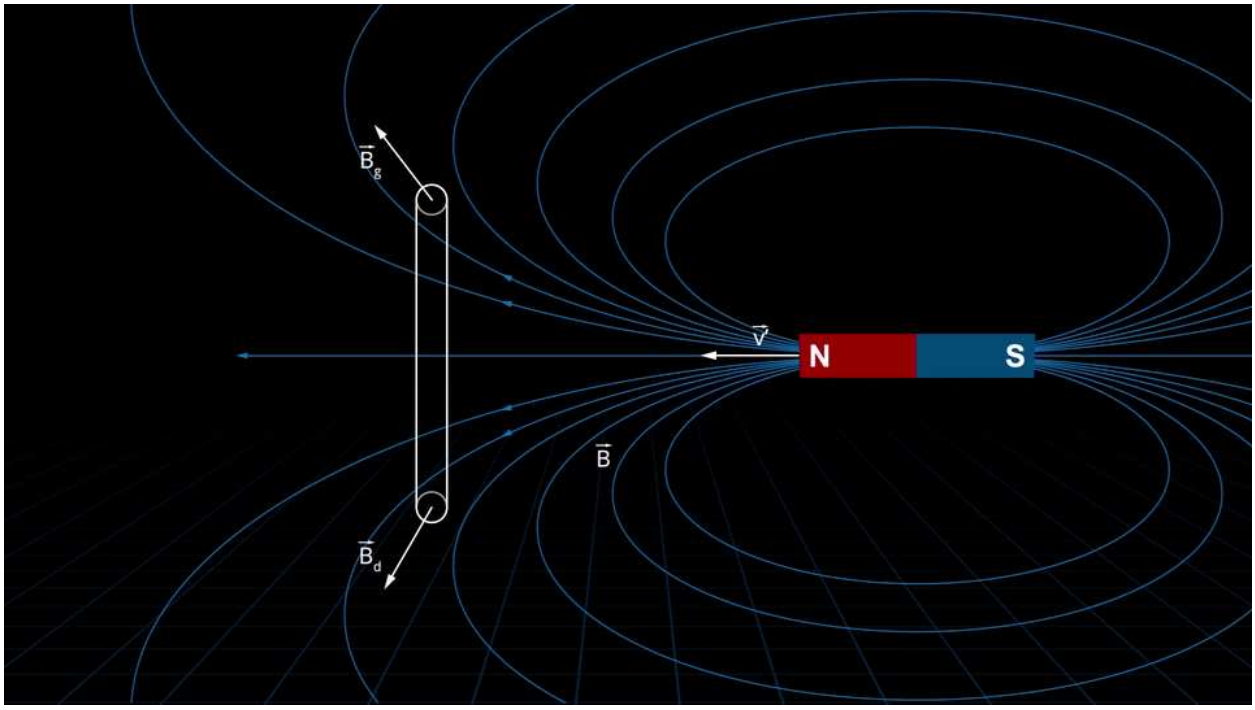
Animacja

Zjawisko indukcji elektromagnetycznej

Zapoznaj się z animacją ilustrującą zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Zwróć uwagę na trzy sposoby przedstawienia tego zjawiska:

1. Zbliżanie przewodzącego pierścienia do magnesu, rozpatrywane w układzie odniesienia magnesu.
2. Zbliżanie magnesu do pierścienia, rozpatrywane w układzie odniesienia pierścienia.
3. Zamknięcie obwodu zasilającego elektromagnes, we wspólnym układzie odniesienia elektromagnesu i pierścienia.

We wszystkich przypadkach **skutek** jest taki sam: w pierścieniu płynie prąd indukcyjny. Co sądzisz o poszczególnych **opisach** przyczyny przepływu prądu? Czy są jednakowe? Czy powinny być jednakowe?



Film dostępny pod adresem /preview/resource/RTroZp5nbQogb

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

Zapoznaj się z audiodeskrypcją animacji.

