

# Oddziaływanie pola elektrycznego z materią (jak działa kuchenka mikrofalowa)

dr hab. inż. Paweł Perkowski

[pawel.perkowski@wat.edu.pl](mailto:pawel.perkowski@wat.edu.pl)

Instytut Fizyki Technicznej, Wydział Nowych Technologii i Chemii

Wojskowa Akademia Techniczna

Na początku był ... **RADAR**  
**Ra**dio **D**etection **A**nd **R**anging



Na końcu będzie ... **ADS**  
**A**ctive **D**enial **S**ystem

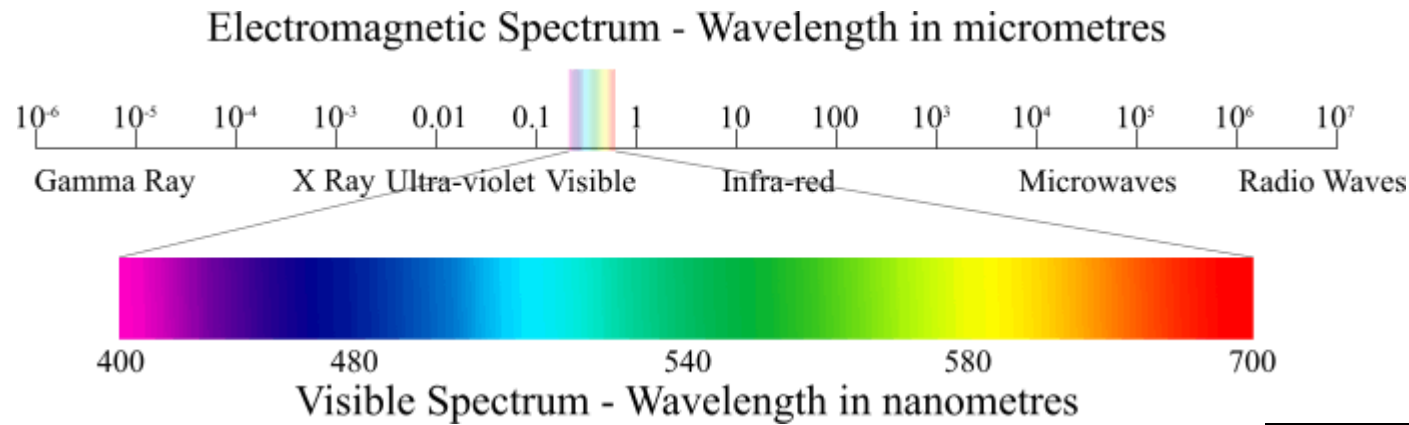
# Plan wykładu

- Różne rodzaje spektroskopii i ich zakresy
- Zjawisko POLARYZACJI (elektrycznej)
- Moment dipolowy co to jest? – przykłady
- Pojawia się częstotliwość... - Jak ośrodek reaguje na pole elektryczne zmienne – przenikalność elektryczna
- Relaksacja – co to jest? Częstotliwość relaksacyjna cząsteczek.
- Mikrofalówka
- Fala stojąca
- Prędkość światła a czekolada
- Prawo Lamberta
- Mikrofalówka, wifi, bluetooth i telefony komórkowe...
- Czy mikrofalówki są bezpieczne?
- Broń mikrofalowa bronią przyszłości?



# Spektroskopia

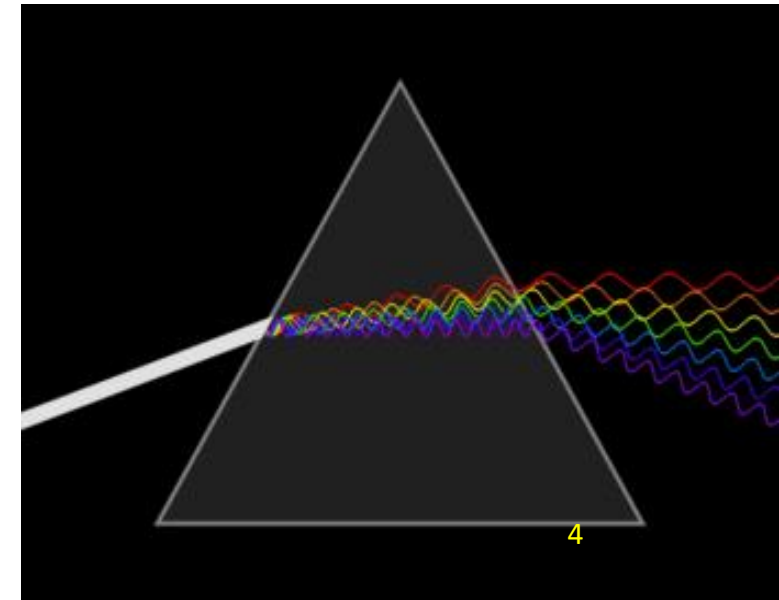
**Spektroskopia** – daje nam informację o oddziaływaniu pomiędzy materią a falą elektromagnetyczną



Źr. Wikipedia

**Dyspersja** – zależność parametrów materiałowych od częstotliwości ( $f$ ) lub długości fali ( $\lambda$ ) lub liczby falowej ( $k$ ) padających fal (dyspersja elektromagnetyczna / akustyczna).

Przykłady: współczynnik załamania  $n(\lambda)$  / przenikalność elektryczna  $\varepsilon(f)$  / prędkość propagacji fali  $v(f)$ .



# Podział na zakresy różnych zakresów widma

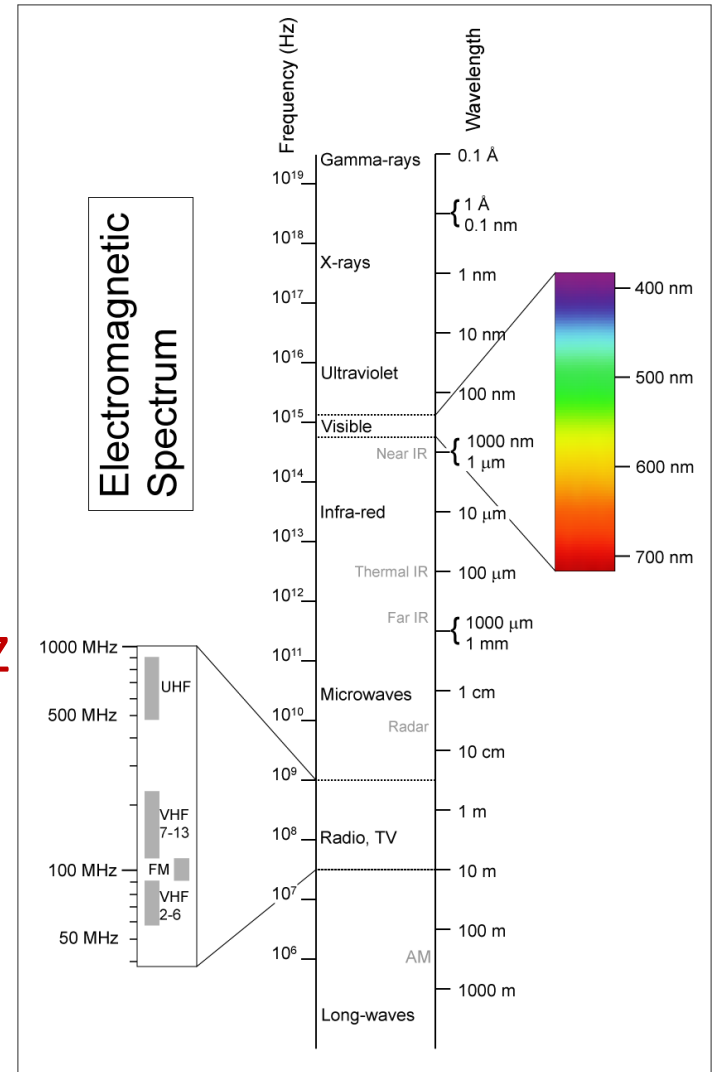
- Zakres radiowy **poniżej 1 GHz**
- Zakres mikrofalowy **1 GHz -1 THz**
- Zakres podczerwieni **1 THz – 100 THz**
- Zakres widzialny **~ 1 PHz**
- Zakres ultrafioletu **1 PHz – 100 PHz**
- Zakres rentgenowski **100 PHz – 10 EHz**
- Zakres promieniowania gamma **powyżej 10 EHz**

1 GHz =  $10^9$  Hz

1 THz =  $10^{12}$  Hz

1 PHz =  $10^{15}$  Hz

1 Ehz =  $10^{18}$  Hz

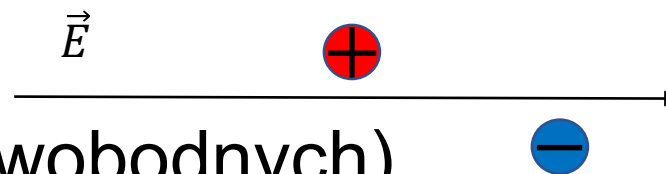


# Rodzaje polaryzacji elektrycznej w materii

- Polaryzacja jonowa (ładunków swobodnych)
- Polaryzacja dipolowa (orientacyjna)
- Polaryzacja wewnątrzcząsteczkowa (atomowa)
- Polaryzacja elektronowa (deformacja chmur elektronowych)

**Polaryzacja (elektryczna / dielektryczna) jest to całokształt zjawiska jakim podlega materia pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego.**

# Rodzaje polaryzacji



- Polaryzacja jonowa (ładunków swobodnych)
- Polaryzacja dipolowa (orientacyjna)
- Polaryzacja wewnątrzcząsteczkowa (atomowa)
- Polaryzacja elektronowa (deformacja chmur elektronowych)

Jony ruszają się wzdłuż pola elektrycznego tworząc prąd, który jest w fazie z napięciem zewnętrznym.

Prędkość jonów jest raczej mała, stąd relaksacja jest wolna:

częstotliwości relaksacji jonów są rzędu: 0.01 – 100 Hz.

Jony wpływają na odpowiedź elektryczną przy niskich częstotliwościach.

Są często efektem niepożądanym.

# Rodzaje polaryzacji



- Polaryzacja jonowa (ładunków swobodnych)
- **Polaryzacja dipolowa (orientacyjna)**
- Polaryzacja wewnątrcząsteczkowa (atomowa)
- Polaryzacja elektronowa (deformacja chmur elektronowych)

Środki ciężkości dipoli nie zmieniają położenia pod wpływem pola.

Dipole obracają się w polu elektrycznym.

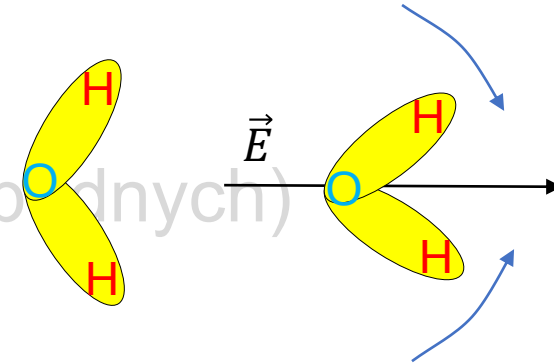
Czas relaksacji dipolowej zmienia się bardzo z temperaturą: od 1 GHz do 1 Hz. Jest to typowe zachowanie dla relaksacji areniusowskich.

Pole stałe (DC) nie potrafi ograniczyć wkładu relaksacji dipolowych w odpowiedź dielektryczną.

Najlepszym przykładem relaksacji dipolowych są reorientacje molekularne pojedynczych cząsteczek wokół ich krótkich bądź długich osi w cieczach dipolowych bądź nematykach.

# Rodzaje polaryzacji

- Polaryzacja jonowa (ładunków swobodnych)
- Polaryzacja dipolowa (orientacyjna)
- **Polaryzacja wewnątrzcząsteczkowa (atomowa)**
- Polaryzacja elektronowa (deformacja chmur elektronowych)

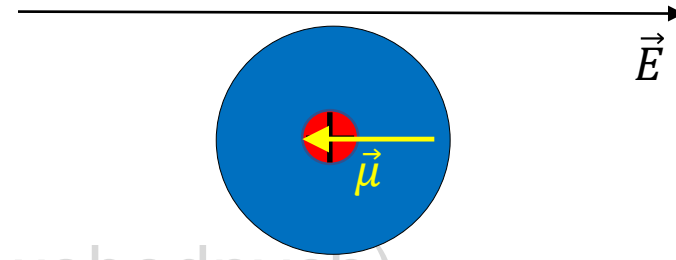


Polaryzacja atomowa zależy od temperatury.

Częstotliwości polaryzacji atomowej są rzędu 1-100 THz.

Ten typ polaryzacji może być obserwowany przez spektroskopię IR.

# Rodzaje polaryzacji



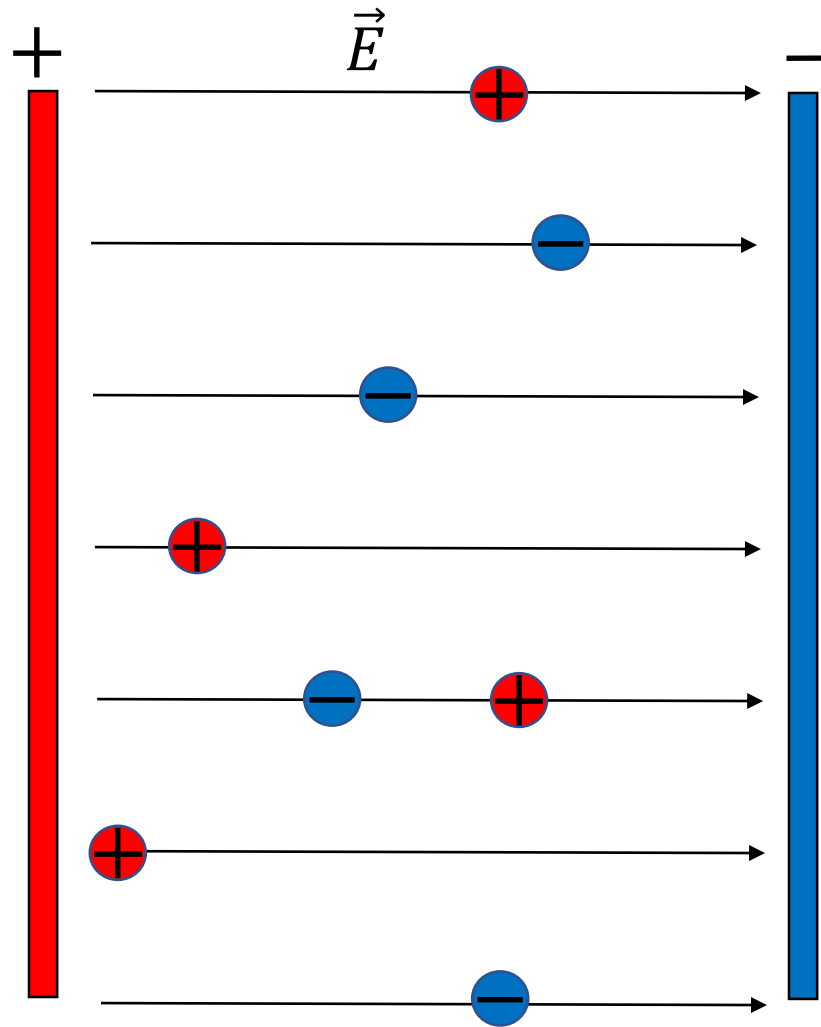
- Polaryzacja jonowa (ładunków swobodnych)
- Polaryzacja dipolowa (orientacyjna)
- Polaryzacja wewnątrzcząsteczkowa (atomowa)
- Polaryzacja elektronowa (deformacja chmur elektronowych)

Polaryzacji elektronowo nie zależy od temperatury.

