




Współzależność zmian pola magnetycznego i elektrycznego w ujęciu jakościowym i ilościowym

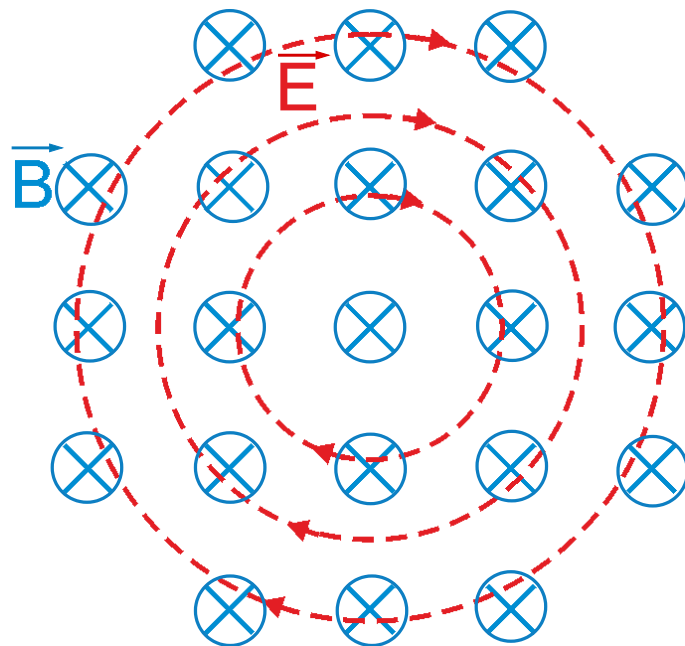
- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Współzależność zmian pola magnetycznego i elektrycznego w ujęciu jakościowym i ilościowym

Czy to nie ciekawe?

Tytuł tego e-materiału sugeruje, że pole elektryczne i magnetyczne są w jakiś sposób ze sobą związane. Znasz już takie zjawisko, w którym pole magnetyczne wytwarza pole elektryczne? To zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Przypomnijmy, że jednym ze sposobów wzbudzenia prądu w obwodzie zamkniętym była zmiana strumienia pola magnetycznego poprzez zmianę wartości indukcji magnetycznej. Wyjaśnialiśmy powstanie prądu elektrycznego działaniem siły elektrycznej na ładunki swobodne. Jeśli rozpatrujemy jednorodne pole magnetyczne, którego wartość maleje z czasem, to pojawia się wobec tego w przewodniku wirowe pole elektryczne, które działa na ładunki popychając je wzdłuż obwodu (zobacz Rys. a.).



Rys. a. Gdy wartość indukcji magnetycznej \vec{B} rośnie, a pole skierowane jest w głąb rysunku, pojawia się w przewodniku wirowe pole elektryczne o wektorach natężenia \vec{E} skierowanych jak na rysunku. Prąd indukcyjny wywołany w ten sposób płynie przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.

Badając zjawisko indukcji elektromagnetycznej uczeni doszli do wniosku, że:

zmienne pole magnetyczne wytwarza wokół siebie wirowe pole elektryczne.

A czy czasem nie jest też odwrotnie: czy zmienne pole elektryczne nie wytwarza niekiedy pola magnetycznego? Przecież symetria jest piękna. Odpowiedź znajdziesz w tym e-materiale.

Twoje cele

W tym e-materiale:

- Dowiesz się, w jaki sposób Maxwell odkrył, że zmienne pole elektryczne wytwarza wokół siebie wirowe pole magnetyczne,
- Zrozumiesz, że pola elektryczne i magnetyczne są ze sobą ściśle powiązane i co z tego wynika,
- Zrozumiesz, na czym polega rewolucyjność odkrycia Maxwella.

