

POLE MAGNETYCZNE 4

WŁASNOŚCI MAGNETYCZNE CIAŁ STAŁYCH

Własności magnetyczne ciał stałych związane są z magnetycznym momentem dipolowym oraz spinowym momentem magnetycznym elektronów!

1. Orbitalny moment magnetyczny elektronu (magnetyczny moment dipolowy elektronu):

$$\mu_e = \frac{e}{2m} \cdot L$$

Gdzie:

e – ładunek elementarny [C],

m – masa elektronu [kg],

L – orbitalny moment pędu elektronu $\left[\frac{kg \cdot m^2}{s^2} \right]$.

Orbitalny moment pędu elektronu:

$$L = m \cdot V \cdot r$$

Gdzie:

r – promień orbity elektronu [m],

m – masa elektronu [kg],

V – prędkość elektronu [$\frac{m}{s}$].

2. Spinowy moment magnetyczny – związany z własnym momentem pędu elektronu nazywanym spinem. Początkowo spin traktowano jako moment pędu związany z obrotem elektronu wokół własnej osi, co okazało się nieprawdą. Spin jest po prostu pewną własnością cząstki, podobnie jak masa, czy ładunek elektryczny.

Własności magnetyczne ciał stałych są zdeterminowane zachowaniem się elementarnych momentów magnetycznych (orbitalnego i spinowego) w polu magnetycznym!

MAGNETYZACJA

Magnetyzacja = namagnesowanie = wektor polaryzacji magnetycznej –
wypadkowy moment magnetyczny jednostki objętości.

$$\vec{M} = \frac{\vec{\mu}}{V}$$

Gdzie:

$\vec{\mu}$ – suma wektorowa orbitalnych i spinowych momentów magnetycznych elektronów znajdujących się w objętości V .

Jeżeli próbkę zawierającą elementarne dipole (momenty) magnetyczne umieści się w jednorodnym polu magnetycznym, to pole to dąży do ustawienia dipoli w kierunku pola!

Prowadzi to do powstania w próbce wypadkowego pola magnetycznego!

Wypadkowe pole magnetyczne próbki:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M} = \mu_r \vec{B}_0$$

Gdzie:

B_0 – indukcja magnetyczna pola zewnętrznego [T],

B – indukcja magnetyczna pola wewnątrz próbki [T],

μ_r – względna przenikalność magnetyczna ośrodka $\left[\frac{m}{s}\right]$.

$$\mu_r = \frac{B}{B_0} = 1 + \mu_0 \frac{M}{B_0}$$

PODATNOŚĆ MAGNETYCZNA

$$\chi = \frac{M}{B_0}$$

$$\mu_r = 1 + \mu_0 \chi$$

POLE MAGNETYCZNE 4

PODZIAŁ MATERIAŁÓW ZE WZGLĘDU NA WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE

Diamagnetyki

$$\chi < 0$$

$$B < B_0$$

Paramagnetyki

$$\chi > 0$$

$$B > B_0$$

Ferromagnetyki

$$\chi \gg 0$$

$$B \gg B_0$$

Materiały dzielimy ze względu na wielkość i znak podatności magnetycznej!

POLE MAGNETYCZNE 4

Diamagnetyzm – zjawisko związane ze zmianą orbitalnego momentu pędu elektronów pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego. Występuje w każdym materiale, ale obserwowane jest tylko w ciałach, w których momenty magnetyczne elektronów wchodzących w skład danego atomu znoszą się wzajemnie i moment magnetyczny całego atomu jest równy zeru.

Na elektrony atomu diamagnetycznego w polu magnetycznym działa siła Lorentza i powoduje zmianę ich prędkości kątowej!

Zmiana prędkości kątowej nie jest jednakowa dla wszystkich elektronów i momenty magnetyczne poszczególnych elektronów przestają się kompensować, czyli zewnętrzne pole wyindukowało moment magnetyczny!

Zwrot wyindukowanego momentu magnetycznego jest przeciwny do zewnętrznego pola i próbka diamagnetyczna jest z niego wypychana!

