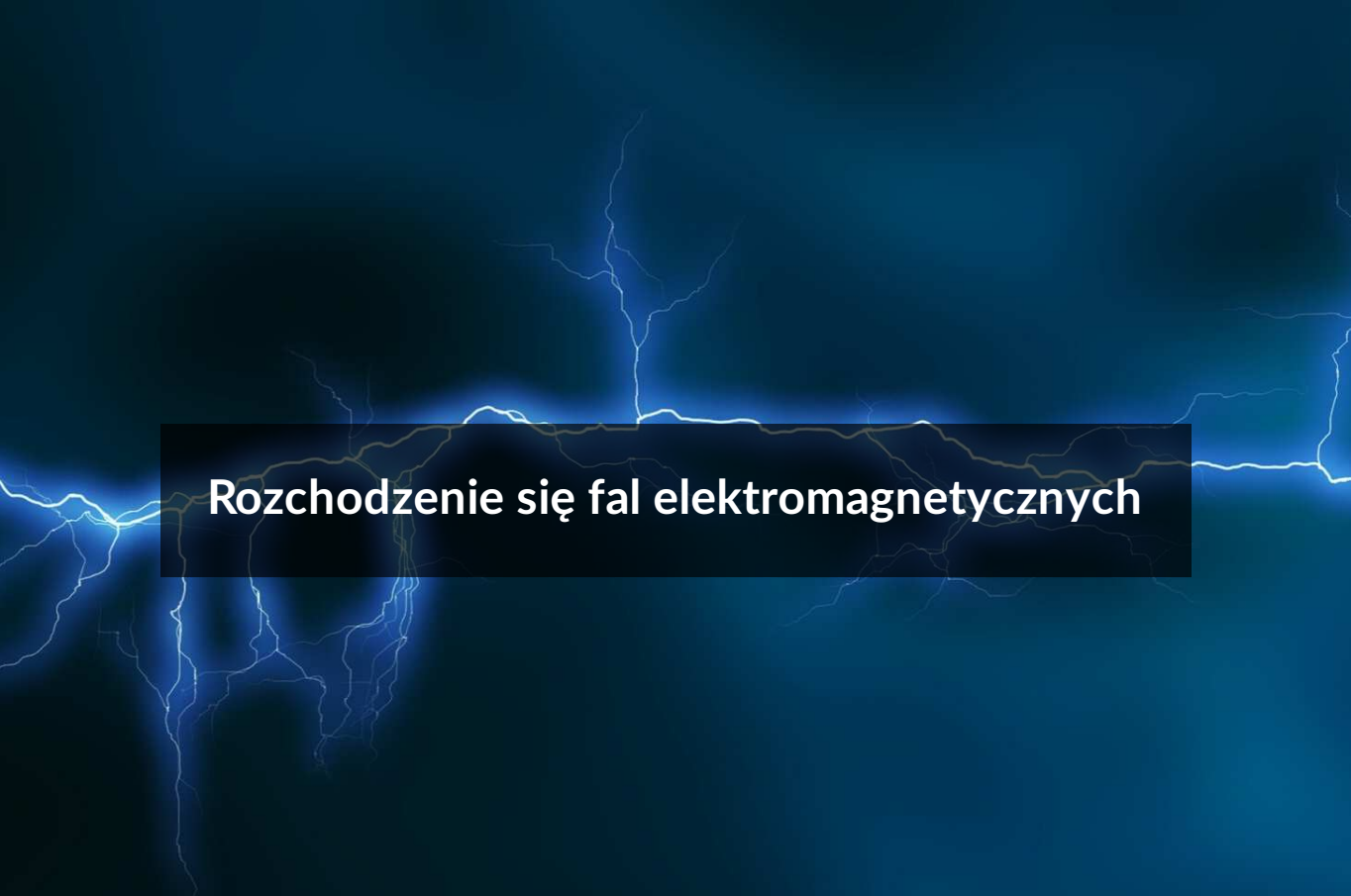




Rozchodzenie się fal elektromagnetycznych

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



Rozchodzenie się fal elektromagnetycznych

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

Czy to nie ciekawe?

Każda fala mechaniczna wymaga istnienia ośrodka sprężystego, w którym się rozchodzi. Fala ta jest wręcz zdefiniowana jako przemieszczające się odkształcenie ośrodka.

