



Indukcja elektromagnetyczna w zadaniach

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

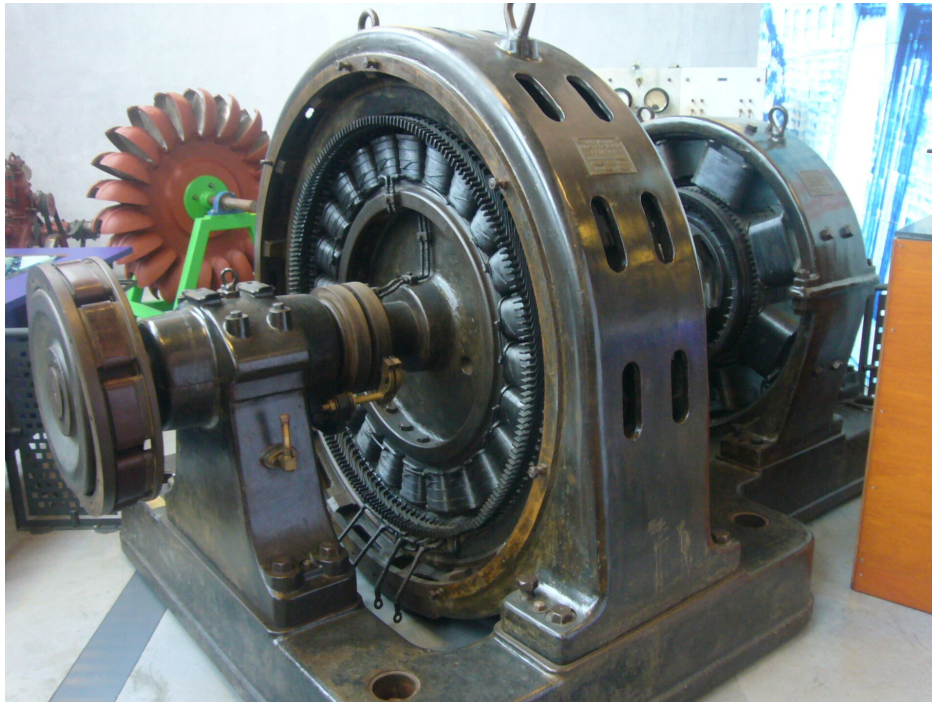
A close-up photograph of a glowing copper coil, likely a transformer or generator component, with a dark background. The coil is made of many turns of copper wire, and the lighting is dramatic, highlighting the metallic texture and the heat of the glowing wires.

Indukcja elektromagnetyczna w zadaniach

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

Czy to nie ciekawe ?

Zjawisko indukcji elektromagnetycznej jest bardzo ważnym zjawiskiem fizycznym wykorzystywanym do działania wielu urządzeń, takich jak transformator, generator napięcia przemiennego, kuchnia indukcyjna. Miało też ono ogromne znaczenie teoretyczne - doprowadziło do odkrycia fali elektromagnetycznej.



Rys. a. Prądnica, w której działaniu wykorzystane jest zjawisko indukcji elektromagnetycznej.

Źródło: Jordiferrer, dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alternador_al_mnactec.JPG [dostęp 15.05.2022], licencja: CC BY-SA 3.0.

W tym e-materiale podsumujemy wiedzę na temat zjawiska indukcji elektromagnetycznej i opowiemy o zasadach rozwiązywania problemów (zadań) dotyczących tego zjawiska.

Twoje cele

Korzystając z tego e-materiału:

- uporządkujesz swoją wiedzę na temat zjawiska indukcji elektromagnetycznej,
- zastosujesz prawo Faraday'a do obliczania wartości natężenia prądu indukcyjnego wzbudzonego w obwodzie,
- wykorzystasz regułę Lenza do wyznaczenia kierunku prądu indukcyjnego.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Zjawisko indukcji elektromagnetycznej to, popularnie mówiąc, wytwarzanie prądu elektrycznego za pomocą pola magnetycznego. Bardziej precyzyjnie powiemy, że **zjawisko indukcji elektromagnetycznej polega na powstawaniu siły elektromotorycznej w przewodniku na skutek zmian strumienia pola magnetycznego przenikającego powierzchnię rozpiętą na tym przewodniku**. W obwodzie zamkniętym siła elektromotoryczna (SEM) spowoduje przepływ prądu.