POLE MAGNETYCZNE 4

Paramagnetyki – ciała złożone z atomów posiadających różny od zera wypadkowy moment magnetyczny (np. atomy o nieparzystej liczbie elektronów). Momenty magnetyczne poszczególnych atomów są jednak nieuporządkowane.

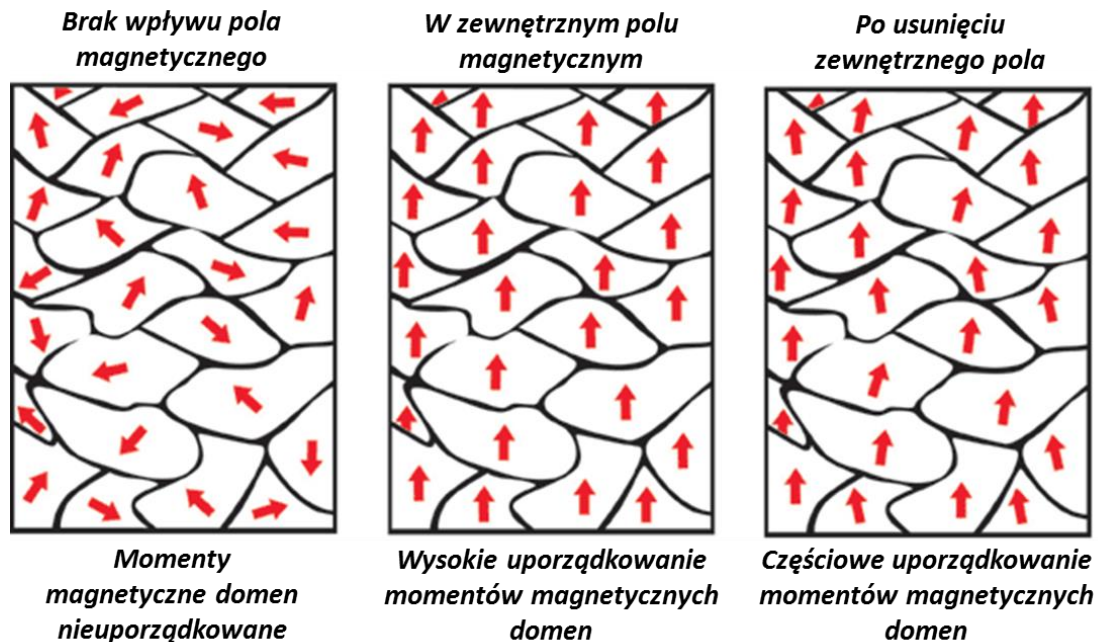
W zewnętrznym polu magnetycznym atomy posiadające moment magnetyczny (dipole magnetyczne) ustawiają się równoległe do kierunku pola!

Namagnesowanie znika po usunięciu pola i momenty magnetyczne atomów paramagnetyka są znów całkowicie nieuporządkowane!

