

Wykłady z Biofizyki



Zbigniew Osiak

**Wpływ pola
elektrycznego
i magnetycznego
na organizm**

12

ORCID

Linki do moich publikacji naukowych i popularnonaukowych, e-booków oraz audycji telewizyjnych i radiowych są dostępne w bazie ORCID pod adresem internetowym:

<http://orcid.org/0000-0002-5007-306X>

OZNACZENIA

B – notka biograficzna

C – ciekawostka

H – informacja dotycząca historii fizyki

I – adres strony internetowej

K – komentarz

P – przykład

U – uwaga

Zbigniew Osiak (Tekst)

WYKŁADY Z BIOFIZYKI

Wpływ pola elektrycznego i magnetycznego
na organizm

Małgorzata Osiak (Ilustracje)

© Copyright 2021 by
Zbigniew Osiak (text) and Małgorzata Osiak (illustrations)

Wszelkie prawa zastrzeżone.
Rozpowszechnianie i kopiowanie całości lub części publikacji
zabronione bez pisemnej zgody autora tekstu i autorki ilustracji.

Wydawnictwo: Self Publishing

ISBN: 978-83-960580-8-9

e-mail: zbigniew.osiak@gmail.com

“*Wykłady z Biofizyki – Wpływ pola elektrycznego i magnetycznego na organizm*” są dwunastym z piętnastu tomów pomocniczych materiałów do semestralnego kursu biofizyki prowadzonego przeze mnie dla studentów fizjoterapii. Zainteresowani studiowaniem biofizyki znajdą tu podstawowe pojęcia, prawa, jednostki, wzory, wykresy i przykłady.

Uzupełnieniem dwunastego tomu są eBooki:

- Zbigniew Osiak: *Wykłady z Fizyki – Elektryczność*. vixra:1804.0463
<https://vixra.org/abs/1804.0463>
- Zbigniew Osiak: *Wykłady z Fizyki – Magnetyzm*. vixra:1804.0462
<https://vixra.org/abs/1804.0462>
- Zbigniew Osiak: *Zadania problemowe z biofizyki*. vixra:1804.0452
<https://vixra.org/abs/1804.0452>

Zapis wszystkich wykładów zgrupowanych w piętnastu tomach zostanie zamieszczony w internecie w postaci e-booków.

Wykłady z Biofizyki 01 – Krótka historia biofizyki

Wykłady z Biofizyki 02 – Termodynamika układów biologicznych

Wykłady z Biofizyki 03 – Biofizyka procesu słyszenia

Wykłady z Biofizyki 04 – Biofizyka procesu widzenia

Wykłady z Biofizyki 05 – Biofizyka układu krążenia

Wykłady z Biofizyki 06 – Biofizyka układu oddechowego

Wykłady z Biofizyki 07 – Biofizyka układu nerwowego

Wykłady z Biofizyki 08 – Deformacje tkanek

Wykłady z Biofizyki 09 – Biofizyka narządu ruchu

Wykłady z Biofizyki 10 – Wpływ infradźwięków i ultradźwięków na organizm

Wykłady z Biofizyki 11 – Wpływ prądu elektrycznego na organizm

Wykłady z Biofizyki 12 – Wpływ pola elektrycznego i magnetycznego na organizm

Wykłady z Biofizyki 13 – Wpływ pola elektromagnetycznego na organizm

Wykłady z Biofizyki 14 – Wpływ ultrafioletu, podczerwieni i mikrofal na organizm

Wykłady z Biofizyki 15 – Wpływ promieniowania jonizującego na organizm

Wykład 12

Wpływ pola elektrycznego i magnetycznego na organizm

Plan wykładu

- Podstawowe pojęcia i wielkości
- Podstawowe zjawiska zachodzące w wyniku oddziaływania pola elektrycznego i magnetycznego na organizm
- Wpływ stałego pola elektrycznego na organizm
 - Człowiek w stałym polu elektrycznym
 - Komórki w stałym polu elektrycznym
 - Makrocząsteczki w stałym polu elektrycznym
- Wpływ stałego pola magnetycznego na organizm
 - Człowiek w stałym polu magnetycznym
 - Komórki w stałym polu magnetycznym
 - Makrocząsteczki w stałym polu magnetycznym
- Wykorzystanie stałego pola magnetycznego w diagnostyce
 - Przeciwwskazania do stosowania stałego pola magnetycznego w diagnostyce