Fala akustyczna, jako wędrujące zagęszczenia i rozrzedzenia cząsteczek ośrodka (powietrza, cieczy lub ciała stałego), nie może rozchodzić się w próżni. Dlatego nie usłyszymy żadnych dźwięków w kosmosie, nawet wybuchającej supernowej. W przestrzeni kosmicznej panuje cisza.

A jak jest ze światłem? Światło oczywiście rozchodzi się w próżni. Dociera do nas z niesłychanie odległych galaktyk. Zresztą z kosmosu dociera do nas nie tylko światło, ale i inne rodzaje fal elektromagnetycznych (fale radiowe, podczerwień, promieniowanie rentgenowskie, promieniowanie gamma itd.). Dziś wiemy, że fala elektromagnetyczna nie wymaga do rozchodzenia się żadnego ośrodka. Jej mechanizm rozchodzenia się nie polega bowiem na odkształcaniu ośrodka sprężystego.



Rys. a. W szklanym słoju znajduje się dzwonek elektryczny. W miarę wypompowywania powietrza ze słoja dzwonek cichnie, aż staje się całkiem niesłyszalny, co jest dowodem doświadczalnym na to, że fala akustyczna potrzebuje ośrodka. Natomiast światło rozchodzi się zarówno w powietrzu, jak i w próżni – obraz dzwonka nie znika, gdy wypompowujemy powietrze.

Źródło: John Ian Rutherford, dostępny w internecie: <https://www.youtube.com/watch?v=VLEzBpui2Oo> [dostęp 15.05.2022],
Materiał wykorzystany na podstawie art. 29 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych (prawo cytatu).

Sam twórca pojęcia fali elektromagnetycznej nie wyobrażał sobie jednak fali bez ośrodka i stworzył hipotetyczny ośrodek – **eter**. O wadach tej hipotezy i o tym, jak fala elektromagnetyczna „radzi sobie” bez ośrodka możesz przeczytać w tym e-materiale.

Twoje cele

W tym e-materiale:

- dowiesz się o hipotetycznym ośrodku (eterze), w którym miałyby się rozchodzić fale elektromagnetyczne;
- zrozumiesz, dlaczego eter był nietrafioną hipotezą;
- opisziesz mechanizm rozchodzenia się fali elektromagnetycznej;
- ustalisz, jak powinien poruszać się ładunek, aby był źródłem fali elektromagnetycznej.

Przeczytaj

Warto przeczytać

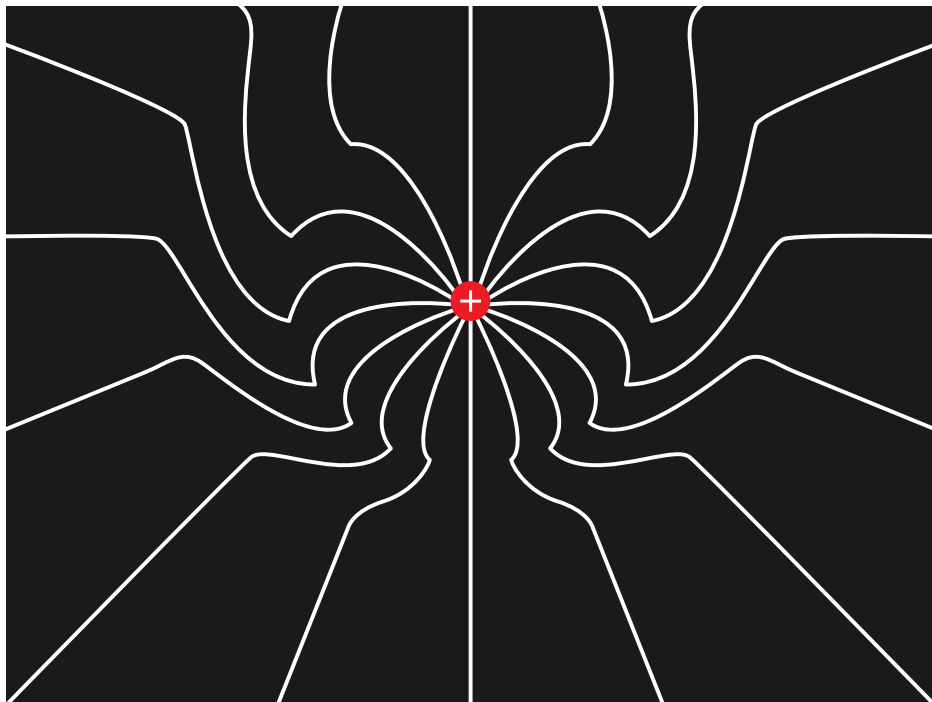
Czasem można usłyszeć, jak dziennikarz radiowy mówi: „audycja poszła w eter” albo „na falach eteru”. Jest to całkowity anachronizm i co gorsza – nieprawda. Nie ma czegoś takiego jak eter, czyli ośrodek, w którym miałyby się rozchodzić fala elektromagnetyczna. Musiałby mieć ów eter nieprawdopodobne wręcz właściwości.