Czas relaksacji chmur elektronowych jest rzędu  $10^{-16}$  s, co odpowiada częstotliwości relaksacyjnej rzędu 10 PHz ( $1\text{PHz} = 10^{15} \text{ Hz}$ ).

Od polaryzacji elektronowej zależą współczynniki załamania światła.

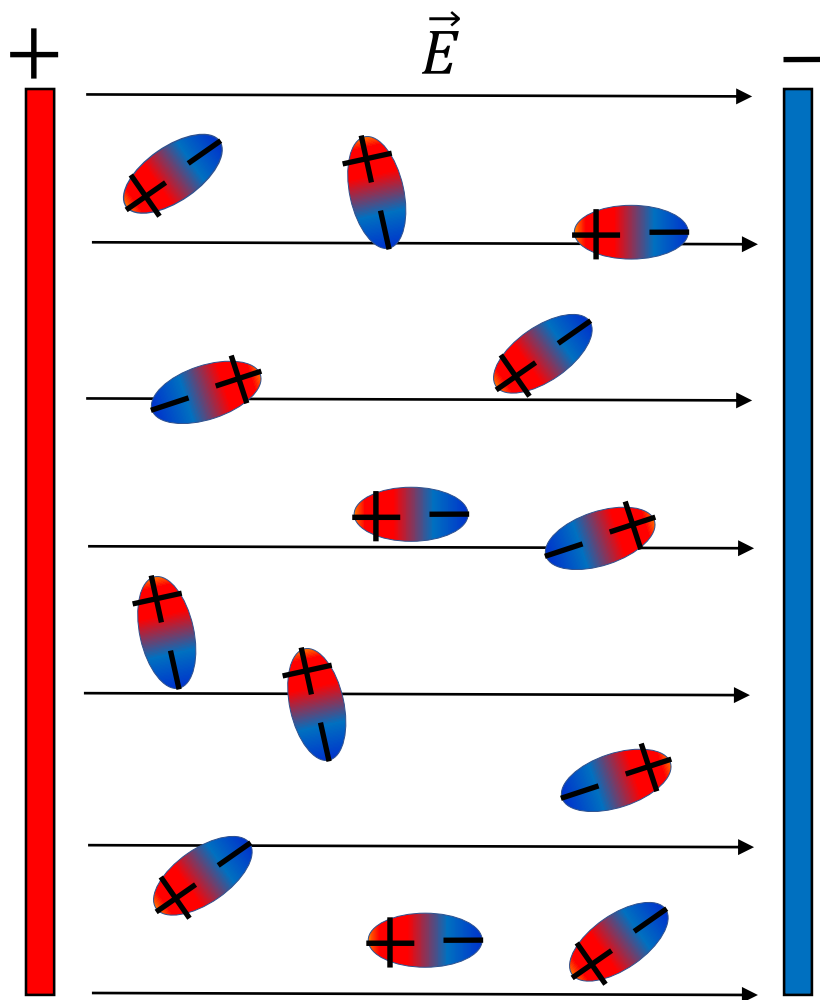
Co może współoddziaływać z polem elektrycznym w ośrodku ciekłym?



ODDZIAŁUJĄ

Ładunki  
swobodne - jony

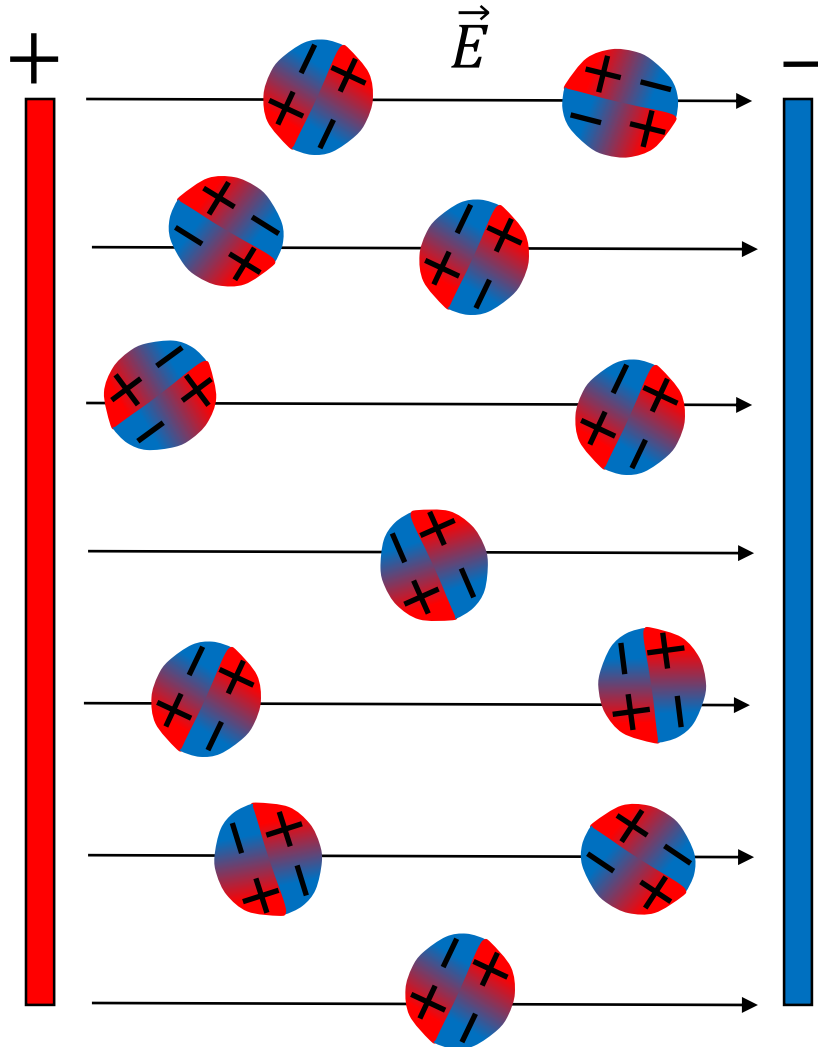
Co może współoddziaływać z polem elektrycznym w ośrodku ciekłym?



ODDZIAŁUJĄ

Dipole

Co może współoddziaływać z polem elektrycznym w ośrodku ciekłym?



NIE ODDZIAŁUJĄ

Kwadrupole

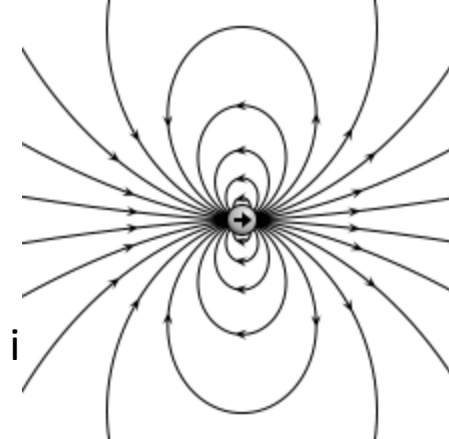


Peter Debye

# Przykłady cząsteczek dipolowych

$$\vec{\mu} = q \cdot \vec{d}$$

Moment dipolowy to iloczyn ładunku  $q$  i odległości  $d$  pomiędzy ładunkiem dodatnim i ujemnym



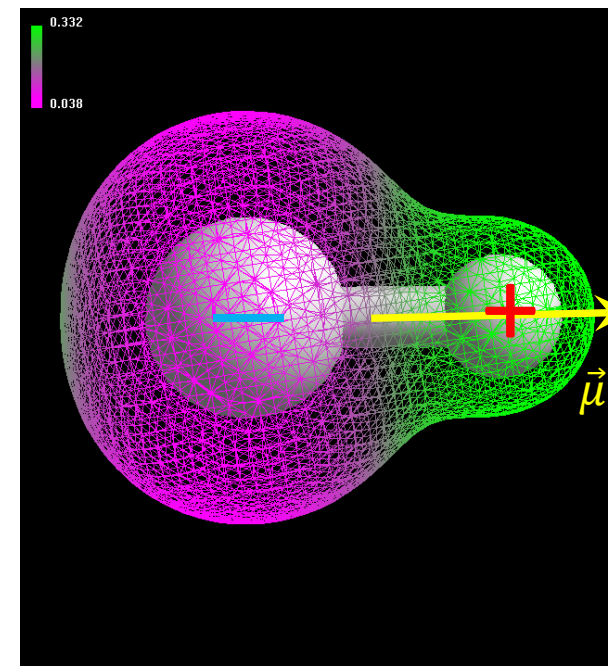
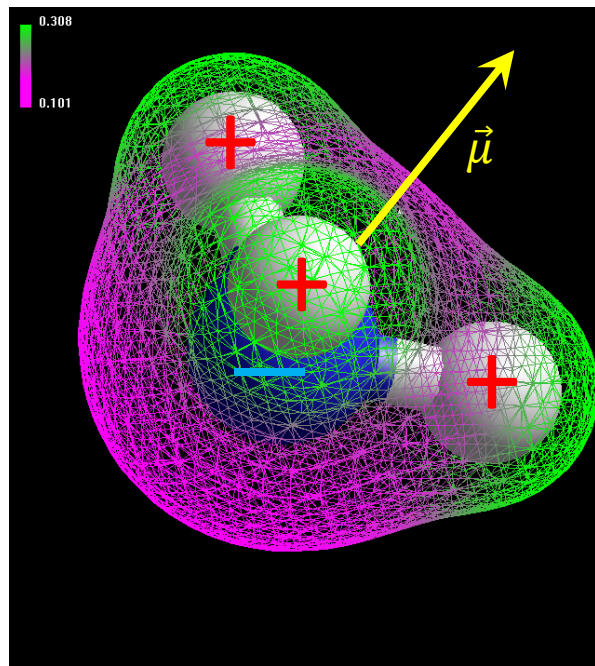
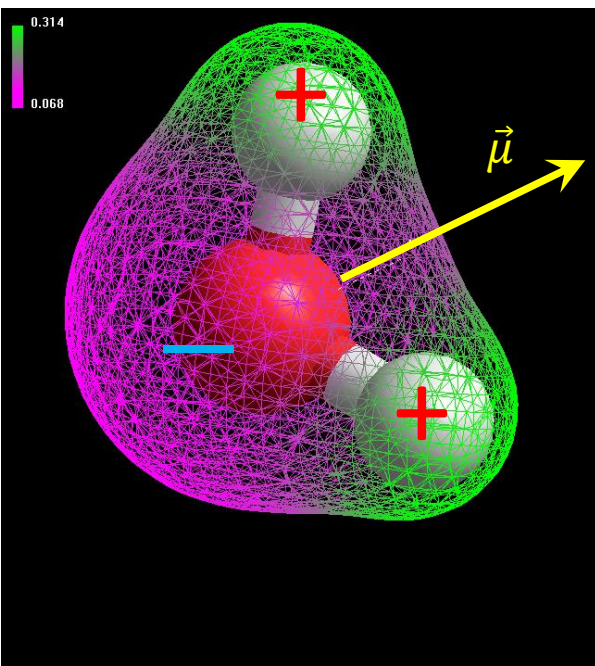
woda  
moment dipolowy  
1.85 D

amoniak  
moment dipolowy  
1.47 D(ebaj)

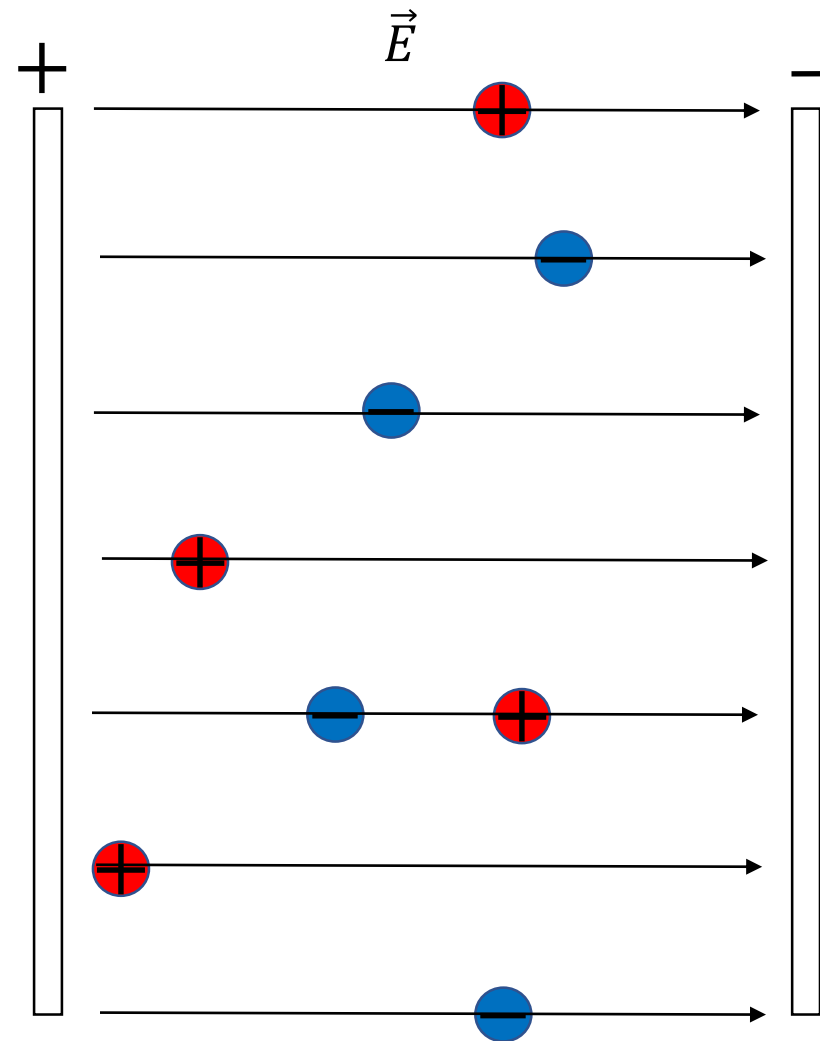
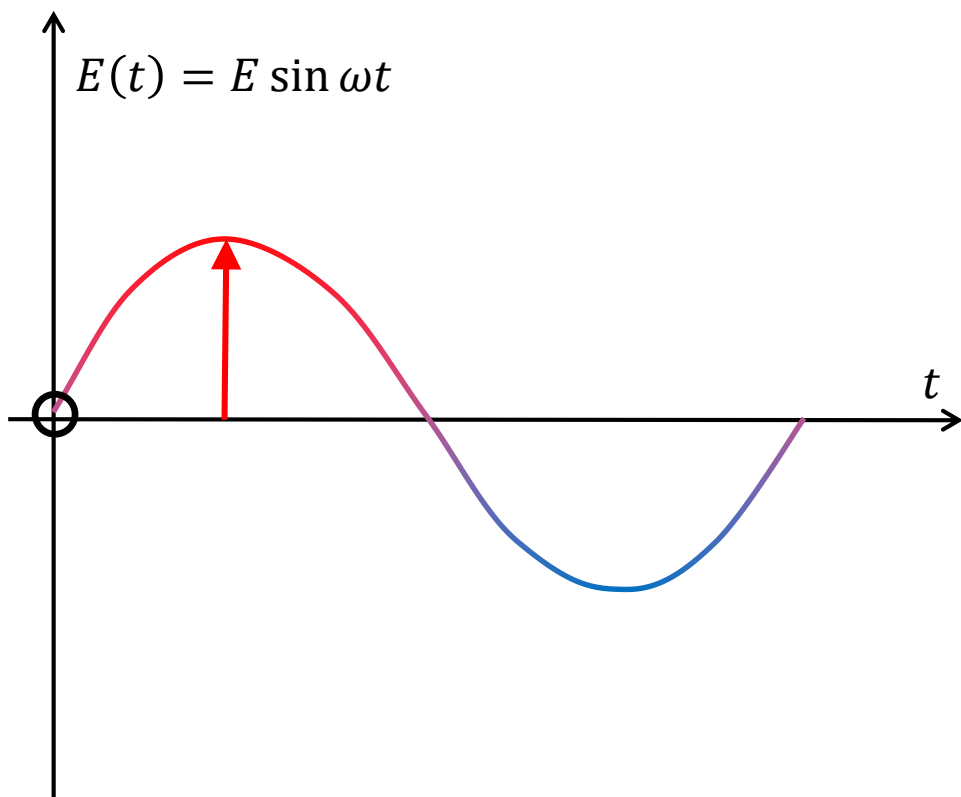
kwas solny  
moment dipolowy  
1.03 D

