

Jak zmierzyć prędkość światła mikrofalówką?



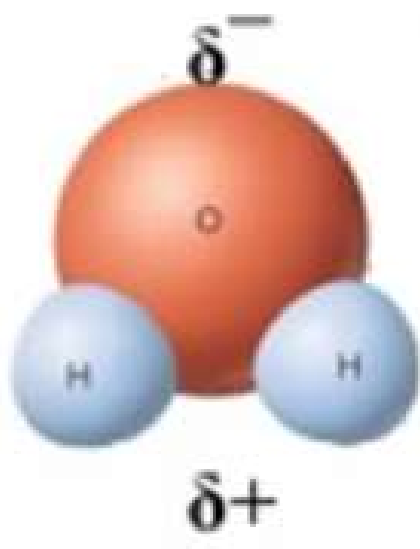
Wspierają nas:

Mechanika kwantowa, czyli świat atomów, cząstek i wszystkiego co małe, wydaje się bardzo nieuchwytny. Ale czy na pewno? W tym ćwiczeniu mam nadzieję pokazać, że świat fotonów jest na wyciągnięcie ręki!

Trzy słowa o naszych narzędziach badawczych

Pytania dla dociekliwych:

- Czym jest Tęcza Maxwella?
- Czym jest siła Lorentza?
- Jak, zgodnie z zasadami mechaniki kwantowej jest zbudowany atom?
- Czym jest chmura elektronowa?
- Czy jesteśmy w stanie zlokalizować elektron?
- Co oznacza, że fala elektro-magnetyczna jest spolaryzowana?
- Co to jest magnetron i jak działa?



Rys. 1 Cząsteczka wody

promieniowanie mikrofalowe. Jest to promieniowanie elektromagnetyczne o dość dużej częstotliwości i dużej energii (poszukajcie sobie informacji na temat „tęczy Maxwella”). Dodatkowo, częstotliwość tego promieniowania nie jest przypadkowa, ale o tym za chwilę.

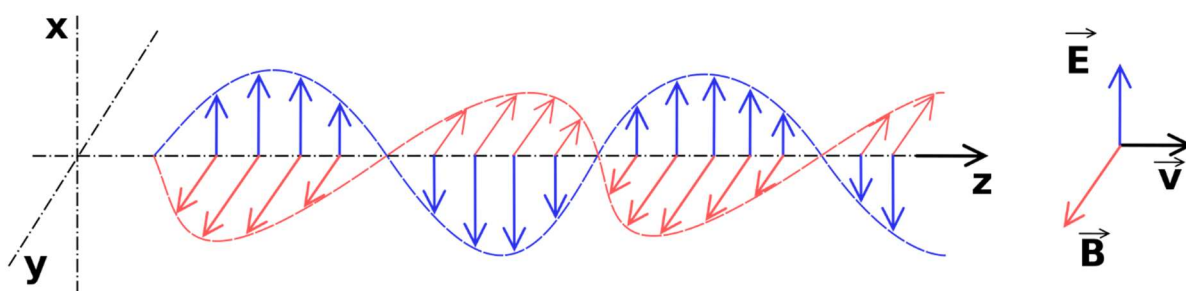
Aby zrozumieć to jak działa podgrzewanie w mikrofalówce, musimy się przyjrzeć jedzeniu które wkładamy do środka. Każdy produkt, który możemy bezpiecznie zagrzać w mikrofalówce zawiera wodę. Cząsteczki H₂O mają pewną bardzo ważną

Czy zastanawialiście się jak działa mikrofalówka? Tak naprawdę to bardzo proste urządzenie. Efekt jego działania jest podobny do piekarnika, ale zasada którą wykorzystuje jest zupełnie inna. Piekarnik używa zwykłych grzałek i termostatu albo spalania gazu, żeby rozgrzać powietrze i swoje ścianki do żądanej temperatury.

Z mikrofalówkami jest zupełnie inaczej. Jak sama nazwa wskazuje, to urządzenie wykorzystuje

właściwość. Jak się przyjrzyście rysunkowi obok (rys. 1) zauważycie, że cząsteczka wody jest „polarna”. Co to znaczy? Każda cząsteczka ma na sobie zgromadzony jakiś ładunek elektryczny. W związku z tym, że mamy do czynienia z różnymi atomami, w różnych ułożeniach, może się tak przydarzyć, że cząsteczka będzie miała więcej elektronów na jednym końcu niż na drugim. Wtedy zaczyna się ona zachowywać trochę jak magnes i jesteśmy w stanie wyróżnić na niej dwa bieguny, czyli jest tzw. „dipolem”. Dlatego mówimy, że niektóre cząsteczki są polarne. Mają wtedy na swoich końcach zgromadzony niewielki ładunek elektryczny. Dodatni ($\delta+$) i ujemny ($\delta-$).