- Jądrowy rezonans magnetyczny (NMR)
- Elektronowy rezonans paramagnetyczny (EPR)
- Wykorzystanie stałego pola magnetycznego w terapii
 - Przeciwwskazania do stosowania stałego pola magnetycznego w terapii
 - Lista schorzeń leczonych stałym polem magnetycznym
- Pole magnetyczne Ziemi
 - Pole magnetyczne Ziemi
 - Pasy radiacyjne Van Allena
 - Rola pola magnetycznego Ziemi
- Dodatkowe informacje
 - Uwagi
 - Laureaci Nagrody Nobla
 - Indeks nazwisk
 - Autorzy cytowanych prac

Podstawowe pojęcia i wielkości

- Pole elektryczne
- Natężenie pola elektrycznego (E)
- Linie sił pola elektrycznego
- Stała dielektryczna
- Dipol elektryczny
- Moment dipolowy
- Dielektryki
- Polaryzacja dielektryka
- Ferroelektryki
- Wektor polaryzacji
- Histereza dielektryczna
- Pętla histerezy dielektrycznej
- Indukcja elektryczna
- Gęstość powierzchniowa ładunku elektrycznego

- Pojemność elektryczna
- Prąd elektryczny
- Natężenie prądu elektrycznego
- Gęstość prądu elektrycznego
- Napięcie elektryczne
- Prawo Ohma
- Przewodnictwo elektryczne
- Opór elektryczny właściwy
- Przewodnictwo elektryczne właściwe
- Elektroforeza
- Pole magnetyczne
- Siła Lorentza
- Zjawisko Halla
- Indukcja magnetyczna (\mathbf{B})
- Względna przenikalność magnetyczna
- Podatność magnetyczna (χ)

- Natężenie pola magnetycznego (**H**)
- Prawo Ampère'a
- Reguła prawej dłoni
- Solenoid
- Elektromagnes
- Magnetyki
- Diamagnetyki
- Paramagnetyki
- Ferromagnetyki
- Ferrimagnetyki
- Antyferromagnetyki
- Temperatura Néela
- Zjawisko piezomagnetyczne
- Moment magnetyczny
- Namagnesowanie
- Histereza magnetyczna

- Pętla histerezy magnetycznej
- Ferromagnetyki miękkie
- Ferromagnetyki twarde
- Magnes trwały
- Magnesy neodymowe
- Indukcja elektromagnetyczna
- Prawo indukcji elektromagnetycznej Faradaya
- Reguła Lenza
- Ciekłe kryształy
- Przejścia fazowe pierwszego rodzaju
- Przejścia fazowe drugiego rodzaju
- Spin elektronu
- Zjawisko Zeemana

Pole elektryczne

- Pole elektryczne – przestrzeń, w której między innymi:
- Działają siły elektryczne na spoczywające i poruszające się ładunki elektryczne.
- Indukują się ładunki elektryczne na powierzchniach nienaładowanych metali (indukcja elektrostatyczna).
- Indukują się ładunki elektryczne na powierzchniach nienaładowanych dielektryków (polaryzacja dielektryków).

Natężenie pola elektrycznego

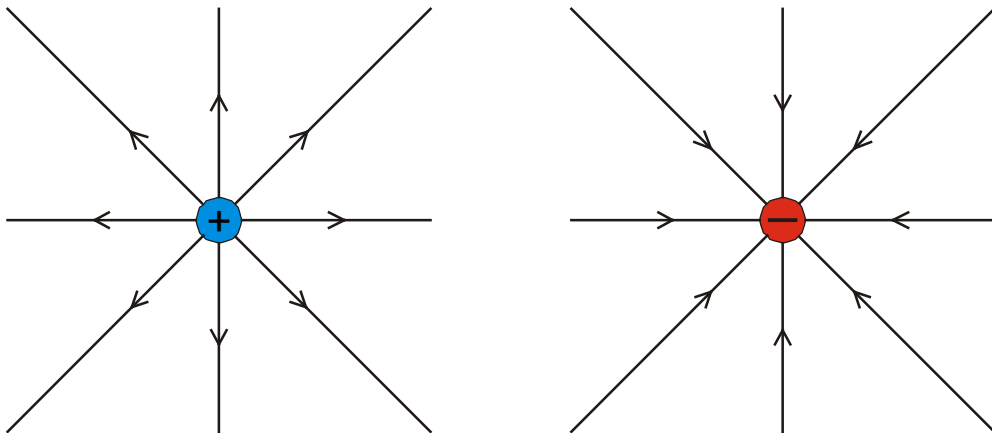
- Natężenie pola elektrycznego (\mathbf{E}) – wielkość wektorowa będąca stosunkiem siły (\mathbf{F}) działającej ze strony pola elektrycznego na znajdujący się w danym punkcie ładunek próbny do wartości (q_0) tego ładunku.