$$1 \text{ D} = 3,33 \cdot 10^{-30} \text{ Cm} = 0,2082 \text{ eÅ}$$

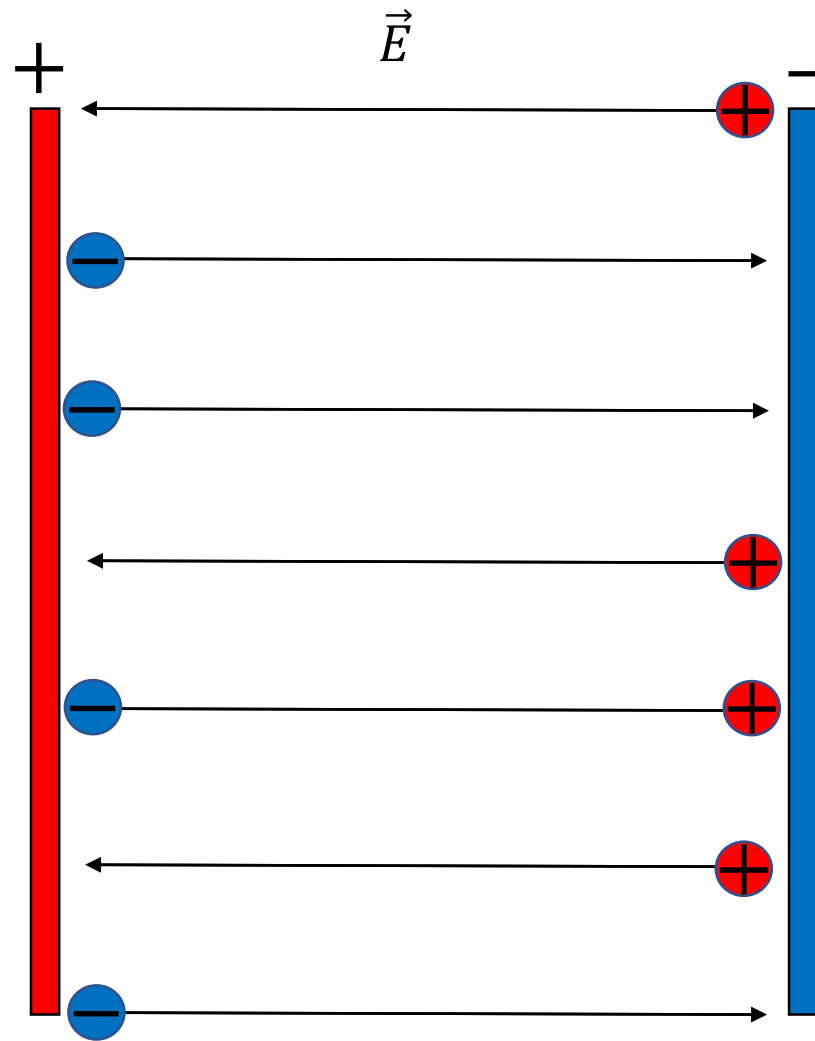
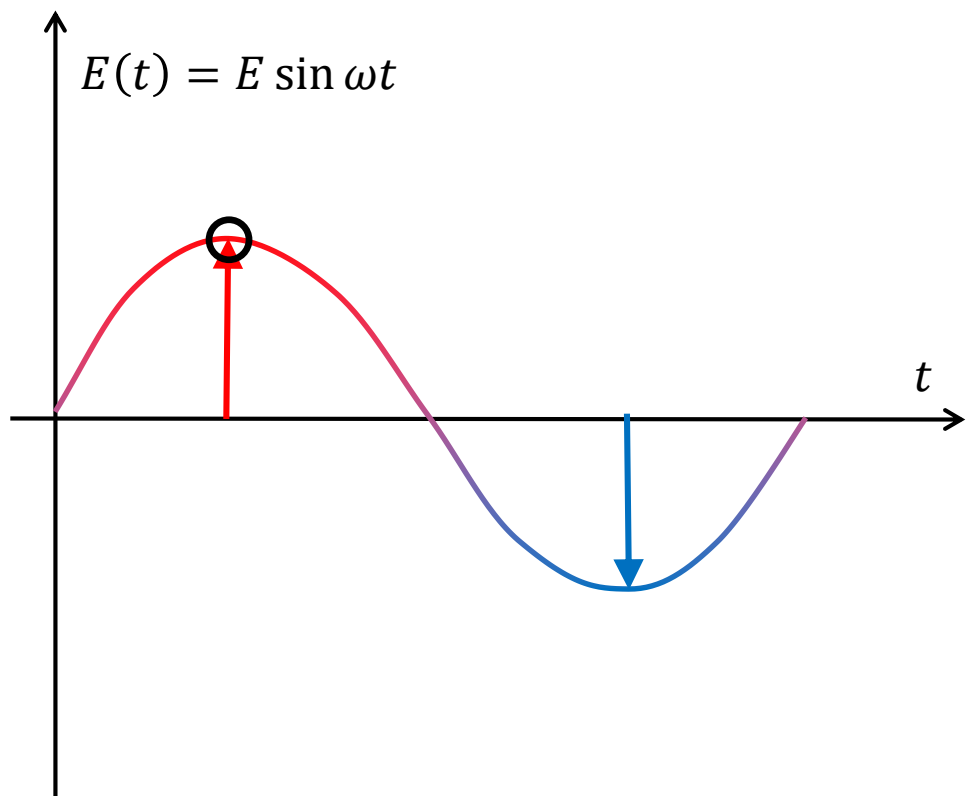
alkohol etylowy  
moment dipolowy  
1.69 D



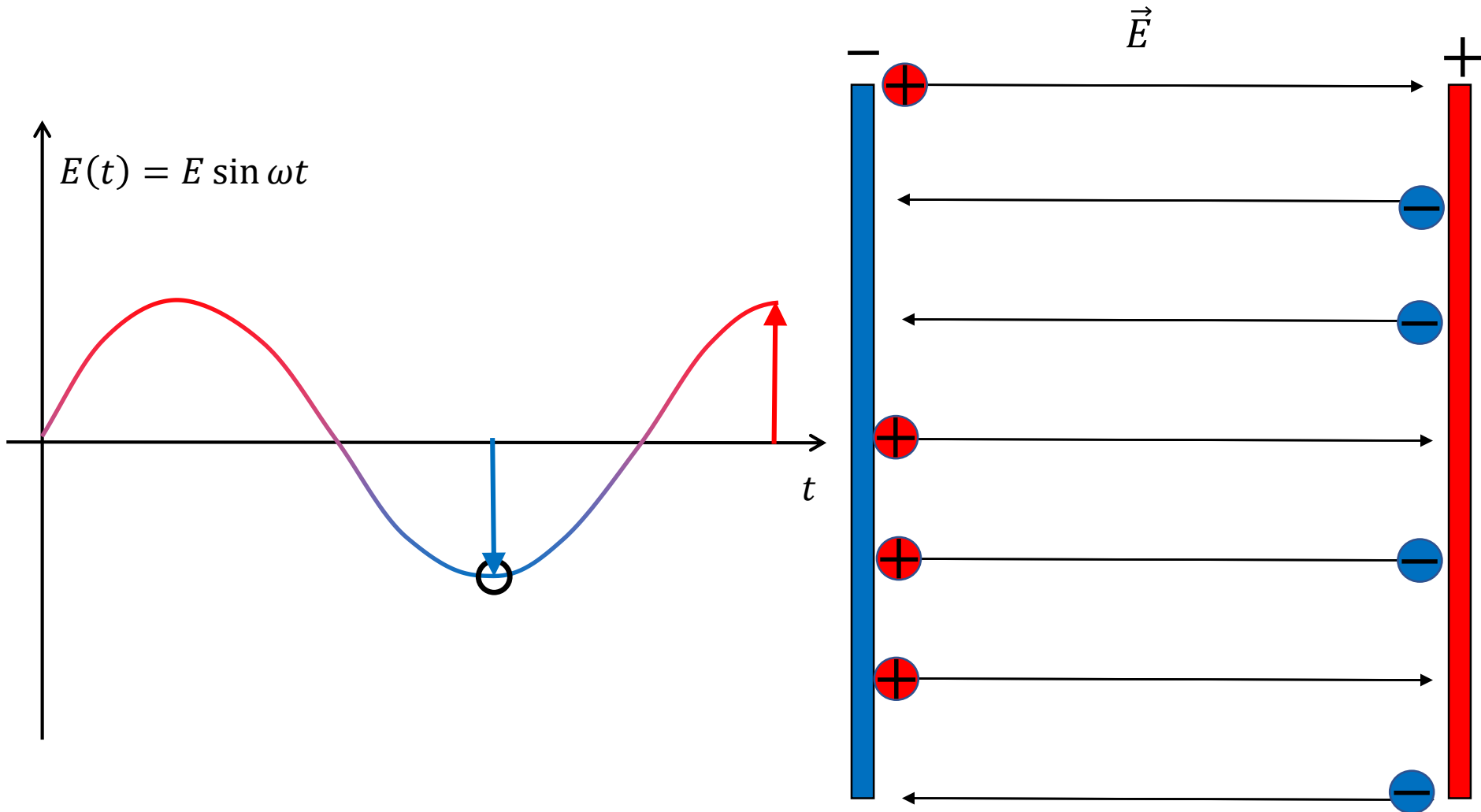
Jak ładunki swobodne (jony) zachowują się w zmiennym polu elektrycznym?



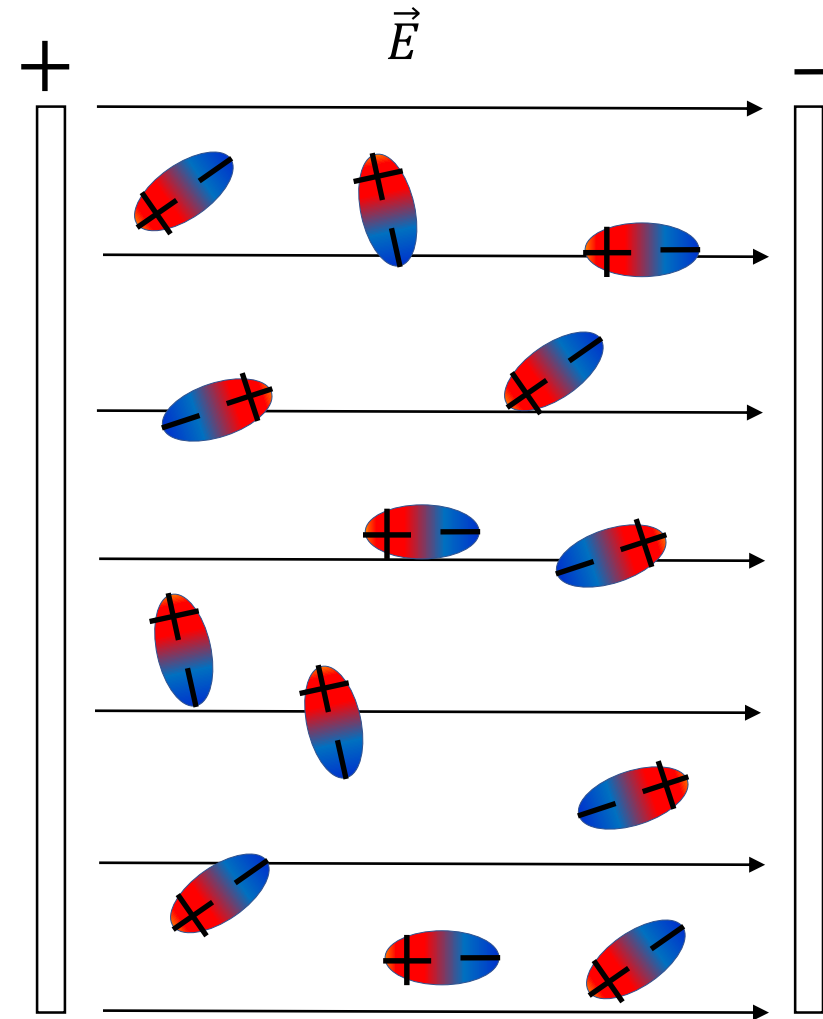
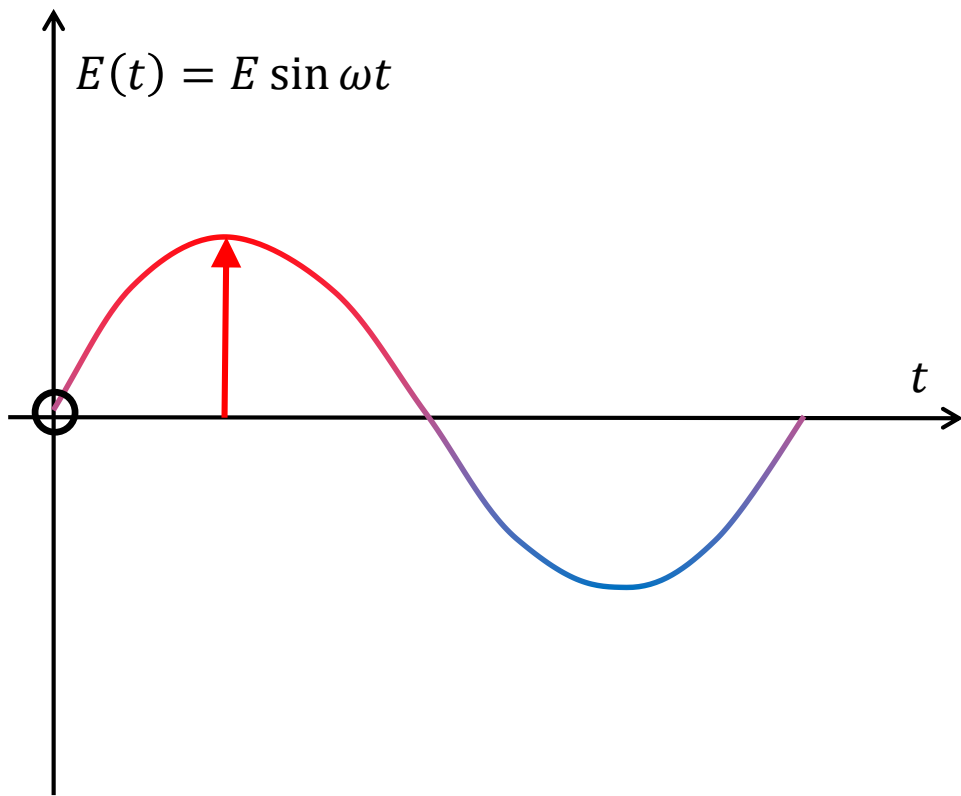
Jak ładunki swobodne (jony) zachowują się w zmiennym polu elektrycznym?