Polecenie 1

Konieczność wprowadzenia dwóch różnych opisów zjawiska indukcji elektromagnetycznej wynika z wymagań jednej z fundamentalnych zasad w fizyce. Jest to:

- Zasada zachowania pędu
- Zasada zachowania ładunku elektrycznego
- Zasada ekwipartycji energii
- Zasada względności

Polecenie 2

Na lotnisku, tuż przed wejściem do samolotu, zainstalowano bramki z kierunkowymi czujnikami pola elektrycznego do wykrywania niewyłączonych telefonów komórkowych i innych urządzeń elektronicznych, wnoszonych na pokład przez pasażerów. Jeden z pasażerów wywołał alarm przechodząc przez bramkę, ale podczas kontroli okazało się, że w ogóle nie ma on przy sobie takich urządzeń. Jedyne nietypowe przedmioty, które u niego znaleziono to zawinięta w woskowy papier kanapka z masłem orzechowym, lniana chusteczka do nosa, magnesik neodymowy ze zdjęciem żony i dzieci oraz komplet plastikowych sztućców.

Postaw hipotezę o możliwej przyczynie - innej, niż awaria czujnika - wywołania alarmu przez tego pasażera.

Polecenie 3

Wśród zastosowań praktycznych omawianego przez nas zjawiska indukcji elektromagnetycznej rozważ jedno, dość powszechnie służące (na początku albo na końcu odpowiednich układów wzmacniających) do „przechwytywania” dźwięku. Wybiegając nieco naprzód, ale dopełniając listę zastosowań „akustycznych” zanotujmy, że zjawisko niejako symetryczne - powstawanie pola magnetycznego w obecności zmiennego w czasie pola elektrycznego - stosowane jest np. w głośnikach.

Zapoznaj się w dostępnych w Sieci materiałach z zasadą działania typowych *dynamicznych mikrofonów* oraz *pasywnych przetworników* („przystawek”) stosowanych w gitarach elektrycznych. Co je różni, jeśli chodzi o sposób generowania sygnału? Czy sygnał gitary elektrycznej będzie zależeć od materiału, z którego wykonano struny?
Wpisz swoje odpowiedzi na te pytania.

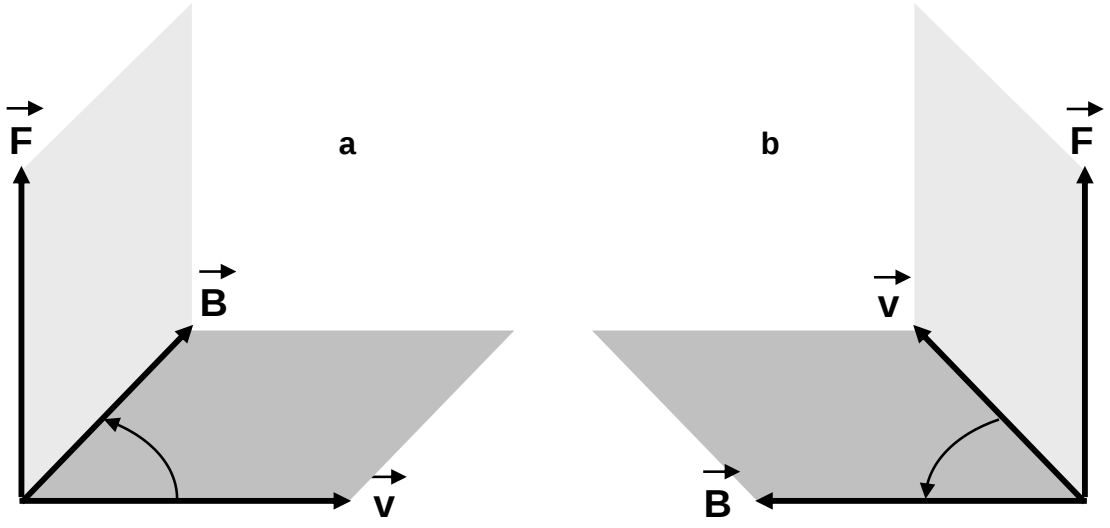
Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Ćwiczenie 1

Znasz zapewne co najmniej jedną regułę określania zwrotu siły Lorentza działającej na poruszającą się cząstkę w polu magnetycznym. Są to reguły mnemotechniczne, których stosowanie związane jest z określonymi wadami.
- Trzeba zapamiętać, który palec (palce), której dłoni, jest przypisany do jednego z trzech wektorów w tej regule.
- Nie zawsze jest wygodnie ułożyć dłoń zgodnie z rysunkiem - czasem trzeba ją nieźle wykręcić - nierzadko zaburza to wynik.
- Na sprawdzianie często brakuje czasu na odłożenie długopisu i uruchomienie palców albo ręki.
- Nadmierne manipulowanie dłonią może podczas sprawdzianu wzbudzić podejrzenia o chęć porozumienia się z siedzącą obok osobą.