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0}, \quad q_0 > 0, \quad [\mathbf{E}] = \frac{\text{N}}{\text{C}} = \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

- C Nazwa niuton pochodzi od nazwiska Newton.
- C Nazwa kulomb pochodzi od nazwiska Coulomb.
- C Nazwa wolt pochodzi od nazwiska Volta.

Linie sił pola elektrycznego

- Linie sił pola elektrycznego – linie, do których styczne w każdym punkcie linii pokrywają się z kierunkiem wektora natężenia pola elektrycznego w tym punkcie. Linie sił zaczynają się na ładunkach dodatnich i kończą na ujemnych, lub jeden z ich końców znajduje się w nieskończoności. Linie sił nie mogą być zamknięte i nie mogą się przecinać. W przypadku pola jednorodnego są równoległe. Gęstość linii jest wprost proporcjonalna do wartości natężenia pola elektrycznego.



Stała dielektryczna

- Stała dielektryczna (ϵ_r) – liczba informująca ile razy siła działająca między dwoma ładunkami elektrycznymi w danym ośrodku jest mniejsza od siły działającej między tymi ładunkami w próżni.

$$\epsilon_r \geq 1$$

$$\epsilon_r = 1 \quad \text{tylko dla próżni}$$

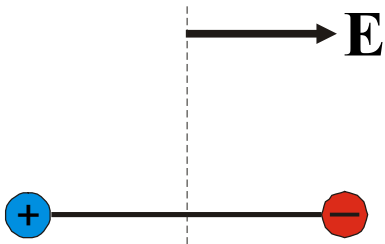
$$\epsilon_r > 1 \quad \text{dla wszystkich dielektryków}$$

$$\epsilon_r = 1,00059 \quad \text{dla powietrza}$$

C Stała dielektryczna nazywana jest też względną przenikalnością elektryczną.

Dipol elektryczny

- Dipol elektryczny – układ dwóch różnoimiennych ładunków punktowych ($q > 0$) i ($-q$) o identycznych wartościach bezwzględnych, znajdujących się w stałej odległości od siebie. Oś dipola nazywamy prostą, na której znajdują się oba ładunki. Środkiem dipola nazywamy punkt leżący na osi dipola w równej odległości od obu ładunków dipola. W każdym punkcie płaszczyzny prostopadłej do osi dipola, przechodzącej przez jego środek, wektor natężenia pola elektrycznego jest równoległy do osi dipola i skierowany od ładunku dodatniego do ładunku ujemnego, a potencjał elektryczny jest równy zero.

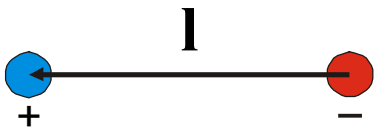


Moment dipolowy

- Moment dipolowy (μ) – wielkość wektorowa będąca iloczynem ładunku ($q>0$) i ramienia dipola (\mathbf{l}).

$$\mu = ql, \quad [\mu] = \text{C} \cdot \text{m}$$

Ramię dipola jest wektorem leżącym na osi dipola, o początku w ładunku ujemnym i końcu w ładunku dodatnim, o wartości równej odległości (l) między ładunkami dipola.



Dielektryki

- Dielektryki – materiały praktycznie nieprzewodzące prądu elektrycznego, o oporze elektrycznym właściwym większym od $10^8 \Omega\text{m}$. Wielkością charakteryzującą dany dielektryk jest jego stała dielektryczna. W pasmowym modelu ciała stałego dielektrykom odpowiada szerokość pasma wzbronionego większa od 5 eV.

C Dielektryki nazywane są również izolatorami.