Otóż prędkość fali elektromagnetycznej jest olbrzymia, $c = 300\,000$ km/s. W mechanice dowodzi się, że fala ma tym większą prędkość, im bardziej sprężysty (sztywny) jest ośrodek oraz im ośrodek ten jest lżejszy. Eter musiałby więc być **tysiące razy bardziej sprężysty od najlepszej stali, ale jednocześnie mieć niesłychanie małą gęstość**. Dalej: w ośrodku sprężystym, w którym rozchodzą się fale poprzeczne, mogą rozchodzić się też fale podłużne (na ogół z różnymi prędkościami), czyli fala akustyczna. Od eteru należałoby jednak wymagać, by **fale podłużne nie mogły się w nim rozchodzić**. Co więcej, eter ten musiałby wypełniać cały Wszechświat. W szczególności – obszar Układu Słonecznego. **Nie zauważamy, żeby eter (niesłychanie sztywny materiał) hamował ruch Ziemi i innych planet.**

Prawdziwym gwoździem do trumny dla hipotezy eteru okazała się Szczególna Teoria Względności (1905 r.) Einsteina. No i zupełnie niezależnie od niej przeprowadzone doświadczenie Michelsona – Morleya (1887 r.), którego wynik był negatywny: nie wykryto żadnego „wiatru eteru”, który, gdyby eter istniał i wypełniał przestrzeń w kosmosie, wiałby na Ziemi ze względu na ruch Ziemi wokół Słońca. Powodowałoby to różnice w prędkości światła mierzone w różnych kierunkach. Nie wykryto (w pomiarze przeprowadzonym z ogromną precyzją) żadnych różnic w prędkości światła w granicach niepewności pomiarowej 5 km/s. Wobec tego nie wykryto wiatru eteru. Uczni musieli się z tym pogodzić – eteru po prostu nie ma. Przejdźmy zatem do bardziej istotnych kwestii.

Fala elektromagnetyczna to rozchodzące się zaburzenie pola elektromagnetycznego.

Ale jak to sobie wyobrazić? Może pomocny będzie tu Rys. 1., na którym pokazano linie **pola elektrycznego** pochodzącego od ładunku punktowego, który w pewnym momencie został przesunięty do nowego położenia.



