



Fale elektromagnetyczne cd

Falami elektromagnetycznymi nazywamy rozchodzące się zaburzenia pola elektromagnetycznego (tzn. zmienne pole elektromagnetyczne). Twierdzenie o istnieniu fal elektromagnetycznych wynika bezpośrednio z równań Maxwella

$$\operatorname{div}\vec{E} = 0$$

$$\operatorname{div}\vec{B} = 0$$

$$\operatorname{rot}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$$

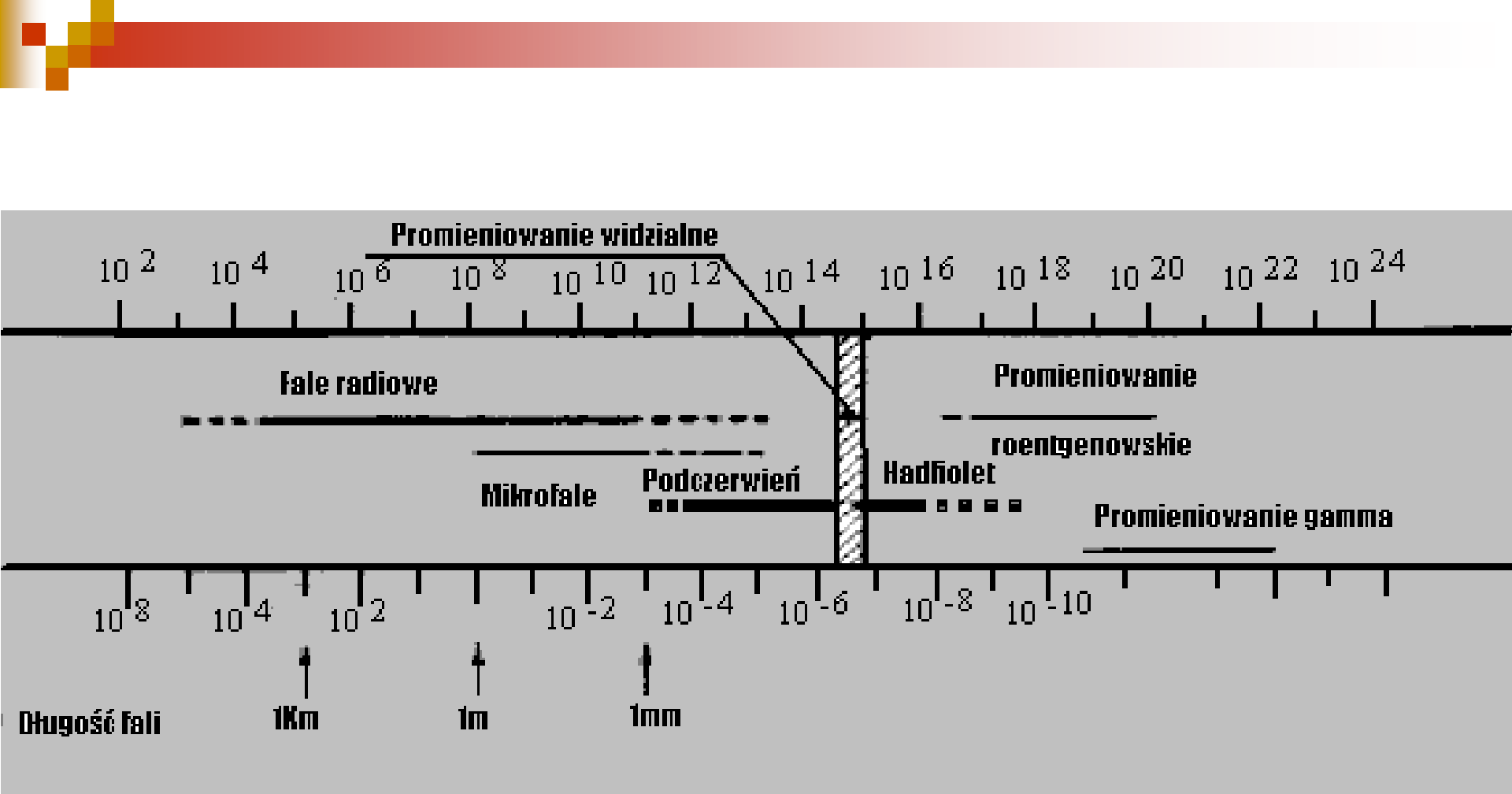
$$\operatorname{rot}\vec{B} = \mu_0\varepsilon_0\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}$$


