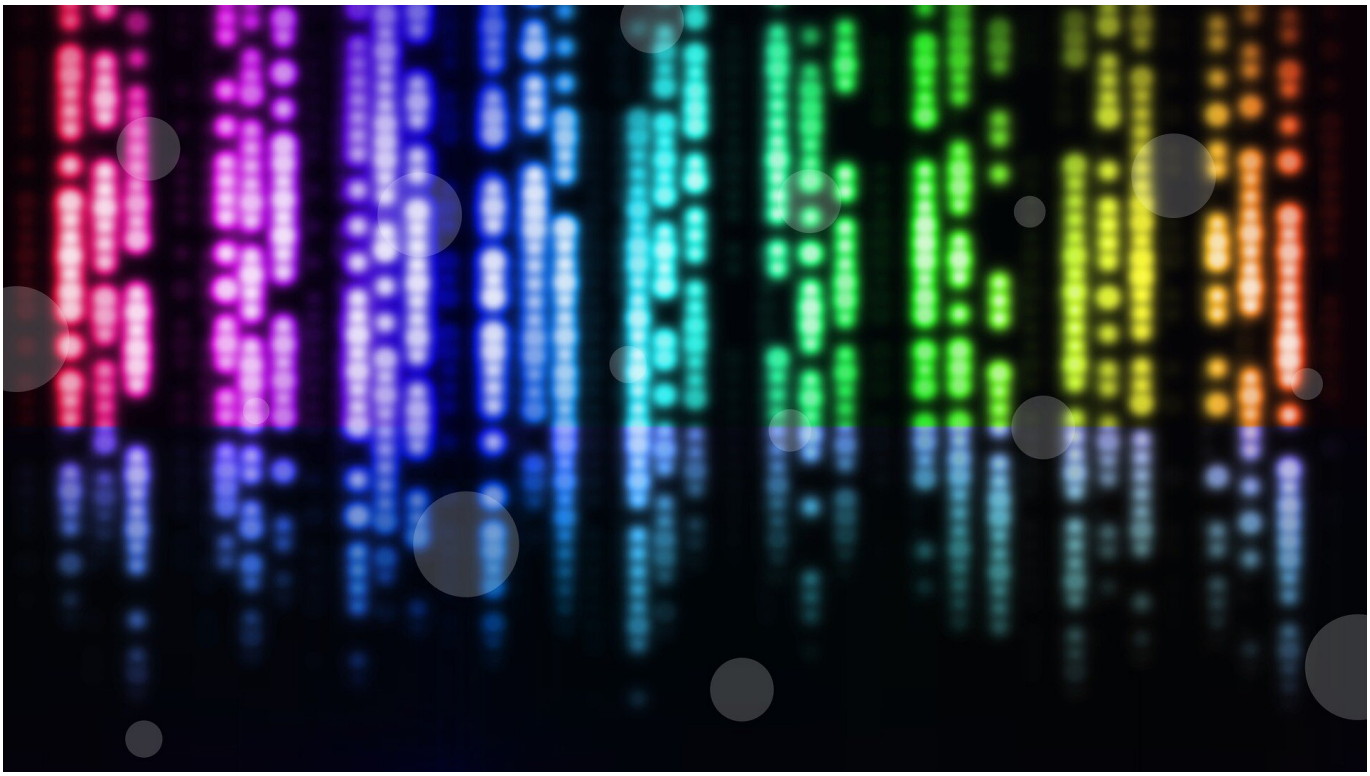


Natura falowa promieniowania elektromagnetycznego

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Grafika interaktywna (schemat)
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

Źródło: dostępny w internecie: https://pixabay.com/illustrations/background-wallpaper-rainbow-1214285/ [dostęp 23.04.2022 r.].

Czy to nie ciekawe?

Fale na powierzchni wody to rozchodzące się odkształcenia ośrodka. Gdyby na powierzchni położyć korek, poruszałby się w górę i w dół, naśladując ruch powierzchni wody w danym miejscu. Co to właściwie znaczy, że promieniowanie elektromagnetyczne jest falą? Rozchodzi się ono w próżni, co więc w tym przypadku wykonuje drgania? Jakie zjawiska świadczą o falowej naturze promieniowania elektromagnetycznego? Zajmiemy się tymi problemami w tym e-materiale.

Rys. a. Fale na wodzie.