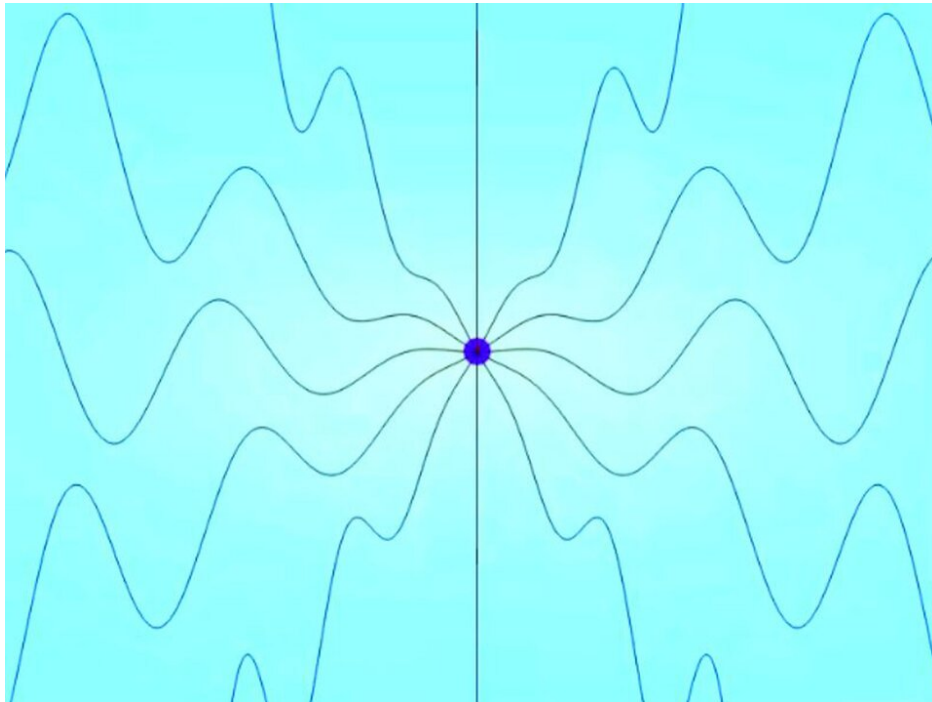
Rys. 1.

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

Widzimy tutaj „stare” linie pola, które zaczynają się w miejscu pierwotnego położenia ładunku. Można znaleźć to położenie na przedłużeniu linii wychodzących poza rysunek. Okaże się, że ładunek znajdował się nieco „w górę” od obecnego położenia. Linie pola, które widzimy w pobliżu ładunku to nowe pole elektrostatyczne. Na skutek ruchu ładunku w dół dotychczasowe pole uległo zaburzeniu. Widzimy to w postaci załamanych linii pola. Załamanie linii – zaburzenie pola wędruje w przestrzeni z prędkością światła aż do nieskończoności, tak żeby „przebudować” do aktualnej postaci pole elektryczne.

Jaki jest mechanizm propagacji tego zaburzenia? Nie widzimy tutaj drugiej składowej pola elektromagnetycznego – **pola magnetycznego**. Ale jest ono oczywiście obecne. Jego powstanie jest konsekwencją praw Maxwella. Gdy ładunek zaczyna się poruszać, pole elektryczne zaczyna się zmieniać, a to powoduje powstanie wokół wirowego pola magnetycznego. **Linie pola magnetycznego** tworzą rozszerzające się okręgi o środkach na linii ruchu ładunku. To pole magnetyczne też jest zmienne (przecież się pojawiło); a skoro tak, to wytwarza wokół siebie wirowe pole elektryczne. I w ten sposób nawzajem się generując, oba pola wędrują do nieskończoności przenosząc zaburzenie, czyli „poprawkę” pola elektrycznego.

Opisaną tutaj falę elektromagnetyczną nazywamy impulsem falowym. Zauważ, że została ona wytworzona przez ładunek, który przemieścił się do nowego miejsca – musiał zatem przyspieszyć, a następnie wyhamować. Okazuje się, że fala elektromagnetyczna jest zawsze wytwarzana przez ładunek, który porusza się z przyspieszeniem (tak jak w omawianym przypadku). W szczególności ładunek może oscylować lub poruszać się po okręgu. Wtedy, przy występującej okresowości ruchów ładunku, okresowa jest też fala.