Teraz, przyjrzyjmy się temu jak wygląda fala elektro-magnetyczna. Jak sama nazwa wskazuje składa się ona z części elektrycznej i magnetycznej. Jak się przyjrzyście na rysunku obok (rys. 2), fala elektro-magnetyczna składa się z dwóch drgających pól. A konkretniej pola **magnetycznego** (czerwone linie) i **elektrycznego** (niebieskie linie). Od razu można zauważyć, że te dwa pola drgają do siebie prostopadle.



Rys. 2. Budowa fali elektromagnetycznej (wikipedia.pl)

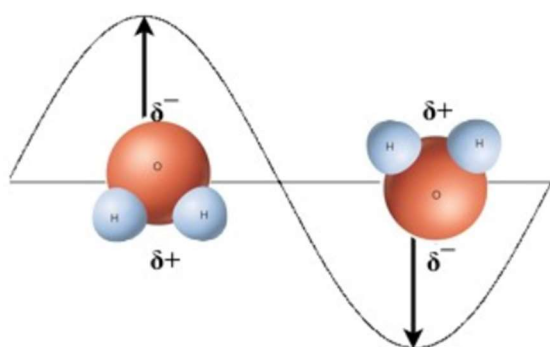
Ważnym pojęciem w tym wszystkim jest również definicja temperatury. Temperaturę definiujemy jako „*średnią energię kinetyczną ruchu* (czyli w pewnym sensie prędkość) *i drgań wszystkich cząsteczek tworzących dany układ i jest miarą tej energii*”.

Wyobraźcie sobie garnek z zupą. Jak zaczynacie taką zupę podgrzewać, to tak naprawdę ładujecie w cząsteczki, z których składa się zupa, energię. Ta energia przekłada się na to, że cząsteczki z zupy zaczynają się coraz szybciej poruszać. Przez to też zaczynają się częściej zderzać ze sobą i przekazywać innym cząsteczkom energię. I tak w kółko. Jeżeli wpompujemy w takie cząsteczki wystarczająco dużo energii, mogą one zacząć się poruszać na tyle gwałtownie, że mogą z tego garnka

wyskoczyć. W takim momencie mówimy o parowaniu. Dla przykładu, jakbyśmy zaczęli zabierać energię z takiej zupy (czyli zaczęliśmy ją schładzać) i zabierzemy tej energii wystarczająco dużo, to po prostu zamarznie. Ponieważ cząsteczki zaczną poruszać się bardzo wolno.

Wicie już, jak wyglądają cząsteczki wody w jedzeniu. Wicie również, że jeżeli przyspieszymy cząsteczki w zupie, wtedy będzie ona cieplejsza oraz wicie, jak wygląda fala elektromagnetyczna. Zatem, jak mikrofalówka podgrzewa wodę?

Można to porównać do magnesów. Jeżeli położymy jeden magnes na stole, drugi weźmiemy do ręki i zaczniemy nim machać w małej odległości od tego leżącego, magnes na stole zacznie się ruszać. Na bardzo podobnej zasadzie działa kuchenka mikrofalowa. Rolę magnesu leżącego na stole pełni cząsteczka wody w podgrzewanym jedzeniu, a rolę magnesu w ręce pełni drgające pole elektryczne z fali elektromagnetycznej generowanej przez kuchenkę. Drgające pole obraca cząsteczki wody z bardzo dużą częstotliwością, nadając im w ten sposób energię kinetyczną i tym samym podgrzewając! (rys. 3)



