

Fale elektromagnetyczne

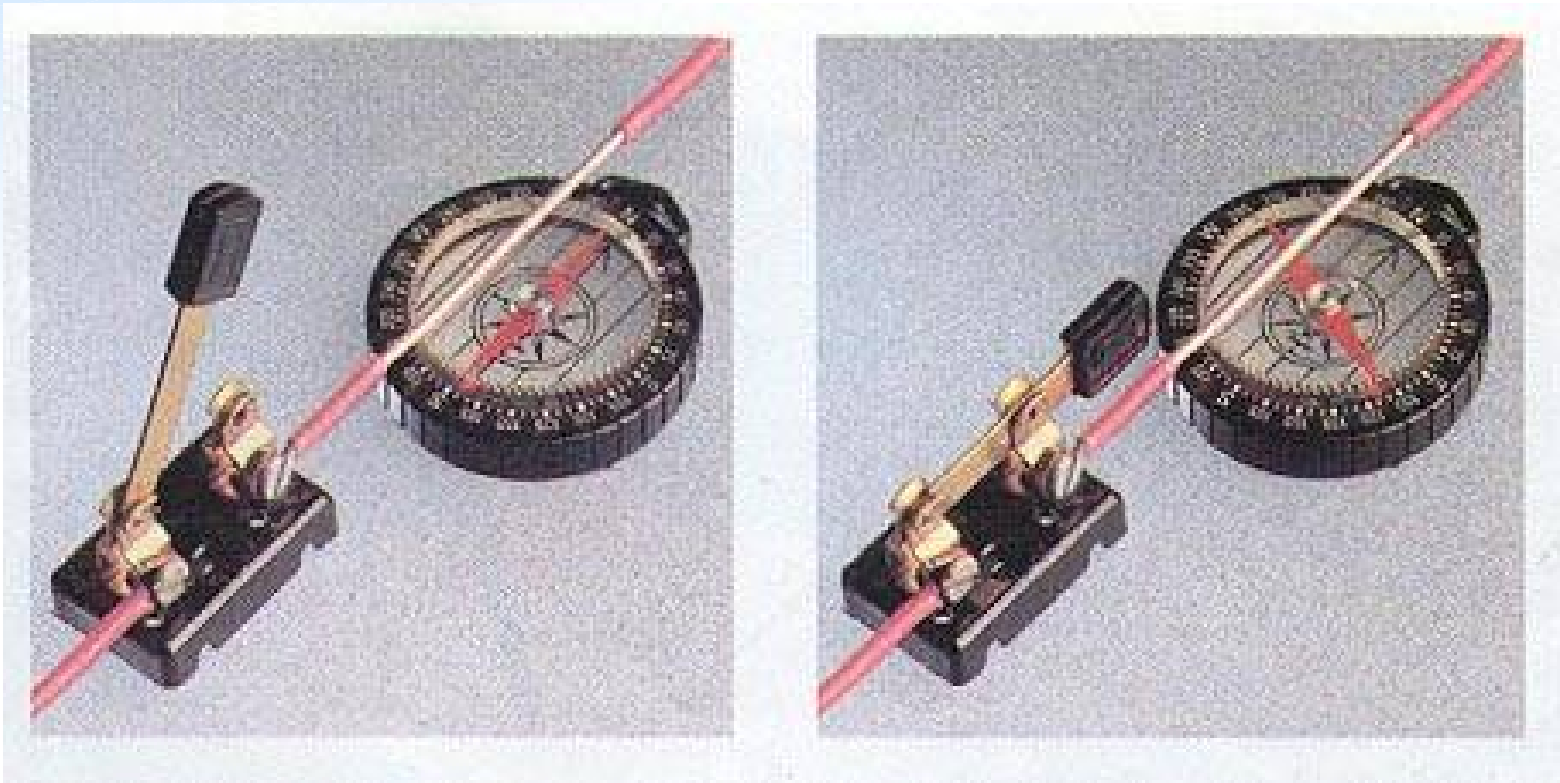
Ryszard J. Barczyński, 2017

Politechnika Gdańska, Wydział FTiMS, Katedra Fizyki Ciała Stałego

Materiały dydaktyczne do użytku wewnętrznego

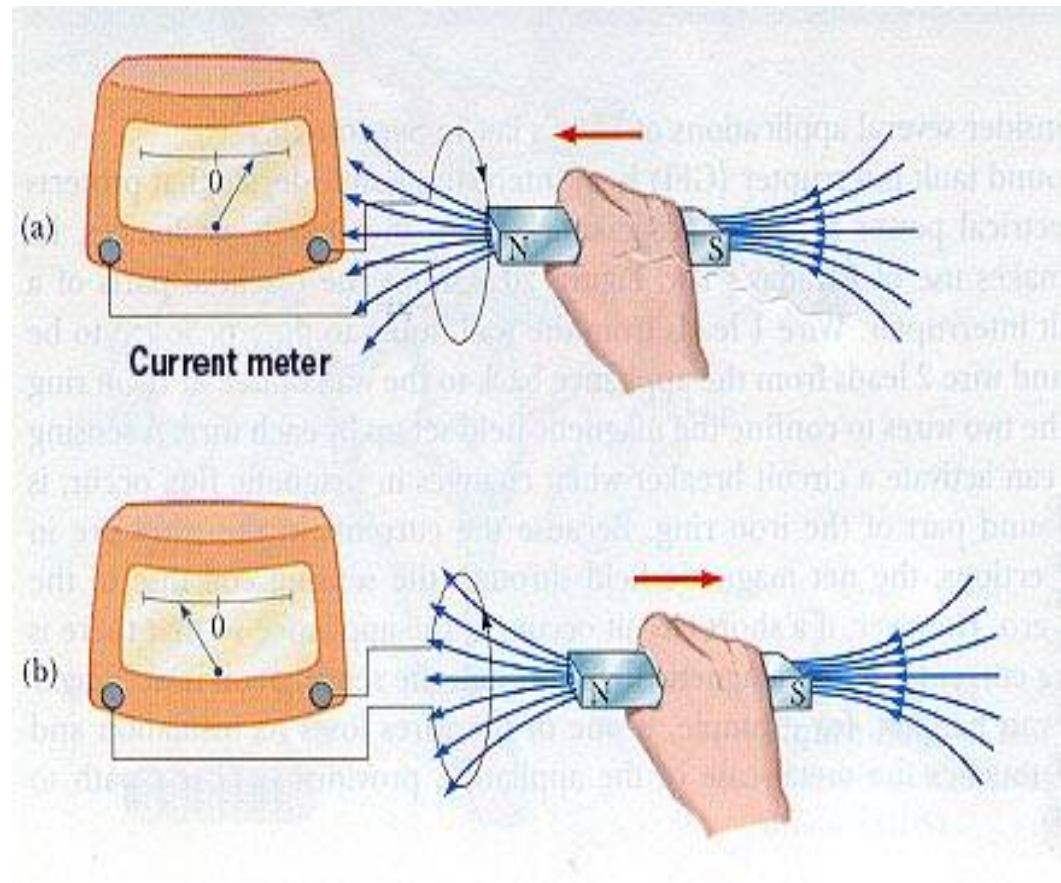
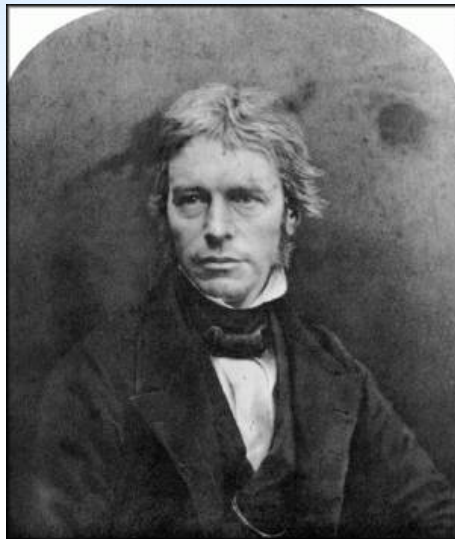
Krótką historia odkrycia fali elektromagnetycznej (1)