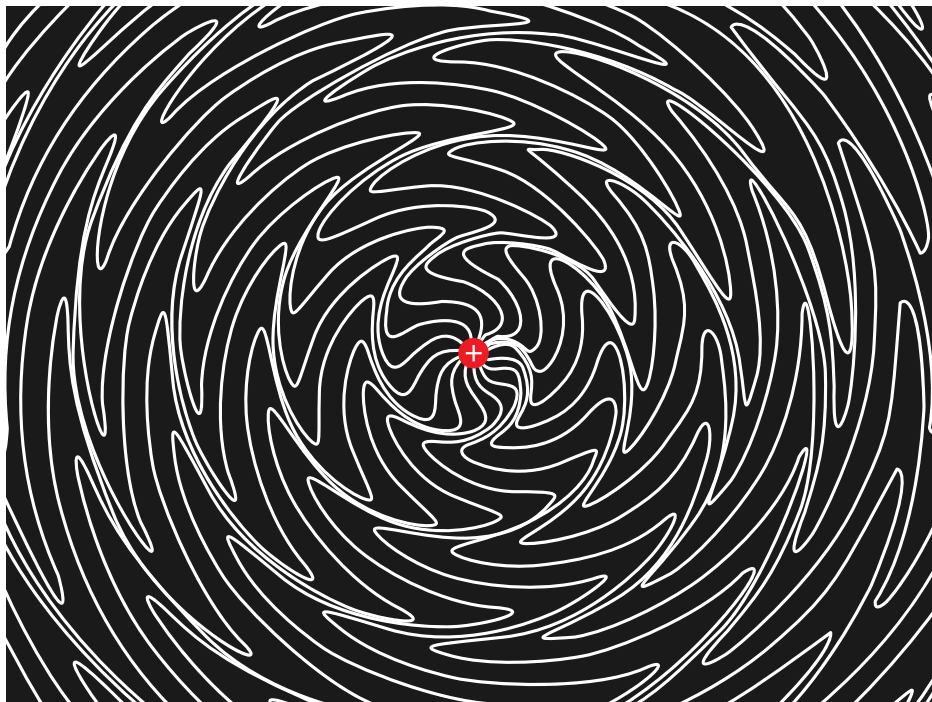


Film dostępny pod adresem [/preview/resource/R28He65XKyWW2](#)

Rys. 2. Pionowe, harmoniczne oscylacje ładunku wytwarzają falę podobną do fali radiowej, której źródłem jest oscylujący dipol

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

Rys. 2. Animacja prezentuje wytwarzanie fali podobnej do fali radiowej generowanej przez oscylujący dipol elektryczny. Na błękitnym tle widoczny jest ładunek elektryczny poruszający się cyklicznie w górę i w dół, w postaci niebieskiego kółka. Ładunek znajduje się na pionowej czarnej linii biegnącej z góry rysunku w dół. Wokół ładunku. Poruszający się cyklicznie ładunek tworzy dipol elektryczny. Wokół ładunku wytwarzane są linie pola elektrycznego, w postaci niebieskich pofalowanych linii rozchodzących się od ładunku rozbieżnie. Do środka ładunku przyłożona jest czerwona strzałka, która informuje nas o kierunku jego przesuwu. Strzałka ta zmienia swoją długość. Najdłuższa jest w chwili, gdy ładunek zaczyna poruszać się w górę lub w dół i niknie do zera. Gdy ładunek się zatrzymuje.



Rys. 3. Źródłem takiej fali jest ładunek poruszający się po okręgu. Dla prędkości relatywistycznych ładunku (porównywalnych z prędkością światła w próżni c) taka fala nazywa się promieniowaniem synchrotronowym
 Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Kształt takich fal w postaci linii natężenia pola elektrycznego został pokazany na Rys. 2. i Rys. 3. Odpowiednikiem omawianego tutaj impulsu fali elektromagnetycznej jest w akustyce fala wytworzona przez na przykład kłaśnięcie w dłoń. Albo w ogólnym przypadku – jednokrotne wychylenie ze stanu równowagi dowolnego punktu ośrodka sprężystego.

Jeśli źródło każdego rodzaju fali drga harmonicznym, to wytwarza falę okresowo zmienną – falę harmoniczną. Wobec tego również dla tego typu fali elektromagnetycznej możemy określić częstotliwość i długość fali, opisać ich związek w znany sposób: $\lambda = \frac{c}{f}$. Więcej na temat takiej fali możesz przeczytać w e-materiale „Właściwości fali elektromagnetycznej harmonicznej, płaskiej”.

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 $\vec{E}$.