Rysunek 3. Sposób oddziaływania fali elektromagnetycznej na cząsteczkę wody

Stałość prędkości światła

Prędkość światła jest bardzo ciekawym zjawiskiem. Zgodnie ze Szczególną Teorią Względności Einsteina, prędkość światła jest stała, niezależnie od tego kto i jak na nią patrzy. Dla przykładu, jeżeli jedziesz autem po autostradzie to poruszasz się z prędkością ok. 120 km/h. Ciężarówka jadąca obok, poruszająca się nieco wolniej,

jedzie mniej więcej 80 km/h. Z perspektywy osoby stojącej przy drodze, te prędkości zostają takie same, ponieważ są mierzone względem nieruchomej (no nie do końca, bo Ziemia też się obraca) drogi. Natomiast z waszej perspektywy siedzących w aucie, poruszacie się z prędkością 40 km/h względem ciężarówki. Jeżeli po drugiej stronie drogi, w przeciwnym kierunku będzie jechać motocyklista na ścigaczu z prędkością 200 km/h (łamając przepisy), to z waszej perspektywy, motocyklista będzie poruszał się z prędkością aż 320 km/h, z perspektywy kierowcy ciężarówki 280 km/h, a z perspektywy osoby stojącej przy drodze, będzie to 200 km/h. Z prędkością światła jest inaczej. Prędkość ta jest stała, niezależnie od obserwatora. Intuicja podpowiada nam, że jeśli byśmy zmierzili prędkość światła z perspektywy motocyklisty, waszej lub kierowcy ciężarówki, to w zależności od kierunku, w którym porusza się promień światła, ta prędkość powinna być różna. Otóż, tak się nie dzieje. Prawa fizyki mówią, że zarówno dla motocyklisty jadącego w przeciwnym kierunku, ciężarówki, którą wyprzedzacie i waszej, prędkość ta będzie równa niecałe 300 000 000 m/s (prędkość światła zmienia się w zależności od ośrodka w którym się ono rozchodzi, w powietrzu jest ono nieco wolniejsze niż w próżni). Jeżeli Was to zaciekało, polecam „Krótką Historię Czasu” Stephena Hawkinga.

Do sedna! Najpierw wykonamy eksperyment, a później obliczymy wszystko na bazie zebranych danych.

Co będzie potrzebne:

- mikrofalówka,
- detektor czyli np. rodzynki (pestki dyni, słonecznika, ryż itd., tabliczka czekolady też się nada),
- talerz i kubek,
- linijka,
- coś do pisania,
- kalkulator.





Fot. 1 Potrzebne rzeczy

Krok 1. Przygotuj mikrofalówkę

Jedzenie w mikrofalówce jest obracane, żeby fale radiowe mogły dotrzeć do każdego zakamarka przekąski. Tu chcemy, żeby nasz detektor został podgrzany punktowo. Wyjmij z mikrofalówki szklany talerz. Pod spodem powinien być plastikowy krążek, na którym opierał się talerz. Wyjmij go. Na środku znajduje się mały kawałek plastiku,



który jest przyczepiony do silnika i obraca talerzem. Trzeba go jakoś ominąć. Najlepiej zakryć go kubkiem ustawionym do góry dnem.

Krok 2. Przygotuj detektor

Na talerzu rozsyp równomiernie rodzyunki, pestki z dyni czy ryż prostą ścieżkę na całej powierzchni talerza. Jeżeli używasz czekolady, połóż po prostu całą tabliczkę (odpakowaną!) na środku talerza. Talerz połóż na kubku (jak na zdjęciu) i zamknij mikrofalówkę

Krok 3. Wykonanie eksperymentu.

Uruchom mikrofalówkę na 30-60s. Po tym czasie sprawdź czy detektor się miejscami przyrumienił. Jeżeli używasz czekolady, powinna się ona miejscami podtopić. To ważne żeby nie stopić całej! Jeżeli nie ma zmian na naszym detektorze, włącz mikrofalówkę jeszcze na 10-15 sekund i sprawdź znowu. I tak do skutku. „Detektor” powinien wyglądać tak, jak na zdjęciu. Przygotowując ten eksperyment, potrzeba było około 60 sekund, żeby miejscami przypalić ryż.

Krok 4. Pomiary

Ostrożnie wyjmij talerz z mikrofalówki (Uwaga! Może być ciepły!), tak żeby nie rozsypać naszego detektora.

Zmierz linijką odległości między przypalonymi/przytopionymi miejscami (zdjęcie) i zanotuj.

Krok 5. Analiza wyników.