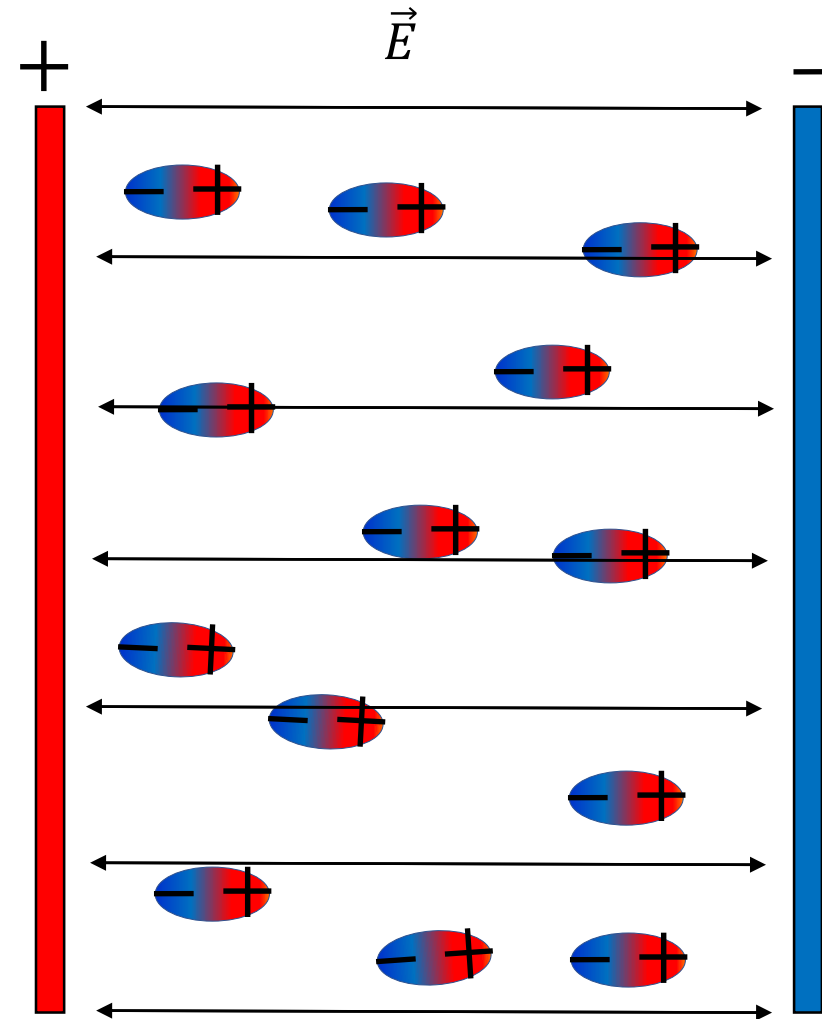
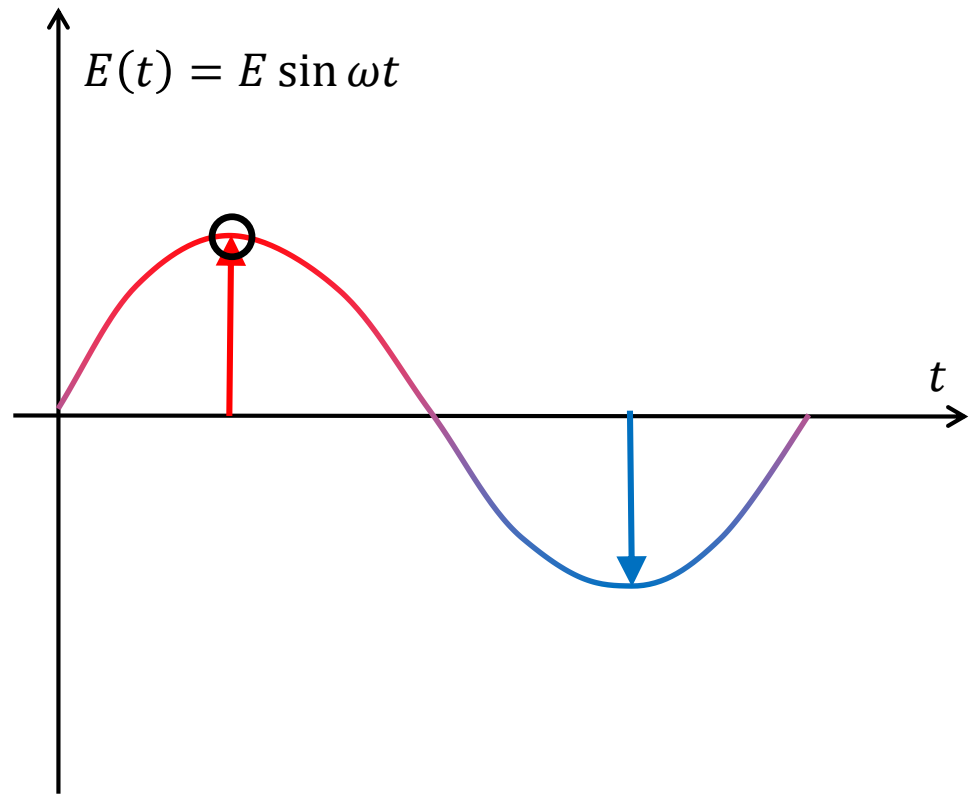
Jak ładunki swobodne (jony) zachowują się w zmiennym polu elektrycznym?



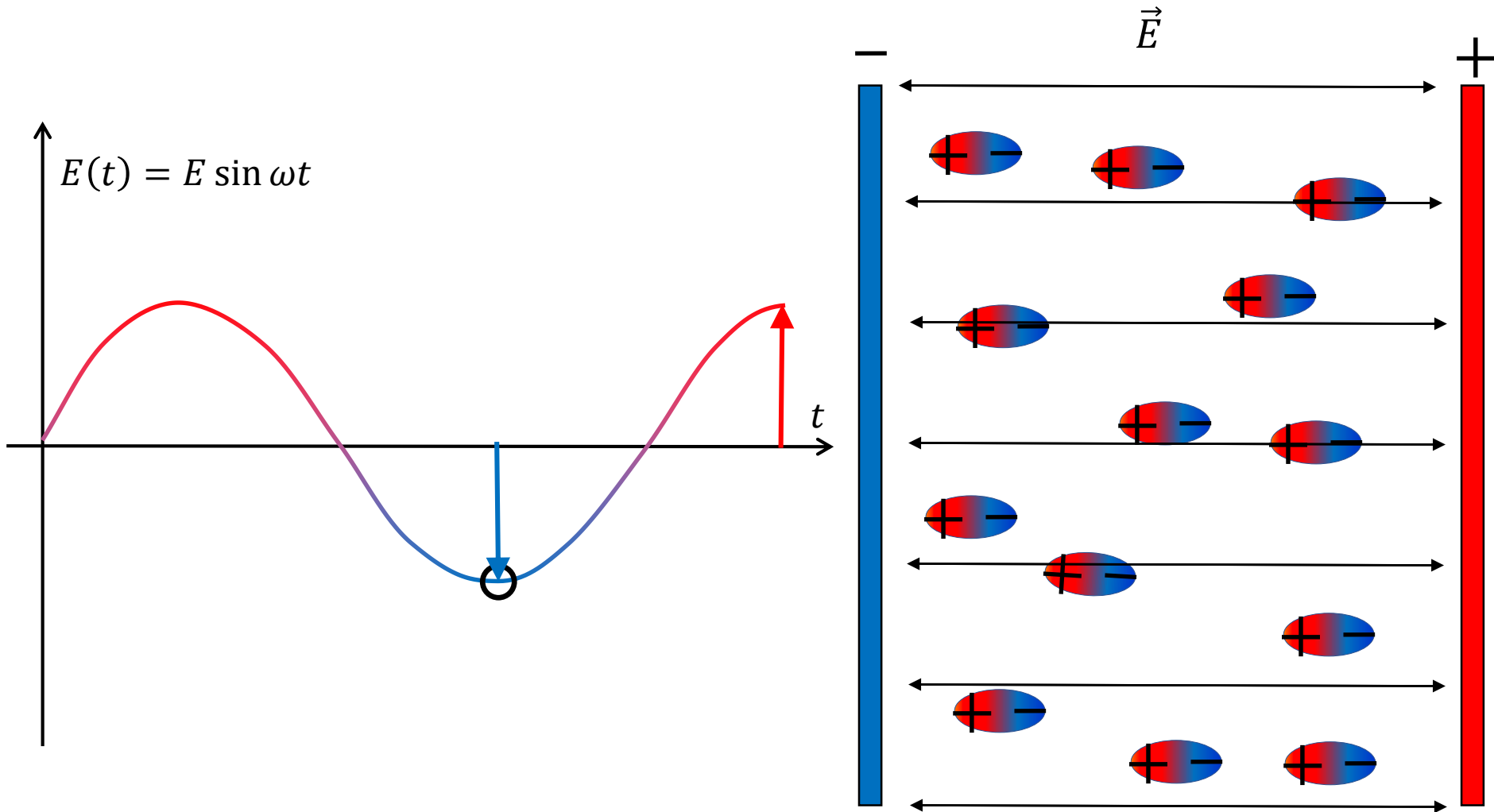
# Jak dipole zachowują się w zmiennym polu elektrycznym?



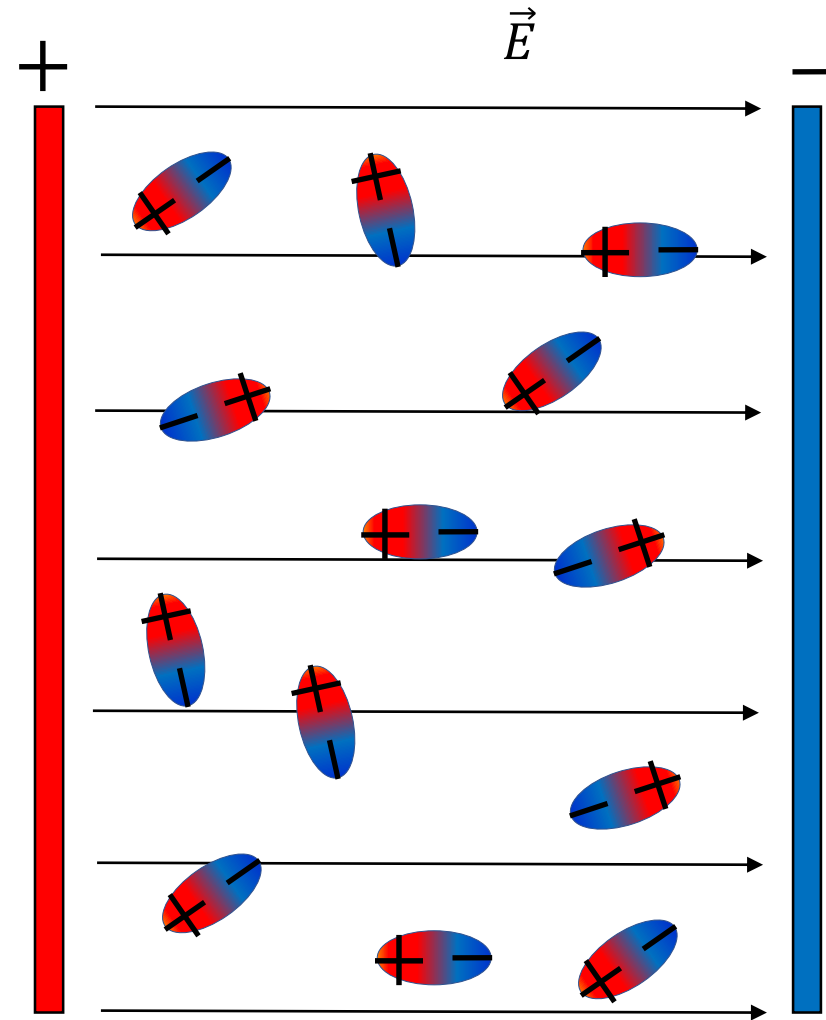
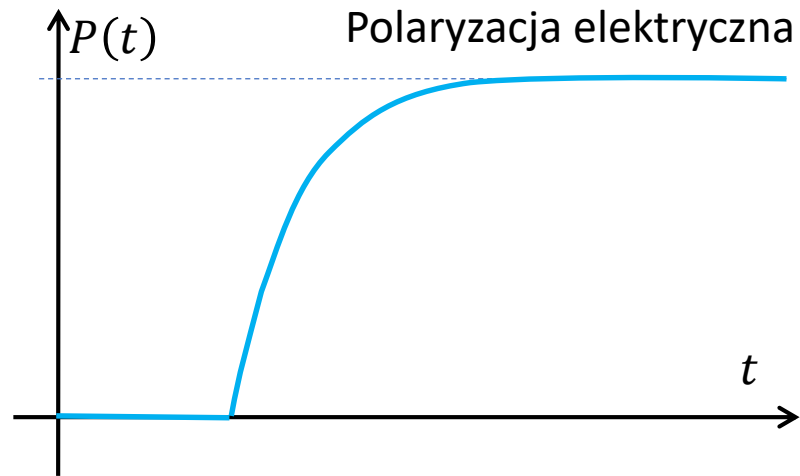
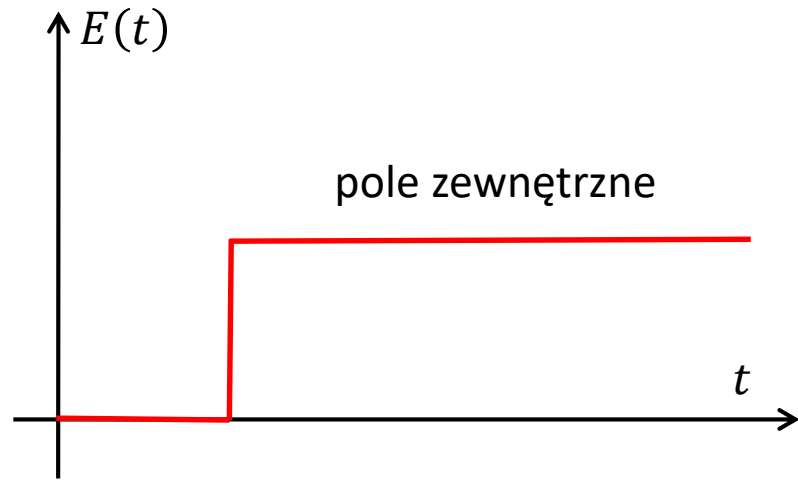
# Jak dipole zachowują się w zmiennym polu elektrycznym?