Źródło: dostępny w internecie: https://www.pexels.com/photo/close-up-photography-of-body-of-water-1439227/ [dostęp 23.04.2022 r.].

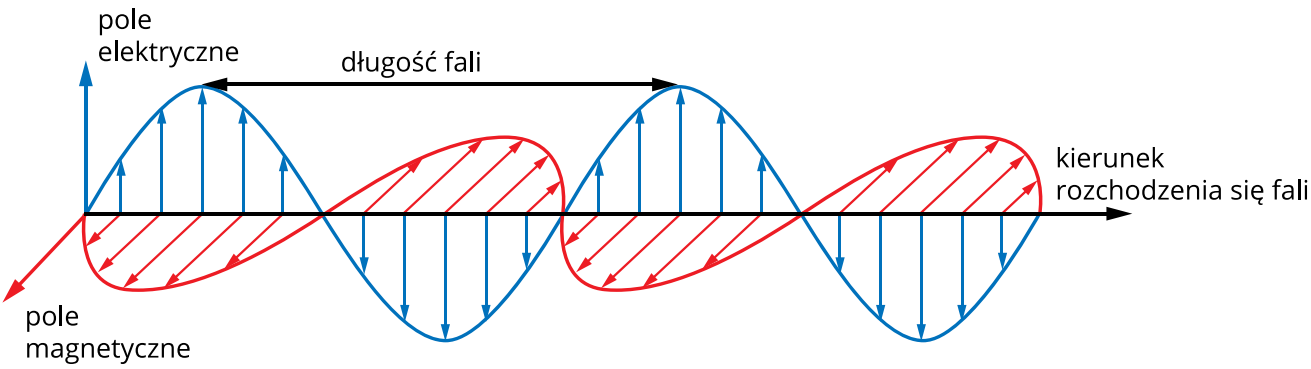
Twoje cele

- dowiesz się, czym jest promieniowanie elektromagnetyczne,
- poznasz zjawiska, w których przejawia się falowa natura promieniowania elektromagnetycznego,
- dowiesz się, czym jest dualizm korpuskularno-falowy,
- zastosujesz zdobytą wiedzę do rozwiązywania zadań.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Fala elektromagnetyczna to rozchodzące się w przestrzeni zaburzenie pola elektromagnetycznego. Źródłem promieniowania jest element wytwarzający zmienne pole elektryczne. Może to być antena, w której płynie prąd przemienny lub cząstka obdarzona ładunkiem, poruszająca się z przyspieszeniem. Zmienne pole elektryczne generuje zmienne pole magnetyczne, a zmienne pole magnetyczne powoduje powstawanie zmiennego pola elektrycznego itd. W rezultacie rozchodzi się fala elektromagnetyczna. Nie potrzebuje ona żadnego ośrodka materialnego, bo falę stanowią, przenoszące się coraz dalej, drgania wektorów natężenia pola elektrycznego i magnetycznego (Rys. 1.).



Rys. 1. Fala elektromagnetyczna.

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

Wszystkie fale elektromagnetyczne rozchodzą się w próżni z tą samą prędkością $c = 3 \cdot 10^8 \ \frac{m}{s}$, czyli z prędkością światła. W ośrodkach materialnych prędkość fali elektromagnetycznej jest mniejsza niż w próżni. Falę elektromagnetyczną charakteryzuje:

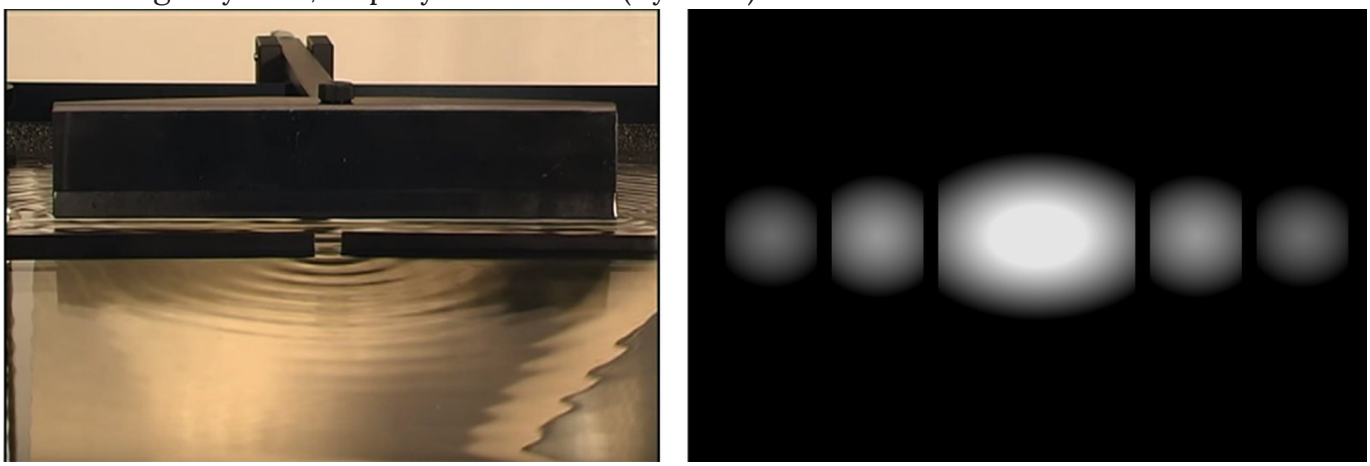
- **częstotliwość** ν, czyli liczba pełnych zmian pola magnetycznego i elektrycznego w ciągu jednej sekundy, wyrażona w hercach (Hz),
- **okres zmienności** T, zdefiniowany jako odwrotność częstotliwości: $T = \frac{1}{\nu}$, czyli czas, w którym nastąpi powrót do tej samej fazy pola elektrycznego i magnetycznego,
- **długość fali** λ, czyli odległość między sąsiednimi punktami, w których pole elektryczne i magnetyczne mają taką samą fazę (Rys. 1).

Wielkości te są ze sobą związane: im większa jest częstotliwość, tym mniejsza długość fali:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

Promieniowanie elektromagnetyczne ulega zjawiskom typowym dla fal, takim jak dyfrakcja i interferencja. Ulega też polaryzacji, co świadczy o tym, że jest falą poprzeczną. (Zjawisko polaryzacji zostało omówione w e-materiałach: „Polaryzacja fal mechanicznych", „Polaryzacja światła".)

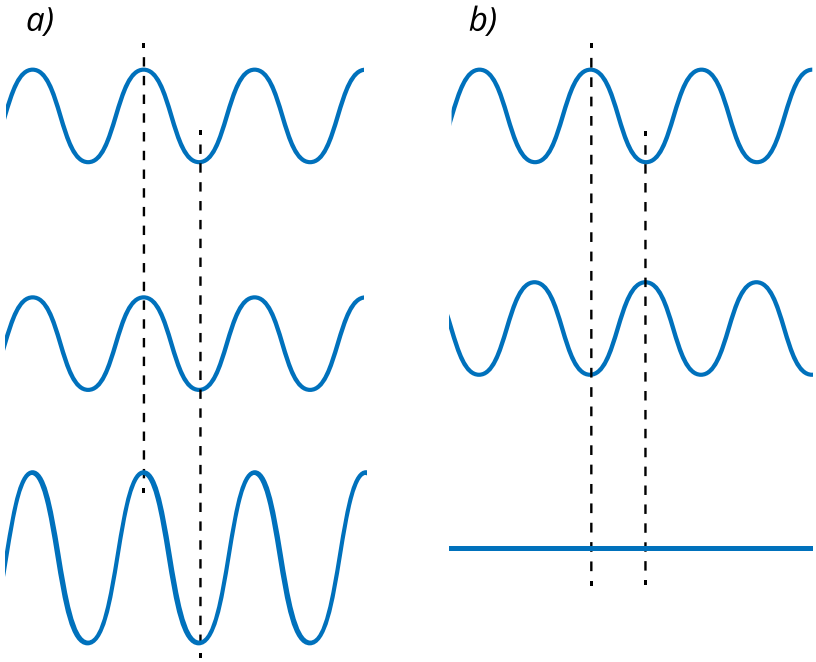
Dyfrakcja to ugięcie fali przechodzącej przez szczelinę. Jeśli szczelina ma szerokość porównywalną z długością fali, powstają wzmocnienia i osłabienia fal biegnących za szczeliną. Dzieje się tak na skutek nakładania się fal pochodzących z różnych punktów szczeliny, które mogą się wzmacniać lub osłabiać. Dyfrakcji ulegają zarówno fale mechaniczne, jak na przykład fale na powierzchni wody (Rys. 2. a), jak i fale elektromagnetyczne, na przykład światło (Rys. 2. b).