POLE MAGNETYCZNE 4

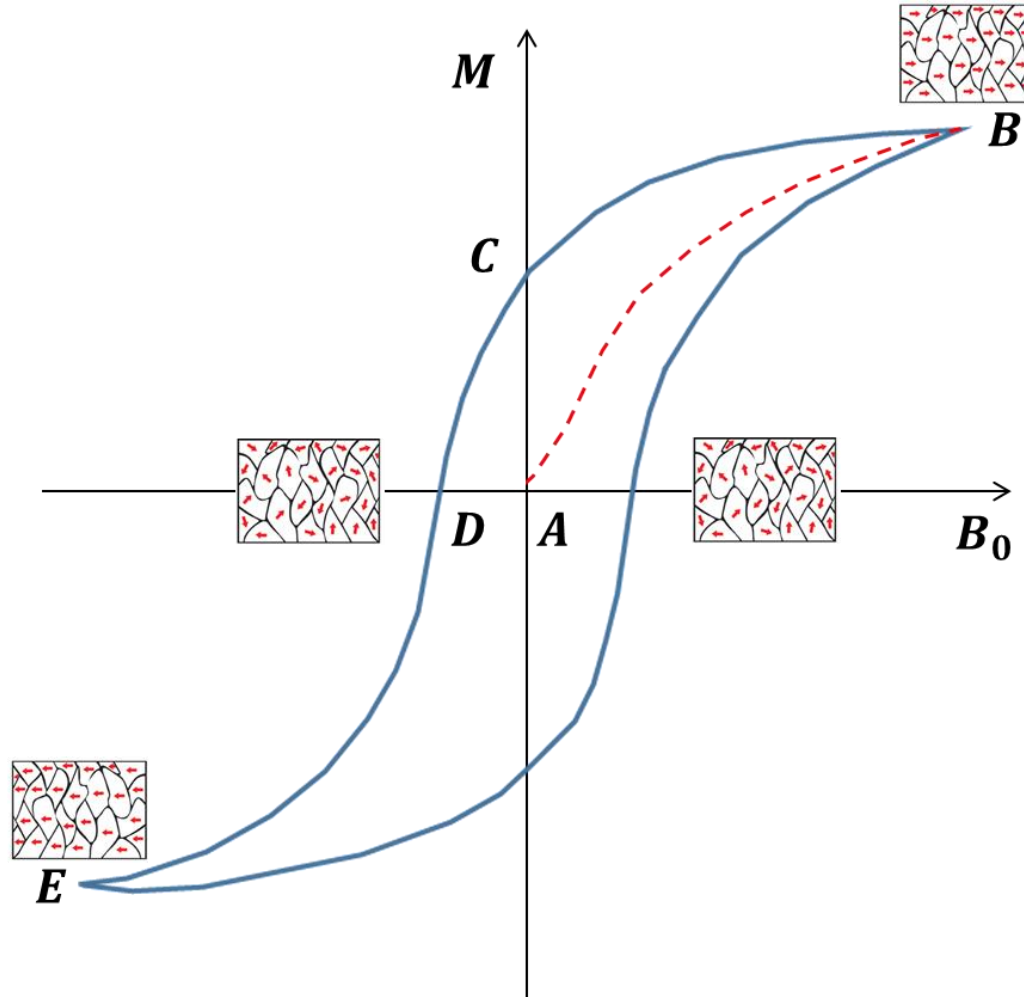
Ferromagnetyki – pierwiastki (Fe, Co, Ni) i niektóre stopy, w których obserwujemy uporządkowanie magnetyczne mimo ruchów termicznych atomów, które mu przeciwdziałają. Ferromagnetyzm związany jest z silnym oddziaływaniem pomiędzy spinowymi momentami magnetycznymi atomów. Jest własnością kryształów, a nie pojedynczych atomów.

Domeny magnetyczne – duże obszary kryształu, w których momenty magnetyczne atomów podczas krystalizacji ustawiają się równoległe. Każda domena jest więc całkowicie magnetycznie uporządkowana.



