

Co to są fale elektromagnetyczne?

Scenariusz Lekcji



Co to są fale elektromagnetyczne?

Cele

Cel

- Przedstawienie zasad wytwarzania fal elektromagnetycznych oraz podstawowych ich własności.

Cele szczegółowe:

- Przedstawienie sposobu generowania fal elektromagnetycznych.
- Kształcenie umiejętności rozwiązywania problemów przez analogię.
- Rozwijanie umiejętności pracy w grupie.



Efekty

Efekty uczenia:

- Uczeń potrafi przedstawić sposoby generowania fal elektromagnetycznych oraz wskazać podstawowe własności propagacji fal elektromagnetycznych.
- Uczeń potrafi zaprezentować rodzaje fal elektromagnetycznych i wskazuje ich główne własności.

Metody kształcenia

1. Uczenie się przez obserwację.
2. Uczenie się przez stosowanie poznanych reguł i analogii.

Formy pracy

1. Praca indywidualna.
2. Praca w grupach.

Pytania

1. W jaki sposób można wytworzyć zmienne pole magnetyczne?
2. Wskaż sposoby wytwarzania zmiennego pola magnetycznego?
3. Przedstaw sposoby wytwarzania zmiennego pola elektrycznego?
4. Przedstaw prawa opisujące powstawanie zarówno zmiennego pola magnetycznego jak i elektrycznego.



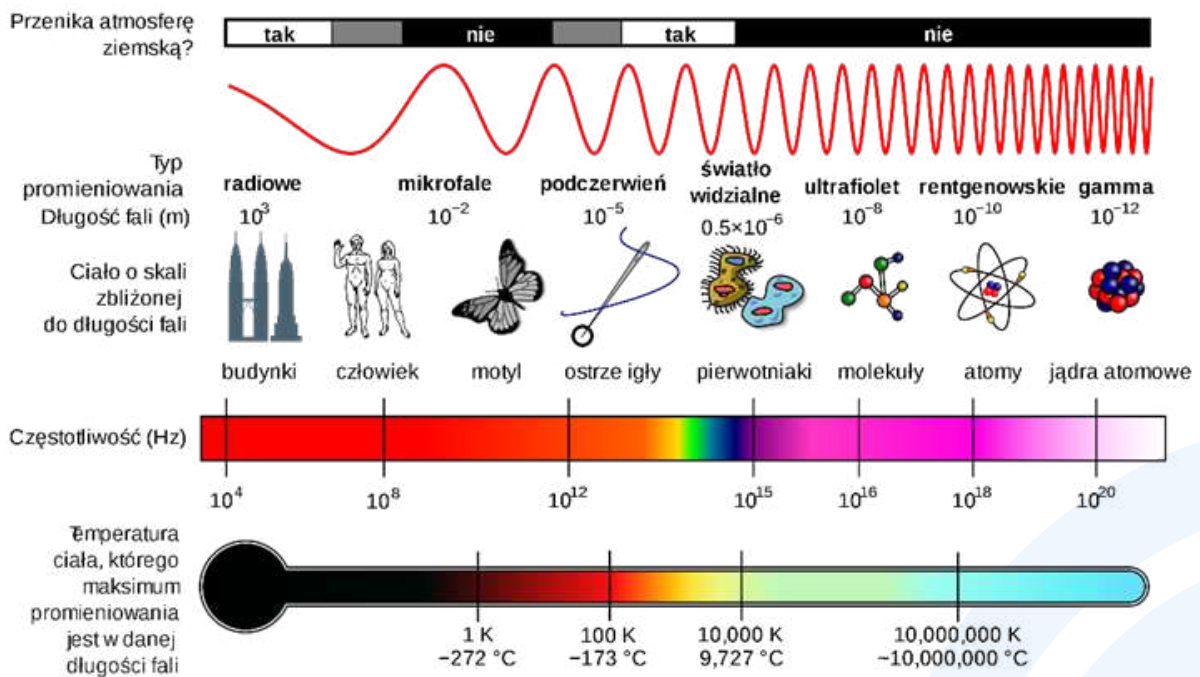
Wprowadzenie do lekcji



Realizacja lekcji

Widmo fal elektromagnetycznych

Wyjaśnij co widać na poniższym rysunku:



Etapy lekcji

Zastosowanie fal elektromagnetycznych

Pasmo	Cechy charakterystyczne	Przykładowe zastosowanie
Fale radiowe	Zakres długości fal radiowych to 10 - 200 m.	<ul style="list-style-type: none">• radiofonia.
Mikrofale	Mikrofale Zakres długości mikrofal to 1 mm - 1 m.	<ul style="list-style-type: none">• telewizja,• telefonia komórkowa,• urządzenia z funkcją Wi-Fi,• radary,• urządzenia do określania położenia obiektu,• do zdalnego pomiaru szybkości samochodów.
Podczerwień	Promieniowanie elektromagnetyczne o długości fal pomiędzy światłem widzialnym a falami radiowymi. Oznacza to zakres od 780 nm do 1 mm. Każde ciało o temperaturze większej od zera bezwzględnej emituje promieniowanie ciepłe. Już w temperaturze kilku kelwinów ciała emitują promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie dalekiej podczerwieni, ciała o temperaturze pokojowej emitują najwięcej promieniowania o długości fali rzędu 10 μm	<ul style="list-style-type: none">• kamery termowizyjne,• piloty do urządzeń elektronicznych,• przesyłanie plików.
Światło widzialne	Część promieniowania elektromagnetycznego, na którą reaguje siatkówka oka człowieka w procesie widzenia.	Światło widzialne. Część promieniowania elektromagnetycznego, na którą reaguje siatkówka oka człowieka w procesie widzenia. Dla człowieka promieniowanie to zawiera się w przybliżeniu w zakresie długości fal 380-780 nm, dla różnych zwierząt zakres ten bywa nieco odmienny, lecz o zbliżonych wartościach.

Etapy lekcji

Zastosowanie fal elektromagnetycznych

Pasmo	Cechy charakterystyczne	Przykładowe zastosowanie
Promieniowanie ultrafioletowe (UV)	<p>Zakres długości fal promieniowania ultrafioletowego to 10nm - 0,04 μm. Wchodzi ono w skład promieniowania słonecznego. W górnej części atmosfery ziemskiej znajduje się warstwa zawierająca ozon, który chroni powierzchnię Ziemi przed działaniem promieniowania UV.</p> <p>Niektóre owady, np. pszczoły, widzą promieniowanie ultrafioletowe. Również rośliny mają specjalne receptory, które reagują na ultrafiolet.</p>	<ul style="list-style-type: none">• opalanie, UV pobudza organizm do wytwarzania witaminy D,• analiza zabezpieczonych przed fałszerstwem banknotów• przy oględzinach miejsca zbrodni,• obserwacja ciał niebieskich emitujących ultrafiolet - za pomocą teleskopu Hubble'a.
Promieniowanie rentgenowskie	<p>Promieniowanie rentgenowskie. Promieniowanie jonizujące. Fale elektromagnetyczne o długości od 0,01nm do 10nm to promieniowanie rentgenowskie. Jest wytwarzane w specjalnych lampach.</p>	<ul style="list-style-type: none">• zdjęcia rentgenowskie,• tomografia komputerowa.
Promieniowanie gamma – γ	<p>Promieniowanie jonizujące. Najkrótsze fale elektromagnetyczne. Wysyłane głównie przez substancje promieniotwórcze. Charakteryzują się najmniejszą długością fali, w widmie fal elektromagnetycznych zajmują skrajne położenie odpowiadające długościom fali poniżej 0,1 nm (1 nm = 0,000000001m).</p>	<ul style="list-style-type: none">• sterylizacja sprzętu medycznego jak również produktów spożywczych,• w medycynie: radioterapia (tzw. bomba kobaltowa) do leczenia raka, oraz w diagnostyce np. pozytywna emisyjna tomografia komputerowa,• np. pomiar grubości gorących blach stalowych,• w badaniach procesów przemysłowych (np. przeróbki rudy miedzi).