Co zobaczyliśmy i dlaczego? Jeśli przyjrzesz się rysunkowi obok, zobaczysz, jak skonstruowana jest fala. Możemy wyróżnić 3 bardzo ważne punkty:

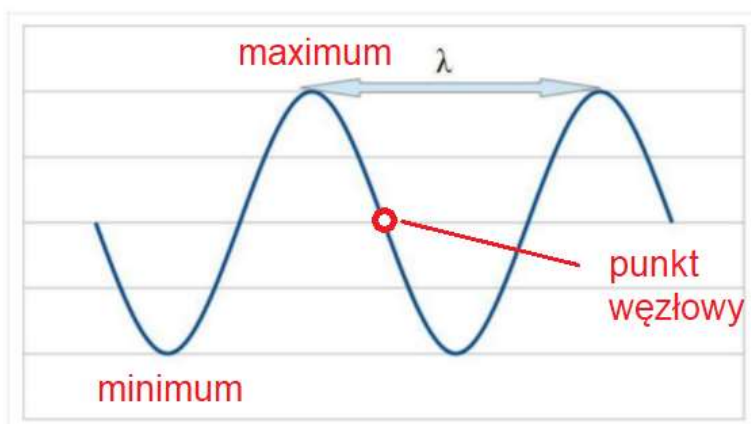
- Minimum
- Punkt węzłowy
- Maximum



Fot. 4 Ryżowa "mapa" promieniowania z zaznaczonymi odległościami które można zmierzyć (trzeba zmierzyć tylko jedną!)

Jak pamiętasz ze wstępu, ta fala to tak naprawdę drgania pola, więc największe natężenia pola będą w **minimach** i **maximach**. W punkcie węzłowym wartości natężenia pola są praktycznie równe zero. Skoro dla maximum i minimum uzyskujemy największe wartości, to w tych punktach pole będzie oddziaływać najsilniej na cząsteczki wody. W związku z tym, te miejsca się najbardziej nagrzeją. Wzory z przypalonego (w tym wypadku) ryżu, stworzyły dwuwymiarową mapę rozkładu

promieniowania mikrofalowego z mikrofalówki! Mapa ta będzie wyglądała różnie w zależności od typu mikrofalówki.



Rys. 4 Charakterystyczne punkty fali

Na rysunku zaznaczono również odległość „λ”. To jest długość fali. Jest to odległość między dwoma maximami. Detektor został przypalony/podtopiony w minimum i maximum fali. Z tego wynika, że odległość, którą zmierzyłeś/aś między punktami na detektorze, jest równa połowie długości fali. Długość fali jest bezpośrednio związana z częstotliwością tej fali oraz prędkością światła. Więc, jeżeli przekształcimy wzór na długość fali, otrzymamy wzór na prędkość światła!

$$\lambda = \frac{c}{f} \rightarrow c = \lambda f$$

λ - długość fali, c – prędkość światła, f- częstotliwość

Ważna rzecz, trzeba pamiętać, że zmierzona długość to tylko połowa długości fali, więc musimy pomnożyć uzyskany wynik przez 2. Dodatkowo, prędkość światła jest wyrażana w metrach na sekundę ($\frac{m}{s}$). Nasze pomiary były w centymetrach, więc musimy zamienić jednostki (cm na m). Kolejną rzeczą, o której trzeba pamiętać to, że częstotliwość generowana przez mikrofalówkę (powinna być gdzieś z tyłu albo z boku urządzenia) jest podana w giga hertzach (GHz). Musimy to zamienić na hertze (Hz). Poniżej znajdziecie zależności:

$$1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$$

$$1 \text{ GHz} = 100\,000\,000 \text{ Hz}$$

Teraz rozwiążmy nasze zadanie. Jak każde zadanie z fizyki, to ma identyczny schemat.

Dane: $\lambda = 2 \cdot (\text{zmierzona długość}) = \dots\dots\dots$ cm f = $\dots\dots\dots$ GHz	Szukane c = ?
Wzór: $c = \lambda f$	
Przeskalowanie jednostek Długość fali: $\dots\dots\dots \text{cm} = \dots\dots\dots \text{m}$ Częstotliwość $\dots\dots\dots \text{GHz} = \dots\dots\dots \text{Hz}$ Obliczenie jednostek $[\text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}, \text{m} \cdot \frac{1}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}]$ Obliczenia: $\dots\dots\dots \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (długość fali w m) (częstotliwość w Hz) (Prędkość światła)	

Jeżeli twój wynik jest zbliżony (+/- 20%, nasze narzędzia pomiarowe nie są zbyt dokładne) do 300 000 000 m/s, to gratuluje! Udało ci się zmierzyć prędkość światła przy pomocy mikrofalówki!

Źródła:

- 1) "Speed of light, microwave oven and how it works", ElectroBoom , YouTube (2017)
- 2) <http://tobyzerner.com/microwaves/>