Polaryzacja dielektryka

- Polaryzacja dielektryka – zjawisko polegające na tym, że w dielektryku, znajdującym się w zewnętrznym polu elektrycznym, pojawia się różny od zera sumaryczny moment dipolowy cząsteczek. W zewnętrznym polu elektrycznym każda cząsteczka dielektryka niepolarnego uzyskuje indukowany (wymuszony) elektryczny moment dipolowy skierowany wzdłuż natężenia pola elektrycznego. W dielektrykach polarnych zewnętrzne jednorodne pole elektryczne powoduje ustawienie się momentów dipolowych cząsteczek wzdłuż pola elektrycznego, czemu przeszkadza ich chaotyczny ruch cieplny. Zewnętrzne pole elektryczne powoduje również powstawanie w cząsteczkach dodatkowego indukowanego momentu dipolowego.

Ferroelektryki

- Ferroelektryki – dielektryki krystaliczne, które w nieobecności zewnętrznego pola elektrycznego składają się z domen, czyli małych spolaryzowanych obszarów. Ze względu na chaotyczne rozmieszczenie domen ich wypadkowy moment dipolowy, a tym samym wypadkowy wektor polaryzacji są równe zeru. W zewnętrznym polu elektrycznym ferroelektryki ulegają polaryzacji, która polega na powiększaniu się domen i obrocie ich momentów dipolowych w kierunku pola. Ferroelektrykami są na przykład tytanian baru BaTiO_3 , sól Seignette'a, czyli winian sodowo-potasowy $\text{NaKC}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, oraz kwaśny fosforan potasu KH_2PO_4 . Stałe dielektryczne ferroelektryków zależą nieliniowo od temperatury i natężenia zewnętrznego pola elektrycznego.

B Pierre Seignette (1660-1719), francuski aptekarz.

Wektor polaryzacji

- Wektor polaryzacji (\mathbf{P}) – wielkość wektorowa będąca sumą momentów dipolowych ($\boldsymbol{\mu}_i$) wszystkich cząsteczek dielektryka podzieloną przez jego objętość (V).

$$\mathbf{P} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N \boldsymbol{\mu}_i$$