Etapy lekcji

Zastosowanie fal elektromagnetycznych

Długość i częstotliwość fali są do siebie odwrotnie proporcjonalne.



$$\lambda = \frac{v}{f}$$

gdzie:

λ - długość fali [m]

v - prędkość rozchodzenia się fali [m/s]

f - częstotliwość fali [Hz]

Fale elektromagnetyczne to fale poprzeczne. Rozchodzą się z prędkością $c = 300\,000$ km/s w próżni

Przykład:

Oblicz długość fali elektromagnetycznej o częstotliwość 500 GHz mogącej znaleźć zastosowanie w projektowanej technologii 6G? W obliczeniach przyjmij uproszczenie, że prędkość rozchodzenia się fali w powietrzu jest taka sama jak prędkość rozchodzenia się w próżni i wynosi 300 000 km/s. Jaki jest to rodzaj promieniowania? Porównaj ją z długością fali z zakresu jonizującego 1 nm.

Dane:

$f = 500$ GHz = $5 \cdot 10^{11}$ Hz

$v = c = 300\,000$ km/s = $3 \cdot 10^8$ m/s

Szukane:

$\lambda = ?$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{5 \cdot 10^{11} \text{ Hz}} = \frac{6 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{10 \cdot 10^{11} \text{ Hz}} = \frac{6 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{10^{12} \text{ Hz}} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,6 \text{ mm}$$

Jest to promieniowanie z pogranicza mikrofali i promieniowania podczerwonego. Nie zalicza się zatem do szkodliwego promieniowania jonizującego.

Z porównania długości fal:

λ_{6G} ? $\lambda_{jonizujące}$

$0,6 \text{ mm} > 1 \text{ nm}$

$$\frac{\lambda_{6G}}{\lambda_{jonizujące}} = \frac{0,6 \text{ nm}}{1 \text{ nm}} = \frac{6 \cdot 10^{-4} \text{ m}}{10^{-9} \text{ m}} = 6 \cdot 10^5 = 600\,000$$

Długość fali wykorzystywanej w technologii 6G jest 600 tysięcy razy większa od promieniowania jonizującego.

Co to są fale elektromagnetyczne?

Etapy lekcji

Zastosowanie fal elektromagnetycznych

Przykład

Aby wycenić zastosowanie niektórych fal elektromagnetycznych obejrzyj film produkowany przez australijską spółkę Beyond Television Productions nadawany pierwotnie na kanale Discovery
- **Pogromcy mitów: Czy komórka może wysadzić stacje benzynową?**