W powyższej definicji zjawiska dwa pojęcia mogą być niejasne – SEM indukcji oraz strumień pola magnetycznego.

Wartość bezwzględna siły elektromotorycznej (**SEM indukcji** o symbolu ε_{ind}) to praca siły zewnętrznej W_z powodująca przemieszczenie jednostkowego ładunku wzdłuż obwodu. Zatem

$$|\varepsilon_{ind}| = \frac{W_z}{q}.$$

Jak widać, w definicji użyliśmy wartości bezwzględnej SEM indukcji. Dlatego, że może ona być ujemna, zgodnie z konwencją, o której tutaj nie będziemy mówić. Z kolei praca sił zewnętrznych zgodnie z zasadą zachowania energii musi być zawsze, przy wytwarzaniu prądu, dodatnia.

Definicja **strumienia indukcji magnetycznej**:

Strumieniem indukcji magnetycznej B przez powierzchnię S nazywamy iloczyn skalarny wektorów \vec{B} i \vec{S} :

$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \alpha,$$

gdzie α jest kątem między tymi dwoma wektorami, a \vec{S} jest wektorem prostopadłym do powierzchni S o wartości równej polu tej powierzchni.

Strumień będzie się zmieniał, gdy zmianie będzie ulegała jakakolwiek wielkość wchodząca do iloczynu – powierzchnia, wartość indukcji magnetycznej, kąt między powierzchnią a wektorem indukcji – przy zachowaniu pozostałych. Mogą zmieniać się też oczywiście wszystkie te wielkości jednocześnie, ale tak, żeby ich iloczyn nie pozostawał stały.

Zjawisko indukcji elektromagnetycznej opisywane jest przez prawo Faradaya, odkrywcę i badacza tego zjawiska.

Prawo indukcji elektromagnetycznej Faradaya zapisujemy w następujący sposób:

$$\varepsilon_{\text{ind}} = - \frac{d\Phi_B}{dt} .$$

i formułujemy:

Siła elektromotoryczna indukcji powstająca w obwodzie zamkniętym równa jest szybkości zmiany strumienia indukcji magnetycznej przenikającej powierzchnię rozpiętą na tym obwodzie wziętej ze znakiem minus.

Uwaga: powyższe równanie po prawej stronie zawiera wyrażenie z małymi literami d w liczniku i mianowniku. Należy je rozumieć jako granicę ilorazu przyrostów Φ_B oraz t przy Δt dążącym do zera. Nazywamy je *pochodną* strumienia indukcji względem czasu.

To prawo słuszne jest niezależnie od sposobu zmiany strumienia pola magnetycznego; gdy zmiana ta wywołana jest ruchem względnym źródła pola magnetycznego i obwodu lub, gdy nie ma żadnego ruchu, a zmienia się wartość indukcji magnetycznej.

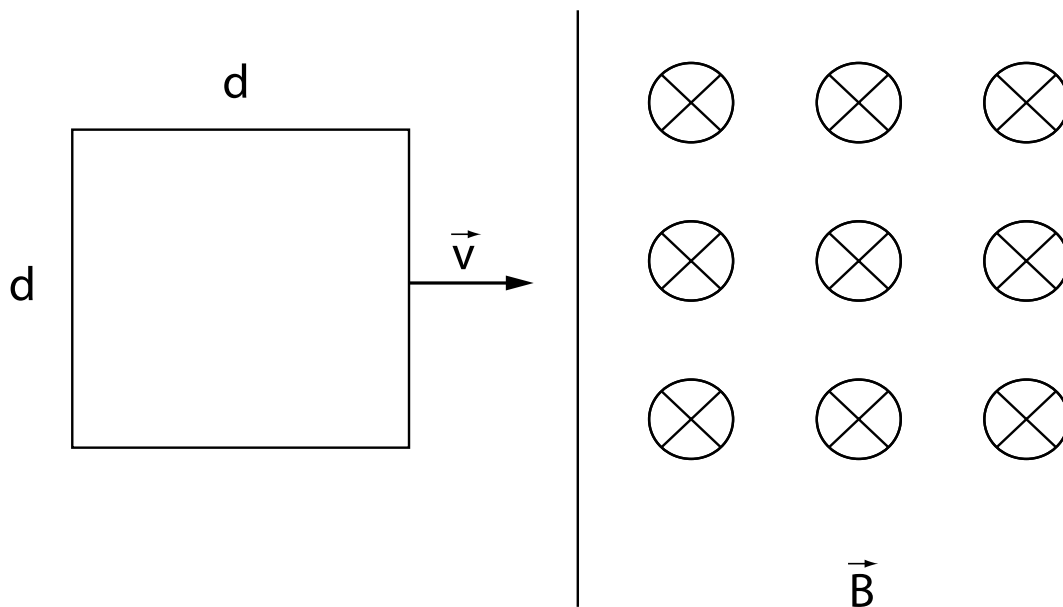
Prawo Faradaya jest uniwersalnym ujęciem matematycznym zjawiska indukcji elektromagnetycznej.