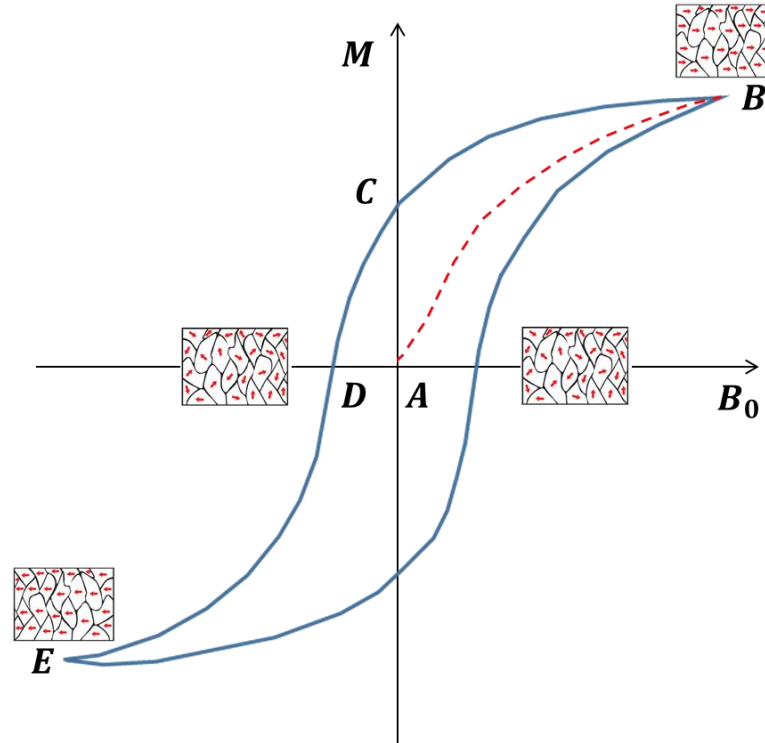
POLE MAGNETYCZNE 4

PĘTLA HISTEREZY MAGNETYCZNEJ



Wielkość namagnesowania zależy od obecności zewnętrznego pola i od tego czy ferromagnetyk był wcześniej magnesowany!

POLE MAGNETYCZNE 4

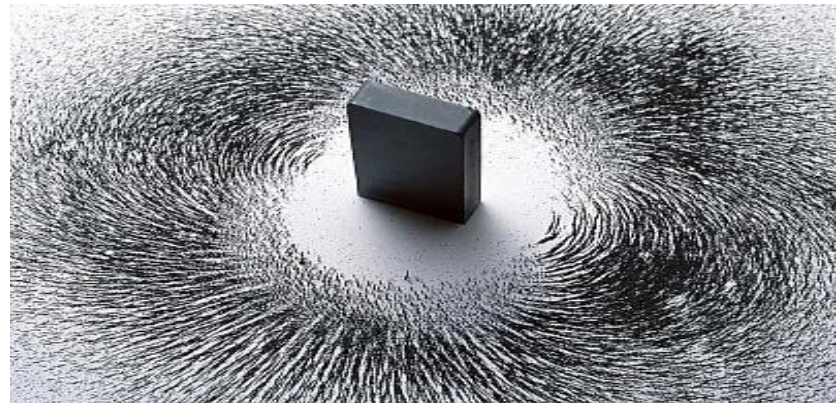


1. Nienamagnesowany materiał ferromagnetyczny (**A**)
2. Zwiększamy wartość indukcji zewnętrznego pola B_0 (aż do punktu **B**)
3. Zmniejszamy wartość indukcji zewnętrznego pola B_0 do 0 (punkt **C**). Wartość namagnesowania w punkcie C nazywamy pozostałością magnetyczną.
4. Zwiększamy wartość indukcji zewnętrznego pola B_0 , ale zwrot wektora jest przeciwny niż w punktach **1-3**. Punkt w którym namagnesowanie znika (**D**) nazywamy połem koercji. Pole zwiększamy do osiągnięcia punktu **E**.
5. Powtarzamy kroki **1-4**.

MAGNESY TRWAŁE

O przydatności danego materiału jako magnesu trwałego decydują:

- pozostałość magnetyczna
- pole koercji
- temperatura Curie



Im większa pozostałość magnetyczna, tym silniejszy magnes!

Im większe pole koercji, tym trwalszy magnes (trudniej go rozmagnesować)!

POLE MAGNETYCZNE 4

TEMPERATURA CURIE

Temperatura Curie – temperatura powyżej której ferromagnetyk staje się paramagnetykiem.

<i>Materiał</i>	<i>Temperatura Curie [K]</i>
<i>Fe</i>	1043
<i>Ni</i>	627
<i>Co</i>	1388
<i>FeOFe₂O₃</i>	858
<i>NiOFe₂O₃</i>	858
<i>MnOFe₂O₃</i>	573

Im wyższa temperatura Curie, tym wyższej temperatury potrzeba, żeby przeprowadzić ferromagnetyk w stan paramagnetyczny!

RÓWNANIA MAXWELLA

1. Prawo Gaussa dla pola elektrycznego:

$$\oint_S \vec{E} \cdot \vec{dS} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

2. Prawo Gaussa dla pola magnetycznego:

$$\oint_S \vec{B} \cdot \vec{dS} = 0$$

3. Prawo Faradaya:

$$\oint \vec{E} \cdot \vec{dl} = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

Zmienne pole magnetyczne jest źródłem pola elektrycznego!