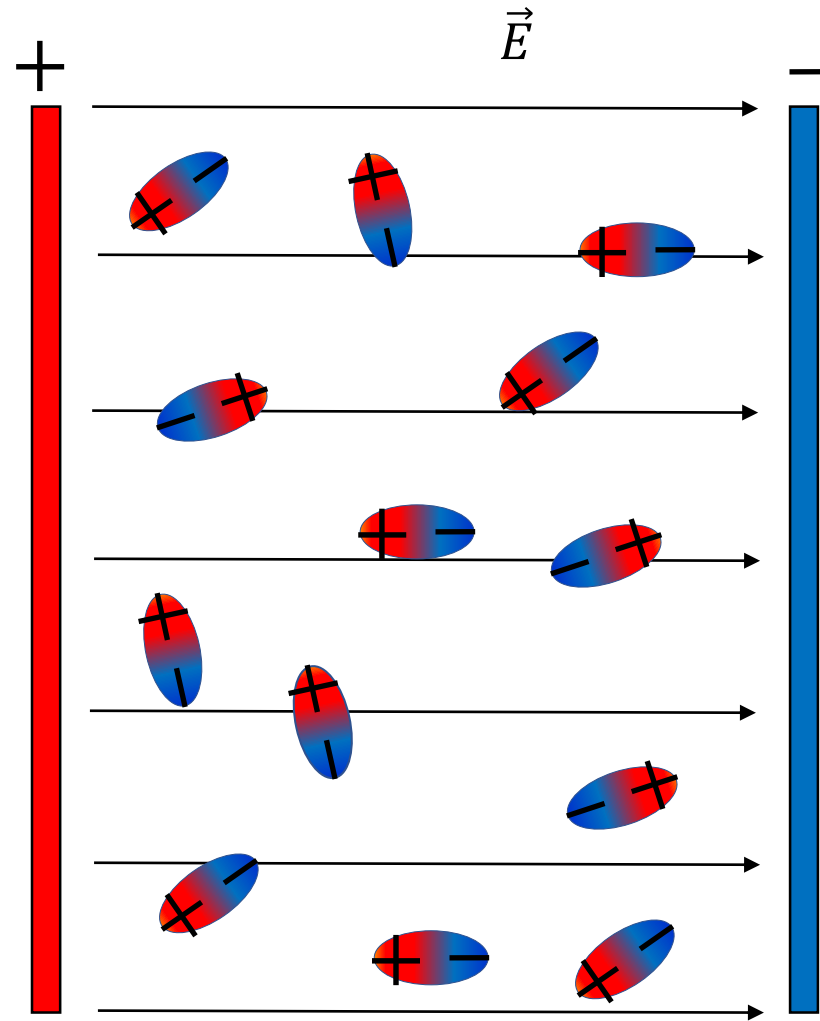
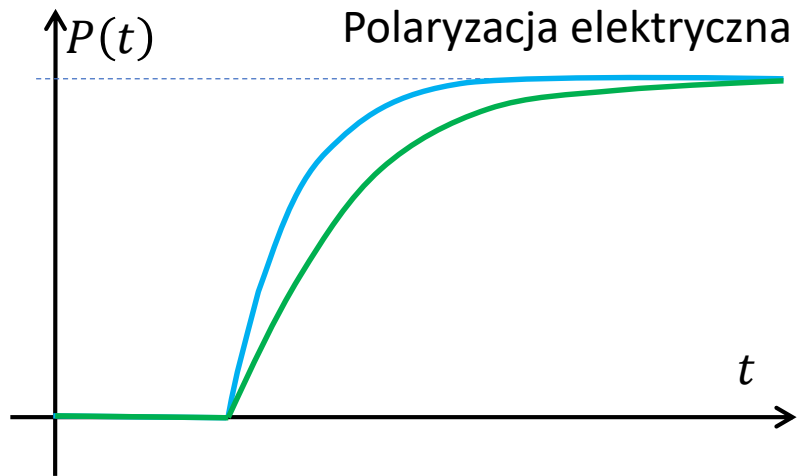
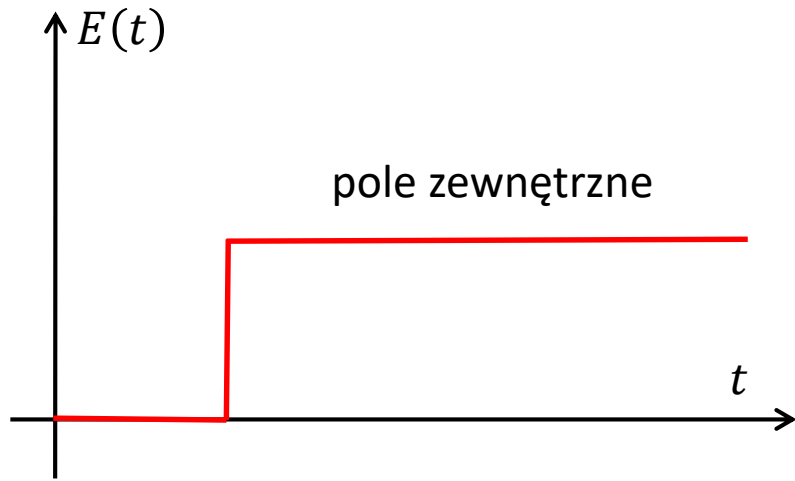
# Jak dipole zachowują się w zmiennym polu elektrycznym?



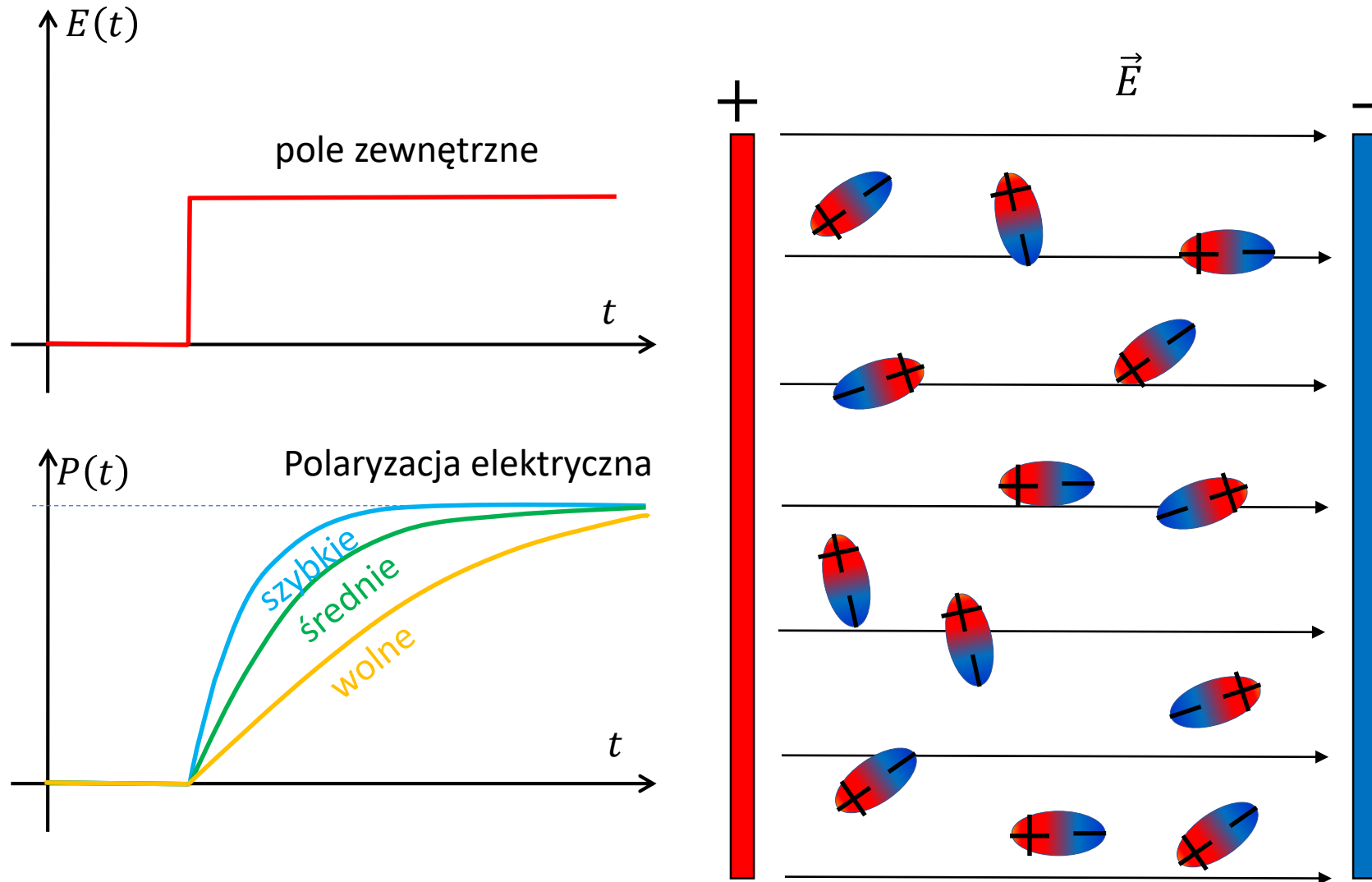
# „szybkie” i „wolne” ruchy molekularne



# „szybkie” i „wolne” ruchy molekularne



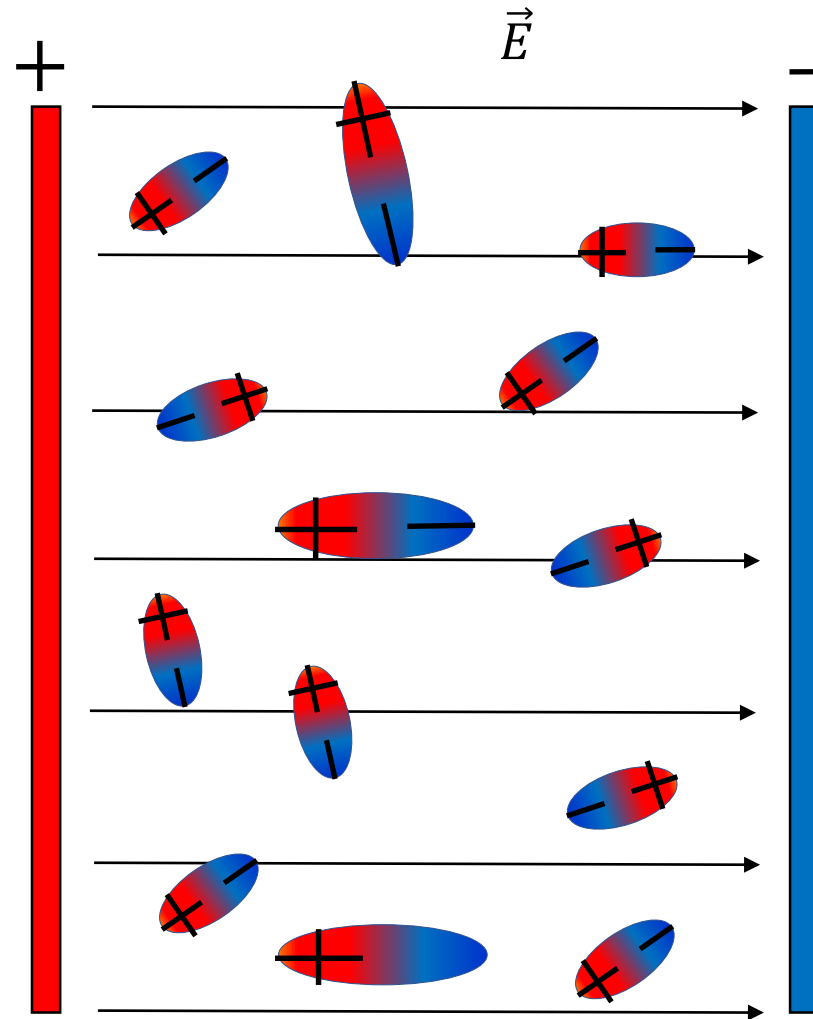
# „szybkie” i „wolne” ruchy molekularne



Cząsteczki dipolowe w polu elektrycznym mogą się obracać wolniej lub szybciej, wówczas wektor polaryzacji ośrodka rośnie wolniej lub szybciej.