Przeczytaj

Warto przeczytać

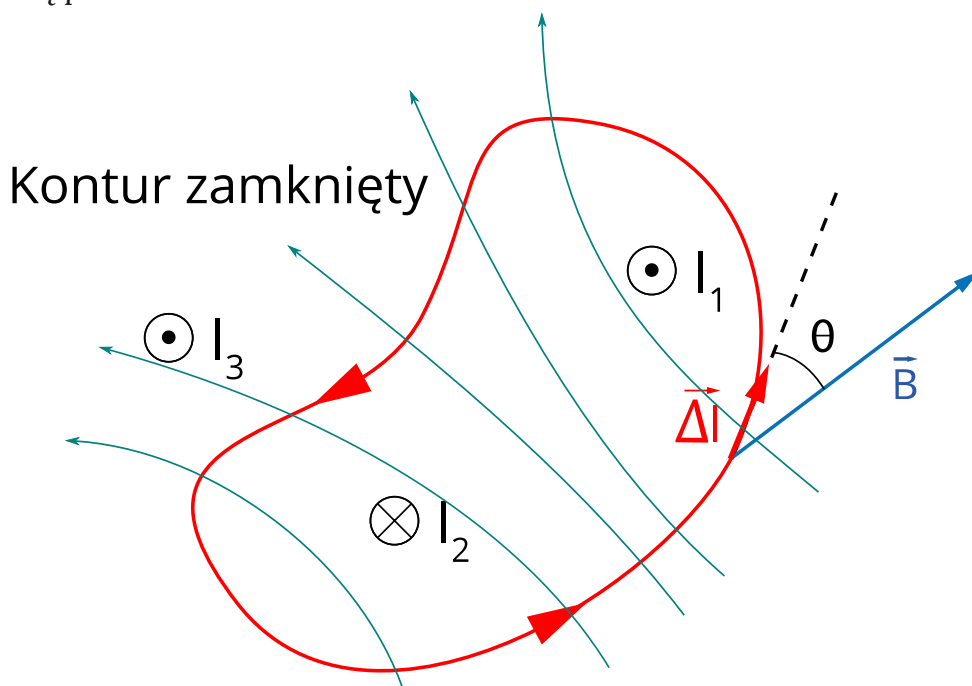
James Clerk Maxwell, genialny szkocki fizyk badał wnikliwie odkryte przez innych fizyków prawa dotyczące **pól elektrycznego i magnetycznego**. Między innymi jego badania dotyczyły prawa Ampere'a, które można zapisać w następujący sposób:

$$K_B = \mu_0 I$$

co odczytujemy:

Krażenie wektora indukcji magnetycznej wokół krzywej zamkniętej równe jest iloczynowi stałej przenikalności magnetycznej próżni i całkowitego natężenia prądu przebijającego powierzchnię rozpiętą na krzywej.

Na Rys. 1. przedstawiona jest idea obliczania krążenia (cyrkulacji). Tej wielkości fizycznej poświęcony jest e-materiał „Co to znaczy, że pole elektryczne bądź magnetyczne jest wirowe”. Warto zajrzeć w to miejsce, aby głębiej zrozumieć pojęcie krążenia i jego związek z wirowością pola.



Rys. 1. Kontur zamknięty, krzywa wzdłuż której będziemy obliczać krążenie wektora indukcji \vec{B} leży w płaszczyźnie rysunku. Pokazane są też symbolicznie prądy, które prostopadle przecinają płaszczyznę rysunku. Dwa z nich I_1 oraz I_2 leżą w obrębie krzywej, mówimy, że przecinają powierzchnię rozpiętą na krzywej; trzeci prąd I_3 leży „na zewnątrz” krzywej

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

Obliczanie krążenia K_B odbywa się według następującej procedury. Najpierw obieramy orientację krzywej, co pokazane jest na rysunku za pomocą strzałek leżących na konturze.

Dzielimy krzywą na małe wektory $\vec{\Delta l}$ styczne do krzywej i skierowane zgodnie z jej orientacją. Nasza abstrakcyjna, matematyczna krzywa „zanurzona” jest w całym realnym polu fizycznym jakim jest pole magnetyczne o indukcji \vec{B} . Na rysunku, dla jego przejrzystości, narysowany jest tylko jeden wektor indukcji \vec{B} , ale pole magnetyczne występuje tu w każdym punkcie krzywej i trzeba sobie wyobrazić, że do każdego wektora na krzywej $\vec{\Delta l}_i$ doczepiony jest odpowiedni wektor \vec{B}_i . Krążenie zdefiniowane jest jako suma iloczynów skalarnych wektorów $\vec{\Delta l}_i$ i \vec{B}_i :