Rys. 2. a) Dyfrakcja fali na wodzie przechodzącej przez szczelinę, b) obraz dyfrakcyjny uzyskany po przejściu światła przez szczelinę.

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

Interferencja jest to nakładanie się fal. Gdy fale generowane są przez dwa źródła, mają jednakowe amplitudy, jednakowe długości fal, to uzyskuje się stabilny obraz wzmocnień i wygaszeń. Fale spotkające się w zgodnej fazie (Rys. 3a.), wzmacniają się wzajemnie. Jeśli nakładające się fale są w fazie przeciwnej (Rys. 3b.), wygaszają się wzajemnie i mamy osłabienie fali.



Rys. 3. a) Fale w zgodnej fazie wzmacniają się, b) fale w przeciwnej fazie osłabiają się.

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

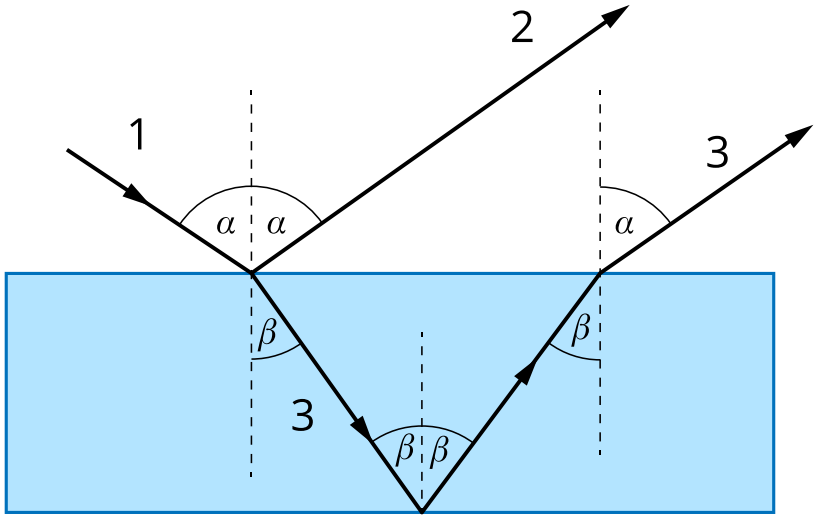
Przykładem interferencji jest światło odbite od plamy oleju, która mieni się różnymi kolorami, lub tęczowe barwy baniek mydlanych (Rys. 4.).

Rys. 4. Zmienne barwy bańki mydlanej powstają na skutek interferencji światła odbitego od górnej i dolnej powierzchni cieniutkiej warstwy cieczy, tworzącej ściankę banki.

Źródło: dostępny w internecie: https://pixabay.com/photos/soap-bubble-multicoloured-bullet-824558/ [dostęp 23.04.2022].

Wyjaśnienie powstawania interferencji przy przechodzeniu światła przez cienkie warstwy przedstawia Rys. 5. Promień świetlny (1), padający na warstwę, rozdziela się na dwa promienie (2) i (3), które po przebyciu różnych dróg spotykają się. Gdy spotkają się w zgodnej fazie następuje wzmocnienie, gdy w przeciwnej – wygaszenie. Zależy to od

grubości warstwy, długości fali i kąta, pod jakim obserwujemy światło odbite od warstwy. Dlatego pod różnymi kątami widzimy inne barwy, różniące się długością fali.



Rys. 5. Interferencja światła odbitego od cienkiej warstwy.

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

Nie tylko światło ulega interferencji, również inne rodzaje fal elektromagnetycznych. Przykładem jest układ teleskopów odbierających fale radiowe, który wykorzystuje zjawisko interferencji tych fal do wzmocnienia sygnału odbieranego z kosmosu (Rys. 6.). Zauważmy, że odległości między teleskopami są rzędu kilku metrów, co odpowiada długości fali radiowej.