- Starożytni Grecy: *znamy dwa różne zjawiska: elektryczność i magnetyzm...*
- Hans Christian Oersted (1820): *wcale nie są takie różne...*



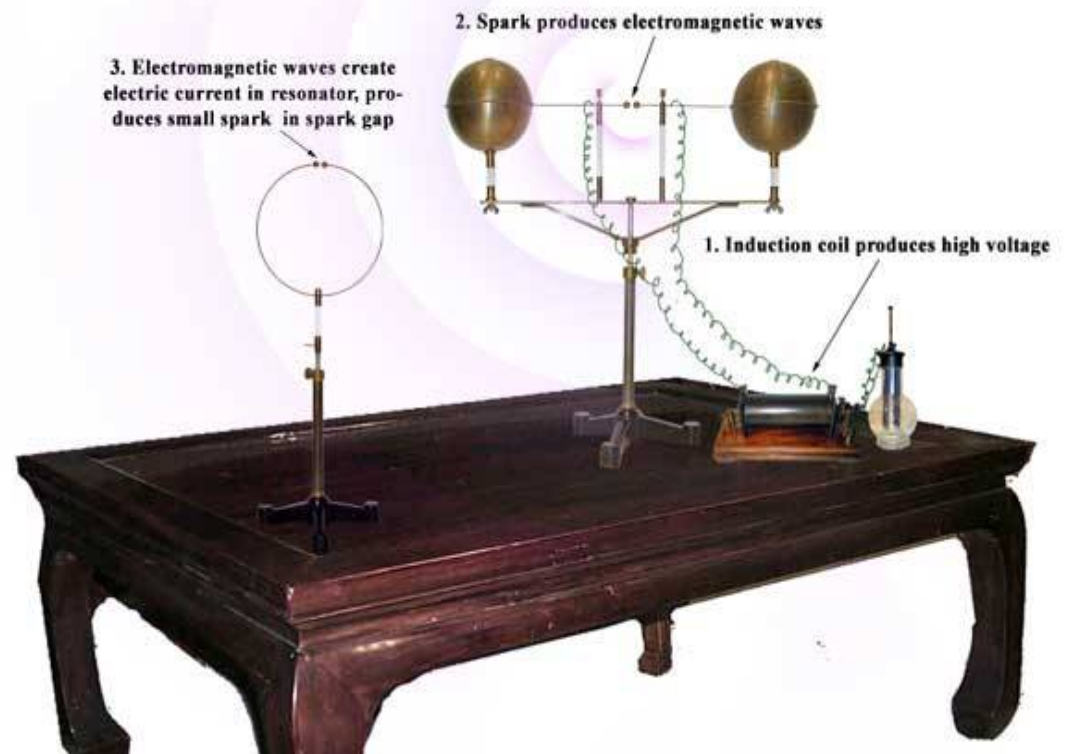
Krótką historia odkrycia fali elektromagnetycznej (2)

- **Michael Faraday (1833):** *zmienne pole magnetyczne wytwarza pole elektryczne...*

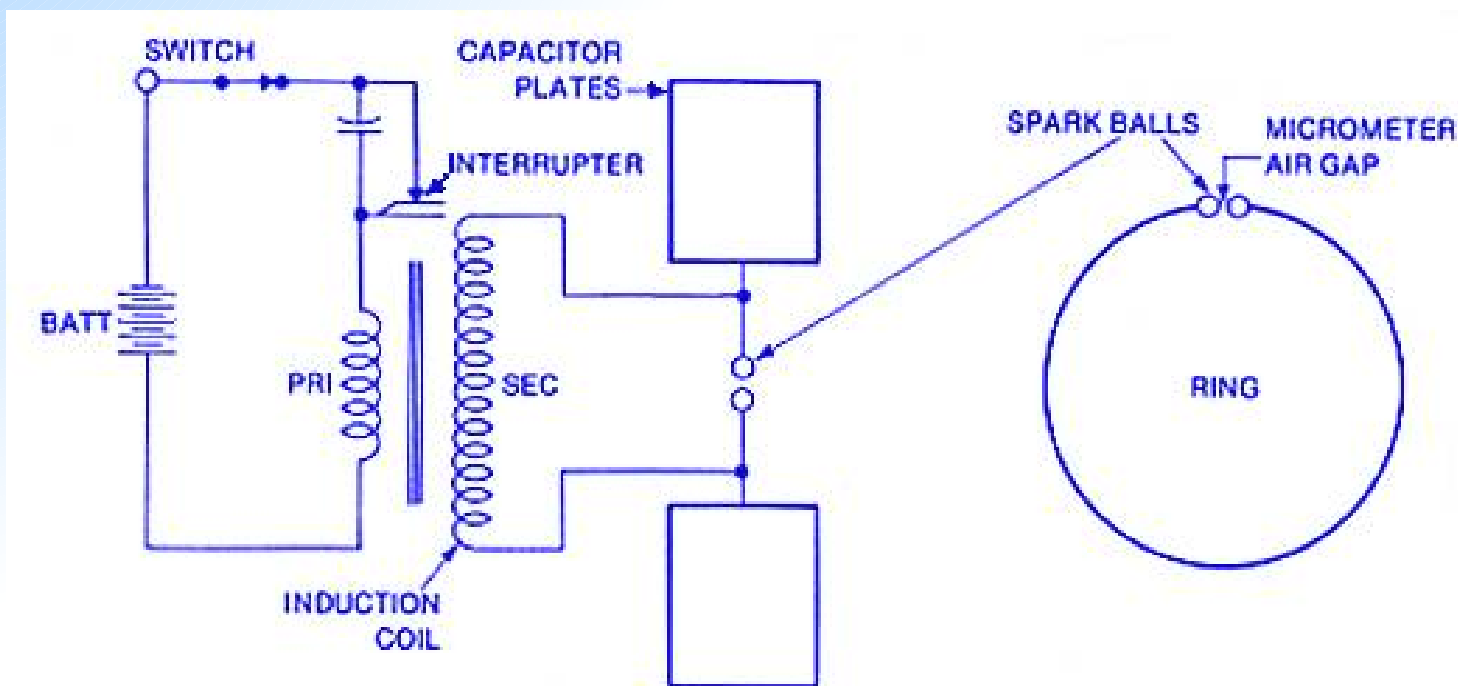


Krótką historia odkrycia fali elektromagnetycznej (3)

- Clerk Maxwell (1867): *i wzajemnie - zmienne pole elektryczne wytwarza pole magnetyczne. Może będzie z tego fala...*
- Hermann Ludwig von Helmholtz (ok. 1884?): *fale rozchodzą się? Może pan to sprawdzi, panie Hertz?*
- Heinrich Hertz (1889):
Rozchodzą się!!!...