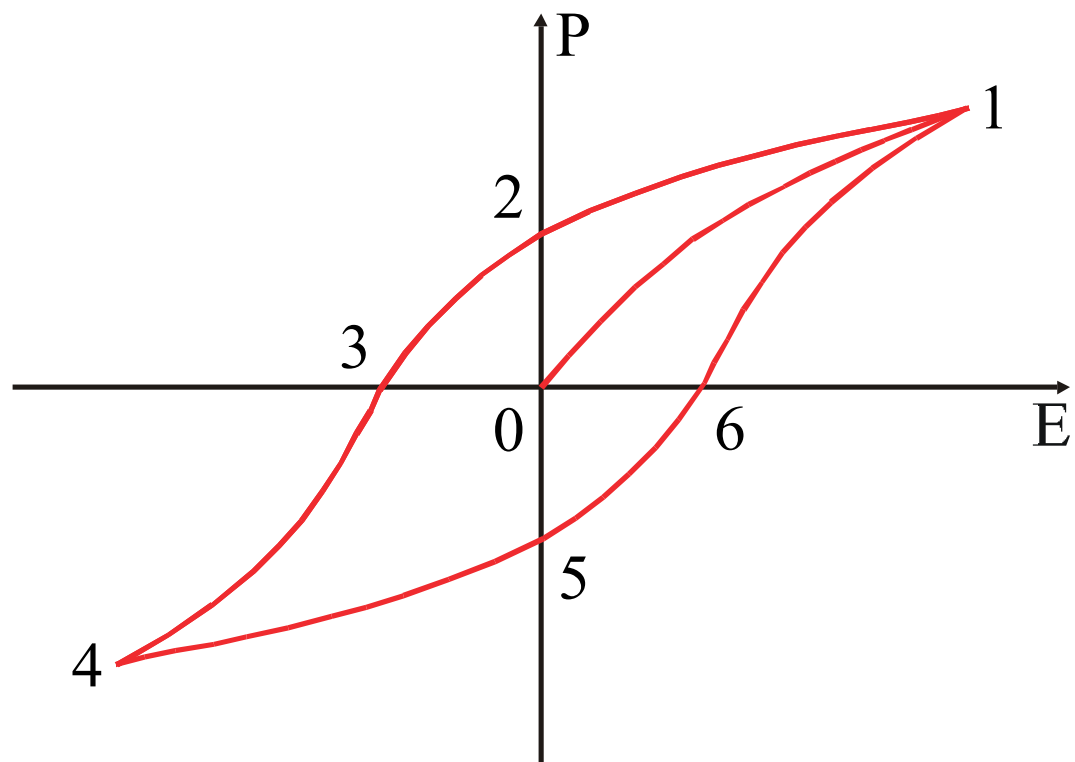
Histereza dielektryczna

- Histereza dielektryczna – zjawisko polegające na tym, że danej wartości (E) natężenia zewnętrznego pola elektrycznego odpowiadają różne wartości (P) polaryzacji ferroelektryka w zależności od jej wcześniejszej wartości. Ferroelektryki mają „pamięć”.

Pętla histerezy dielektrycznej

- Pętla histerezy dielektrycznej – wykres zależności wartości polaryzacji (P) ferroelektryka od wartości natężenia (E) zewnętrznego pola elektrycznego. Pole powierzchni pętli histerezy jest proporcjonalne do ciepła wydzielonego w ferroelektryku podczas jednego obiegu (1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 1).

Pętla histerezy dielektrycznej



Indukcja elektryczna

- Indukcja elektryczna (**D**) – wielkość wektorowa, której wartość (**D**) w danym punkcie pola elektrycznego jest stosunkiem bezwzględnej wartości maksymalnego ładunku (q), indukowanego na powierzchni jednej z dwóch zetkniętych ze sobą bardzo małych metalowych płytek próbnych umieszczonych w danym punkcie, do pola powierzchni (jednostronnej) (S) tej płytki.

$$D = \frac{|q|}{S}, \quad [D] = \frac{C}{m^2}$$

Indukcja elektryczna (**D**) jest wektorem o kierunku prostopadłym do płytek próbnych i skierowanym od płytki, na której indukuje się ujemny ładunek elektryczny, do płytki, na której indukuje się dodatni ładunek elektryczny.

C Indukcja elektryczna nazywana była dawniej przesunięciem elektrycznym.

P Indukcja elektryczna jest powiązana z natężeniem (**E**) pola elektrycznego oraz wektorem polaryzacji (**P**).

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}$$

U Z doświadczenia wiadomo, że w jednorodnych izotropowych ośrodkach dielektrycznych wektory **E** i **D** są równoległe względem siebie, a ich wartości są proporcjonalne do siebie w każdym punkcie ośrodka.

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \mathbf{E}$$

Własność ta nie dotyczy ośrodków anizotropowych oraz ferroelektryków.

Gęstość powierzchniowa ładunku elektrycznego

- Gęstość powierzchniowa ładunku elektrycznego (σ) – wielkość skalarna będąca stosunkiem ładunku elektrycznego (ΔQ) równomiernie rozmieszczonego na elemencie powierzchni do pola (ΔS) tego elementu.

$$\sigma = \frac{\Delta Q}{\Delta S}, \quad [\sigma] = \frac{C}{m^2}$$

C Nazwa kulomb pochodzi od nazwiska Coulomb.

Pojemność elektryczna

- Pojemność elektryczna (C) – wielkość skalarna będąca stosunkiem ładunku (Q) na okładce dodatniej kondensatora do napięcia (U) między jego okładkami.

$$C = \frac{Q}{U}, \quad [C] = \frac{C}{V} = F$$

- C Nazwa kulomb pochodzi od nazwiska Coulomb.
- C Nazwa wolt pochodzi od nazwiska Volta.
- C Nazwa farad pochodzi od nazwiska Faraday.

Prąd elektryczny

- Prąd elektryczny – uporządkowany ruch ładunków elektrycznych w ośrodkach przewodzących pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego.

U Kierunek przepływu prądu elektrycznego przyjęto umownie oznaczać strzałką skierowaną od punktu przewodnika o potencjale wyższym do punktu przewodnika o potencjale niższym. Tak określony kierunek prądu zgadza się z kierunkiem ruchu dodatnich nośników prądu. Ujemne nośniki prądu poruszają się w kierunku przeciwnym do umownego kierunku prądu.