Tymczasem każdy człowiek jest obdarzony wyobraźnią przestrzenną, która odpowiednio wyćwiczona zastępuje użycie dłoni czy palców.



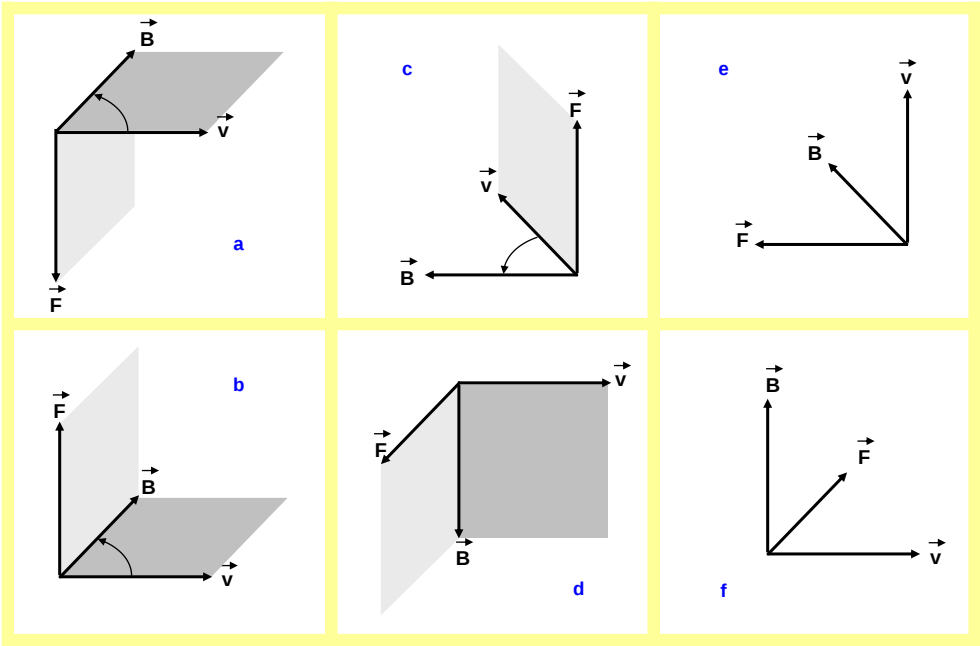
(a) Układ wektorów korzystny dla użycia lewej ręki
(b) Układ wektorów korzystny dla użycia prawej ręki
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl.

Spróbuj się nauczyć
1. Rozpoznaj płaszczyznę wyznaczoną przez prędkość i pole magnetyczne - to ta szara na rysunkach.
2. Uzupełnij sobie w wyobraźni obraz jeszcze jedną płaszczyzną - to ta jaśniejsza na rysunkach.
3. Wyobraź sobie taki obrót: wektor pola pozostaje nieruchomy a wektor prędkości chcesz jak

najszybciej nałożyć na wektor pola.
4. Każdemu takiemu obrotowi przypisz zwrot siły i zapamiętaj to przypisanie. Jeśli chcesz korzystać z reguły śruby prawoskrętnej, to ją sobie wyobraź na chwilę.

Sprawdź, czy potrafisz

Przeanalizuj każdy schemat - czy przedstawia on siłę Lorentza działającą na cząstkę naładowaną dodatnio czy ujemnie?
Staraj się jak najmniej używać dłoni czy palców - wytęż wzrok i uruchom wyobraźnię.



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

Wskaż wszystkie schematy na ilustracji, na których prawidłowo pokazana jest siła Lorentza działająca na cząstkę **dodatnio** naładowaną.