Heinrich Hertz (1889): *Rozchodzą się!!!...*



Zarówno w roli nadajnika, jak i odbiornika fal elektromagnetycznych Hertz wykorzystał pętle z drutu. Często czynimy tak również dziś...

Rozważmy równania Maxwella ..bez źródeł

Przyjmujemy, że w przestrzeni nie ma ładunków ani prądów.
Prawa Maxwella przyjmują wtedy postać:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0$$

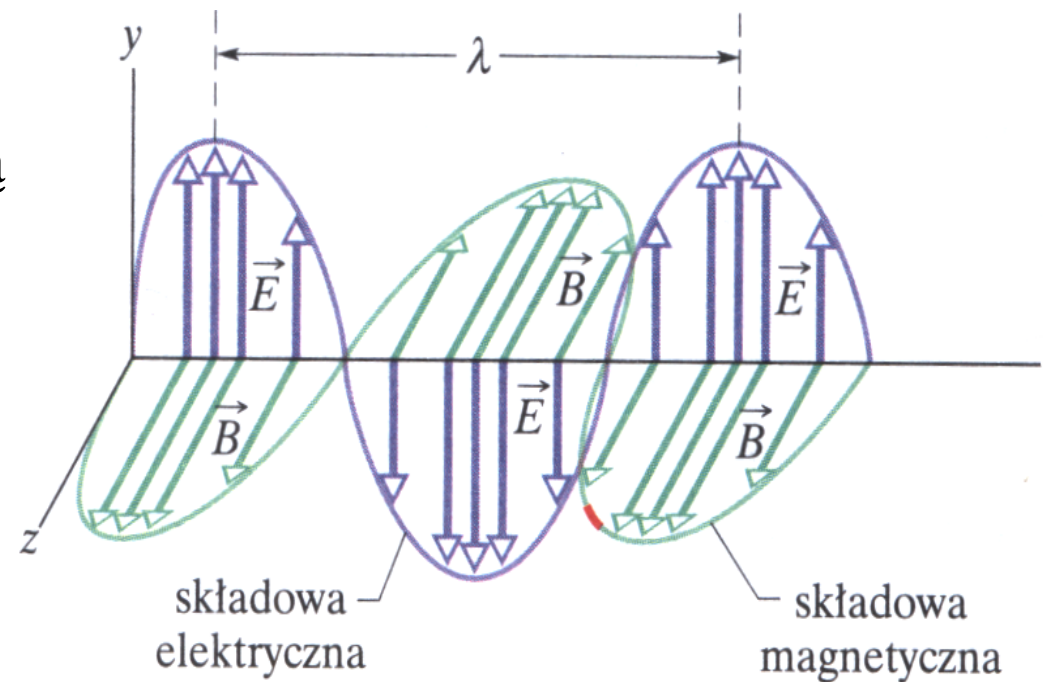
$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

$$\oint_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_m}{dt}$$

$$\oint_l \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi}{dt}$$

Rozważmy równania Maxwella ... oraz falę

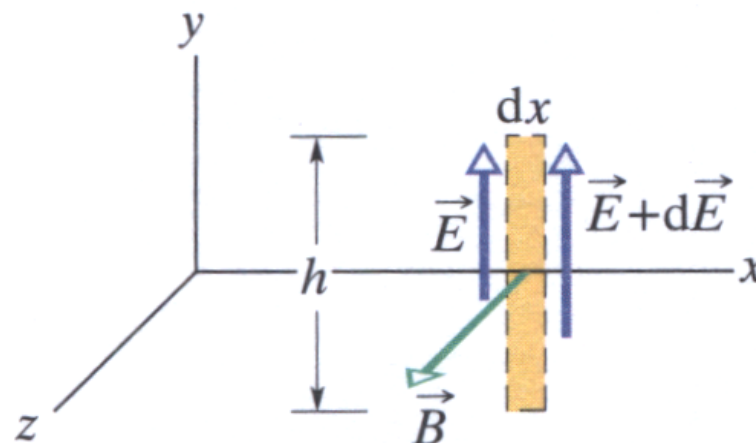
Sprawdzimy, że nasze równania są spełnione przez falę elektromagnetyczną rozchodzącą się w kierunku x o następującej konfiguracji:



$$\vec{E} = \vec{E}_y = \vec{E}_0 \sin(kx - \omega t)$$

$$\vec{B} = \vec{B}_z = \vec{B}_0 \sin(kx - \omega t)$$

Zastosujemy prawo indukcji Faradaya do przedstawionego na rysunku wąskiego prostokąta znajdującego się w płaszczyźnie xy.

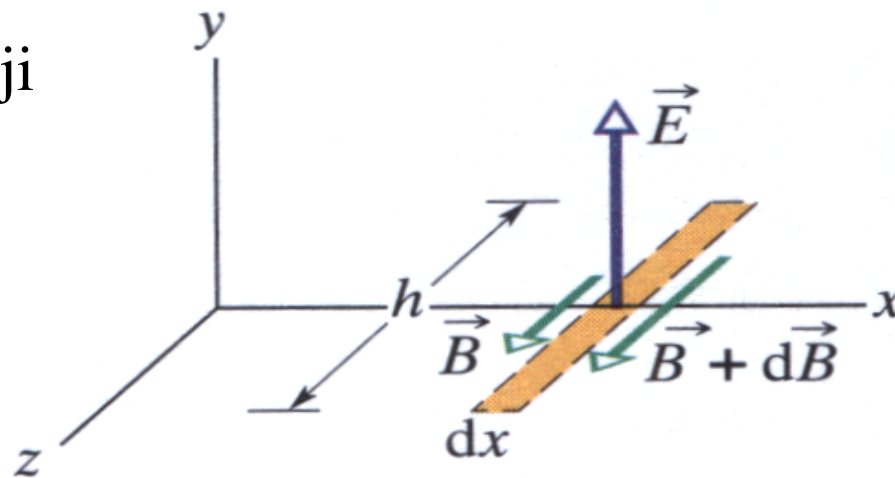


$$\oint_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = (E + dE)h - Eh = h dE$$

$$\frac{d\Phi_m}{dt} = \frac{d(B h dx)}{dt} = h dx \frac{dB}{dt}$$

$$\oint_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_m}{dt} \Rightarrow h dE = -h dx \frac{dB}{dt} \Rightarrow \frac{\partial E}{\partial x} = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (*)$$

Podobnie zastosujemy prawo indukcji Maxwella do przedstawionego na rysunku wąskiego prostokąta znajdującego się w płaszczyźnie xz.



$$\oint_l \vec{B} \cdot d\vec{l} = -(B + dB)h + Bh = -h dB$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{d(E h dx)}{dt} = h dx \frac{dE}{dt}$$

$$\oint_l \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi}{dt} \Rightarrow h dB = -\mu_0 \varepsilon_0 h dx \frac{dE}{dt} \Rightarrow \frac{\partial B}{\partial x} = -\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$$

(**)

Do pierwszego z otrzymanych równań
(*) wstawimy równania opisujące
postulowaną przez nas postać fali

$$\frac{\partial E}{\partial x} = - \frac{\partial B}{\partial t}$$

$$E = E_0 \sin(kx - \omega t) \quad B = B_0 \sin(kx - \omega t)$$

$$\frac{\partial E}{\partial x} = k E_0 \cos(kx - \omega t) \quad \frac{\partial B}{\partial t} = -\omega B_0 \cos(kx - \omega t)$$

$$k E_0 \cos(kx - \omega t) = \omega B_0 \cos(kx - \omega t) \Rightarrow \frac{E_0}{B_0} = \frac{\omega}{k} = c$$