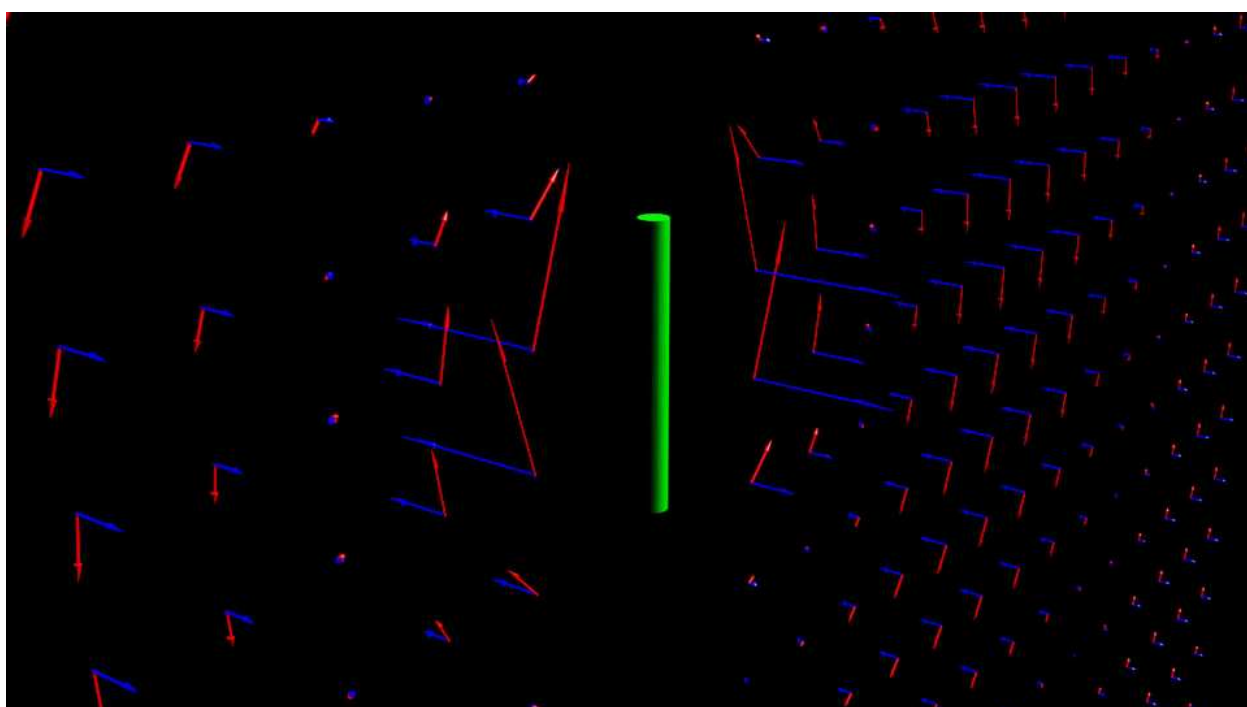
Linie pola magnetycznego

(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 $\vec{E}$.

Animacja

Rozchodzenie się fal elektromagnetycznych

Animacja przedstawia strukturę fali radiowej wysyłanej przez antenę dipolową. W płaszczyźnie rysunku, w której leży antena pokazano jedynie linie pola elektrycznego. Ze względu na symetrię źródła pole to wykazuje symetrię osiową wokół anteny. Towarzyszące polu elektrycznemu pole magnetyczne ma prostszy układ. Linie tego pola tworzą okręgi o środkach leżących na linii anteny.



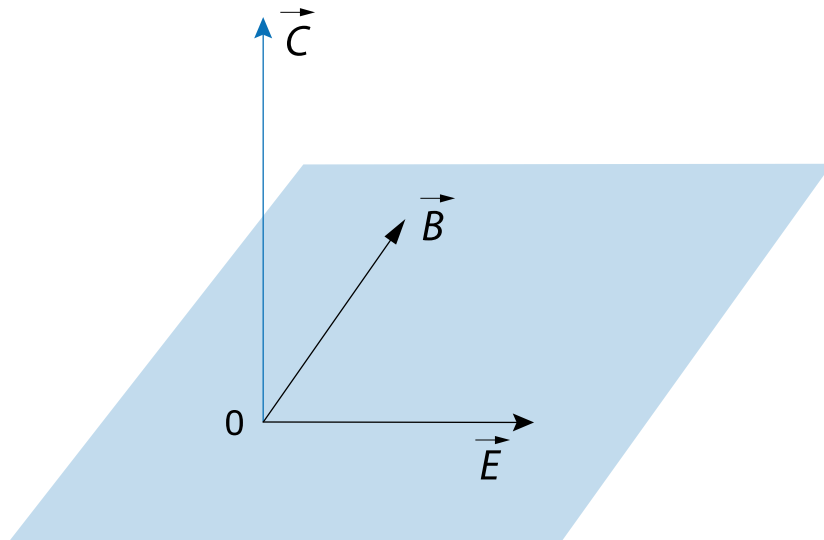
Film dostępny pod adresem </preview/resource/RFB36KFcdxjRS>

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

Wysłuchaj lektora, a następnie zapoznaj się z opisem.