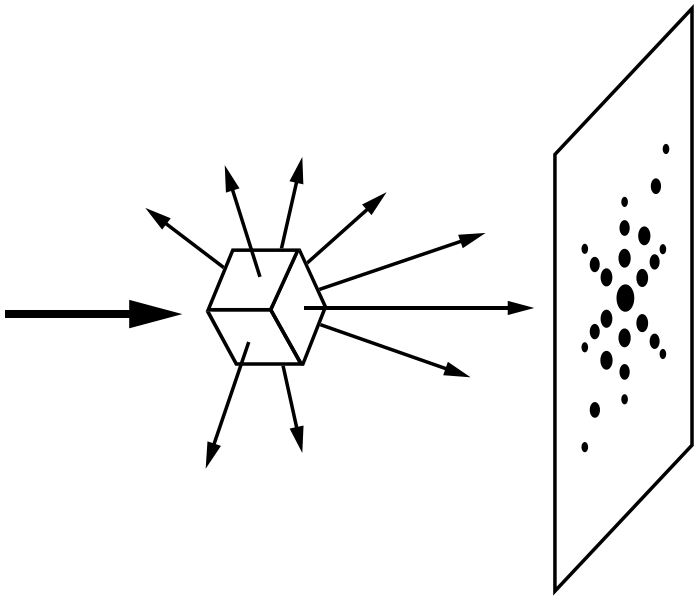
Rys. 6. Zdjęcie przedstawia Very Large Array of Radio Telescopes w Meksyku.

Źródło: Dave Finley, dostępny w internecie: http://www.aoc.nrao.edu/~dfinley/ [dostęp 23.04.2022], Materiał wykorzystany na podstawie art. 29 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych (prawo cytatu).

Promieniowanie elektromagnetyczne ma podwójną naturę: falową i korpuskularną. Oznacza to, że można je opisać również jako zbiór cząstek – fotonów, poruszających się z prędkością światła *c*. Dowiesz się o tym więcej w e-materiale „Natura korpuskularna promieniowania elektromagnetycznego".

Korpuskularna natura promieniowania elektromagnetycznego przejawia się tym wyraźniej, im mniejsza jest długość fali promieniowania, a większa częstotliwość.

Natomiast zjawiska falowe można zaobserwować dla promieniowania od fal radiowych aż do promieniowania rentgenowskiego. Promieniowanie gamma o najmniejszej długości fali i największej częstotliwości, choć ma falowy charakter, nie ulega dyfrakcji. Dlaczego? Po prostu nie istnieje tak wąska szczelina, na której mogłaby zajść dyfrakcja. Obraz dyfrakcyjny powstaje, jeśli szczelina ma szerokość porównywalną z długością fali. Tymczasem typowa długość fali promieniowania gamma emitowanego w przemianach jądrowych jest rzędu 10^{-11} m, czyli 10 razy mniejsza niż rozmiar atomu. Najmniejsza struktura, na jakiej może zajść dyfrakcja fali elektromagnetycznej to struktura krystaliczna, w której odległości między atomami są rzędu 10^{-10} m. Dyfrakcji na kryształach ulega promieniowanie rentgenowskie, którego długość fali jest podobnego rzędu (Rys. 7.).