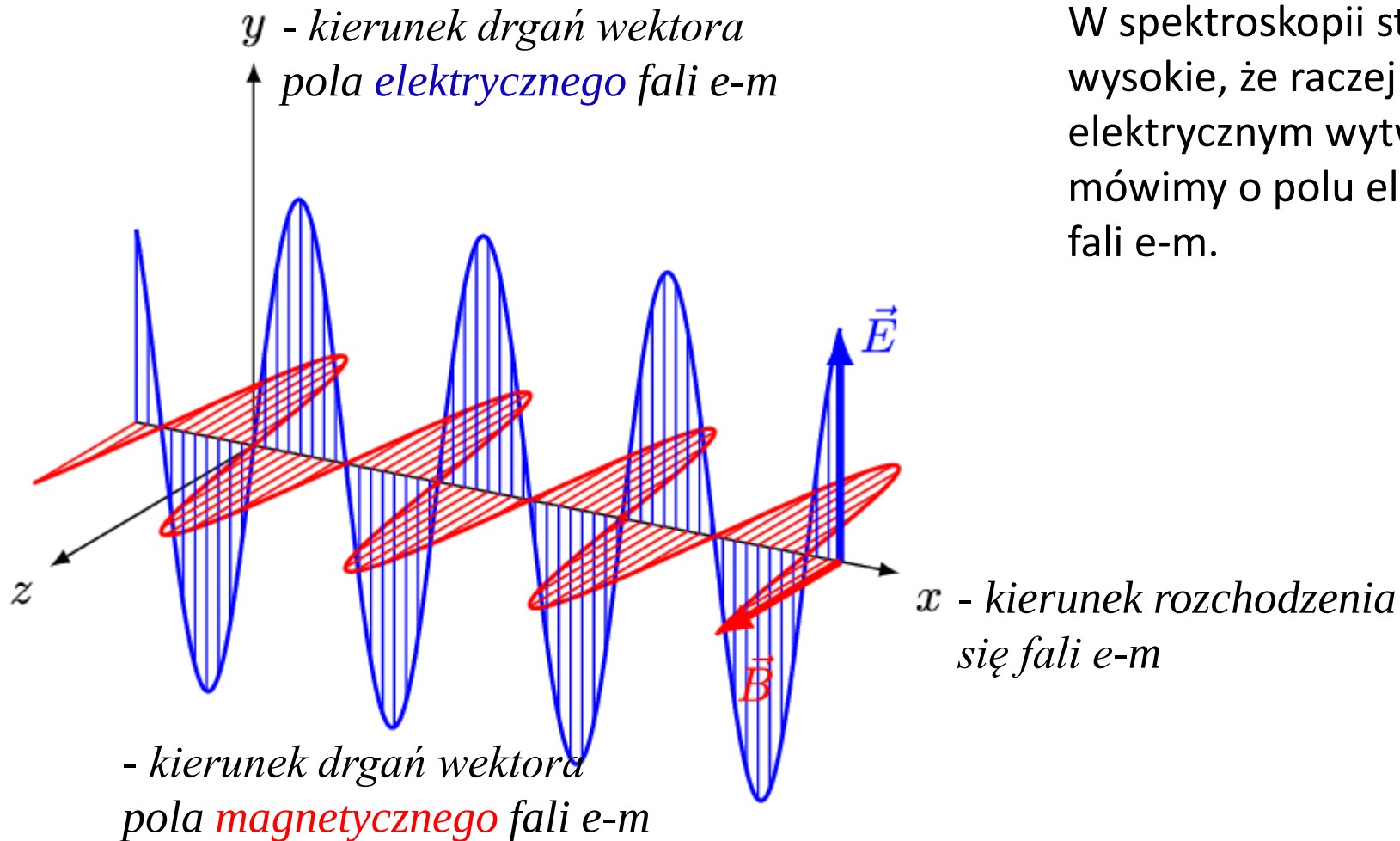
# „szybkie” i „wolne” ruchy molekularne

Mieszanina małych i dużych cząsteczek.  
Każda z cząsteczek na swój sposób oddziałuje z polem elektrycznym.



# Fala elektromagnetyczna

W spektroskopii stosujemy częstotliwości na tyle wysokie, że raczej nie mówimy o polu elektrycznym wytwarzanym w kondensatorze a mówimy o polu elektrycznym – części składowej fali e-m.



# Po co w fali elektromagnetycznej jest pole magnetyczne?

Na cząsteczki oddziałuje tylko pole elektryczne

Pole magnetyczne jest równoprawną częścią fali elektromagnetycznej, która powstaje w wyniku zmiennego pola elektrycznego i samo powoduje powstanie zmiennego pola elektrycznego w fali e-m.

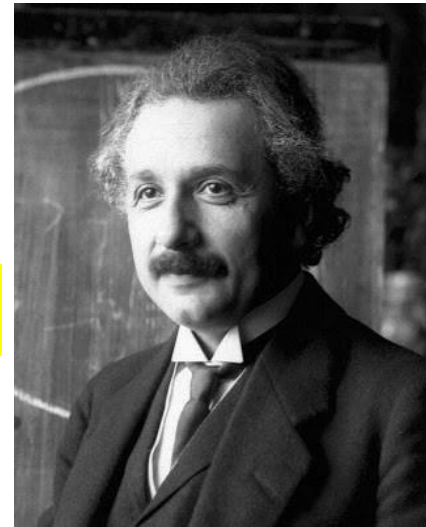
Pole magnetyczne jest „zaledwie” poprawką do pola elektrycznego wynikającą ze szczególnej teorii względności Alberta Einsteina.



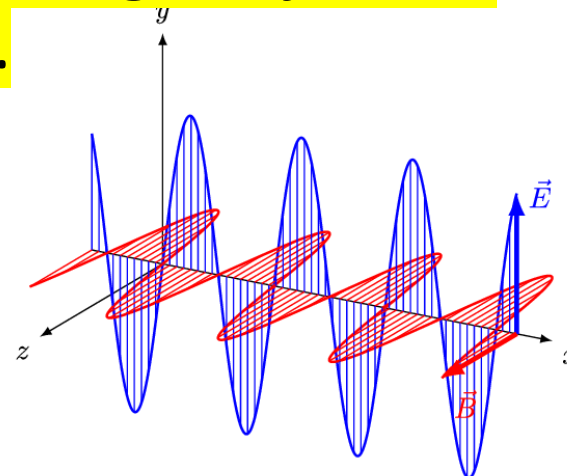
J.C. Maxwell

Relacja pomiędzy amplitudami pola elektrycznego i magnetycznego

$$c = 3000000000 \frac{m}{s} \quad \frac{E_m}{c} = B_m$$



A. Einstein



# Jaki parametr opisuje oddziaływanie pola elektrycznego z materią?

Jest to przenikalność elektryczna (**permittivity**)

$$\epsilon \quad \epsilon^* \quad \epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon''$$

Część rzeczywista przenikalności elektr.

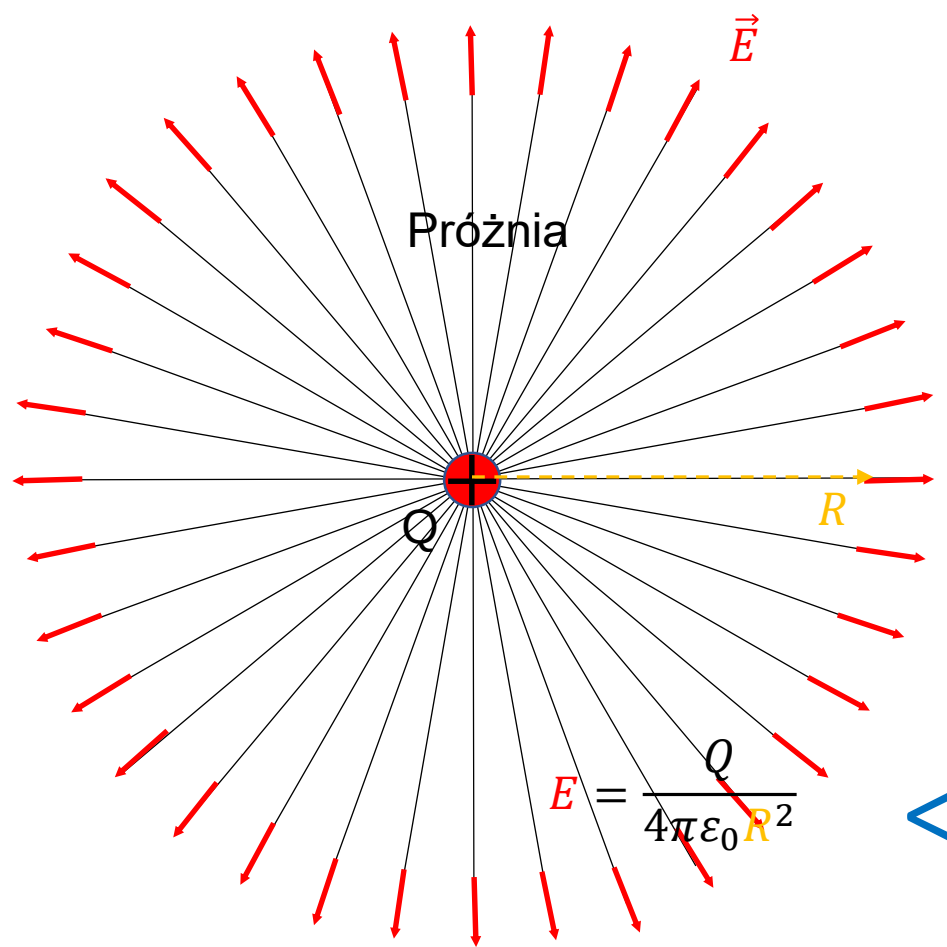
Część urojona przenikalności elektr.

Tam gdzie część urojona  $\epsilon''$  przenikalności elektrycznej jest duża to ośrodek najlepiej pochłania energie z pola elektrycznego.

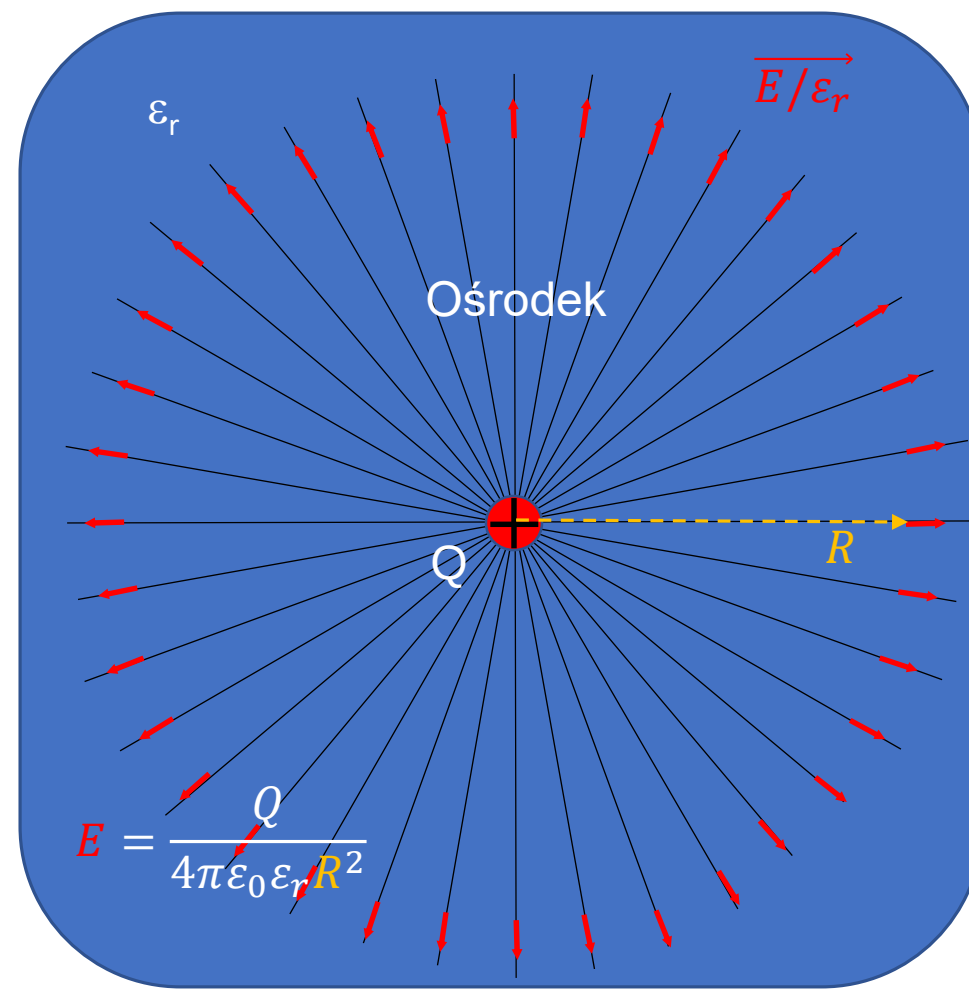
# Polaryzacja elektryczna ośrodka

Fakt, że oddziaływanie ładunków zależy od ośrodka, tłumaczy się zjawiskiem polaryzacji elektrycznej ośrodka.