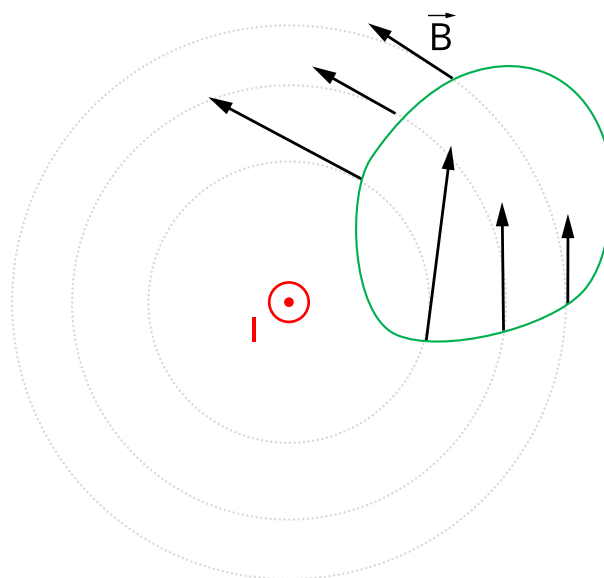
$$K_B = \sum_i \Delta l_i \cdot B_i \cdot \cos \theta_i$$

gdy $\Delta l_i \rightarrow 0$.

Zauważmy, że $B_i \cdot \cos \theta_i$ jest składową styczną wektora indukcji magnetycznej do krzywej, po której obliczamy krążenie. Ten przyczynik do krążenia może być dodatni, ujemny albo równy zero.

Krążenie jest miarą wirowości pola. Jeśli jest równe zero, to oznacza, że mamy do czynienia z polem bezwirowym.

Okazuje się, że gdy w obszarze ograniczonym krzywą nie płynie prąd (nie przebija powierzchni rozpiętej na tej krzywej), to pole magnetyczne jest bezwirowe, czyli K_B równe jest zero. Taka sytuacja przedstawiona jest na Rys. 2. W obrębie konturu zaznaczonego zieloną linią nie ma żadnego przewodnika z prądem, a więc prawa strona prawa Ampere’a jest równa zero, jak również krążenie też jest równe zero. W przykładzie z Rys. 1. wystarczy, aby natężenia prądów I_1 i I_2 były sobie równe i również uzyskujemy krążenie równe zero.

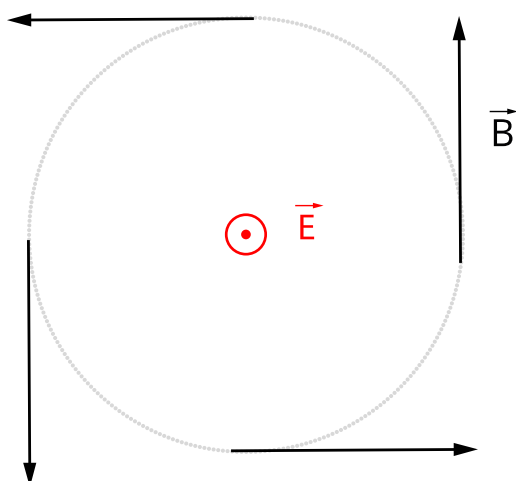


Rys. 2. W obszarze ograniczonym krzywą nie płynie prąd, pole magnetyczne jest bezwirowe, czyli K_B równe jest zero.

Maxwell analizując różne przypadki prądu jako źródła pola magnetycznego, doszedł do niezmiernie ciekawego wniosku. Otóż: źródłem wirowego pola magnetycznego jest nie tylko prąd, ale także zmienne pole elektryczne. To znaczy, że:

Zmienne pole elektryczne wytwarza wokół siebie wirowe pole magnetyczne.

Można to sobie wyobrazić w sposób przedstawiony na Rys. 3.



Rys. 3. Gdy natężenie pola elektrycznego rośnie i zwrócone jest w naszą stronę, to wokół niego powstaje wirowe pole magnetyczne o wektorach ustawionych tak jak na rysunku

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

Jakie są konsekwencje odkrycia Maxwella?

Przypomnijmy sobie zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Prawo Faradaya w zestawie równań Maxwella ma postać:

$$K_E = \mathcal{E}_{ind} = \frac{-d\phi_B}{dt}$$

co interpretujemy najprościej w następujący sposób:

zmienny strumień pola magnetycznego wytwarza wirowe pole elektryczne.

No tak, ale jak już zostanie wytworzone to **wirowe pole elektryczne**, to zauważmy, że ono jest zmienne w czasie – zostało wytworzone, pojawiło się. A przecież zmienne pole elektryczne wytwarza wokół siebie wirowe pole magnetyczne. Z kolei zmienne pole magnetyczne wytwarza wirowe pole elektryczne itd., itd. Widzimy tu jakby taniec na przemian powstających związanych ze sobą pól. W konsekwencji otrzymujemy przemieszczające się, nawzajem generujące się **pole elektromagnetyczne**.