Fale elektromagnetyczne \equiv swobodne pole elektromagnetyczne

Fale elektromagnetyczne w zależności od częstotliwości ν (lub długości fali w próżni $\lambda=c/\nu$, gdzie c jest prędkością fal elektromagnetycznych w próżni) oraz od natury promieniowania i metody rejestracji dzielimy na fale :

1. radiowe
2. promieniowanie świetlne
3. rentgenowskie
4. promieniowanie gamma

1. **Fale radiowe** - fale elektromagnetyczne, których długość fali w próżni λ w próżni jest większa niż $5 \cdot 10^{-5}$ m ($\nu < 6 \cdot 10^{12}$ Hz). Zgodnie z międzynarodową zasadą podziału częstotliwości oraz odpowiadające im zakresy długości, fale radiowych zostały podzielone na 12 zakresów.






2. **Promieniowanie świetlne (optyczne)** inaczej światło – fale (promieniowanie) elektromagnetyczne, których długość w próżni leży w zakresie od 10 nm do 1mm.

Promieniowanie świetlne dzielimy na promieniowanie:

- podczerwone (IR) - emitowane przez ciała ogrzane, którego długość fal w próżni leży w przedziale od 1 mm do 770 nm
- widzialne (światło widziane)- są to fale o długości w próżni w zakresie od 770 do 380 nm, które w oku ludzkim bezpośrednio wywołują wrażenie świetlne.
- ultrafioletowe (UV) promieniowanie o długości fal w próżni od 380 do 10nm.



3. **Promieniowanie rentgenowskie** (Roentgena) promieniowanie elektromagnetyczne powstałe w wyniku działania naładowanych cząsteczek i fotonów z atomami substancji a jego długość fal w próżni leży w szerokim zakresie od 10-100nm do 0.01-1pm (granice umowne)

4. **Promieniowanie gamma** nazywamy promieniowaniem elektromagnetycznym o długości fal w próżni mniejszych od 0,1nm, które jest emitowane przez wzbudzone w reakcjach jądrowych i przemiennych promieniotwórczych jądra atomowe, lub powstaje podczas rozpadu cząsteczek, anihilacji par "cząsteczka- antycząstka" i w innych procesach.

Optyka:


- Falową
- Kwantową

Postać ogólna fali elektromagnetycznej

$$\vec{E} = \vec{E}_0 e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)}$$

$$\vec{B} = \vec{B}_0 e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)}$$

$$|\vec{k}| = \frac{\omega}{c}$$



Widmo spektroskopowe to zarejestrowany obraz promieniowania rozłożony na częstotliwości, długości fali lub energie, które zostało wyemitowane albo weszło w kontakt z analizowaną substancją, przeszło przez nią lub zostało przez nią odbite.

Widma są w stanie dostarczyć szeregu cennych informacji o analizowanej substancji. Analizą i tłumaczeniem mechanizmów powstawania widm zajmuje się spektroskopia, metoda badawcza wykorzystywana w wielu dziedzinach nauk doświadczalnych, głównie fizyce i chemii i w zastosowaniach praktycznych (np. w medycynie).