Stosunek amplitudy pola elektrycznego do amplitudy pola
elektrycznego jest równy prędkości fali,

To samo uczynimy z drugim
równaniem (**)

$$\frac{\partial B}{\partial x} = -\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$$

$$E = E_0 \sin(kx - \omega t) \quad B = B_0 \sin(kx - \omega t)$$

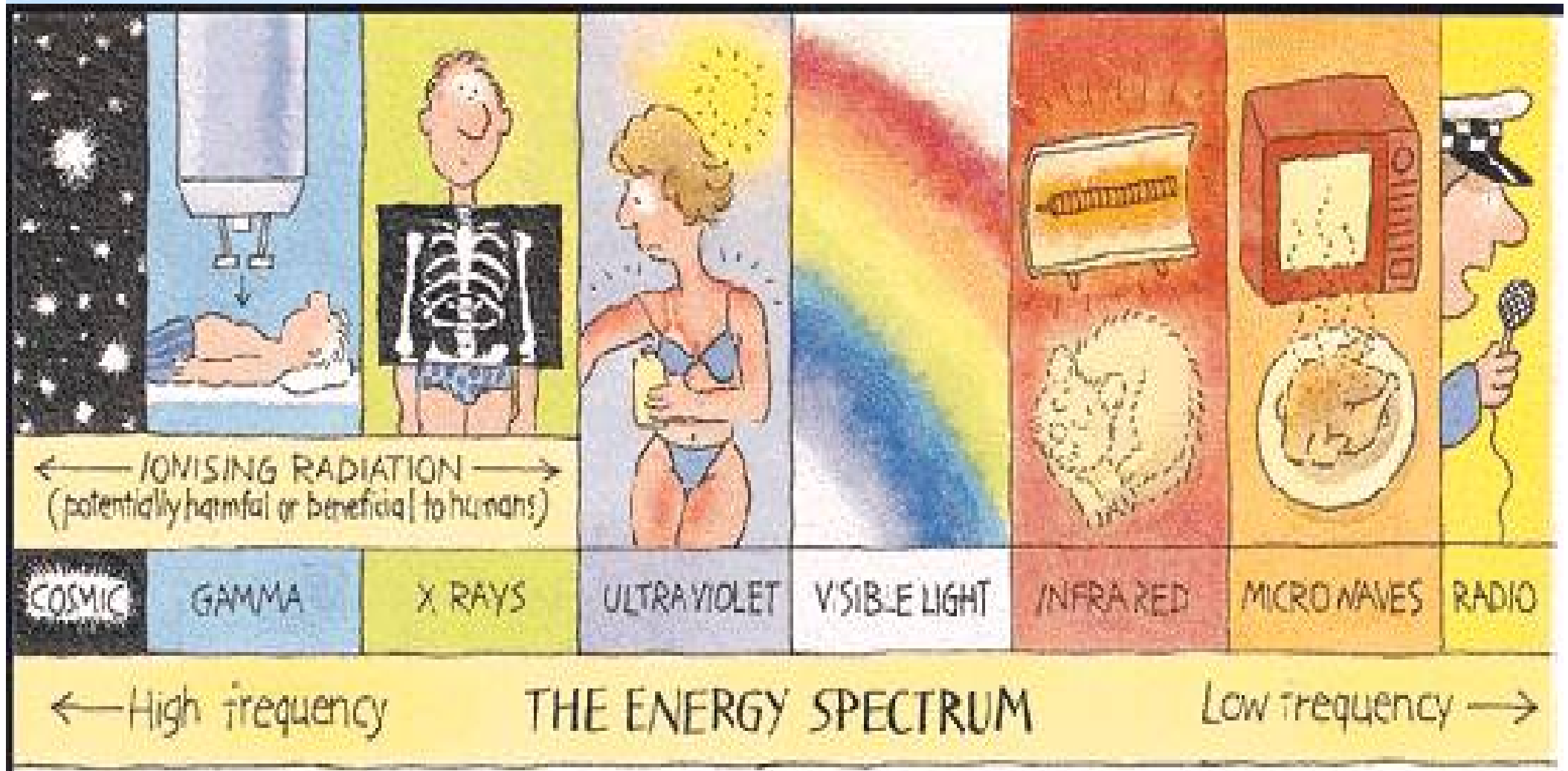
$$\frac{\partial B}{\partial x} = k B_0 \cos(kx - \omega t) \quad \frac{\partial E}{\partial t} = -\mu_0 \varepsilon_0 \omega E_0 \cos(kx - \omega t)$$

$$k B_0 \cos(kx - \omega t) = \mu_0 \varepsilon_0 \omega E_0 \cos(kx - \omega t) \Rightarrow \frac{E_0}{B_0} = \frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\omega}{k}} = \frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0 c}$$

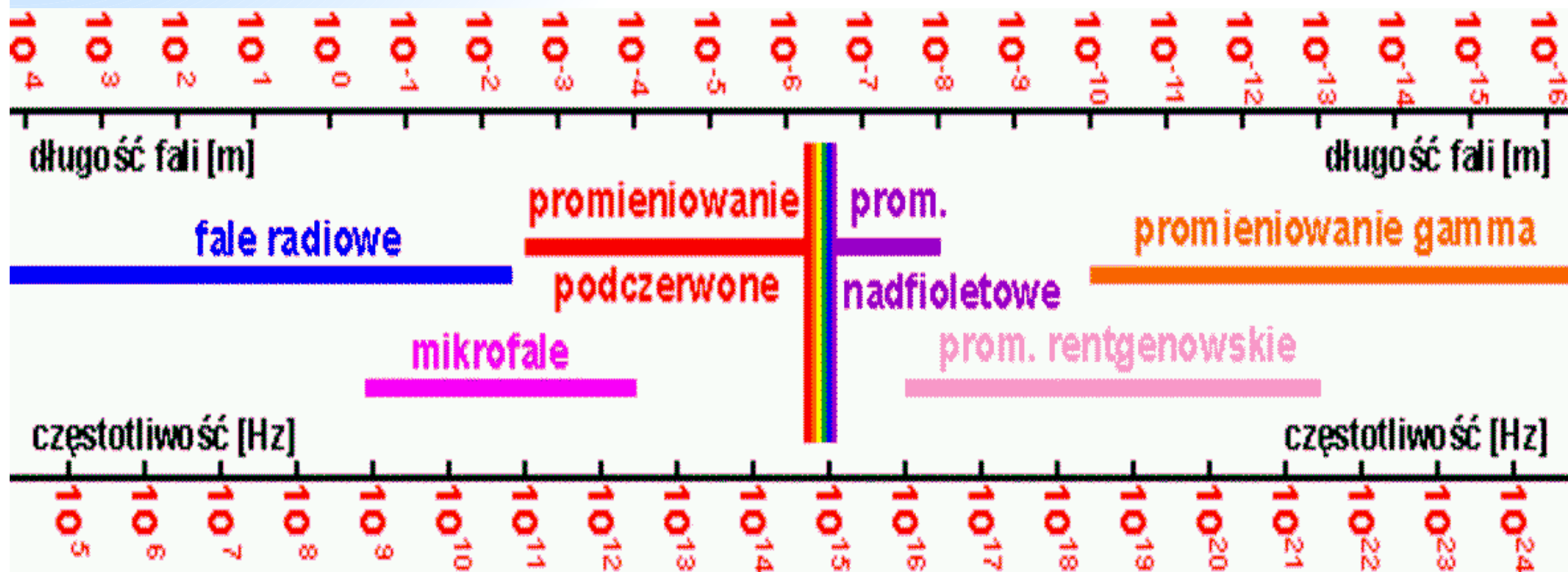
$$\frac{E_0}{B_0} = c \Rightarrow c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$$

Prędkość fali elektromagnetycznej jest stała!!!