<https://www.youtube.com/watch?v=XYOQmwrs4ss>



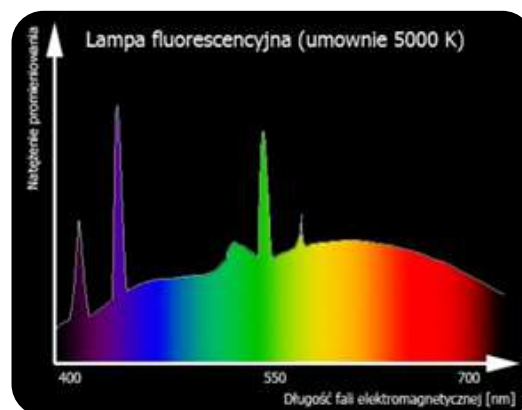
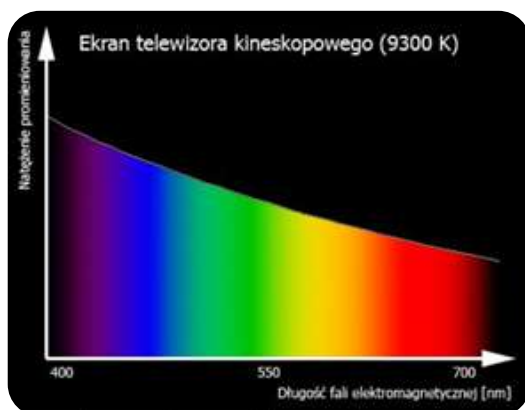
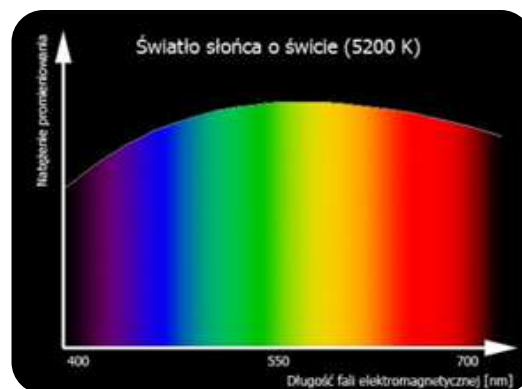
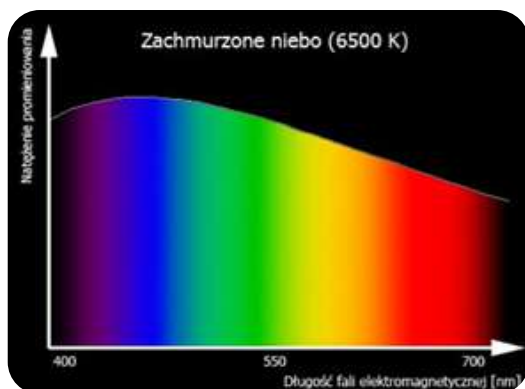
Doświadczenie 1

Obserwacja widma promieniowania widzialnego

Przyrządy: siatka dyfrakcyjna, tafla szkła ołowianego (szkło z akwarium), różne źródła światła.

Czynności do wykonania

1. Weź do ręki siatkę dyfrakcyjną i poprzez nią popatrz na różne źródła promieniowania widzialnego.
2. Obserwuj widmo pochodzące z różnych źródeł promieniowania.
3. Wstaw taflę szkła pomiędzy siatkę dyfrakcyjną a źródło promieniowania.
4. Porównaj ze sobą widma obserwowane przez siatkę dyfrakcyjną bez taflę szkła i z taflą szkła.
5. Przedstaw i przedyskutuj swoje obserwacje z obserwacjami twoich kolegów.
6. Porównaj swoje obserwacje z przedstawionymi poniżej fotografiami.





Doświadczenie 2

Jak wyciszyć telefon?

Przyrządy: dwa telefony komórkowe, garnek aluminiowy z aluminiową pokrywką.

Czynności do wykonania

1. Umieść w otwartym garnku aluminiowym telefon komórkowy.
2. Zadzwoń z drugiego telefonu na numer telefonu umieszczonego w otwartym garnku.
3. Zaobserwuj, czy połączenie z drugim telefonem jest możliwe czy też występują z tym określone trudności.
4. Następnie przykryj garnek aluminiową pokrywką.
5. Ponów próbę dodzwonienia się do drugiego telefonu.
6. Czy tym razem równie łatwo możesz nawiązać połączenie z drugim telefonem?
7. Wyjaśnij to co zaobserwowałeś.
8. Przeczytaj z dostępnych źródeł o klatce Faradaya. Jakie pole ekranuje klatka Faraday'a?