- [ ] a
- [ ] b
- [ ] c
- [ ] d
- [ ] e

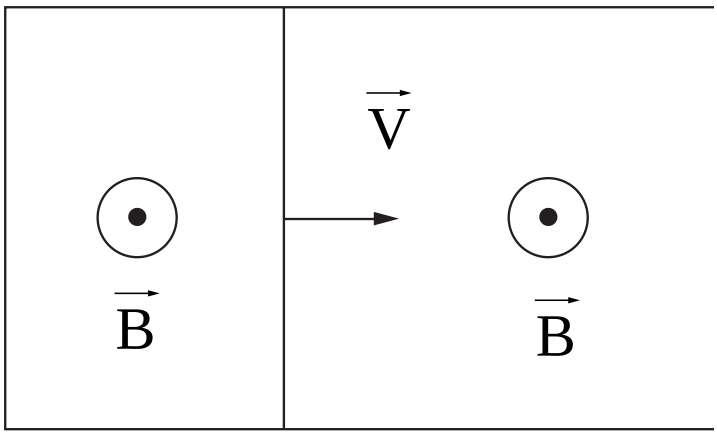
f

Ćwiczenie 2

Zamknięty kołowy obwód elektryczny umieszczono w spoczynku w jednorodnym polu magnetycznym, niezmiennym w czasie. Linie pola są prostopadłe do powierzchni obwodu. Wskaż czynnik, który wystarczy zmienić na przeciwny, by uzyskać przepływ prądu indukcyjnego w tym obwodzie.

- Otworzyć obwód.
- Wprawić obwód w ruch postępowy.
- Zastąpić pole innym, niejednorodnym.
- Wywołać zmianę w czasie indukcji lub kierunku jednorodnego pola magnetycznego.

Ćwiczenie 3



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

Rozważ układ pokazany na rysunku. Ramka, której jeden bok można przesuwać znajduje się w jednorodnym polu magnetycznym skierowanym prostopadle do powierzchni ramki, do nas.

W zdaniach poniżej wybierz właściwe zakończenia.

a) Gdy bok ramki jest przesuwany, to ruch ładunku w obwodzie spowodowany jest przez siłę magnetyczną ☐ / elektryczną ☐ .

b) Gdy bok ramki jest nieruchomy, a zmienia się pole magnetyczne, to ruch ładunku w obwodzie spowodowany jest przez siłę magnetyczną ☐ / elektryczną ☐ .

Ćwiczenie 4

Wróćmy do omawianego w animacji metalowego pierścienia poruszającego się w polu magnetycznym. Niech teraz pierścień porusza się w polu jednorodnym, zgodnie z liniami pola. Czy w pierścieniu popłynie prąd? Wybierz odpowiedź na to pytanie wraz z uzasadnieniem.

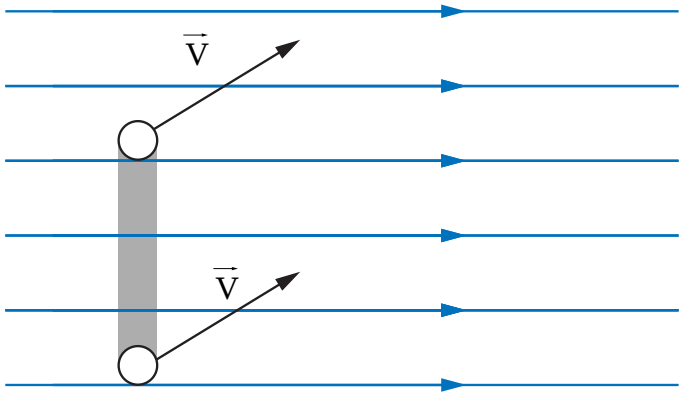
W pierścieniu popłynie ☐ / nie popłynie ☐ prąd

ponieważ

- na elektrony działa siła magnetyczna
- na elektrony działa siła magnetyczna w kierunku prostopadłym do przewodnika
- na elektrony działa siła elektryczna
- na elektrony nie działa ani siła magnetyczna ani siła elektryczna

Ćwiczenie 5

Jeszcze raz pierścień poruszający się w jednorodnym polu magnetycznym. Ale tym razem pierścień przesuwany jest tak, że wektor prędkości tworzy stały, ostry kąt z liniami pola. Na rysunku poniżej przedstawiono, podobnie jak w animacji, poprzeczny przekrój pierścienia:



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

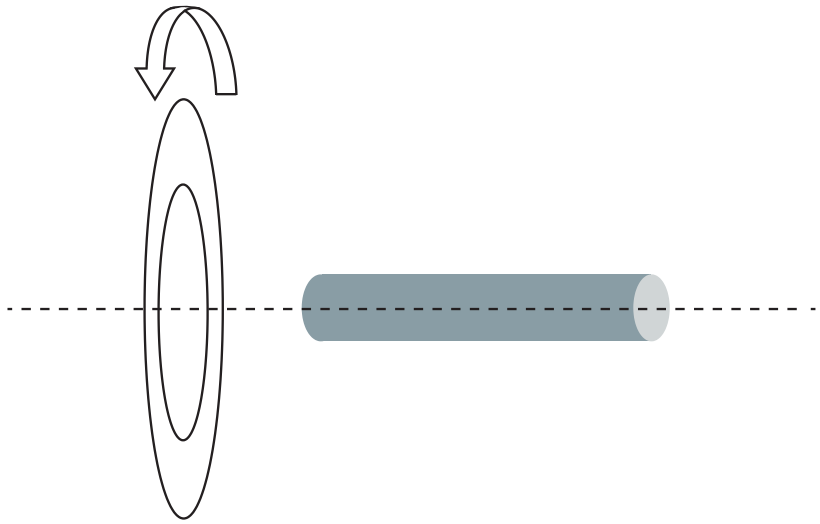
Czy w pierścieniu popłynie prąd? Wybierz odpowiedź na to pytanie wraz z uzasadnieniem.

W pierścieniu popłynie ☐ / nie popłynie ☐ prąd

ponieważ _____

- na elektrony nie działa ani siła magnetyczna ani siła elektryczna
- przewodnik przecina linie pola magnetycznego
- na wszystkie elektrony działa siła magnetyczna o tym samym kierunku i zwrocie
- na wszystkie elektrony działa siła magnetyczna w kierunku prostopadłym do przewodnika
- na elektrony działa siła elektryczna

Ćwiczenie 6



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

Metalowy pierścień umieszczono w pobliżu jednego z biegunów magnesu sztabkowego, jak pokazano na powyższym rysunku. Po wprawieniu pierścienia w ruch wokół osi symetrii, elektrony (oraz jony sieci krystalicznej) w pierścieniu poruszają się wraz z pierścieniem. Czy w takiej sytuacji popłynąłby prąd? Wybierz odpowiedź na to pytanie wraz z uzasadnieniem.

W pierścieniu popłynie ☐ / nie popłynie ☐ prąd

ponieważ _____

- na elektrony nie działa ani siła magnetyczna ani siła elektryczna
- na wszystkie elektrony działa siła magnetyczna o tym samym kierunku
- na wszystkie elektrony działa siła magnetyczna w kierunku prostopadłym do przewodnika
- na elektrony działa siła elektryczna

Ćwiczenie 7

Wyobraź sobie plastikową tarczę z przytwierdzonymi równomiernie wzdłuż obwodu metalowymi kuleczkami. Tarcza osadzona jest poziomo na pionowej osi, tak że może swobodnie się obracać. Teraz metalowe kuleczki ładujemy - każdą takim samym ładunkiem dodatnim i umieszczamy całość pomiędzy cewkami Helmholtza (które, działając, wytwarzają jednorodne pole magnetyczne o wektorze indukcji skierowanym pionowo). Wybierz właściwe uzupełnienia zdania: Podczas włączania pola magnetycznego (zasilenia cewek Helmholtza)

Tarcza zacznie się obracać ☐ / pozostanie nieruchoma ☐

ponieważ _____

- na naładowane kulki działa siła elektryczna, ale skoro wytworzone pole elektryczne jest jednorodne, to na tarczę nie będzie działał żaden wypadkowy moment siły
- zmienne pole magnetyczne wytworzy wirowe pole elektryczne, które oddziałując na naładowane kulki wytworzy niezerowy moment siły, wprawiający tarczę w ruch.
- pole magnetyczne nie działa na nieruchome ładunki.

Ćwiczenie 8

Wybierz właściwą odpowiedź.