Widmo fal elektromagnetycznych



Widmo fal elektromagnetycznych

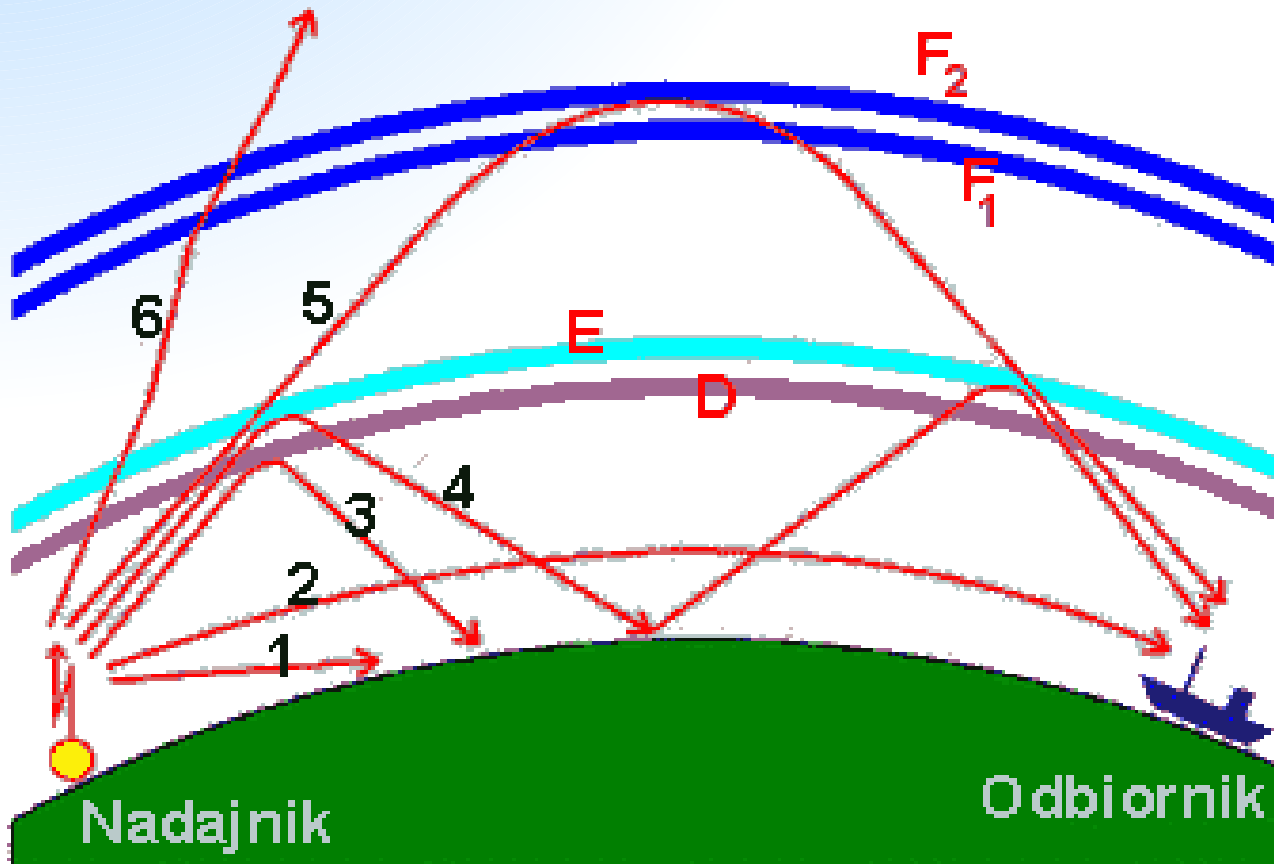


Widmo fal elektromagnetycznych

Fale radiowe

$f=30\text{kHz}$ - kilka GHz

$l=10\text{km}$ - kilka cm



Widmo fal elektromagnetycznych

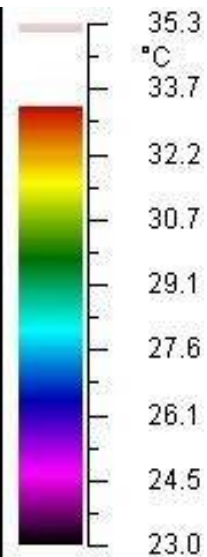
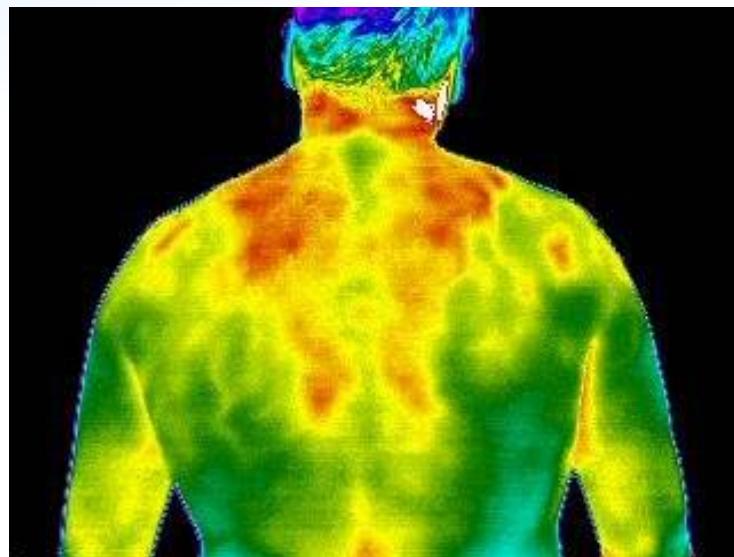
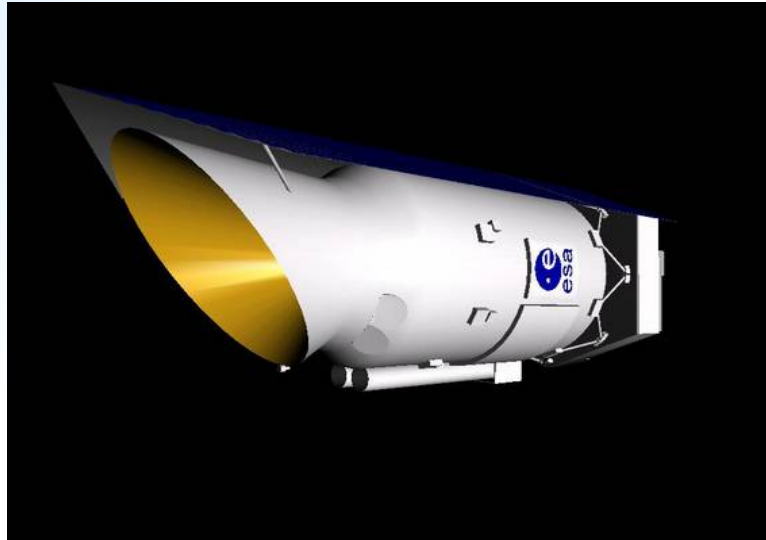
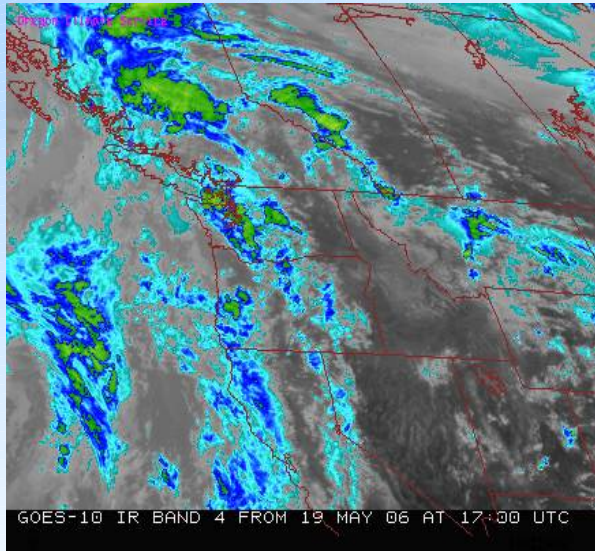