Reguła Lenza pozwala w szybki i prosty sposób wyznaczyć kierunek prądu indukcyjnego. Naprawdę jest postacią zasady zachowania energii. Mówi ona, że **prąd indukcyjny wzbudzony w przewodniku pod wpływem zmiennego strumienia indukcji magnetycznej ma zawsze taki kierunek, że pole magnetyczne wytworzone przez ten prąd indukcyjny przeciwdziała przyczynie (czyli zmianie strumienia pola magnetycznego), która go wywołała.**

W ten sposób zebrane zostały podstawowe definicje i prawa dotyczące interesującego nas zjawiska.

Zobacz teraz przykład rozwiązywania typowego zadania „z indukcją elektromagnetyczną”.

Przykład



Rys. 1.

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

Obwód w kształcie kwadratu o boku $d = 0,5 \text{ m}$ wciągany jest ze stałą prędkością $v = 4 \text{ m/s}$ w obszar jednorodnego pola magnetycznego, którego wartość indukcji $B = 1 \text{ T}$ (zobacz Rys. 1.). Opór elektryczny obwodu wynosi $R = 2 \Omega$.

- Kiedy (w którym momencie/momentach) w ramce będzie płynął prąd?
- Wyznacz kierunek tego prądu.
- Oblicz wartość siły, która działa na ramkę podczas przesuwania jej zgodnie z wektorem prędkości. Załóż brak oporów mechanicznych ruchu.

Rozwiązanie

a) Prąd indukcyjny płynie wtedy, gdy zmienia się strumień indukcji magnetycznej przez powierzchnię rozpiętą na obwodzie. W sytuacji pokazanej na rysunku strumień jest równy zero i taki pozostanie do momentu dotknięcia prawej krawędzi kwadratu granicy obszaru pola magnetycznego. Następnie w miarę przesuwania się obwodu będzie się on coraz bardziej wypełniał polem magnetycznym – strumień będzie rósł. Zatem spełniony jest tu warunek zachodzenia zjawiska indukcji elektromagnetycznej, czyli zaczną płynąć prąd indukcyjny. Przez jaki czas? Łatwo obliczyć, ponieważ ruch ramki jest jednostajny:

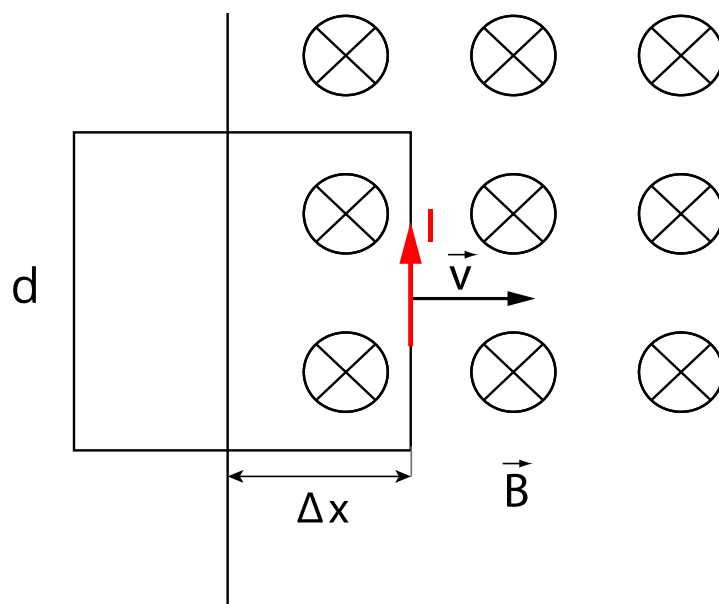
$$t = \frac{d}{v} = \frac{0,5 \text{ m}}{2 \text{ m/s}} = 0,25 \text{ s}.$$