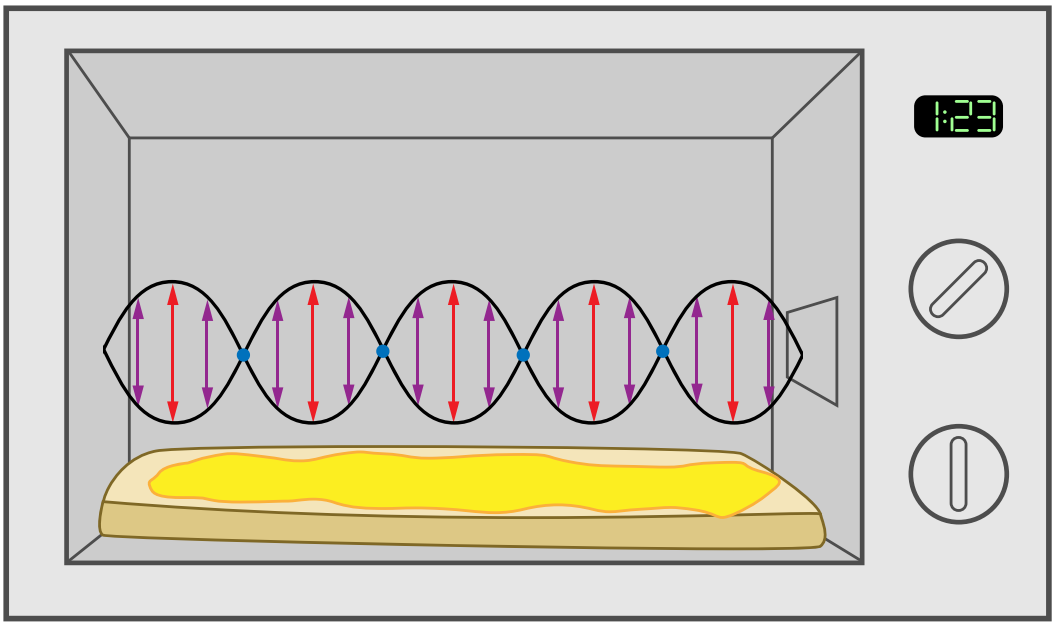


Rys. 7. W wyniku dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego na krysztale powstaje charakterystyczny układ regularnych plamek (zależny od rodzaju sieci krystalicznej), zwany lauegramem. Nazwa pochodzi od nazwiska niemieckiego fizyka Maxa von Lauego, który za odkrycie dyfrakcji promieni Rentgena na kryształach otrzymał w 1914 r. Nagrodę Nobla z fizyki.

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

Nie tylko dyfrakcja i interferencja są zjawiskami typowymi dla fal. Fala w zamkniętej przestrzeni może utworzyć falę stojącą. Wykorzystuje się to zjawisko w kuchence mikrofalowej, gdzie promieniowanie mikrofalowe, odbite od ścianek, tworzy falę stojącą

(Rys. 8.). Fale odbite od ścianek nakładają się, w wyniku czego w pewnych miejscach wzmacniają się (strzałki), a w innych wygaszają (węzły).



Rys. 8. Fala stojąca w kuchence mikrofalowej. Pokazane jest położenie strzałek i węzłów.
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, Tomasz Pietrzak, dostępny w internecie: http://www.pl.euhou.net/docupload/files/Excersises/WorldAroundUs/SpeedOfLight/euhou_mikrofalowka_v1.pdf [dostęp 21.04.2022].

Słowniczek

Dyfrakcja

(ang. *diffraction*) zjawisko ugięcia się fali na przeszkodzie lub otworze/szczelinie, na którą trafiła fala.

Interferencja fal

(ang. *wave interference*) - efekt nałożenia się (superpozycji) fal pochodzących z różnych źródeł. Nazwa interferencja pochodzi z łaciny. *Inter* – pomiędzy, *ferens* – dopełniacz od *ferentis* – niosący.