Widma klasyfikuje się :

Ze względu na wygląd widma

- **widmo ciągłe** - ma postać ciągłego obszaru lub szerokich pasów (widmo o składowych, występujących w sposób ciągły wzdłuż skali charakterystykę),
- **widmo liniowe** - ma postać oddzielnych linii na pasku widmowym; typowo występuje dla atomów gazów rozrzedzonych,



Ze względu na sposób powstania

- **widmo emisyjne**- powstaje w wyniku emisji promieniowania przez ciało
- **absorpcyjne**- powstaje w wyniku oddziaływania (przejścia lub odbicia) fali o widmie zazwyczaj ciągłym z substancją

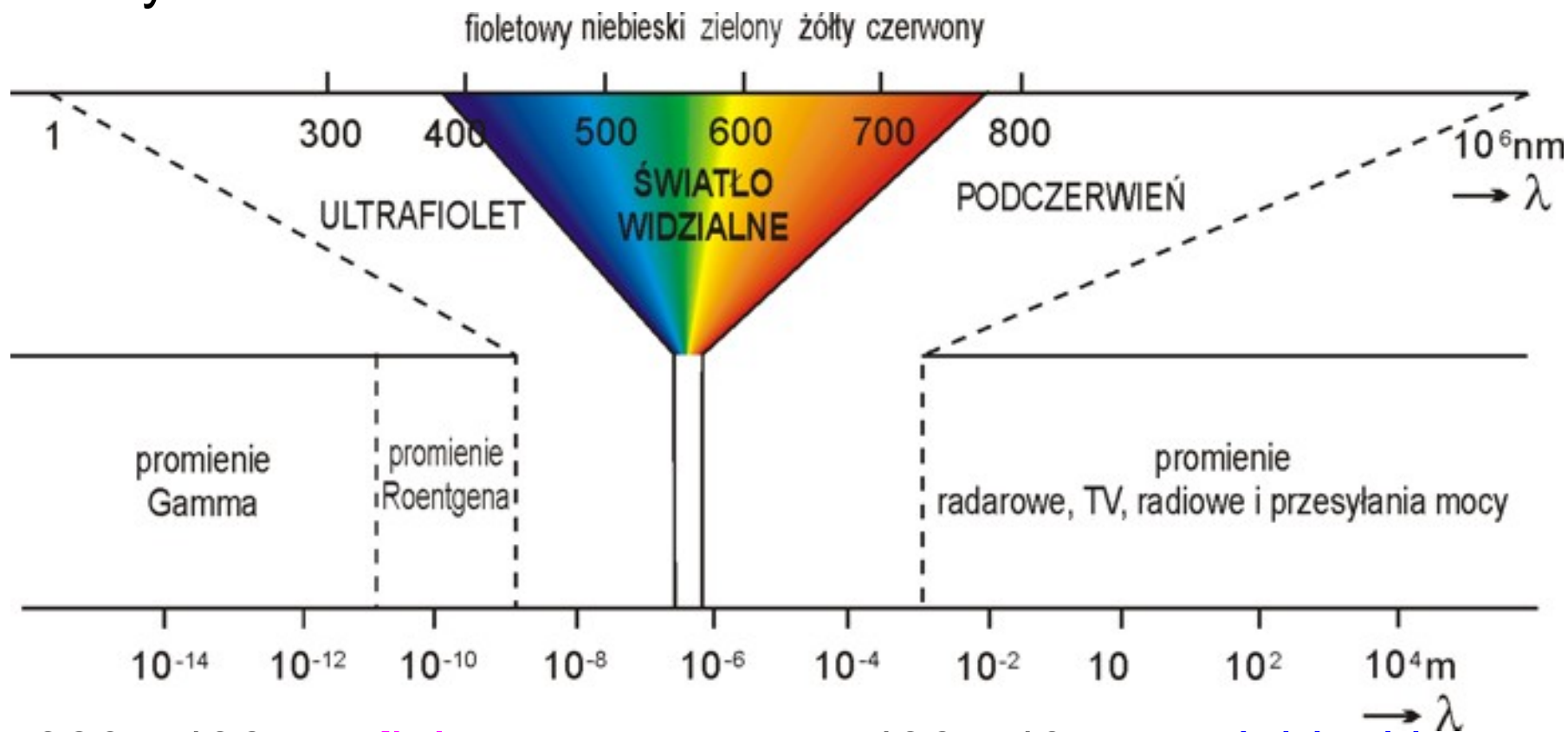


W zależności od rodzaju fali:

Analiza serii promieniowania rentgenowskiego pomogła określić znaczenie liczby atomowej oraz odkryć niektóre pierwiastki. Analiza serii widmowych wodoru (serie Lymana , Balmera , Paschena) doprowadziła do zbudowania w 1913 roku przez Nielsa Bohra planetarnego modelu atomu wodoru. Analiza struktury subtelnej widm pozwoliła na kolejne odkrycia dotyczące modelu atomu.