POLE MAGNETYCZNE 4

4. Prawo Ampere'a:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$$

Źródłem pola jest
przeływający prąd

Źródłem pola
magnetycznego jest zmienne
pole elektryczne

Zmienne pole elektryczne jest źródłem pola magnetycznego!

5. Siła Lorentza:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} + q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

Siła działająca na ładunek w
polu elektromagnetycznym

POLE MAGNETYCZNE 4

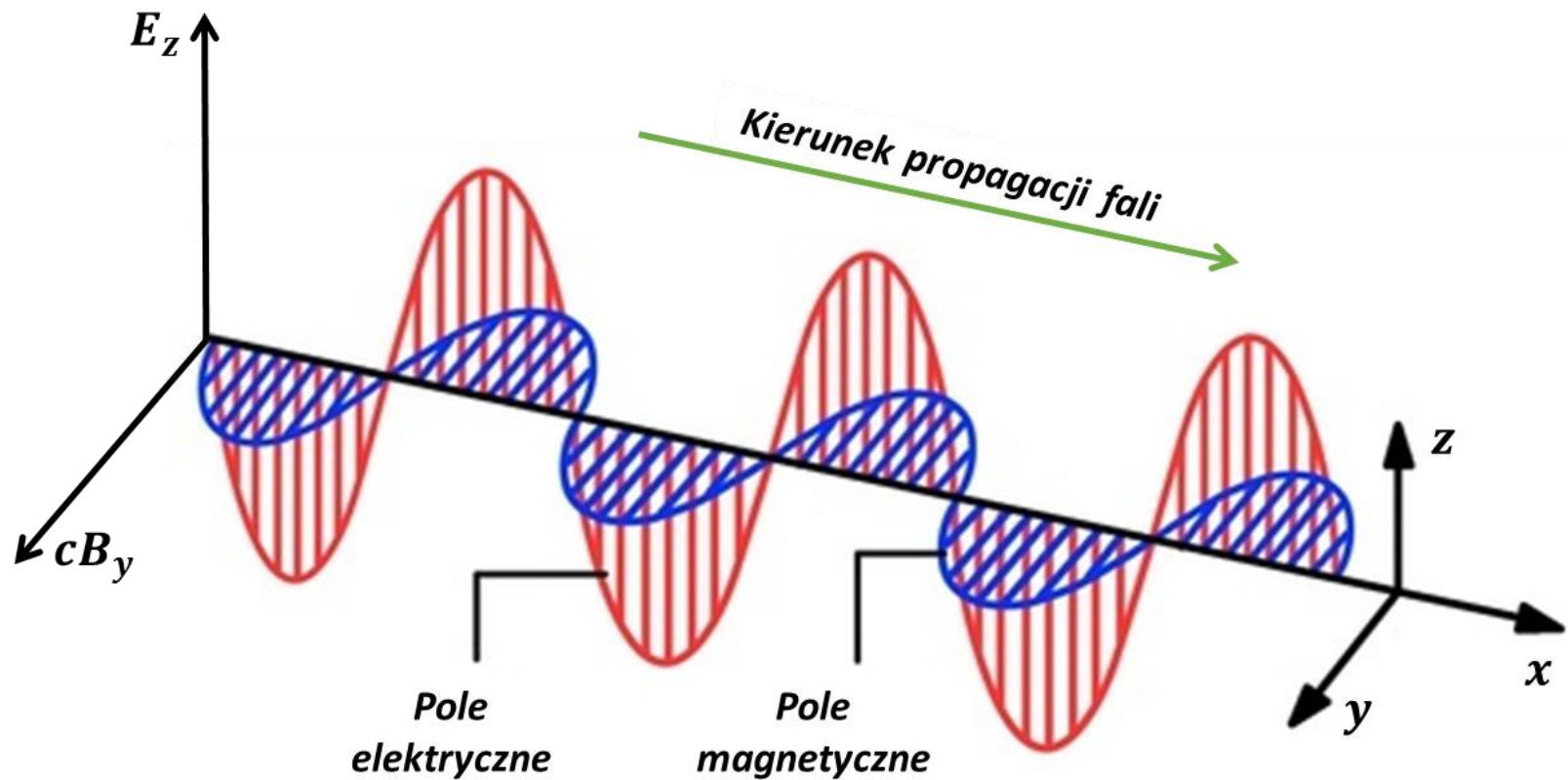
FALE ELEKTROMAGNETYCZNE

Fala elektromagnetyczna – rozchodzące się w przestrzeni zaburzenie pola elektromagnetycznego.