Maxwell wyprowadził ze swoich równań opisujących elektryczność i magnetyzm, że sprzężone ze sobą pole elektryczne \vec{E} i magnetyczne \vec{B} rozchodzi się jak fala – spełnia równanie falowe. Z równania falowego okazało się też, że prędkość tej fali, nazwanej falą elektromagnetyczną, równa jest prędkości światła w próżni (oznaczonej jako c).

22 lata później, po odkryciu teoretycznym fali elektromagnetycznej przez Maxwella (1865 r.), H. Hertz wykonał eksperyment polegający na nadaniu i odebraniu fali elektromagnetycznej. W ten sposób teoria Maxwella została zweryfikowana doświadczalnie.

Konsekwencje odkrycia fali elektromagnetycznej przez Maxwella są zawrotne (teoretyczne i praktyczne). Największym bodaj zastosowaniem technicznym jest to, że dzięki falom elektromagnetycznym możemy przekazywać na odległość informacje, dźwięki i obrazy.

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} .

Pole elektryczne

(ang. *electric field*) – stan przestrzeni charakteryzujący się działaniem siły, zwanej siłą elektryczną na ładunek elektryczny umieszczony w tej przestrzeni; wielkością charakteryzującą pole elektryczne jest wektor natężenia pola elektrycznego \vec{E} .

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. Analogicznie zdefiniowane są **linie pola elektrycznego**, do których w każdym punkcie styczny jest wektor natężenia pola elektrycznego \vec{E} .

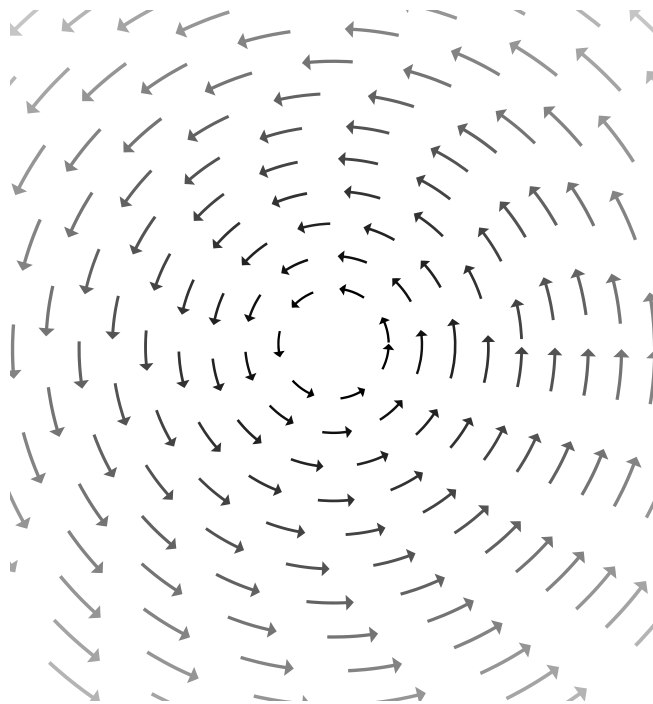
Pole jednorodne

(ang. *uniform field*) – pole elektryczne, magnetyczne bądź grawitacyjne o liniach równoległych; w każdym punkcie przestrzeni wektory opisujące pole są takie same – o tej samej wartości i zwrocie.

Elektryczne pole wirowe

pole wektorowe o strukturze pokazanej na rysunku. Takie pole nie jest polem zachowawczym (potencjalnym), gdyż praca wykonana przez siłę elektryczną nad ładunkiem wzdłuż obwodu zamkniętego nie jest równa zero. Realizacją takiej sytuacji jest

wzbudzenie prądu indukcyjnego w zamkniętym przewodniku, wtedy gdy zmienia się pole magnetyczne przechodzące przez powierzchnię na nim rozpiętą.



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

Film samouczek

Współzależność zmian pola magnetycznego i elektrycznego w ujęciu jakościowym i ilościowym

W samouczku pokażemy, w jaki sposób Maxwell doszedł do wniosku, że równanie Ampere'a należy uzupełnić.

Trwa wczytywanie danych..

[Film dostępny na portalu epodreczniki.pl](http://epodreczniki.pl)

Zapoznaj się z audiodeskrypcją samouczka.