Obejrzyj krótki film o klatce Faradaya



<https://youtu.be/pjw5gbkRTaY>



Doświadczenie 3

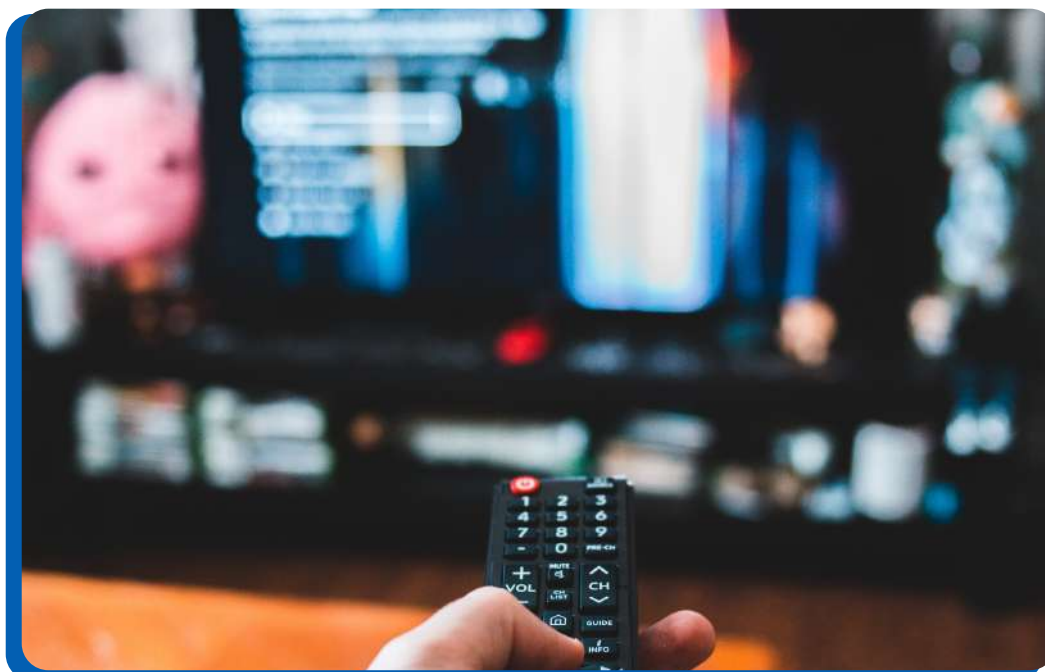
Jak zablokować pilota do telewizora?

Przyrządy: telewizor sterowany pilotem, płyta szklana, plexiglas, drewno oraz cienka folia aluminiowa (spożywcza)

Czynności do wykonania



1. Włącz telewizor i zmieniaj kanały w telewizorze.
2. Pomiedzy pilota a telewizor wstawiaj po kolei różne płyty: szklaną, plastikową oraz drewnianą.
3. Czy za którymś razem masz jakiegolwiek problemy ze zmianą kanałów?
4. Powtórz doświadczenie z cienką folią aluminiową?
5. Jakie materiały najlepiej zatrzymują promieniowanie elektromagnetyczne?



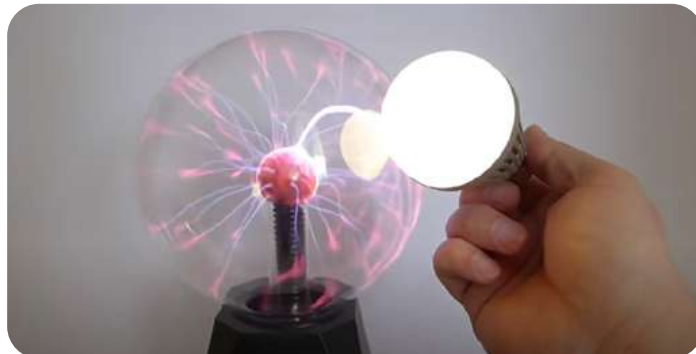


Doświadczenie 4

Pole elektromagnetyczne wokół kuli plazmowej.

Obejrzyj film o kuli plazmowej

- <https://youtu.be/lr-3MuCLv4g>
- https://youtu.be/Scj0LluR_Do



A następnie odpowiedz na pytania:

1. Czy można ekranować fale elektromagnetyczne? Jeżeli tak to w jaki sposób?
2. Czy odległość, na której jeszcze świeci neonówka/żarówka energooszczędna, jest mała czy duża w stosunku do typowych odległości pomiędzy nadajnikami np. sieci telefonii komórkowej?