Kierunek prądu indukcyjnego, który powstanie w kołowym przewodniku, gdy będziesz oddalał ten przewodnik od bieguna północnego magnesu, będzie zgodny ☐ / przeciwny ☐ z kierunkiem wskazówek zegara. (Patrzysz na przewodnik kołowy od strony magnesu.)

Ćwiczenie 9

Rozważ ponownie układ pokazany na rysunku z Ćw. 1. i wybierz właściwą odpowiedź.

Ramka, której jeden bok można przesuwać znajduje się w jednorodnym polu magnetycznym skierowanym prostopadle do powierzchni ramki, do nas. Przyczyną prądu indukcyjnego, który popłynie w ramce, gdy jej bok będziemy przesuwać w prawo, będzie działanie siły magnetycznej ☐ / elektrycznej ☐ na swobodne elektrony. Kierunek prądu jest zgodny ☐ / przeciwny ☐ do kierunku ruchu wskazówek zegara.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Nina Tomaszewska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	**Istota zjawiska indukcji elektromagnetycznej**
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony, rozszerzenie zapisów podstawy programowej.
Podstawa programowa	**Cele kształcenia – wymagania ogólne** I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. **Zakres rozszerzony** **Treści nauczania – wymagania szczegółowe** I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu; 20) tworzy modele fizyczne lub matematyczne wybranych zjawisk i opisuje ich założenia; ilustruje prawa i zależności fizyczne z wykorzystaniem tych założeń. IX. Magnetyzm. Uczeń: 9) opisuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej; stosuje regułę Lenza; opisuje przemiany energii podczas działania prądnicy.
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. przedstawi odkrycie Faradaya oraz trudności w jego dokonaniu, 2. opisze zjawisko indukcji elektromagnetycznej , 3. wyjaśni, dlaczego zachodzi zjawisko indukcji elektromagnetycznej i że może mieć dwie przyczyny, 4. uzasadni, że zależnie od wyboru układu odniesienia, zjawisko indukcji elektromagnetycznej wywoływane jest przez siłę magnetyczną Lorentza lub przez siłę elektryczną, 5. opisze znaczenie zjawiska indukcji elektromagnetycznej we współczesnym świecie.
Strategie nauczania	nauczanie przez dociekanie IBSE
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:	e-materiał „Czym jest siła Lorentza?”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Uczniowie przypominają pojęcie siły Lorentza oraz strumienia magnetycznego. Wykonują zadanie 1. z zestawu ćwiczeń. Nauczyciel wprowadza uczniów w temat według treści zawartej w części „Czy to nie ciekawe?” i „Warto przeczytać” e-materiału.	
Faza realizacyjna:	

Uczniowie oglądają animację dotyczącą wytwarzania prądu indukcyjnego na dwa sposoby. Nauczyciel zatrzymuje animację w wybranych przez siebie momentach i prosi uczniów, zależnie od kontekstu, o: - uzupełnienie narracji, - objaśnienie elementu grafiki, - przewidzenie dalszego ciągu narracji. Przykładowe sytuacje zatrzymania animacji: - uczniowie wyznaczają kierunek siły Lorentza działającej na swobodne elektrony w obwodzie kołowym przemieszczanym w niejednorodnym polu magnetycznym, - uczniowie przypominają zasadę względności Galileusza, - uczniowie stwierdzają, że przyczyną przepływu prądu w nieruchomym pierścieniu nie może być siła Lorentza, - uczniowie rozpoznają konieczność zapostulowania, że zmienne pole magnetyczne wytwarza wirowe pole elektryczne. Nauczyciel razem z uczniami dokonują podsumowania pracy z animacją i zapisują je w postaci wniosków. W ostatnim etapie lekcji uczniowie sporządzają krótką listę zasadniczych zastosowań technicznych indukcji elektromagnetycznej.	
Faza podsumowująca:	
Uczniowie wykonują zadania: 2., 3., 4. i 6. z zestawu ćwiczeń. Pozwalają one ocenić, na ile udało się zrealizować cele lekcji.	
Praca domowa:	
Jako pracę domową można zadać pozostałe zadania z zestawu ćwiczeń.	
Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium	Multimedium może być wykorzystane przez uczniów w domu do powtórzenia i utrwalenia wiadomości.