Natężenie prądu elektrycznego

- Natężenie prądu elektrycznego (I) – wielkość skalarna będąca stosunkiem ładunku (Q) przepływającego przez poprzeczny przekrój przewodnika do czasu (t) tego przepływu.

$$I = \frac{Q}{t}, \quad [I] = \frac{C}{s} = A = \text{amper}$$

- Prąd, którego natężenie jest stałe w czasie nazywany jest prądem stałym.

C Nazwa amper pochodzi od nazwiska Ampère.

B André Marie Ampère (1775-1836), francuski fizyk i matematyk.

Natężenie prądu elektrycznego

P Jeżeli w przewodniku płynie prąd o natężeniu jednego ampera, to przez przekrój poprzeczny tego przewodnika w czasie jednej sekundy przepływa $6,25 \cdot 10^{18}$ elektronów.

Gęstość prądu elektrycznego

- Gęstość prądu (\mathbf{j}) – wielkość wektorowa, której wartość (j) jest stosunkiem natężenia prądu (I) do pola powierzchni (S) przekroju poprzecznego przewodnika, na którym to przekroju rozkład prądu jest równomierny.

$$j = \frac{I}{S}, \quad [j] = \frac{A}{m^2}$$

Kierunek wektora gęstości prądu pokrywa się z kierunkiem prądu elektrycznego.

C Nazwa amper pochodzi od nazwiska Ampère.

Napięcie elektryczne

- Napięcie elektryczne (U) – wielkość skalarna określona jako różnica potencjałów elektrycznych (V_A) i (V_B) między dwoma punktami (A) i (B).

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

$$[U_{AB}] = V = \text{volt}$$

C Nazwa wolt pochodzi od nazwiska Volta.

B Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827), włoski fizyk.

Prawo Ohma

- Prawo Ohma – prawo głoszące, że natężenie prądu elektrycznego (I) przepływającego przez przewodnik jest wprost proporcjonalne do napięcia elektrycznego (U) na końcach tego przewodnika.

$$I = \frac{1}{R} U$$

R – opór elektryczny (rezystancja)

$$[R] = \frac{V}{A} = \Omega = \text{om}$$

H Prawo Ohma zostało sformułowane przez niego w 1826.

B Georg Simon Ohm (1787-1854), niemiecki fizyk.

Przewodnictwo elektryczne

Prawo Ohma bywa zapisane także w innej postaci:

$$I = G \cdot U$$

G – przewodnictwo elektryczne (konduktancja)

$$[G] = \frac{1}{\Omega} = \frac{A}{V} = S = \text{simens} = \text{mho}$$

C Nazwa simens pochodzi od nazwiska Siemens.

B Ernst Werner von Siemens (1816-1892), niemiecki inżynier, przemysłowiec i wynalazca.

C Nazwa "mho" jest słowem "ohm" zapisanym wstecz.

C $[G] = \bar{\Omega}$

Opór elektryczny właściwy

- Opór elektryczny właściwy (ρ) – wielkość skalarna, mierzona w omometrach, będąca stosunkiem iloczynu oporu elektrycznego (R) jednorodnego opornika cylindrycznego i jego pola powierzchni (S) przekroju poprzecznego do długości (l) tego opornika.

$$\rho = \frac{RS}{l}, \quad [\rho] = \Omega \cdot \text{m}$$

- C** Opór elektryczny właściwy nazywany jest też rezystywnością.
- C** Nazwa om pochodzi od nazwiska Ohm.
- B** Georg Simon Ohm (1787-1854), niemiecki fizyk.

Przewodnictwo elektryczne właściwe

- Przewodnictwo elektryczne właściwe (γ) – wielkość skalarna będąca odwrotnością oporu elektrycznego właściwego (ρ).

$$\gamma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{RS} = \frac{1G}{S}$$

$$[\gamma] = \frac{1}{\Omega \cdot m} = \frac{S(\text{imens})}{m} = \frac{\text{mho}}{m}$$

C Przewodnictwo elektryczne właściwe nazywane jest też przewodnością właściwą lub konduktywnością.

C Nazwa simens pochodzi od nazwiska Siemens.

Elektroforeza

- Elektroforeza – zjawisko polegające na ruchu naładowanych cząsteczek zawiesiny w cieczy pod wpływem pola elektrycznego.