Prąd będzie płynął aż do momentu, kiedy cały kwadrat wejdzie w obszar pola magnetycznego. Wtedy strumień będzie niezerowy, ale nie będzie się już zmieniał.

b) Skorzystamy z reguły Lenza. Zauważyliśmy już, że strumień indukcji magnetycznej podczas wciągania obwodu w obszar pola magnetycznego rośnie. Wobec tego prąd indukcyjny będzie płynął w takim kierunku, aby przeciwdziałać wzrostowi strumienia.

Wytworzone przez prąd indukcyjny pole magnetyczne o wektorze indukcji \vec{B}_{ind} będzie ustawione przeciwnie do wektora \vec{B} . Zatem wektor \vec{B}_{ind} jest ustawiony do nas. Jeśli ustawisz w ten sposób kciuk prawej dłoni, to pozostałe zagięte palce pokażą kierunek prądu indukcyjnego. Prąd będzie płynął przeciwnie do ruchów wskazówek zegara.

c) Znowu skorzystam z jednostajności ruchu ramki. Zauważ, że siła, która działa na ramkę podczas przesuwania jej zgodnie z wektorem prędkości (np. siła mojej ręki) nie może być jedyną siłą działającą na kwadrat. Gdyby tak było, poruszałby się on ruchem przyspieszonym. Ponieważ ruch jest jednostajny, to znaczy, że w każdej chwili działa siła równoważąca siłę ręki. To **siła elektrodynamiczna**. Przecież teraz w ramce płynie prąd i jej część znajduje się w polu magnetycznym (zobacz Rys. 2.).



Rys. 2.

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

Czerwona strzałka pokazuje kierunek prądu. **Siła elektrodynamiczna** działa w lewą stronę (wyznaczyłam ją stosując **regułę trzech palców**.) Na górną część ramki i dolną też działają siły **elektrodynamiczne**, ale skierowane przeciwnie znoszą się wzajemnie.

Podsumujmy: **siła elektrodynamiczna** równoważy siłę mojej ręki. Mogę więc przyrównać wartości obu sił. $F = F_{ed} = BId$, gdzie I jest natężeniem prądu indukcyjnego. Wystarczy obliczyć teraz wartość natężenia tego prądu. Skorzystamy z prawa Faradaya i z prawa

Ohma. Zaczniemy od tego drugiego: Ponieważ interesuje nas tylko wartość I , to napiszemy

$$I = \frac{|\varepsilon_{\text{ind}}|}{R}.$$

$$|\varepsilon_{\text{ind}}| = \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = \frac{\Delta x \cdot d \cdot B}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \cdot d \cdot B = vdB.$$

Po podstawieniu do I otrzymamy $I = \frac{vdB}{R}$.

Ostatecznie szukana wartość siły będzie wyrażona przez:

$$F = \frac{vd^2B^2}{R}$$

$$[F] = \frac{\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{T}^2}{\Omega} = \frac{\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \text{m}^2 \cdot \left(\frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}\right)^2}{\frac{\text{N}}{\text{s}} \cdot \text{A}^2} = \text{N}$$

$$F = 0,5 \text{ N}$$

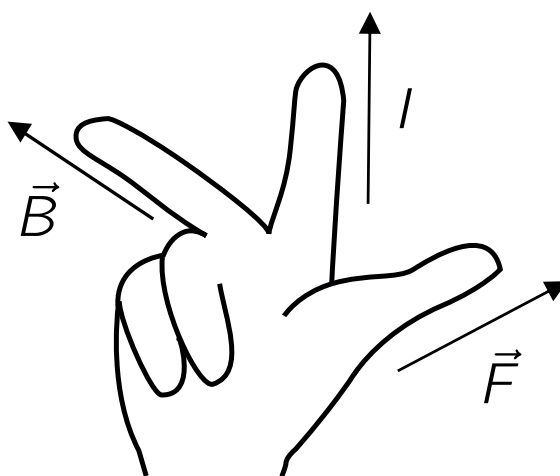
Słowniczek

siła elektrodynamiczna

siła działająca na przewodnik z prądem umieszczony w polu magnetycznym; wartość siły elektrodynamicznej wyrażona jest wzorem: $F_{\text{ed}} = IlB\sin\alpha$, gdzie I jest wartością natężenia prądu w przewodniku, l - jego długością, B - wartością indukcji magnetycznej, α - kątem pomiędzy kierunkiem prądu i kierunkiem linii pola magnetycznego.