Mikrofale

f =kilka GHz - kilkaset GHz

l =od kilku cm do kilku mm

Widmo fal elektromagnetycznych



Podczerwień
 $f=10^{11} - 10^{14}$ Hz
 $l=1\text{mm} - 1\mu\text{m}$

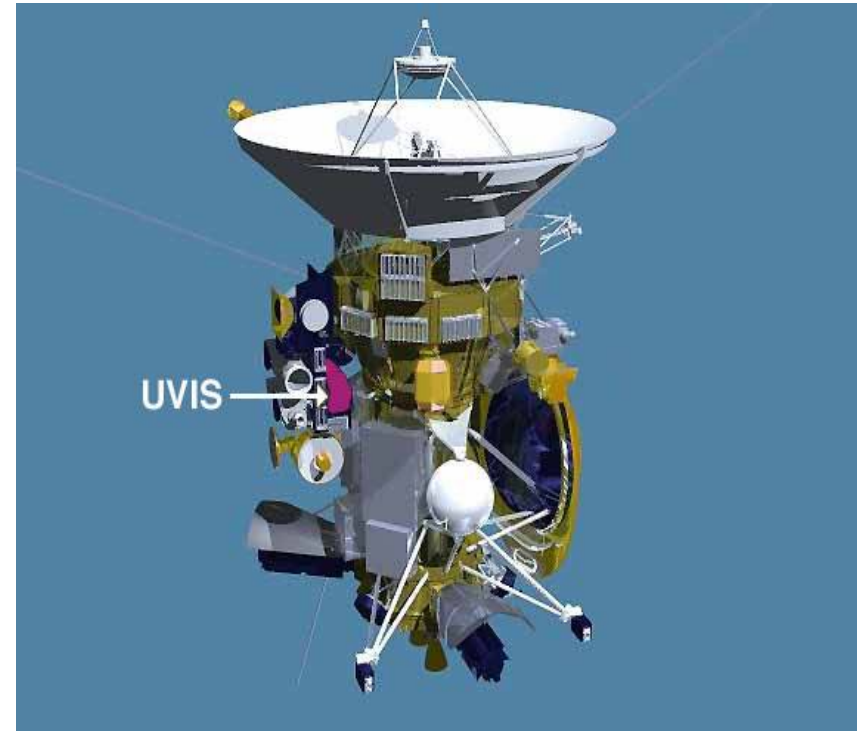


Widmo fal elektromagnetycznych

This page is left blank...

Światło widzialne
 $\lambda = 800\text{nm} - 400\text{nm}$

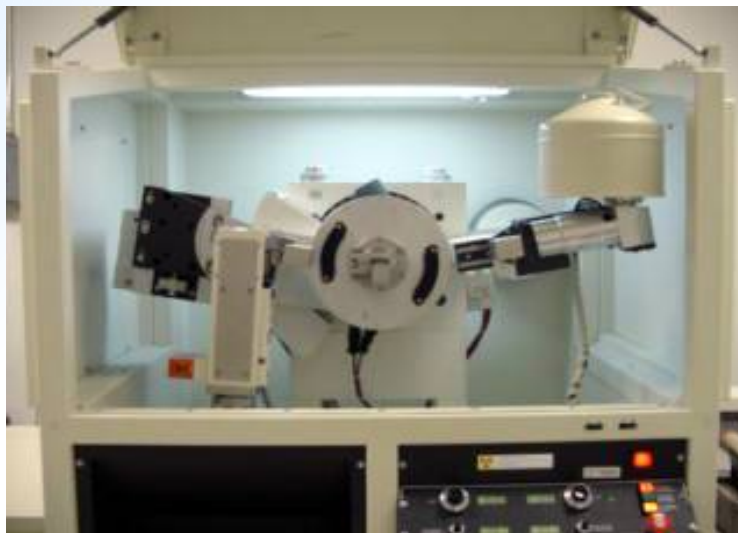
Widmo fal elektromagnetycznych



Ultrafiolet

$\lambda=400\text{nm} - 10\text{nm}$

Widmo fal elektromagnetycznych

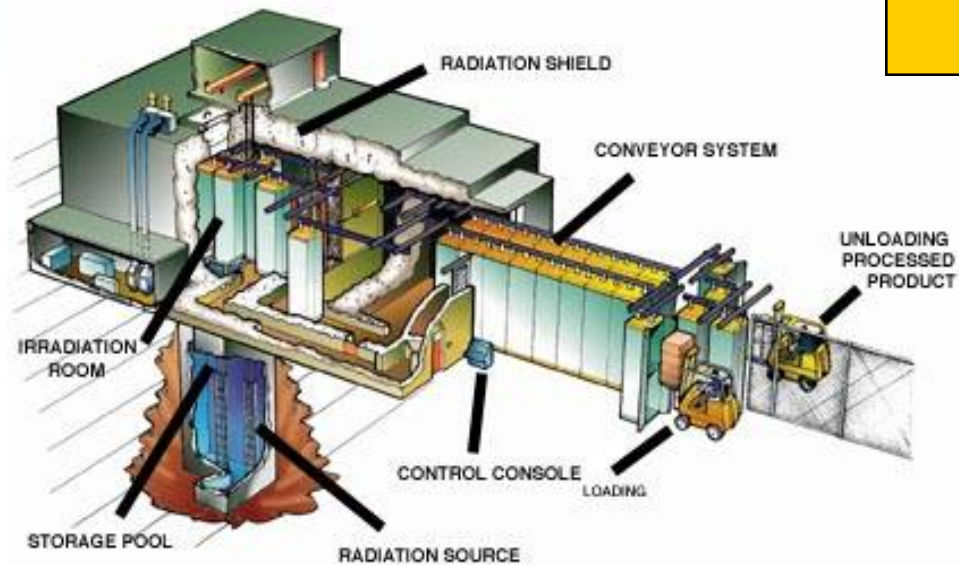
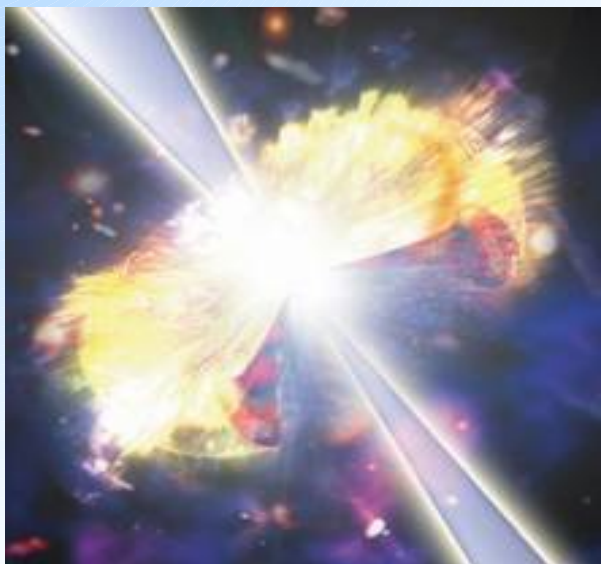