A następnie odpowiedz na pytania:

1. Czy można wykorzystać zjawisko świecenia świetlówki do wykrywania znaczących pól elektromagnetycznych w sytuacjach życia codziennego?
2. Czy widzisz w życiu codziennym sytuacje, które mogą być dla ciebie zagrożeniem wynikającym z obecności promieniowania elektromagnetycznego?
3. Wyłumacz innym dlaczego nie muszą obawiać się promieniowania elektromagnetycznego?





Doświadczenie 5

Czy każde promieniowanie można zobaczyć?

Przyrządy: pilot do telewizora na podczerwień, smartfon z aparatem fotograficznym, telewizor.

Czynności do wykonania

1. Naciśnij klawisz pilota i spójrz na diodę umieszczoną na górze pilota (na tą stronę, którą kierujesz w stronę telewizora, aby zmienić kanał telewizyjny). Czy widzisz światło emitowane przez diodę?
2. Skieruj pilota na obiektyw w swoim smartfonie. Naciśnij klawisz w pilocie. Czy widzisz światło na ekranie swojego smartfona? Czy obiektyw rejestruje światło?
3. Zazwyczaj chcąc zmienić kanał, kierujesz pilota w stronę telewizora. Tym razem skieruj pilota na ścianę znajdującą się po przeciwnej stronie telewizora. Czy jesteś w stanie zmienić kanał? A czy jest to możliwe gdy skierujesz pilota na sufit? Dlaczego się tak dzieje?

Podsumowanie

Fale elektromagnetyczne można sklasyfikować za pomocą ich częstotliwości lub długości. Jest to tzw. widmo elektromagnetyczne. Fale elektromagnetyczne w próżni przenoszą się z prędkością około 300 000 km/s i rozchodzą się praktycznie do nieskończoności.

Częstotliwość fali jest ściśle związana z energią, jaką może ona przenosić. Fale o bardzo wysokich częstotliwościach, znacznie powyżej widma widzialnego, posiadają stosunkowo dużą energię. Wskutek tego mogą one zmienić strukturę materii, z którą się zetkną, np. zmieniając strukturę cząsteczki, oddzielając elektron od atomu itp. Fale o niskich częstotliwościach poniżej częstotliwości widma widzialnego (w szczególności fale radiowe) są zbyt słabe, aby doprowadzić do rozerwania wiązań atomowych lub cząsteczkowych.

Fale elektromagnetyczne o różnych częstotliwościach mają swoje specyficzne własności oraz znajdują różnorakie zastosowanie.

Fale z obszaru promieniowania niejonizującego wykorzystywane są w telekomunikacji, np.: w odbiornikach radiowych i telewizyjnych, radarach, telefonach bezprzewodowych oraz komórkowych, urządzeniach z funkcją Wi-Fi.

Fale podczerwone stosowane są w pilotach zdalnego sterowania, urządzeniach noktowizyjnych. Promieniowanie jonizujące również ma szereg zastosowań, należy przy nich zachować szczególnych zasady bezpieczeństwa. Promienie ultrafioletowe jest wykorzystywane w szerokim zakresie od kabin do opalania w solarjach i wykrywaczach fałszywych banknotów, po urządzenia służące do sekwencjonowania DNA.

Promieniowanie rentgenowskie jest stosowane w radioskopii, w urządzeniach zapewniających bezpieczeństwo w miejscach publicznych (skanery bagażu), a także w przemyśle do sprawdzania jakości elementów metalowych. Jako ostatnie wyróżnia się promienie gamma, które wykorzystywane jest w medycynie: diagnostyce (scyntygrafia) i terapii (radioterapia).

Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Cel ćwiczenia

Określenie częstotliwości pasma widzialnego

Treść ćwiczenia

Przyjmuje się, że do zakresu fal widzialnych należą fale o długościach od 350 nm do 800 nm. Wyznacz na tej podstawie zakres częstotliwości pasma widzialnego.