reguła trzech palców prawej dłoni (Fleminga)

mnemotechniczna reguła pozwalająca łatwo zapamiętać wzajemne ustawienie: wektora siły elektrodynamicznej, wektora indukcji magnetycznej i kierunku prądu. Obrazuje ją następujący rysunek:



Film samouczek

Indukcja elektromagnetyczna w zadaniach

Film samouczek przedstawia przykładowe zadanie związane ze zjawiskiem indukcji elektromagnetycznej - analizę działania nietypowej prądnicy. Obejrzyj samouczek i wykonaj polecenia.

The diagram shows a rectangular circuit with a resistor R on the left and a rod of length d on the right. The rod is on two parallel horizontal rails. A magnetic field \vec{B} is directed into the page, indicated by a circle with a cross. A force \vec{F} is applied to the rod to the right, and a reaction force \vec{F}_L is shown to the left. The rod's velocity is \vec{v} to the right. The distance from the resistor to the rod is x .

$$\phi = S \cdot B \quad B = \text{const}$$
$$\frac{\Delta \phi}{\Delta t} = \frac{\Delta S \cdot B}{\Delta t} = \frac{d \Delta x \cdot B}{\Delta t} = dBv$$
$$\mathcal{E} = \left| \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \right|$$
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{dBv}{R}$$
$$\vec{F}_L \uparrow \downarrow \vec{F} \quad F_L = IBd$$
$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{F}_L$$

Film dostępny pod adresem </preview/resource/Rw2GYXuexLjTm>

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

Zapoznaj się z treścią samouczka.

Polecenie 1

Znajdź prędkość graniczną v_g dla konkretnych wartości wielkości występujących w omówionym zadaniu: $d = 1 \text{ m}$, $B = 0.5 \text{ T}$, $R = 2 \Omega$, $F = 1 \text{ N}$.

Polecenie 2

Czy powinna nas dziwić *rosnąca* zależność prędkości granicznej od *oporu* w obwodzie?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Nazwij dwa prawa fizyczne (od nazwisk fizyków), które stosujemy chcąc wyznaczyć natężenie prądu indukcyjnego.

Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



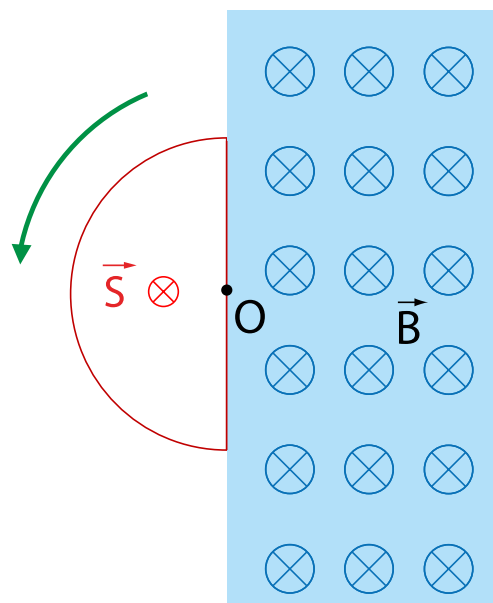
Ćwiczenie 4



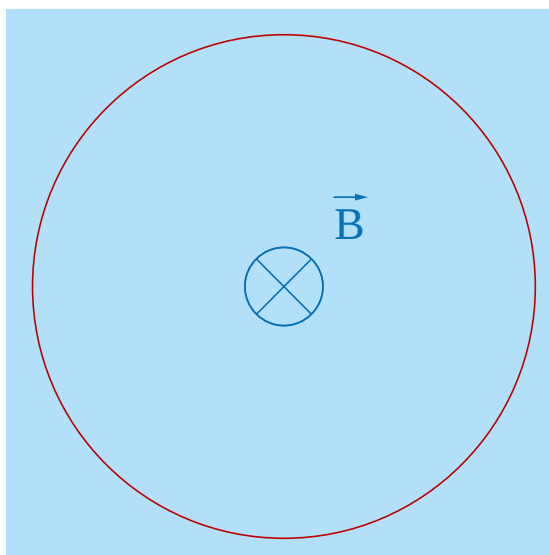
Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