Powstawanie fal EM wynika bezpośrednio z równań Maxwella:

1. Każda zmiana w czasie pola elektrycznego wywołuje powstanie zmiennego pola magnetycznego (prawo Ampere'a)!
2. Zmienne pole magnetyczne indukuje wirowe pole elektryczne (prawo Faradaya)!
3. Falę elektromagnetyczną tworzy ciąg sprzężonych pól elektrycznych i magnetycznych!

POLE MAGNETYCZNE 4



Wektor indukcji magnetycznej \vec{B} jest w każdym miejscu prostopadły do wektora natężenia pola elektrycznego \vec{E} !

Wektory \vec{B} i \vec{E} są prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali!

POLE MAGNETYCZNE 4

Prędkość rozchodzenia się fali EM w próżni:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 299\,792\,458 \frac{m}{s} \approx 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

$$c = \frac{E_0}{B_0}$$

Gdzie:

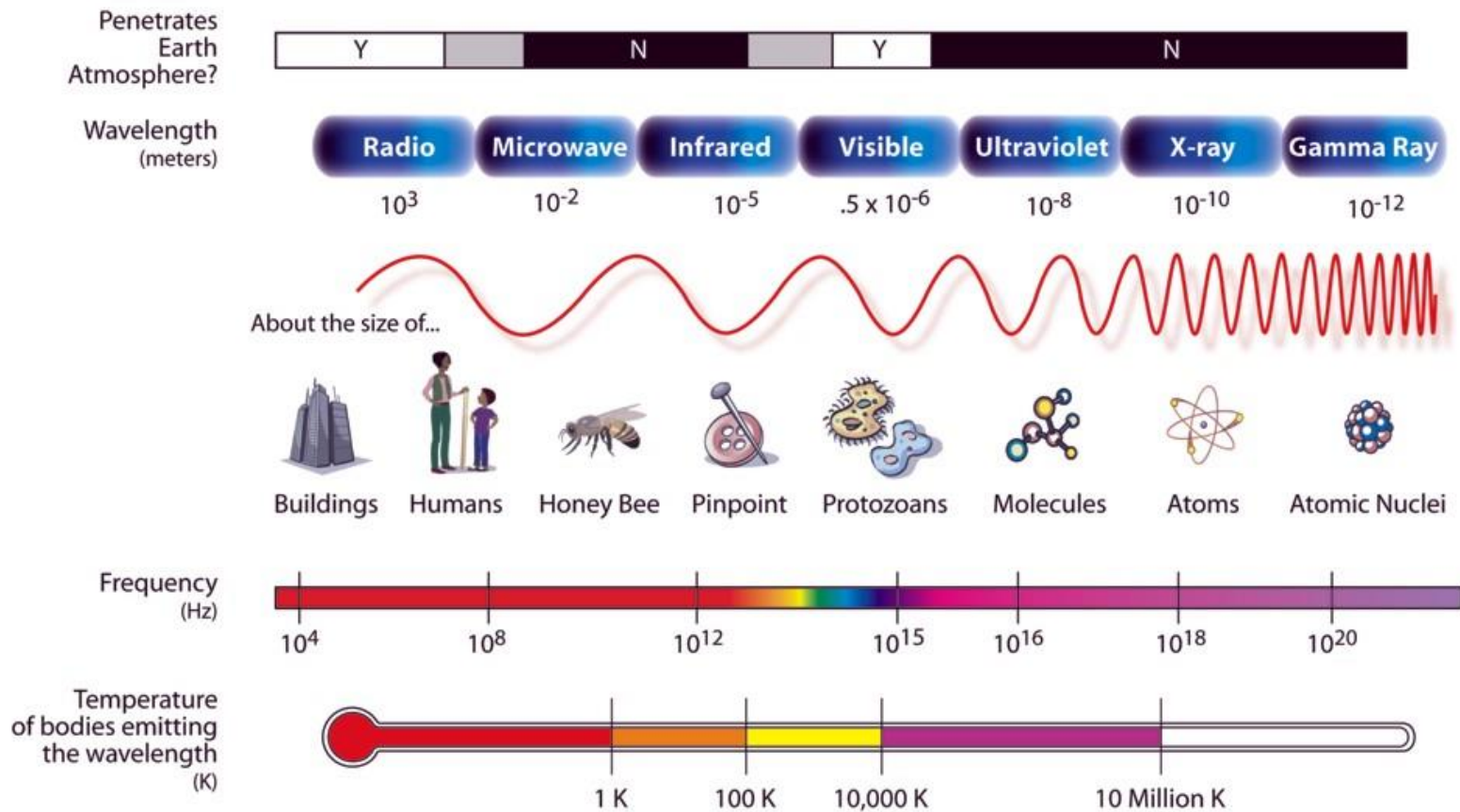
E_0 – amplituda natężenia pola elektrycznego $[\frac{N}{C}]$,