Polecenie 1

Obejrzyj animację i zastanów się, jak zmieni się wektor $\vec{C}$ na poniższym rysunku, gdy wektory $\vec{E}$ i $\vec{B}$ zmienią jednocześnie zwroty na przeciwne. Czy wiesz, jaka operacja matematyczna wiąże ze sobą te trzy wektory?



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

Polecenie 2

Na pewno rozpoznajesz poniższy symbol widniejący często na urządzeniach komunikujących się bezprzewodowo (za pomocą fal elektromagnetycznych).



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

Czy oglądając animację możesz wskazać, gdzie ukryty jest na niej podobny symbol?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Podaj nazwę hipotetycznego ośrodka, w którym miałyby według Maxwella rozchodzić się fale elektromagnetyczne.

Odp.:

Ćwiczenie 2



Wybierz właściwe odpowiedzi.

Wyobraź sobie, że jesteś w kosmosie i otacza Ciebie próżnia. Śpiewasz piosenkę.

a) Czy będziesz słyszał, co śpiewasz? ☐ tak / ☐ nie

b) Czy Twój kolega znajdujący się metr od Ciebie będzie słyszał, co śpiewasz? ☐ tak /

☐ nie

Ćwiczenie 3



Kiedy naciśniesz spust iskrownika w celu zapalenia gazu w kuchence, a obok znajduje się włączony radioodbiornik, to usłyszysz zakłócającą audycję trzask słyszalny w głośniku. Wyjaśnij to zjawisko.

Ćwiczenie 4



Zaznacz prawdziwe odpowiedzi.

Ładunek elektryczny jest źródłem fali elektromagnetycznej, wtedy gdy:

☐ porusza się jednostajnie po okręgu

☐ hamuje

☐ porusza się jednostajnie po prostej

☐ przyspiesza

Ćwiczenie 5



Oblicz, ile czasu zajmie fali telefonii komórkowej przebycie drogi od nadajnika do odbiornika. Odległość między nadajnikiem i odbiornikiem wynosi 0,6 km. Odpowiedź podaj w mikrosekundach.

Odp.: $t =$ μs .

Ćwiczenie 6



Oblicz, w jakim przedziale znajdują się długości fal radiowych. Ich częstotliwość zmienia się w zakresie 30 Hz do 300 GHz. Największą długość fali podaj w km, najmniejszą w mm.

Odp.: $\lambda_{min} =$ mm, $\lambda_{max} =$ km

Ćwiczenie 7



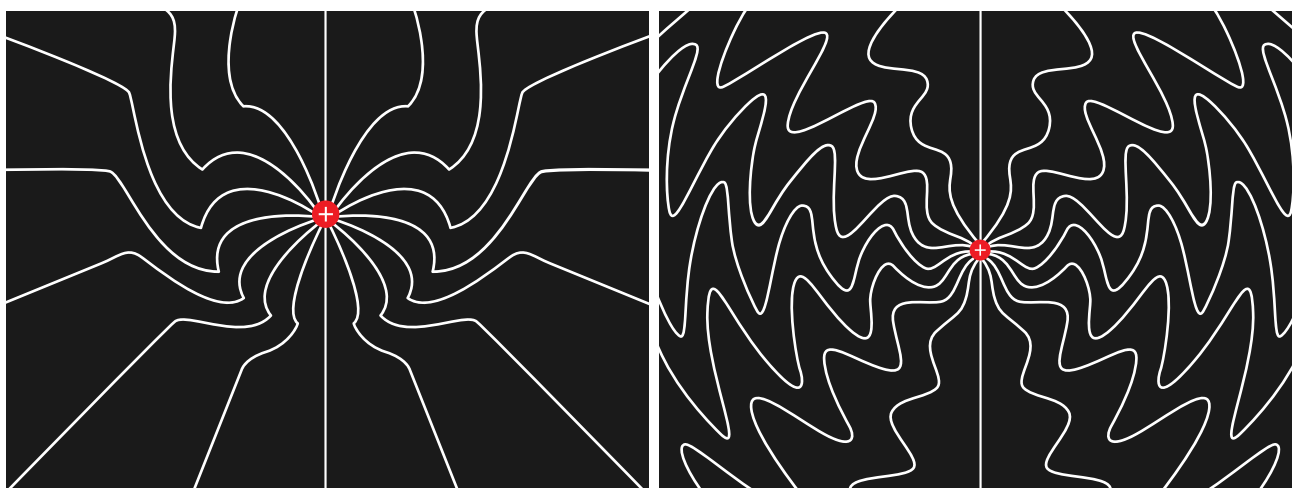
Wybierz właściwą odpowiedź.