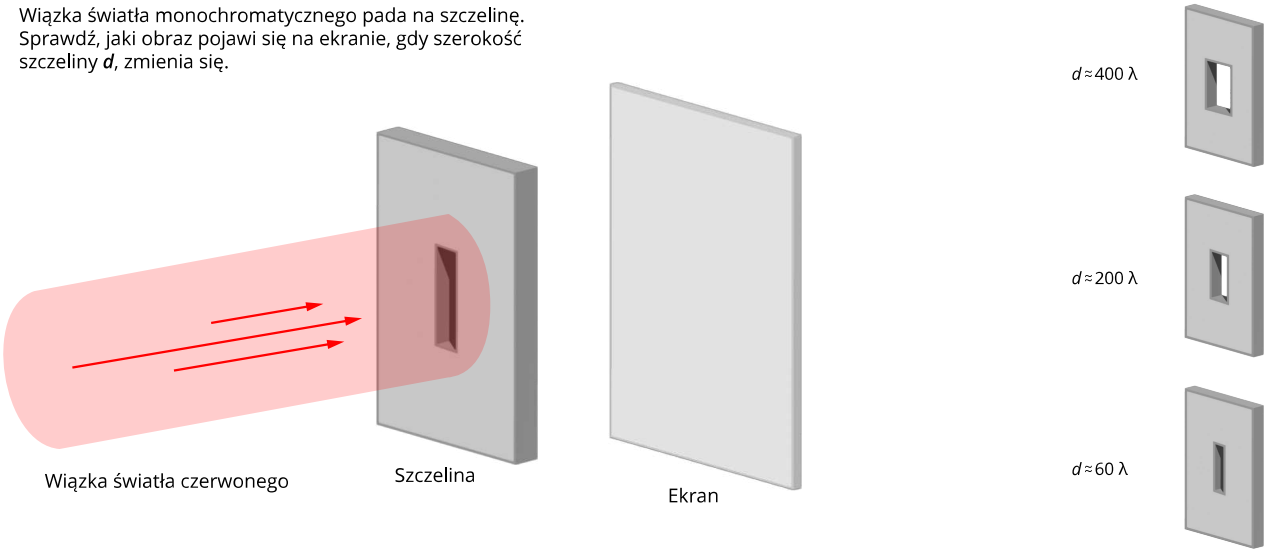
Fala stojąca

(ang. *standing wave*) – fala powstała w wyniku interferencji dwóch identycznych fal poruszających się w przeciwnych kierunkach. Powstaje np. poprzez szarpnięcie struny zamocowanej na obu końcach. Można na niej wyróżnić węzły (miejsca o zerowej amplitudzie) oraz strzałki (miejsce o maksymalnej amplitudzie).

Grafika interaktywna (schemat)

Natura falowa promieniowania elektromagnetycznego

Obejrzyj grafikę interaktywną pokazującą, jak podczas przechodzenia światła laserowego przez szczelinę, ujawnia się jego falowa natura. Sprawdź, jaki obraz pojawia się na ekranie, gdy szerokość szczeliny zmienia się przy zachowaniu stałej wysokości równej około 600 λ (λ - długość fali światła).



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

Polecenie 1

Jak będzie wyglądał obraz dyfrakcyjny po obróceniu najwęższej szczeliny o 90°?

Polecenie 2

Podaj dwa inne zjawiska, którym ulegają fale elektromagnetyczne.

Polecenie 3

Wyjaśnij, dlaczego nie można zaobserwować dyfrakcji promieniowania gamma o długości fali mniejszej od 10^{-11} m na sieci krystalicznej atomowej.

Polecenie 4

Źródło: Włodzimierz Natorf.

Zdjęcie po lewej przedstawia wieczorny widok z okna na przeciwległą ulicę, a drugie zdjęcie ten sam widok po przesłonięciu obiektywu aparatu. Zgadnij, czym przesłonięto obiektyw?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Ćwiczenie 1

Uzupełnij zdanie:

Falowa natura promieniowania elektromagnetycznego przejawia się w zjawisku interferencji / fotoelektrycznym .

Ćwiczenie 2

Uzupełnij zdanie:

Falową naturę promieniowania elektromagnetycznego można zaobserwować dla każdego zakresu promieniowania elektromagnetycznego z wyjątkiem promieniowania radiowego / rentgenowskiego / gamma .

Ćwiczenie 3

Wybierz wszystkie prawdziwe stwierdzenia:

- [ ] Korpuskularna natura promieniowania elektromagnetycznego oraz falowa natura tego promieniowania nie wykluczają się wzajemnie.
- [ ] Światło jest falą elektromagnetyczną i zarazem zbiorem fotonów.
- [ ] Falowa natura promieniowania elektromagnetycznego przejawia się najwyraźniej dla promieniowania gamma.

Ćwiczenie 4

Wybierz prawdziwe stwierdzenie:

- ○ Zjawisko wzmocnienia i osłabienia fali przechodzącej przez szczelinę zachodzi tylko dla szczeliny o szerokości porównywalnej z długością fali.
- ○ Zjawisko wzmocnienia i osłabienia fali przechodzącej przez szczelinę zachodzi zawsze, niezależnie od szerokości szczeliny.

Ćwiczenie 5

Uzupełnij zdanie:

Nie obserwujemy dyfrakcji promieniowania gamma, ponieważ

obecny rozwój technologii na to nie pozwala ☐ /

nie istnieje struktura, na której mogłaby zajść dyfrakcja ☐ .

Ćwiczenie 6

Dopasuj rodzaje fal elektromagnetycznych do obiektów, na których może zajść dyfrakcja fali.