B_0 – amplituda natężenia pola magnetycznego $[T]$.

POLE MAGNETYCZNE 4

WIDMO FAL ELEKTROMAGNETYCZNYCH

THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



POLE MAGNETYCZNE 4

Pasmo	Częstotliwość fali	Długość fali	Energia fotonu
Fale radiowe	do 300 MHz	powyżej 1 m	poniżej 1.24 μeV
Mikrofale	od 300 MHz do 300 GHz	od 1 m do 1 mm	od 1.24 μeV do 1.24 meV
Podczerwień	od 300 GHz do 400 THz	od 1mm do 780 nm	od 1.24 meV do 1.6 eV
Promieniowanie widzialne	od 400 THz do 789 THz	od 780 nm do 380 nm	od 1.6 eV do 3.4 eV
Ultrafiolet	od 789 THz do 30 PHz	380 nm do 10 nm	od 3.4 eV do 124 eV
Promieniowanie X	od 30 PHz	10 nm	od 124 eV
Promieniowanie γ	powyżej 60 EHz	poniżej 5 pm	powyżej 250 keV

RÓWNANIE FALI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

Równanie fali poprzecznej:

$$\frac{\delta^2 y}{\delta x^2} = \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\delta^2 y}{\delta t^2}$$

Gdzie:

x – kierunek rozchodzenia się fali,

y – kierunek drgań cząsteczek ośrodka,

t – czas [s],

v – prędkość rozchodzenia się fali $\left[\frac{m}{s}\right]$.

Równanie to jest prawdziwe również dla fal elektromagnetycznych!

POLE MAGNETYCZNE 4

Równanie falowe dla wektora natężenia pola elektrycznego:

$$\frac{\delta^2 E_z}{\delta x^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\delta^2 E_z}{\delta t^2}$$

Gdzie:

x – kierunek rozchodzenia się fali EM,

z – kierunek drgań wektora natężenia pola elektrycznego,

t – czas [s],

c – prędkość rozchodzenia się fali EM $\left[\frac{m}{s}\right]$.

Równanie falowe dla wektora indukcji magnetycznej:

$$\frac{\delta^2 B_y}{\delta x^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\delta^2 B_y}{\delta t^2}$$

Gdzie:

y – kierunek drgań wektora indukcji magnetycznej.

WEKTOR POYNTINGA

Fala elektromagnetyczna podobnie jak fala mechaniczna może transportować energię!

Wektor Poyntinga – szybkość przepływu energii przez jednostkową powierzchnię prostopadłą do kierunku rozchodzenia się fali EM.

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$$

Gdzie:

\vec{E} – wektora natężenia pola elektrycznego w danej chwili czasu,

\vec{B} – wektor indukcji magnetycznej w danej chwili czasu.

Jednostką wektora Poyntinga jest $[\frac{W}{m^2}]$.

Wektor \vec{S} pokazuje kierunek transportu energii przez falę EM!