Prędkość fali elektromagnetycznej w ośrodku materialnym jest n razy mniejsza niż w próżni, co można zapisać: $\frac{c}{v} = n$. Jeśli fala elektromagnetyczna np. światło przechodzi z próżni do ośrodka o $n = 1,5$ (szkło), to częstotliwość fali / / , a długość fali / / .

Ćwiczenie 8



Poniżej powtórnie zaprezentowane są rysunki pola elektrycznego wokół ładunku omówione w rozdziale „Warto przeczytać”.



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

Zauważ, że fala elektromagnetyczna nie rozchodzi się w kierunku, w którym porusza się z przyspieszeniem ładunek. Spróbuj wyjaśnić dlaczego.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Nina Tomaszewska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Rozchodzenie się fal elektromagnetycznych
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. IX. Magnetyzm. Uczeń: 14) opisuje jakościowo współzależność zmian pola magnetycznego i elektrycznego oraz rozchodzenie się fal elektromagnetycznych.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • 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:	Uczeń: 1. wyjaśni, czym był hipotetyczny ośrodek (eter), w którym miałyby się rozchodzić fale elektromagnetyczne; 2. uzasadni, dlaczego eter był nietrafną hipotezą; 3. przedstawi mechanizm rozchodzenia się fali elektromagnetycznej; 4. opíše, jak powinien poruszać się ładunek, aby był źródłem fali elektromagnetycznej.
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 opowiada o odkryciu fal elektromagnetycznych i o hipotetycznym ośrodku - eterze, w którym te fale miałyby się rozchodzić. Mówi o nieprawdopodobnych właściwościach eteru i o doświadczeniu Michelsona-Morleya, które wykazało nieistnienie eteru.	
Faza realizacyjna:	
Nauczyciel przedstawia rozumowanie, z którego wynika, że, aby rozchodziła się fala elektromagnetyczna, nie jest potrzebny żaden ośrodek. Definiuje falę elektromagnetyczną jako wędrujące zaburzenie pola elektromagnetycznego. Po czym, podobnie jak jest to przedstawione w części „Warto przeczytać”, omawia rozchodzenie się fali powstającej w wyniku przesunięcia ładunku. Mówi o tym, kiedy ładunek jest źródłem fali elektromagnetycznej. Następuje wspólne zapoznanie się z animacją. Powinna być obejrzana wspólnie, tak aby nauczyciel mógł wytłumaczyć ewentualne pojawiające się niejasności. Nauczyciel może ją zatrzymać w dowolnym momencie i zapytać na przykład o pole magnetyczne. Uczniowie wspólnie z nauczycielem próbują wykazać, że mimo zmiany zwrotów wektorów pola elektrycznego i magnetycznego, wektor określający kierunek propagacji fali ma niezmienny zwrot.	
Faza realizacyjna:	

W fazie podsumowującej uczniowie z pomocą nauczyciela powinni rozwiązać zadania: 2, 3, 8 z zestawu ćwiczeń.

Praca domowa:

Uczniowie utrwalają wiedzę i zdobyte umiejętności przez rozwiązanie w domu zadań, których nie rozwiązyali na lekcji: 1, 4, 5, 6, 7.

**Wskazówki metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Animacja mogłaby być wykorzystana jako uzupełnienie lekcji dotyczącej fali radiowej (e-materiał: „W jaki sposób wytwarzane są fale elektromagnetyczne radiowe?”).