Obecnie techniki analizy widmowej stanowiła najdokładniejsze narzędzie do wykrywania i badania substancji.

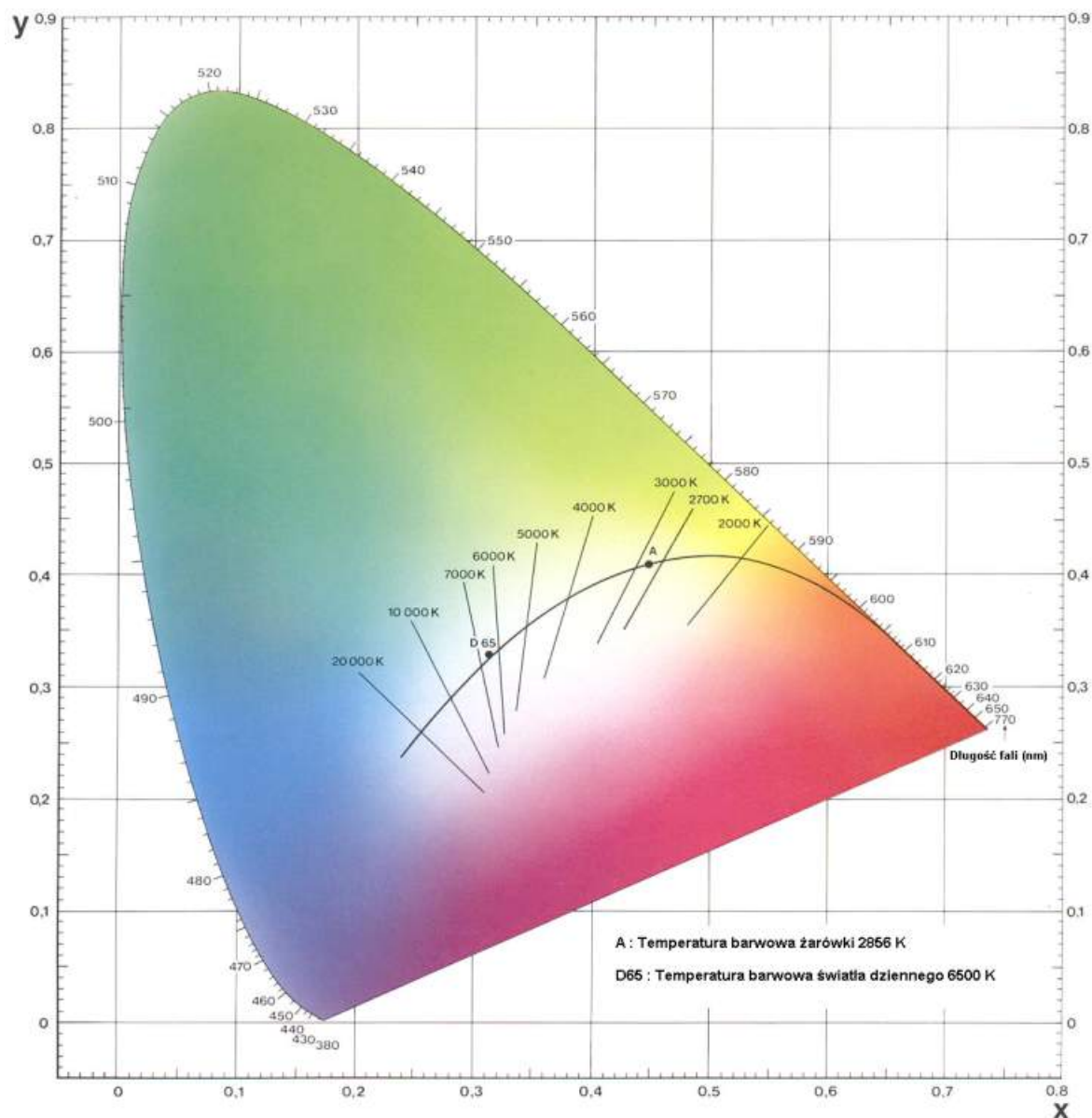
W widmie światła widzialnego można wydzielić przedziały długości fal, które oko ludzkie odbiera jako wyrażenie różnych barw:



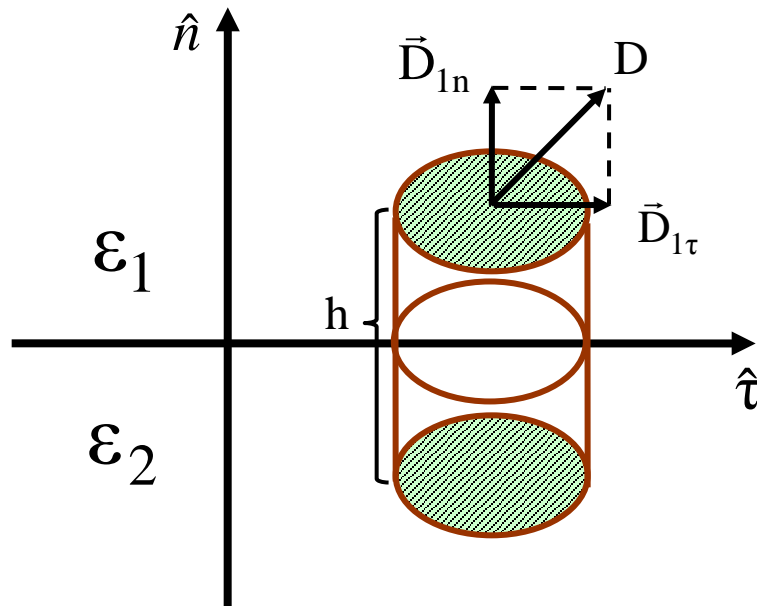
380 - 436 nm **fiolet**,
 495 - 566 nm **zielony**,
 589 - 627 nm **pomarańczowy**,

436 - 495 nm **niebieski**,
 566 - 589 nm **żółty** (żółty),
 627 - 780 nm **czerwony**.

Widmo promieniowania elektromagnetycznego



Pole elektromagnetyczne na granicy dwóch ośrodków



$$d\vec{S} = \hat{n} \cdot dS$$

$$\text{div}\vec{D} = \rho$$

$$\oiint \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q$$

$$\oiint \vec{D} \cdot \hat{n} \cdot dS = Q$$

Co się dzieje z polem elektromagnetycznym, gdy przechodzi przez ośrodek?

$$Q = \oiint_{Sc} \mathbf{D} \cdot \hat{\mathbf{n}} \cdot d\mathbf{S} = \iint_{Dno1} + \iint_{Dno2} + \iint_{Bok} =$$
$$= D_{1n} \cdot S_{Dno} - D_{2n} \cdot S_{Dno} + \left[\iint_{Bok} \overrightarrow{h \rightarrow 0} \right]$$

ładunek powierzchniowy ma więc wartość:

$$Q_{pow} = (D_{1n} - D_{2n}) \cdot S_{Dna}$$

Skok składowej normalnej:

- dla pola elektrycznego

$$D_{1n} - D_{2n} = \delta_{pow}$$

- dla pola magnetycznego

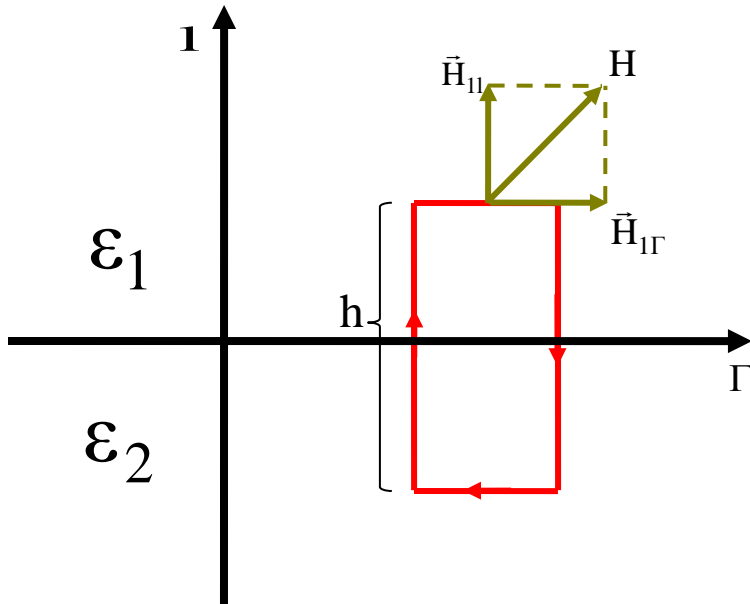
$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad \text{wiec,}$$

$$B_{1n} - B_{2n} = 0$$

składowa ciągła dla pola magnetycznego

Korzystamy z prawa Ampera dla wektora \vec{H}

$$\text{rot}\vec{H} = \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \vec{j}$$



$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

$$\oint_{\Gamma} \vec{H} d\vec{l} = \frac{d}{dt} \iint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} + I$$

obliczenia wykonujemy po konturze figury:

$$H_{1\Gamma} \cdot l - H_{2\Gamma} \cdot l + \left[\int_{\text{Bok}(h)} \rightarrow 0 \right] = \frac{d}{dt} \iint \vec{D} \cdot d\vec{S} + I$$

zakładając, że:

$$\frac{d}{dt} \iint \vec{D} \cdot d\vec{S} \rightarrow 0$$

otrzymujemy więc:

$$H_{1\tau} \cdot l - H_{2\tau} \cdot l = I$$

Skok składowej stycznej dla pola magnetycznego

$$H_{1\tau} - H_{2\tau} = j_{pow}$$

analogicznie dla pola elektrostatycznego

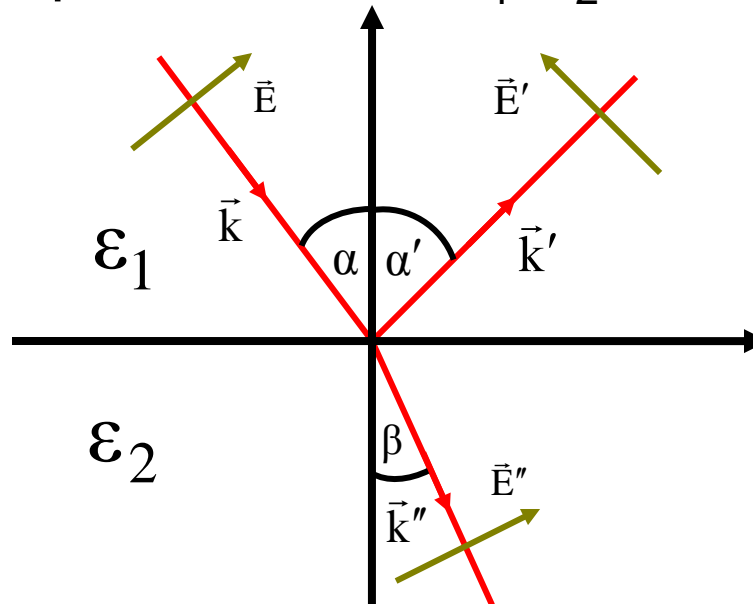
$$rot\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} \quad \text{wiec,}$$

$$E_{1\tau} - E_{2\tau} = 0$$


składowa styczna pola elektrycznego jest ciągła

Fala elektromagnetyczna padająca na granice ośrodków

Niech płaska fala elektromagnetyczna pada na płaską granicę dwóch jednorodnych i izotropowych dielektryków. Dielektryk posiada przenikalność ϵ_1, ϵ_2 .