Promienie X

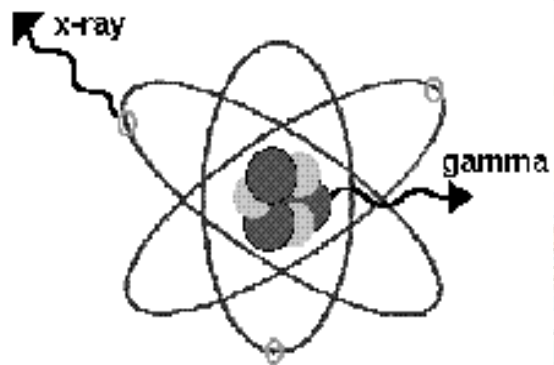
$l = 10\text{nm} - 0.005\text{nm}$



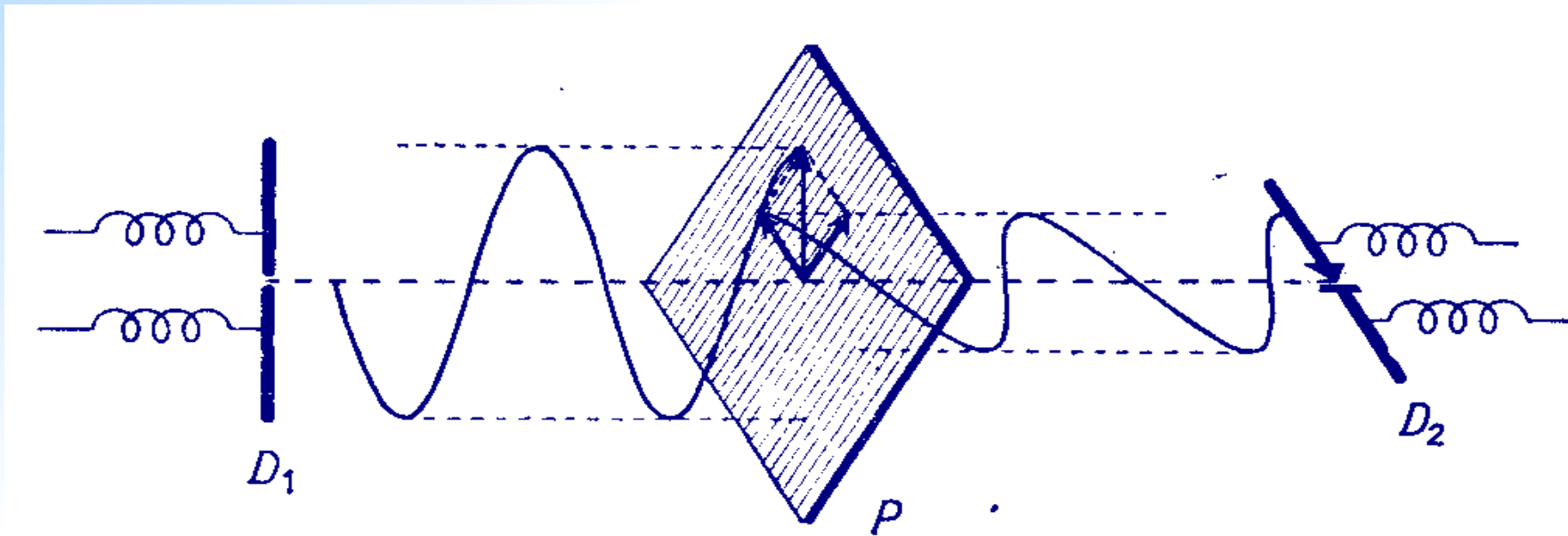
Widmo fal elektromagnetycznych



Promienie γ
 $1 < 0.005\text{nm}$



Właściwości fal elektromagnetycznych



Mimo, że fale o różnej częstotliwości mają bardzo różne właściwości, to czasami okazują się naprawdę bardzo podobne...

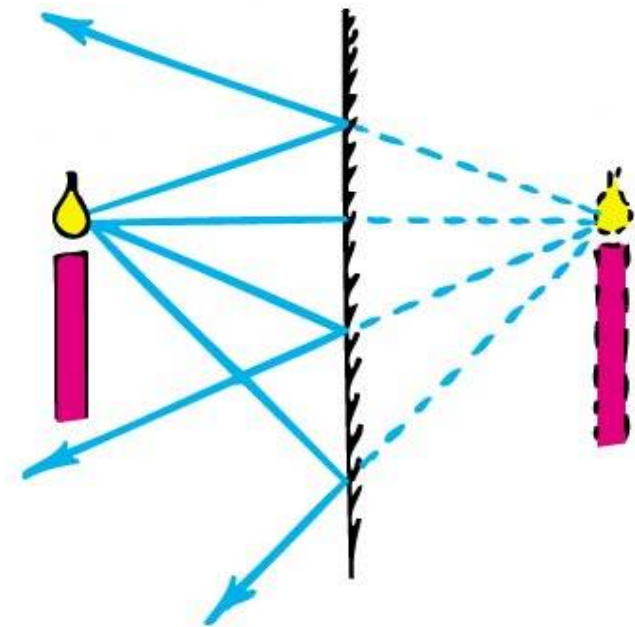
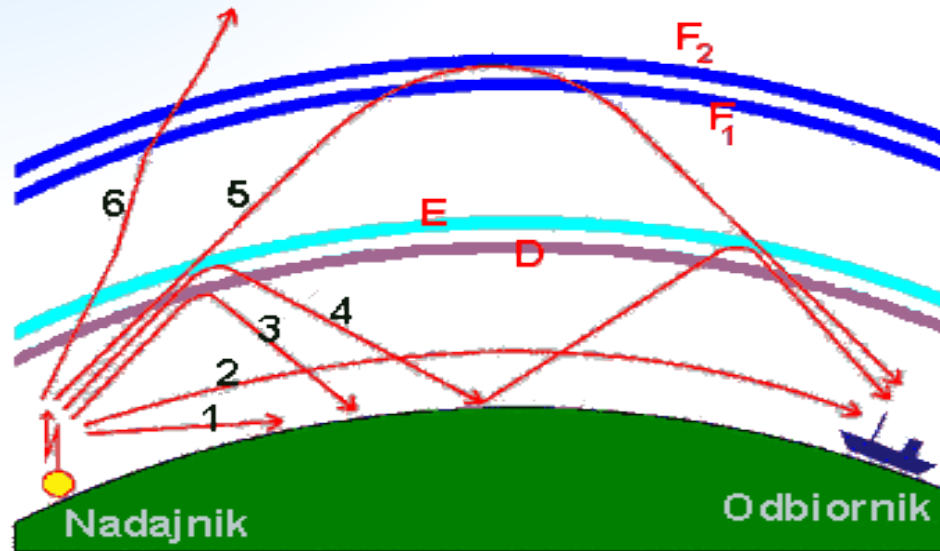
Polaryzacja