Ćwiczenie 2

Cel ćwiczenia

Określenie częstotliwości pasma widzialnego

Treść ćwiczenia

Przyjmuje się, że do zakresu fal widzialnych należą fale o długościach od 350 nm do 800 nm. Jakie będą częstotliwości zakresu widzialnego w wodzie, jeżeli światło rozchodzi się tam z prędkością 225 000 km/s.

Ćwiczenie 3

Cel ćwiczenia

Rozpoznawanie różnego zakresu fal elektromagnetycznych

Treść ćwiczenia

Korzystając z ogólnie dostępnych źródeł informacji ustal długości i częstotliwości fal wykorzystywanych przy:

- prześwietleniu rentgenowskim
- sterowaniu pilotem telewizyjnym
- Internecie bezprzewodowym
- fotoogniwie
- telefonii komórkowej

Co to są fale elektromagnetyczne?

Ćwiczenia

Cel ćwiczenia

Określenie długości fali

Ćwiczenie 4

Treść ćwiczenia

Standardowe telefony komórkowe wykorzystują częstotliwości z zakresu od 800 MHz do 2,6 GHz. Oblicz zakres długości fali elektromagnetycznej o takich częstotliwościach rozchodzących się w powietrzu. Jak nazywamy ten rodzaj fal elektromagnetycznych?

Ćwiczenie 5

Cel ćwiczenia

Rozpoznawanie różnego zakresu fal elektromagnetycznych

Treść ćwiczenia

Nowoczesne telefony w technologii 5G wykorzystują m.in. częstotliwości z zakresu od 3,4 GHz do 28 GHz. Ile razy ta częstotliwość jest mniejsza od częstotliwości charakterystycznej dla promieniowania jonizującego, którego długość fali wynosi mniej niż 10 nm? Jak nazywamy ten rodzaj fal elektromagnetycznych?

Ćwiczenie 1

Cel ćwiczenia

Określenie częstotliwości pasma widzialnego

Treść ćwiczenia

Przyjmuje się, że do zakresu fal widzialnych należą fale o długościach od 350 nm do 800 nm. Wyznacz na tej podstawie zakres częstotliwości pasma widzialnego.

Dane:

$$\lambda_1 = 350 \text{ nm} = 350 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 3,50 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda_2 = 800 \text{ nm} = 800 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$v = c = 300\,000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Szukane:

$$f_1 = ?$$

$$f_2 = ?$$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{3,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = \frac{6}{7} \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

$$f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{8 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = \frac{3}{8} \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

Zakres częstotliwości promieniowania widzialnego wynosi

$$\frac{3}{8} \cdot 10^{15} \text{ Hz} \div \frac{6}{7} \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

$$\left(\frac{3}{8} \div \frac{6}{7}\right) \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

$$\begin{array}{c} \text{inaczej} \\ \left(\frac{3}{8} \div \frac{6}{7}\right) \text{ PHz} \end{array}$$

Ćwiczenie 2

Cel ćwiczenia

Określenie częstotliwości pasma widzialnego

Treść ćwiczenia

Przyjmuje się, że do zakresu fal widzialnych należą fale o długościach od 350 nm do 800 nm. Jakie będą częstotliwości zakresu widzialnego w wodzie, jeżeli światło rozchodzi się tam z prędkością 225 000 km/s?

Dane:

$$\lambda_1 = 350 \text{ nm} = 350 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 3,50 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda_2 = 800 \text{ nm} = 800 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$v = 225 \text{ 000 km/s} = 2,25 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Szukane:

$$f_1 = ?$$

$$f_2 = ?$$

$$\lambda_2 = \frac{v}{f}$$

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{2,25 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{3,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}} \cong 6,4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$
$$f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{2,25 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{8 \cdot 10^{-7} \text{ m}} \cong 2,8 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Zakres częstotliwości promieniowania widzialnego wynosi

$$2,8 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \div 6,4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$(2,8 \div 6,4) \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

inaczej

$$(280 \div 640) \text{ THz} = (0,28 \div 0,64) \text{ PHz}$$

Ćwiczenie 3

Cel ćwiczenia

Rozpoznawanie różnego zakresu fal elektromagnetycznych

Treść ćwiczenia

Korzystając z ogólnie dostępnych źródeł informacji ustal długości i częstotliwości fal wykorzystywanych przy:

- a) prześwietleniu rentgenowskim
- b) sterowaniu pilotem telewizyjnym
- c) Internecie bezprzewodowym
- d) fotoogniwie
- e) telefonii komórkowej

Ćwiczenie 4

Cel ćwiczenia

Określenie długości fali

Treść ćwiczenia

Standardowe telefony komórkowe wykorzystują częstotliwości z zakresu od 800 MHz do 2,6 GHz. Oblicz zakres długości fali elektromagnetycznej o takich częstotliwościach rozchodzących się w powietrzu. Jak nazywamy ten rodzaj fal elektromagnetycznych?

Dane:

$$f_1 = 800 \text{ MHz} = 8 \cdot 10^8 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 2,6 \text{ GHz} = 26 \cdot 10^8 \text{ Hz}$$

$$v = c = 300\,000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Szukane:

$$\lambda = ?$$

$$\lambda_1 = \frac{v}{f_1} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{800 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{8 \cdot 10^8 \text{ Hz}} = \frac{3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{8 \text{ Hz}} = \frac{3}{8} \text{ m} = 37,5 \text{ cm}$$
$$\lambda_2 = \frac{v}{f_2} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2,6 \cdot 10^9 \text{ Hz}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{26 \cdot 10^8 \text{ Hz}} = \frac{3}{26} \text{ m} \cong 11,5 \text{ cm}$$

Długość fali promieniowania elektromagnetycznego wykorzystywanego w standardowej telefonii komórkowej mieści się w zakresie 11,5 cm ÷ 37,5 cm. Jest to promieniowanie mikrofalowe leżące po drugiej stronie widma widzialnego w porównaniu do szkodliwego promieniowania jonizującego.

Ćwiczenie 5

Treść ćwiczenia

Nowoczesne telefony w technologii 5G wykorzystują m.in. częstotliwości z zakresu od 3,4 GHz do 28 GHz. Ile razy ta częstotliwość jest mniejsza od charakterystycznej dla promieniowania jonizującego, którego długość fali wynosi mniej niż 10 nm? Jak nazywamy ten rodzaj fal elektromagnetycznych?

Cel ćwiczenia

Rozpoznawanie różnego zakresu fal elektromagnetycznych

Dane:

$$f_1 = 3,4 \text{ GHz} = 3,4 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 28 \text{ GHz} = 28 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

$$\lambda = 10 \text{ nm} = 10 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 10^{-8} \text{ m}$$

$$v = c = 300\,000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Szukane:

$$f_j = ?$$

$$\begin{aligned} f_j &= \frac{v}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{10^{-8} \text{ m}} = 3 \cdot 10^{16} \text{ Hz} = \\ &= 30 \text{ PHz} = 30 \text{ peta Hz} = 30 \text{ biliardów Hz} \\ \frac{f_j}{f_1} &= \frac{3 \cdot 10^{16} \text{ Hz}}{28 \cdot 10^9 \text{ Hz}} = \frac{3}{28} \cdot 10^7 \cong 1 \cdot 10^6 = 1\,000\,000 \\ \frac{f_j}{f_2} &= \frac{3 \cdot 10^{16} \text{ Hz}}{34 \cdot 10^9 \text{ Hz}} = \frac{30 \cdot 10^{15} \text{ Hz}}{34 \cdot 10^8 \text{ Hz}} \cong 9 \cdot 10^6 = 9\,000\,000 \end{aligned}$$

Częstotliwość promieniowania jonizującego jest około 1000000 większa niż największa częstotliwość i około 9000000 większa niż najniższa częstotliwość wykorzystywana w telefonii komórkowej technologii 5G.