Polecenie 1

Polecenie 2

Zastanów się, jak byłoby zwrócone pole magnetyczne, gdyby kondensator był ładowany tak, aby dodatnia była lewa okładka.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

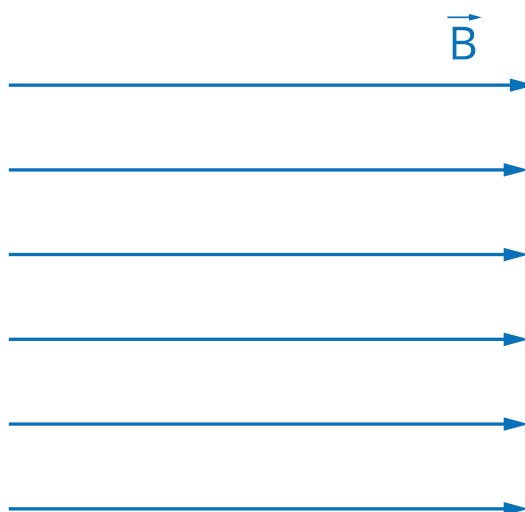
Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3

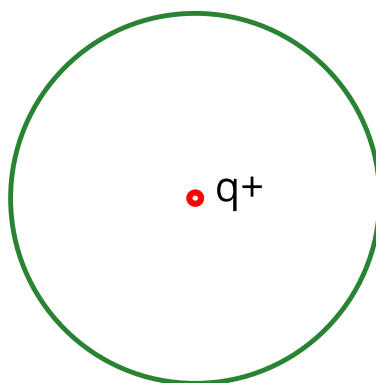


Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5

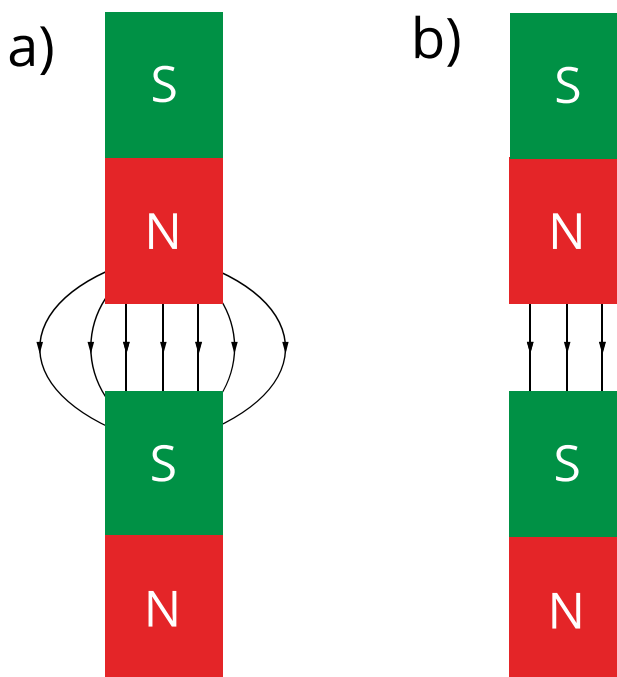


Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ćwiczenie 6

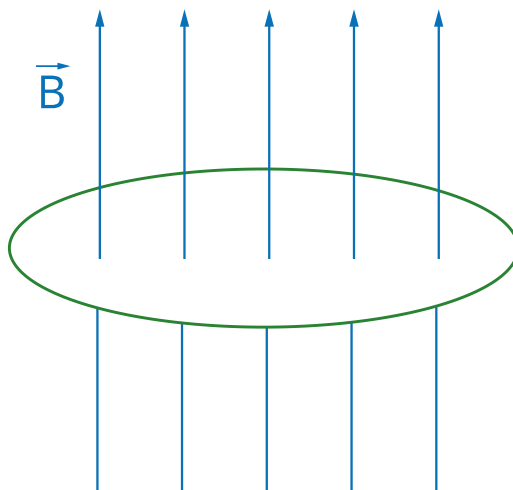


Przecięto magnes i odsunięto części na pewną odległość. Udowodnij, posługując się prawem Ampere'a, że linie pola magnetycznego muszą przebiegać tak, jak na rysunku „a”, nie jak na rysunku „b”.