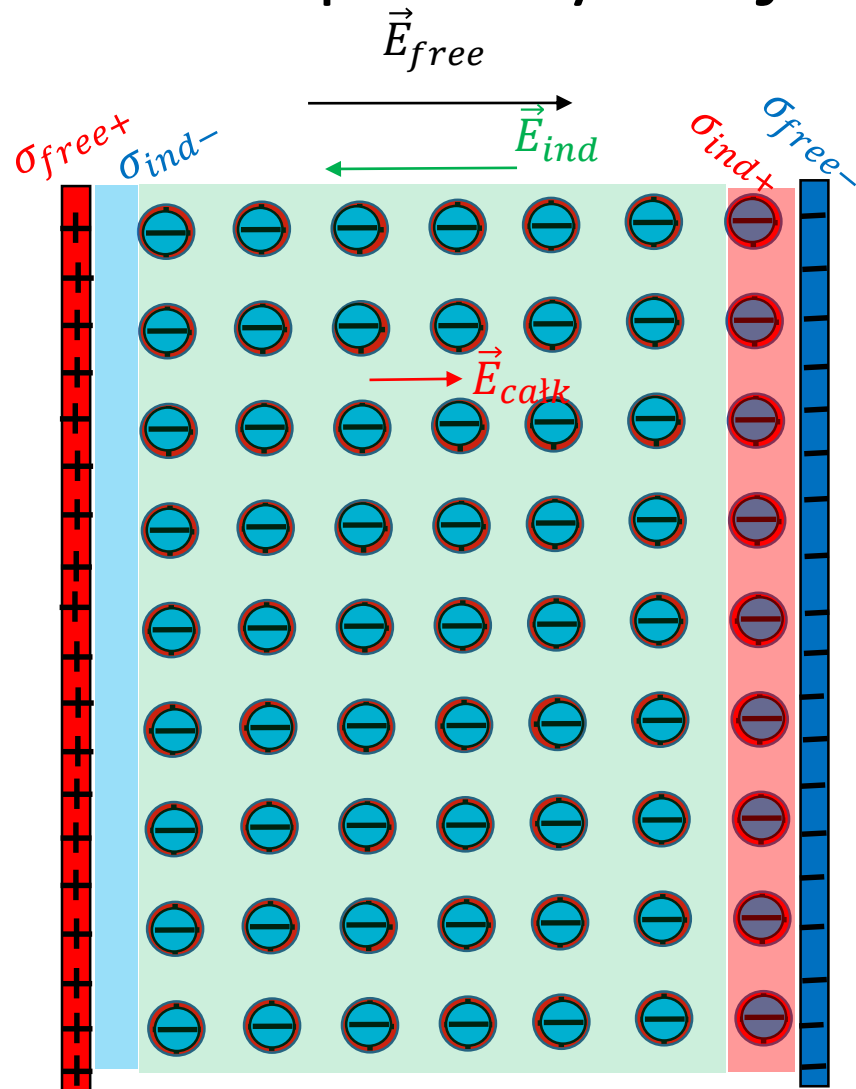
Pole elektryczne w ośrodku maleje



<



# Zjawisko polaryzacji (indukowanej)



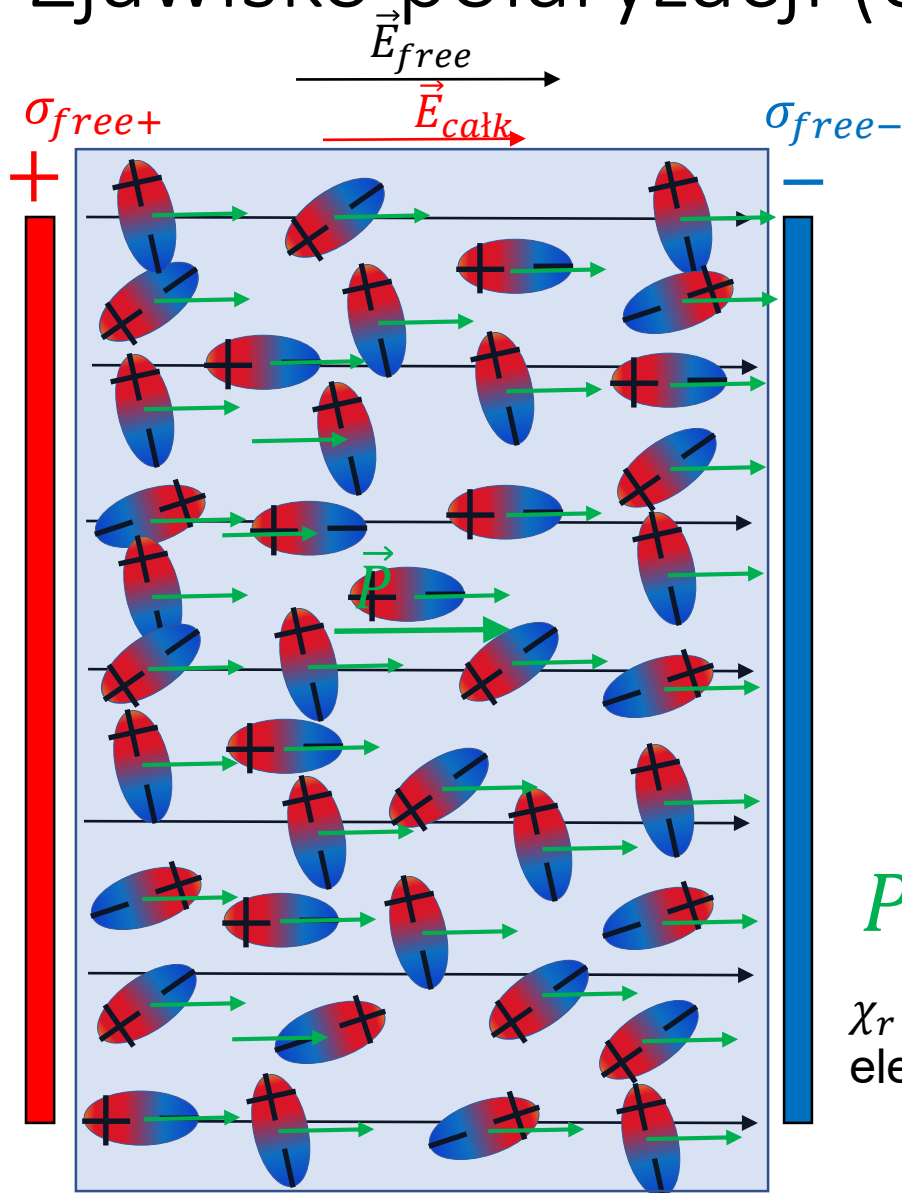
$$\vec{E}_{całk} = \vec{E}_{free} + \vec{E}_{ind}$$

$$E_{całk} = E_{free} - E_{ind} < E_{free}$$

$$E_{całk} = \frac{E_{free}}{\epsilon_r}$$

Pole całkowite  $\vec{E}_{całk}$  (wypadkowe) jest zawsze słabsze od pola wyjściowego  $\vec{E}_{free}$

# Zjawisko polaryzacji (orientacyjnej)



$$\vec{P} = \frac{1}{V} \sum_i \vec{\mu}_i$$

Pojawia się wektor polaryzacji elektrycznej  $\vec{P}$  jako wypadkowy moment dipolowy w kierunku pola zewnętrznego. Polaryzacja  $\vec{P}$  zmniejsza efektywne pole elektryczne:  $\vec{E}_{\text{całk}} < \vec{E}_{\text{free}}$ .

... w ośrodku liniowym...

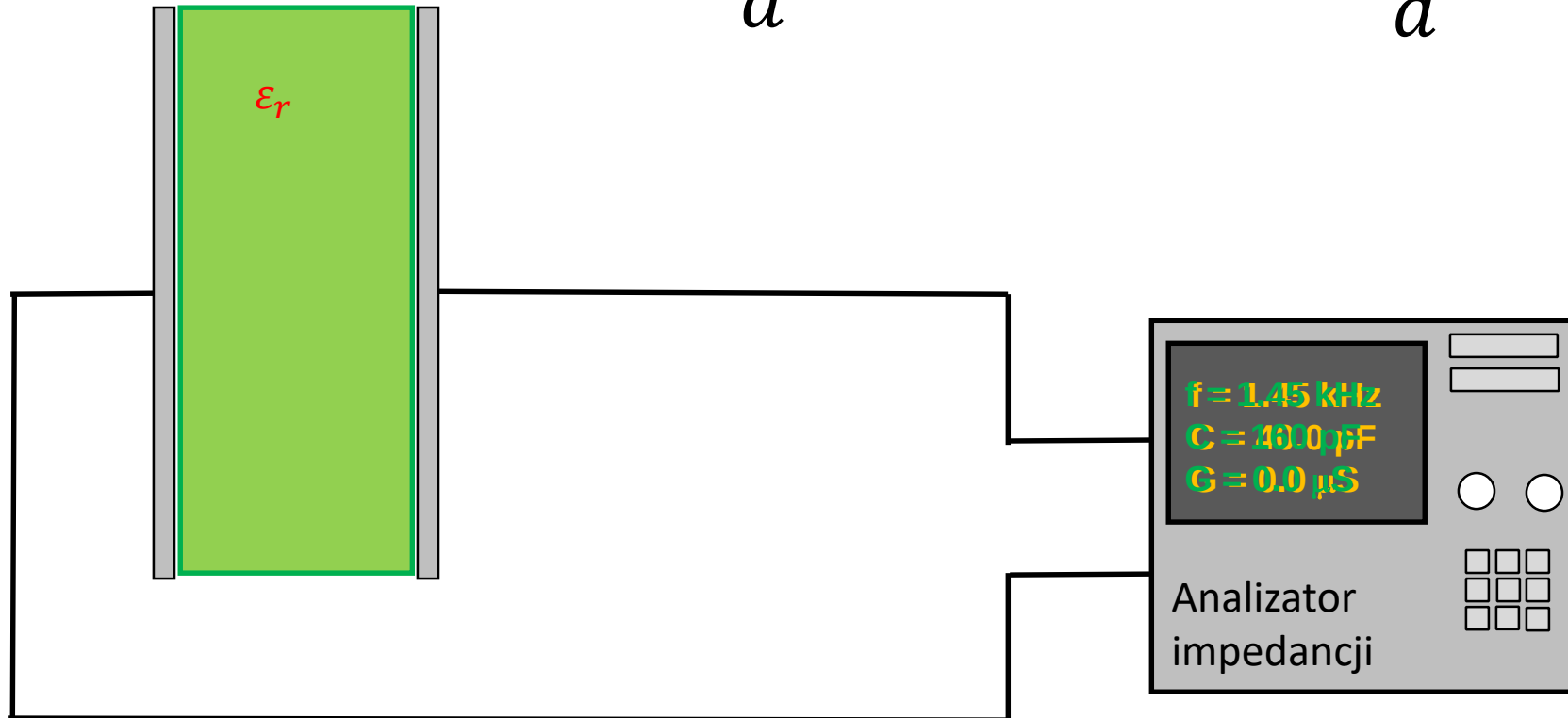
$$P = \chi_r \varepsilon_0 E \quad [P] = \left[ \frac{C}{m^2} \right]$$

$\chi_r$  jest nazywana podatnością elektryczną względną ośrodka

| nazwa                                                           | $\epsilon_r$ |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|
| próżnia                                                         | 1            |
| powietrze                                                       | 1.00059      |
| teflon                                                          | 2.1          |
| polietylen                                                      | 2.25         |
| papier                                                          | 3.85         |
| SiO <sub>2</sub>                                                | 3.9          |
| pyrex (szkło)                                                   | 4.7          |
| guma                                                            | 7            |
| diamant                                                         | 5.5-10       |
| grafit                                                          | 10-15        |
| Si                                                              | 11.7         |
| CH <sub>3</sub> OH                                              | 30           |
| H <sub>2</sub> O                                                | 80.1         |
| TiO <sub>2</sub>                                                | 86-173       |
| BaTiO <sub>3</sub>                                              | 1250 - 10000 |
| Pb[Zr <sub>x</sub> Ti <sub>1-x</sub> ]O <sub>3</sub><br>(0≤x≤1) | 500-6000     |
| CaCu <sub>3</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub>               | >250000      |

Jak wyznaczyć przenikalność elektryczną  $\epsilon_r$  idealnego dielektryka w idealnym kondensatorze pomiarowym?

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d} \quad C = \epsilon_r C_0 = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d}$$



Przenikalność elektryczną otrzymamy dzieląc pojemności kondensatora wypełnionego dielektrykiem przez pojemność kondensatora pustego.

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_0} = \frac{160pF}{40pF} = 4$$

[https://www.youtube.com/watch?v=f\\_MZNsEqyQw](https://www.youtube.com/watch?v=f_MZNsEqyQw)



Zmierzamy do kuchenki mikrofalowej...

# Sposoby na jakie pole elektryczne z zakresu mikrofalowego może oddziaływać z ośrodkiem

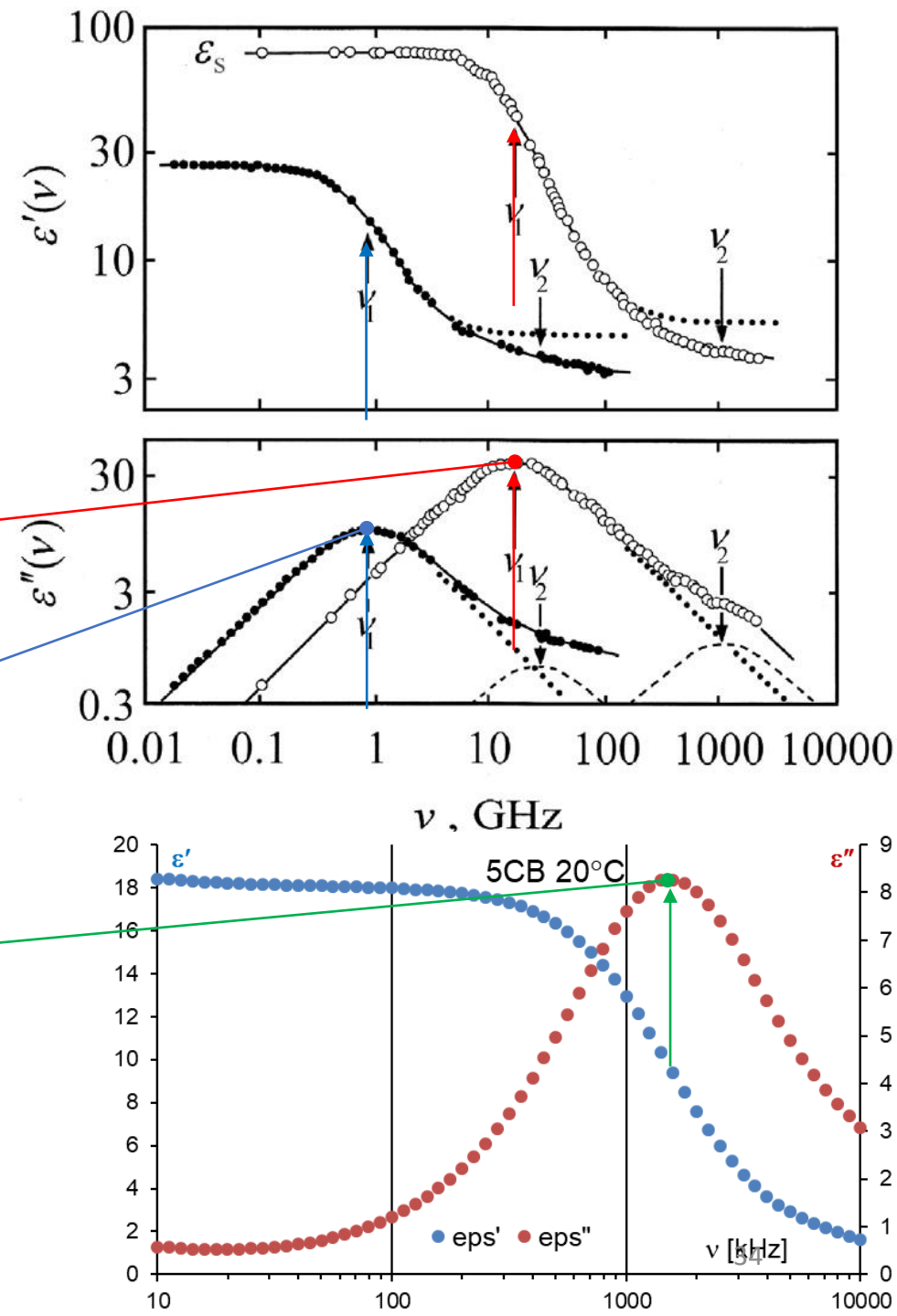
Promieniowanie mikrofalowe może być pochłaniane przez materię na dwa różne sposoby. *Pierwszym* z nich jest zjawisko strat dielektrycznych, głównie na skutek **polaryzacji orientacyjnej** (dipolowej). Jeśli w materiale są molekuly będące jednocześnie dipolami, to w wyniku działania pola elektrycznego z fali elektromagnetycznej starają się one ustawić zgodnie z kierunkiem i zwrotem tego pola. Pole elektryczne przekazuje dipolom energię, która jest następnie rozpraszana w materiale w postaci ciepła.