Światło widzialne ($3{,}8 \cdot 10^{-7}$ m – $7{,}5 \cdot 10^{-7}$ m)	Szczelina o szerokości $8 \cdot 10^{-6}$ m
Promieniowanie rentgenowskie (10^{-10} m – 10^{-8} m)	Kryształ (odległość między atomami rzędu 10^{-10} m)
Fale radiowe (powyżej 0,3 m)	Układ anten (kilkumetrowa odległość między antenami)

Ćwiczenie 7

Kuchenka mikrofalowa wykorzystuje fale elektromagnetyczne o częstotliwości 2,45 GHz. Oblicz długość fali mikrofalowej i wyjaśnij, dlaczego pokrycie drzwiczek mikrofalówki blachą metalową z otworami o milimetrowych rozmiarach, zabezpiecza użytkownika przed promieniowaniem mikrofalowym.
Podaj wynik w cm z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

Odpowiedź: Długość fali wynosi _____ cm.

Ćwiczenie 8

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, Tomasz Pietrzak, dostępny w internecie: http://www.pl.euhou.net/docupload/files/Excersises/WorldAroundUs/SpeedOfLight/euhou_mikrofalowka_v1.pdf.

W celu wyznaczenia prędkości światła, podgrzano w mikrofalówce (bez obracania) rodzynki ułożone w rzędzie (fotografia). Pozwoliło to wyznaczyć miejsca, gdzie rodzynki nagrzały się najmocniej, czyli położenia strzałek fali stojącej, powstającej w mikrofalówce. Odległość między strzałkami fali stojącej to połowa długości fali. Częstotliwość fali użytej w mikrofalówce wynosi 2,45 GHz, zmierzona odległość między strzałkami 6 cm. Korzystając z tych danych, oblicz prędkość światła.

Odpowiedź:

Wyznaczona doświadczalnie prędkość światła wynosi _____ $\cdot 10^{8}$ m/s.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	**Natura falowa promieniowania elektromagnetycznego**
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
Podstawa programowa:	**Cele kształcenia – wymagania ogólne:** I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. **Zakres podstawowy** **Treści nauczania – wymagania szczegółowe** I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 15) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. X. Fizyka atomowa. Uczeń: 2) opisuje dualizm korpuskularno-falowy światła; stosuje pojęcie fotonu oraz jego energii. **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. XI. Fizyka atomowa. Uczeń: 2) opisuje dualizm korpuskularno-falowy światła; stosuje pojęcie fotonu oraz jego energii.

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. omówi, czym jest promieniowanie elektromagnetyczne; 2. opisze zjawiska, w których przejawia się falowa natura promieniowania elektromagnetycznego; 3. wyjaśni, czym jest dualizm korpuskularno-falowy; 4. zastosuje zdobytą wiedzę do rozwiązywania zadań.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obserwacyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania:	wykład informacyjny, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w grupach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e-materiały: „Widmo fal elektromagnetycznych”, „Jak wyjaśnić zjawisko interferencji fal?”, „Siatka dyfrakcyjna”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”. Odwołanie do wiedzy uczniów o falach.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel wyjaśnia, czym jest fala elektromagnetyczna, definiuje długość, częstotliwość i okres fali. Uczniowie w dyskusji konstruują związek między tymi wielkościami. Podają przykłady zjawisk charakterystycznych dla fal, jak dyfrakcja, interferencja. Nauczyciel wyświetla grafiki ilustrujące dyfrakcję światła na szczelinie lub siatce dyfrakcyjnej. Podkreśla, że zjawisko interferencji dotyczy również innych zakresów fal elektromagnetycznych. Pokazuje zdjęcie układu teleskopów odbierających fale radiowe, a także dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego na krysztale. Wyjaśnia ideę dualizmu korpuskularno-falowego. Uczniowie oglądają grafikę interaktywną i zgłaszają propozycje odpowiedzi na połączone z nią polecenia.	
Faza podsumowująca:	
Uczniowie w grupach, z pomocą nauczyciela, rozwiązują zadanie 8 z zestawu ćwiczeń. Uczniowie odnoszą się do postawionych sobie celów lekcji - ustalają, które osiągnęli, a które wymagają jeszcze pracy, jakiej i kiedy. W razie potrzeby nauczyciel dostarcza im informację zwrotną kształtującą.	
Praca domowa:	
W celu powtórzenia i utrwalenia wiadomości o falowej naturze promieniowania elektromagnetycznego uczniowie rozwiązują cztery (do wyboru) zadania z zestawu ćwiczeń.	
Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:	Multimedium bazowe może też być wykorzystane przez uczniów po lekcji do powtórzenia i utrwalenia materiału.