$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - \vec{k}r - \varphi_0)$$



Fala elektromagnetyczna padająca na granicę dwóch ośrodków ulega częściowemu odbiciu od powierzchni dzielącej ośrodki oraz częściowemu załamaniu, przechodząc do ośrodka drugiego.

Promienie k , k' , k'' wskazują kierunek rozchodzenia się fal płaskich: padającej, odbitej i załamanej. Kąty między nimi to:

α - kąt padania

α' - kąt odbicia

β - kąt załamania

Płaszczyzną padania nazywamy płaszczyznę przechodzącą w punkcie padania O przez promień padający oraz normalną do powierzchni rozdzielającej ośrodków.



Fala padająca:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - k_x x + k_y y - \varphi_0)$$

Fala odbita:

$$\vec{E}' = \vec{E}'_0 \cos(\omega' t - k'_x x - k'_y y - \varphi_0)$$

Fala przechodząca:

$$\vec{E}'' = \vec{E}''_0 \cos(\omega'' t - k''_x x + k''_y y - \varphi''_0)$$

Prawo odbicia i załamania fal elektromagnetycznych na granicy dwóch ośrodków dielektrycznych można otrzymać na podstawie warunków granicznych pola elektromagnetycznego.

$$\begin{aligned} E_x + E'_x &= E''_x \\ D_y + D'_y &= D''_y \end{aligned} \Leftrightarrow n_1^2 E_y + n_1^2 E'_y = n_2^2 E''_y$$

$$\begin{cases} D_y + D'_y = D''_y \\ n_1^2 E_y + n_1^2 E'_y = n_2^2 E''_y \end{cases}$$

$$\begin{aligned} D &= \epsilon E \\ D &= n^2 E \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{0x} \cos(\omega t - k_x x - \varphi_0) + E'_{0x} \cos(\omega' t - k'_x x - \varphi_0) &= \\ &= E''_{0x} \cos(\omega'' t - k''_x x - \varphi_0) \end{aligned}$$

W ośrodku ε_1 na pole fali padającej nakłada się pole fali odbitej. W ośrodku ε_2 istnieje tylko pole (przechodzącej do tego ośrodka) fali załamanej.

Fala odbita i załamana są również falami monochromatycznymi o tej samej częstotliwości co fala padająca.

Równania wynikające z warunków granicznych, słuszne są dla dowolnego x , w każdej chwili czasu t , a więc:

- dla każdego x :

$$k_x = k'_x = k''_x$$

- dla każdego t :

$$\omega = \omega' = \omega''$$

1. Zgodnie z powyższymi warunkami jeżeli:

$$k_x = k'_x$$

$$k \cdot \sin \alpha = k' \cdot \sin \alpha'$$

$$k = k' = \frac{2\pi}{\lambda} n_1$$

wówczas występuje zależność $\alpha = \alpha'$ zwana prawem odbicia

Prawo odbicia

Promień odbity leżący w jednej i tej samej płaszczyźnie z promieniem padającym i normalną wystawioną w punkcie padania. Wynika z tego że kąt padania równy jest kątowi odbicia.

2. Zgodnie z powyższym założeniem jeżeli:

$$k_x = k''_x$$

$$k \cdot \sin \alpha = k'' \cdot \sin \beta$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} n_1 \quad k'' = \frac{2\pi}{\lambda} n_2$$

$$n_1 \frac{2\pi}{\lambda} \sin \alpha = n_2 \frac{2\pi}{\lambda} \sin \beta$$

wówczas otrzymujemy zależność:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

zwaną prawem załamania lub **prawem SNELLA**

Prawo załamania

Gdy promień załamany leży w jednej i tej samej płaszczyźnie z promieniem padającym i normalną wystawioną w punkcie padania, wówczas stosunek sinusa kąta padania do sinusa kąta załamania jest wielkością stałą dla danego ośrodka.