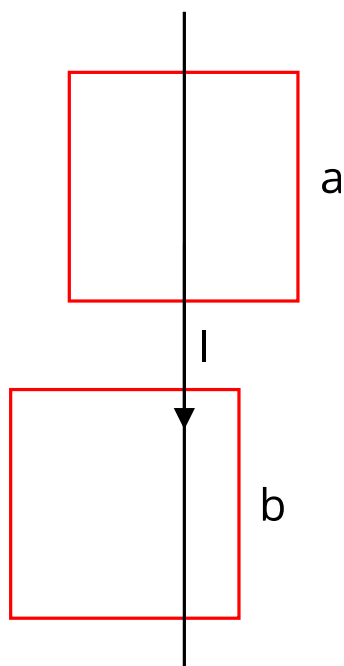
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ćwiczenie 8



Przewodzące ramki o kształcie kwadratów umieszczone są w pobliżu przewodnika prostoliniowego tak, że tworzą z nim jedną płaszczyznę (przy pominięciu grubości przewodników). Sposób rozmieszczenia kwadratów i kierunek przepływu prądu w przewodniku prostoliniowym pokazany jest na rysunku.

Wskaż poprawne odpowiedzi.



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

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Nina Tomaszewska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Indukcja elektromagnetyczna w zadaniach
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>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.</p> <p>IX. Magnetyzm. Uczeń:</p> <p>9) opisuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej; stosuje regułę Lenza; opisuje przemiany energii podczas działania prądu;</p> <p>10) oblicza siłę elektromotoryczną indukcji jako szybkość zmiany strumienia.</p>
Kształtowane kompetencje kluczowe:	<p>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</p> <ul style="list-style-type: none">• 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:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. dowie się, na czym polega zjawisko indukcji elektromagnetycznej i jaki jest konieczny warunek zachodzenia zjawiska; 2. dowie się, co to jest strumień indukcji magnetycznej; 3. pozna fundamentalne prawo fizyczne – prawo Faradaya, opisujące ilościowo zjawisko indukcji elektromagnetycznej; 4. będzie umiał zastosować to prawo do obliczania wartości natężenia prądu indukcyjnego wzbudzonego w obwodzie 5. pozna regułę Lenza i nauczy się ją stosować, aby wyznaczyć kierunek prądu indukcyjnego.
Strategie nauczania	blended-learning
Metody nauczania	wykład informacyjny wspomagany pokazem multimedialnym
Formy zajęć:	praca w zespole klasowym
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	niniejszy e-materiał
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Nauczyciel nawiązuje do znaczenia zjawiska indukcji elektromagnetycznej w życiu codziennym. Uczniowie przypominają sobie być może prądnicę i transformator. Nauczyciel podkreśla, że bez wiedzy, którą dał nam Faraday, nie byłoby telefonii komórkowej. Nauczyciel wraz z uczniami przypomina definicję strumienia indukcji magnetycznej oraz definicję siły elektromotorycznej indukcji. Należy też przypomnieć prawo indukcji Faradaya i regułę Lenza.</p>	
Faza realizacyjna:	
<p>Nauczyciel posługując się przykładem omówionym w części „Warto przeczytać” rozwiązuje typowe zadanie pokazując uczniom, w jaki sposób wykorzystuje się podstawową wiedzę z zakresu indukcji elektromagnetycznej. Teraz następuje wykorzystanie multimedium. Tym razem to gra edukacyjna – czas na samodzielną pracę uczniów. Sprawdzają przy okazji zabawy, czy nabyli już umiejętność rozwiązywania zadań dotyczących indukcji elektromagnetycznej.</p>	
Faza podsumowująca:	

W fazie podsumowującej uczniowie pod kierunkiem nauczyciela rozwiązują zadania: 6., 7. i 8. z zestawu ćwiczeń.

Praca domowa:

Zadania: 1., 2., 3., 4. i 5. z zestawu ćwiczeń

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

To multimedium może być przez ucznia wykorzystane w domu do samodzielnej pracy, w celu przeanalizowania sposobu rozwiązania typowego zadania dotyczącego indukcji elektromagnetycznej.