Właściwości fal elektromagnetycznych

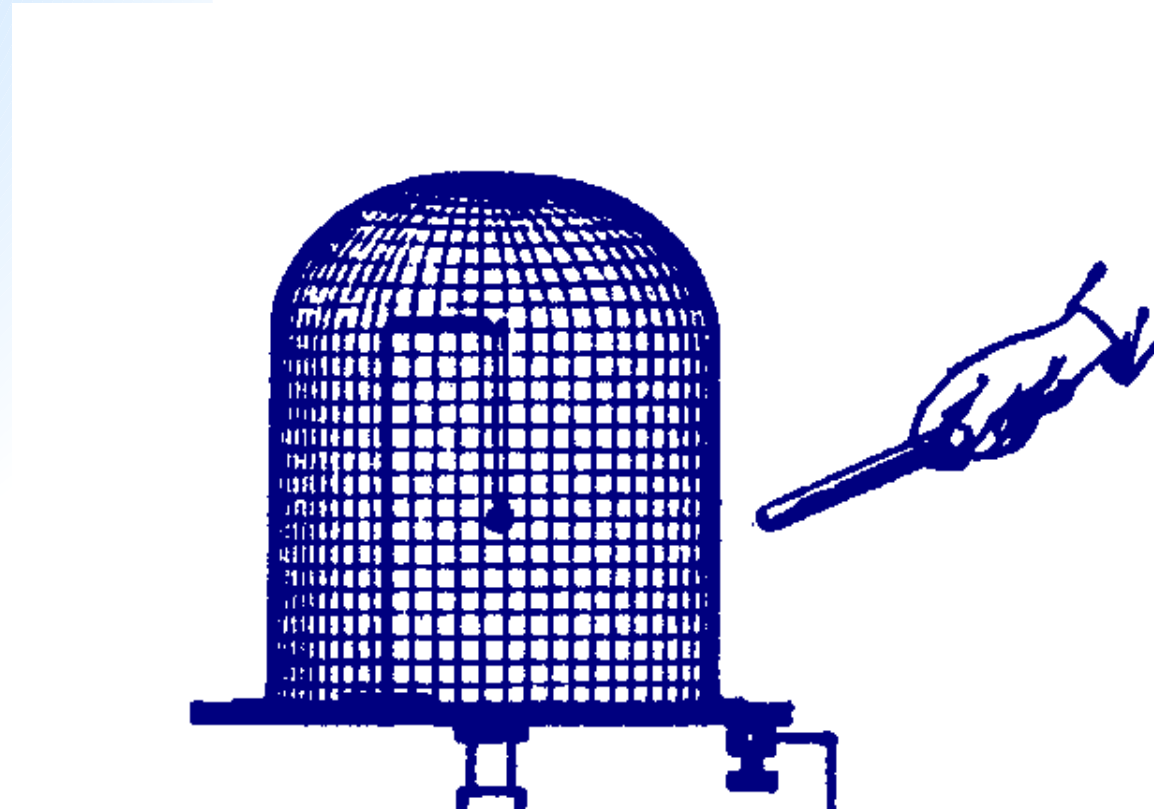
Mimo, że fale o różnej częstotliwości mają bardzo różne właściwości,

to czasami okazują się naprawdę bardzo podobne...

Odbicie



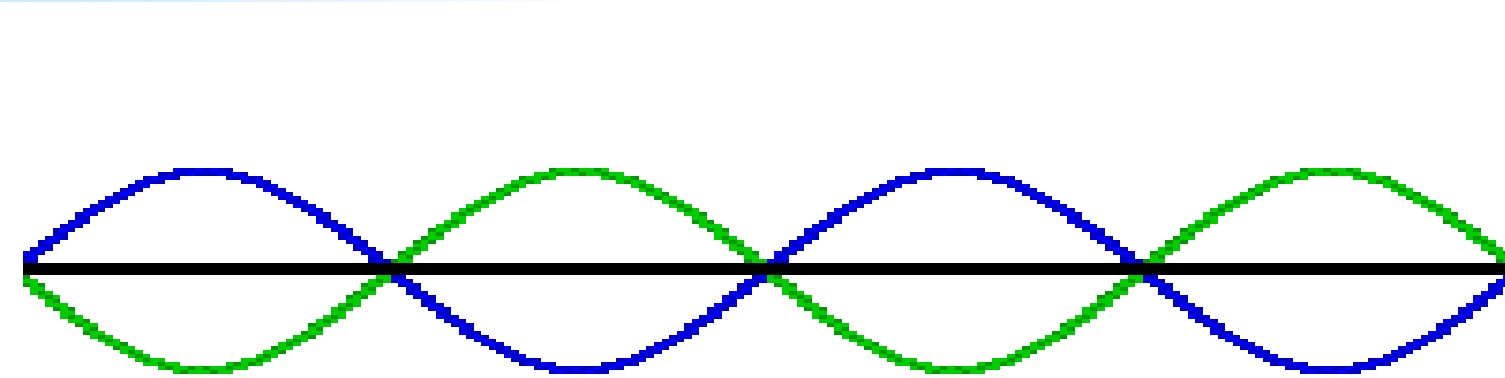
Właściwości fal elektromagnetycznych



Mimo, że fale o różnej częstotliwości mają bardzo różne właściwości, to czasami okazują się naprawdę bardzo podobne...

Ekranowanie

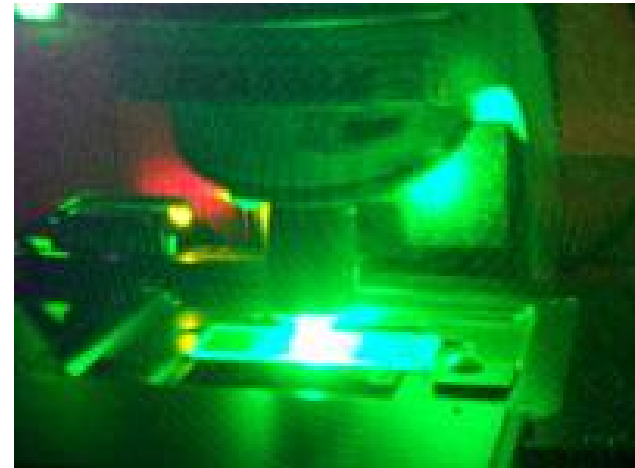
Właściwości fal elektromagnetycznych



Mimo, że fale o różnej częstotliwości mają bardzo różne właściwości, to czasami okazują się naprawdę bardzo podobne...

Fala stojąca, interferencja, dyfrakcja

Właściwości fal elektromagnetycznych



- *Fale o większej energii...*

... mogą pobudzać materię do wysyłania fal o energii mniejszej

- *Jeżeli energia fal jest odpowiednio duża...*

... mogą na materię (w tym ożywioną :-)) wywierać działanie

... bardzo destruktywne (promienie X albo gamma)