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

Ćwiczenie 7

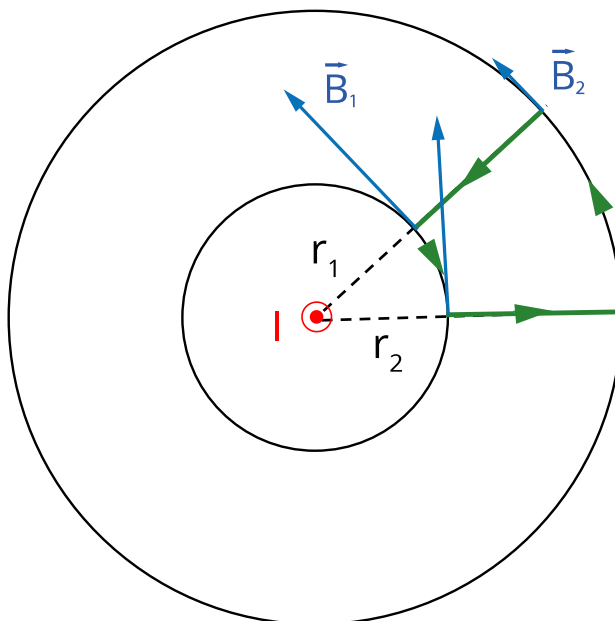


Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ćwiczenie 8



Na rysunku przedstawiono linie pola magnetycznego, którego źródłem jest prąd o natężeniu I płynący prostopadłe do płaszczyzny rysunku.



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

Udowodnij, obliczając krążenie indukcji magnetycznej wokół zaznaczonego na zielono konturu, że prąd I leżący na zewnątrz konturu nie jest źródłem wirowego pola magnetycznego w obszarze nie obejmującym tego prądu.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Nina Tomaszewska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Współzależność zmian pola magnetycznego i elektrycznego w ujęciu jakościowym
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>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>19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.</p> <p>IX. Magnetyzm. Uczeń:</p> <p>14) opisuje jakościowo współzależność zmian pola magnetycznego i elektrycznego oraz rozchodzenie się fal elektromagnetycznych.</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 matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,• kompetencje cyfrowe,• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. opisuje, w jaki sposób Maxwell odkrył, że zmienne pole elektryczne wytwarza wokół siebie wirowe pole magnetyczne, 2. wyjaśnia, że pola elektryczne i magnetyczne są ze sobą ściśle powiązane i co z tego wynika, 3. podaje argumenty przemawiające za rewolucyjnością odkrycia Maxwella.
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:	
<p>Nauczyciel prosi uczniów o przypomnienie zjawiska indukcji elektromagnetycznej. Zwłaszcza istotne jest w tym miejscu podkreślenie, że prąd indukcyjny można wzbudzać nie poruszając ani obwodem, ani źródłem pola magnetycznego. Wystarczy zmieniać wartość indukcji w obszarze obwodu. Tłumaczymy wtedy przepływ prądu pojawieniem się wirowego pola elektrycznego na skutek zmian pola magnetycznego. Pytanie, które postawili fizycy: czy istnieje proces odwrotny.</p>	
Faza realizacyjna:	
<p>Nauczyciel, podobnie jak jest to zrealizowane w materiale, omawia albo przypomina pojęcie krążenia (opisane w e-materiale „Co to znaczy, że pole elektryczne bądź magnetyczne jest wirowe?”). Mówi o prawie Ampere’a i o tym, że Maxwell uzupełnił to prawo, bo zauważył, że nie tylko prąd jest źródłem wirowego pola magnetycznego, ale także zmienne pole elektryczne. Tutaj nasuwa się konieczność opowiedzenia przynajmniej pokrótce o fali elektromagnetycznej. Samouczek może być tu potraktowany fakultatywnie; zrealizowany bądź nie w zależności od możliwości zespołu klasowego. Zawiera on rozumowanie Maxwella dotyczące rozładowującego się kondensatora, które doprowadziło go do odkrycia.</p>	
Faza podsumowująca:	
<p>W fazie podsumowującej nauczyciel wraz z uczniami powinien rozwiązać zadania: 3, 5, 6, 8 z zestawu ćwiczeń.</p>	

Praca domowa:

W ramach powtórzenia i utrwalenia wiadomości uczniowie rozwiązują zadania: 1, 2, 4, 7 z zestawu ćwiczeń.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Samouczek może być wykorzystany przy realizowaniu tematów związanych z prawem Ampere'a.

Można by samouczek zadać ambitniejszym uczniom do studiowania w domu, tak aby jeden z nich przedstawił klasie rozumowanie Maxwella.