Stosunek prędkości fali świetlnej w próżni do prędkości fazowej v w pewnym ośrodku nazywa się **bezwzględnym współczynnikiem załamania** ośrodka i oznacza się go literką n .

$$n_i = \frac{c}{v_i} \Leftrightarrow v_i = \frac{c}{n_i}$$

Wartości współczynnika załamania charakteryzują **gęstość optyczną ośrodka**. Ośrodek o dużym nazywa się optycznie gęstszym od ośrodka z n mniejszym. Odpowiednio zaś ośrodek z mniejszym n nazywa się optycznie rzadszym od ośrodka z n większym.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

Względny współczynnik załamania dwóch ośrodków (ośrodka drugiego względem pierwszego) nazywamy wielkość n_{21} , równą stosunkowi współczynników załamania tych ośrodków:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$

Warunki graniczne dla amplitudy

$$\begin{cases} E_{ox} + E'_{ox} = E''_{ox} \\ n_1^2 (E_{oy} + E'_{oy}) = n_2^2 E''_{oy} \end{cases}$$

korzystamy z zależności:

$$E_{ox} = E_o \cos \alpha$$

$$E_{oy} = E_o \sin \alpha$$

$$E'_{ox} = -E'_o \cos \alpha$$

$$E'_{oy} = E'_o \sin \alpha$$

$$E''_{ox} = E''_o \cos \beta$$

$$E''_{oy} = E''_o \sin \beta$$

po przekształceniu powyższych równań otrzymujemy:

$$(E_0 - E'_0) \cos \alpha = E''_0 \cos \beta$$

$$(E_0 + E'_0) n_1^2 \sin \alpha = E''_0 n_2^2 \sin \beta$$

stosujemy prawo Snella

$$(E_0 + E'_0) n_1 = E''_0 n_2$$

po zastosowaniu przekształcenia otrzymujemy:

$$E'_0 = E_0 \frac{n_2 \cos \alpha - n_1 \cos \beta}{n_2 \cos \alpha + n_1 \cos \beta}$$

Zależność określająca amplitudę fali odbitej

Kąt padania α_B , dla którego promień odbity i załamany są wzajemnie prostopadłe, nazywamy **kątem Brewstera**.

$$\alpha = \alpha_{Br}$$

Jeżeli, $\alpha = \alpha_{Br}$, wówczas:

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha$$

Współczynnik odbicia r fali świetlnej na granicy dwóch ośrodków jest to stosunek natężenia fali odbitej do natężenia fali padającej.

$$r \stackrel{def}{=} \frac{E'_0}{E_0} = \frac{n_2 \cos \alpha - n_1 \cos \beta}{n_2 \cos \alpha + n_1 \cos \beta}$$

Polaryzacja światła przez odbicie

Światło emitowane przez zwykłe (nielaserowe) źródło składa się z dużej liczby płasko spolaryzowanych ciągów fal, których wektory elektryczne E drgają we wszystkich kierunkach prostopadłych do promienia.

Światło nazywamy naturalnym lub **niespolaryzowanym**, jeśli żaden z tych kierunków nie jest wyróżniony. W przypadku światła wypadkowe natężenie E w każdym punkcie pola wykonuje drgania, których kierunek szybko i bezwładnie zmienia się w płaszczyźnie prostopadłej do promienia.

Światło nazywamy **światłem częściowo spolaryzowanym**, jeśli istnieje wyróżniony kierunek drgań wektora E . Częściowo spolaryzowane światło można rozpatrywać jako zbiór rozchodzących się jednocześnie w tym samym kierunku światła naturalnego i liniowo spolaryzowanego.

Polaryzacja światła nazywamy wydzielenie światła o polaryzacji liniowej ze światła naturalnego lub częściowo spolaryzowanego. W tym celu stosujemy specjalne przyrządy zwane **polaryzatorami**.

Działanie polaryzatorów oparte jest na polaryzacji światła przy odbiciu i załamaniu na granicy dwóch ośrodków dielektrycznych.

Urządzenia te można stosować również jako **analizatory**, czyli jako urządzenia określające rodzaj oraz stopień polaryzacji światła.