*Drugi* mechanizm pochłaniania promieniowania mikrofalowego opiera się na **przewodnictwie jonowym**. Gdy w materiale znajdują się jony, zaczynają one przemieszczać się zgodnie z kierunkiem pola elektrycznego: dodatnie w jedną, a ujemne w przeciwną stronę. Zderzając się przy tym z innymi cząsteczkami, powodują rozprzestrzenianie się energii cieplnej w materiale.

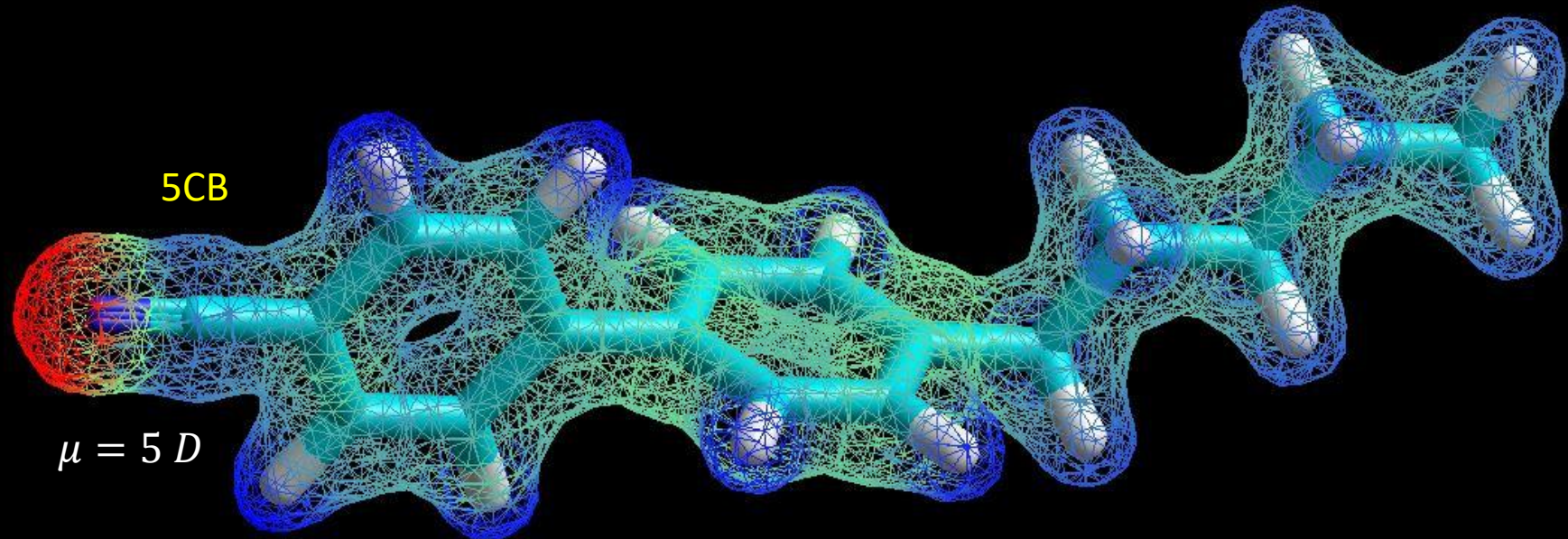
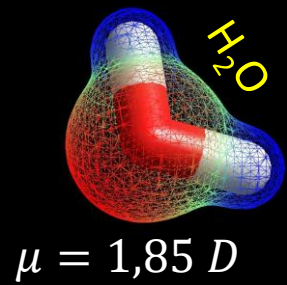
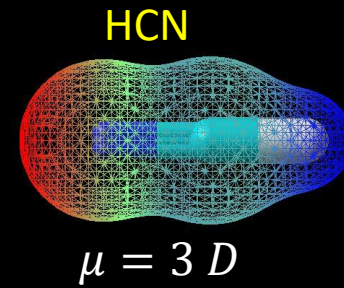
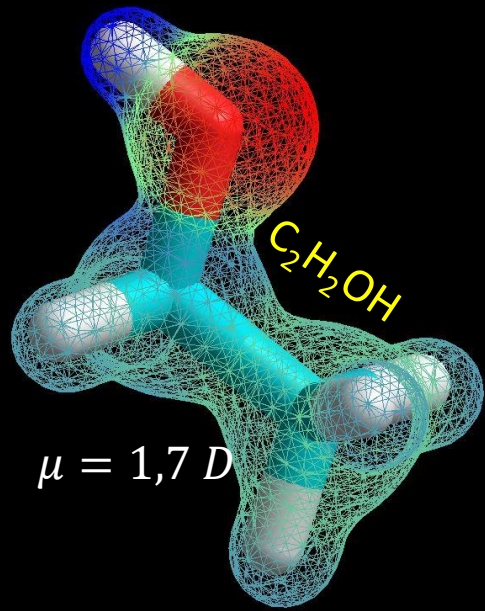
# Częstotliwość relaksacyjna różnych cząsteczek

- Częstotliwość relaksacyjna cząsteczki wody w 20°C ( $\text{H}_2\text{O}$ ) **17,04 GHz**
- Częstotliwość relaksacyjna alkoholu etylowego w 20°C ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) **0.9 GHz**
- Częstotliwość relaksacyjna cząsteczki „klasycznego” ciekłego kryształu (5CB) w 20°C (5CB) **1,59 MHz**

Duża wartość części urojonej przenikalności elektrycznej wskazuje, że substancja będzie w tym zakresie częstotliwości dobrze pochłaniać energię od fali e-m.

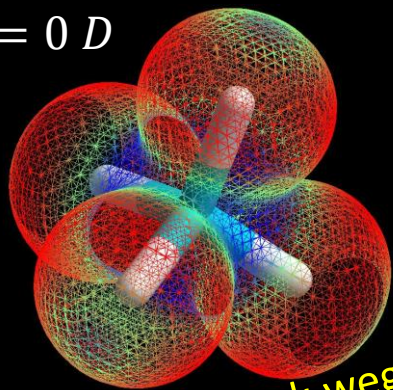


Jak te cząsteczki wyglądają?



# Jakie cząsteczki nie podlegają grzaniu mikrofalowemu?

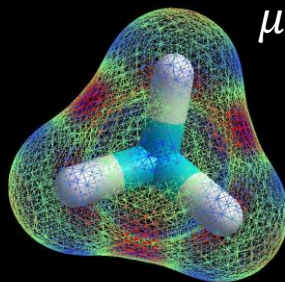
$\mu = 0 D$



czterochlorek węgla

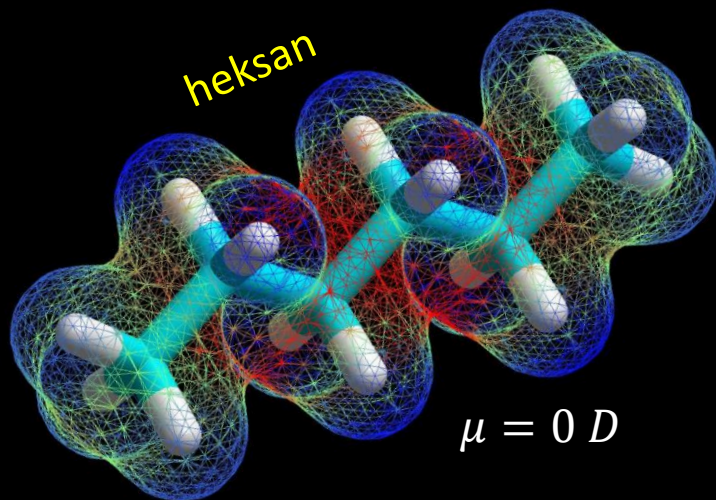
metan

$\mu = 0 D$



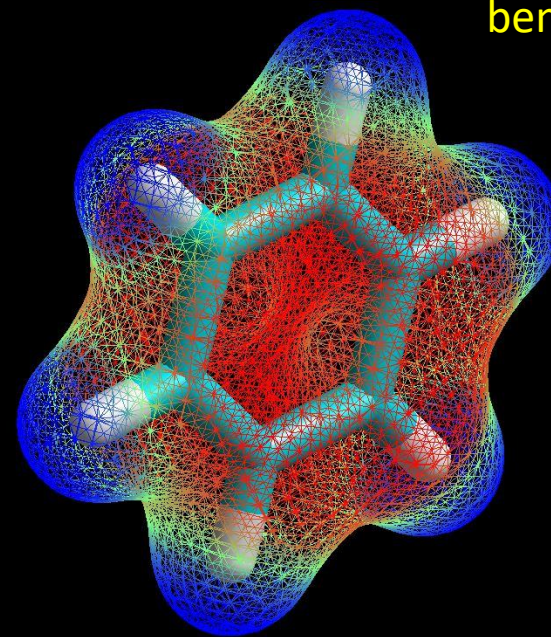
heksan

$\mu = 0 D$

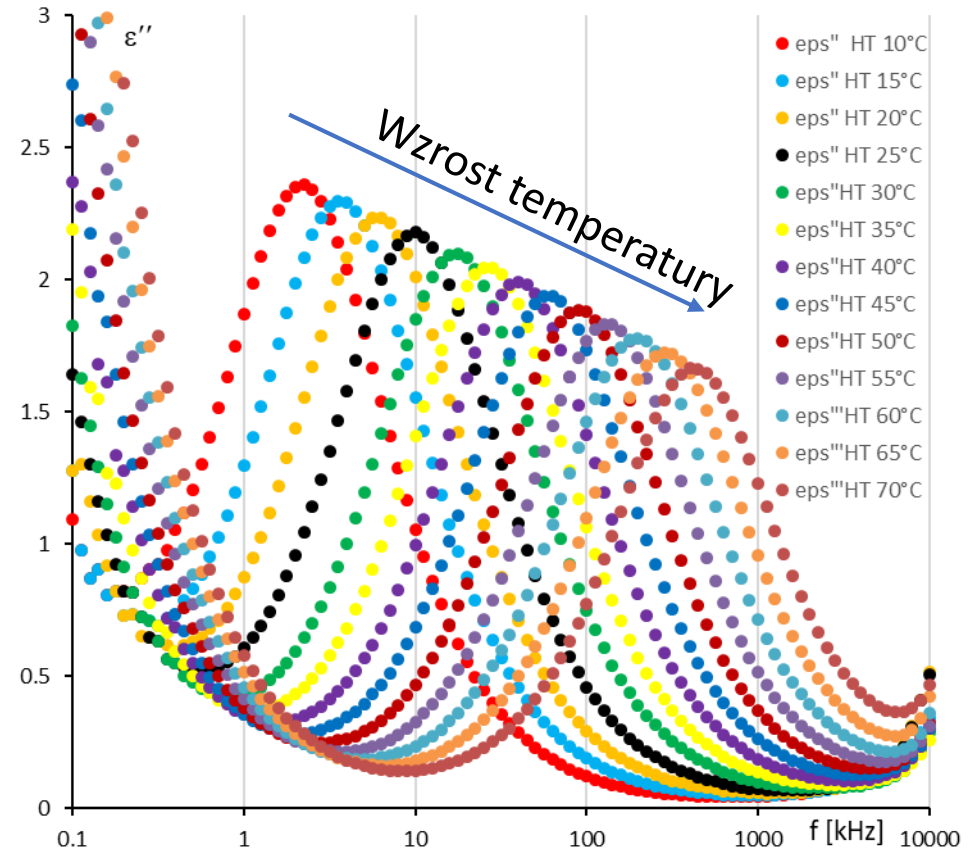
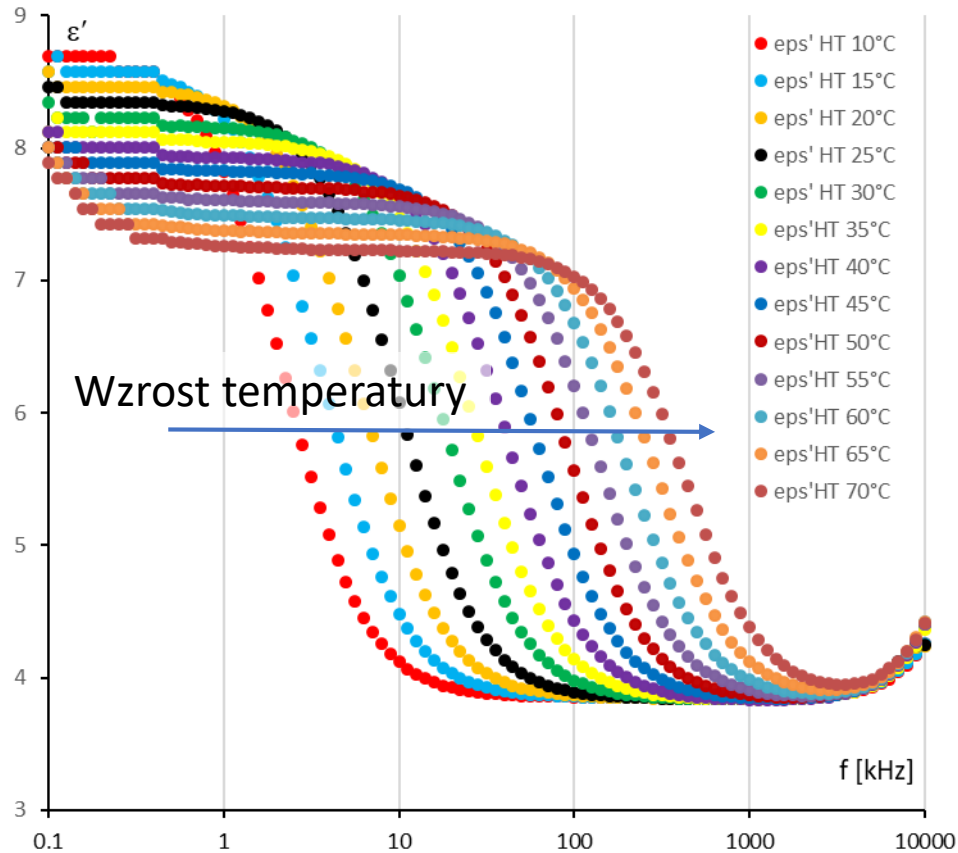


benzen

$\mu = 0 D$



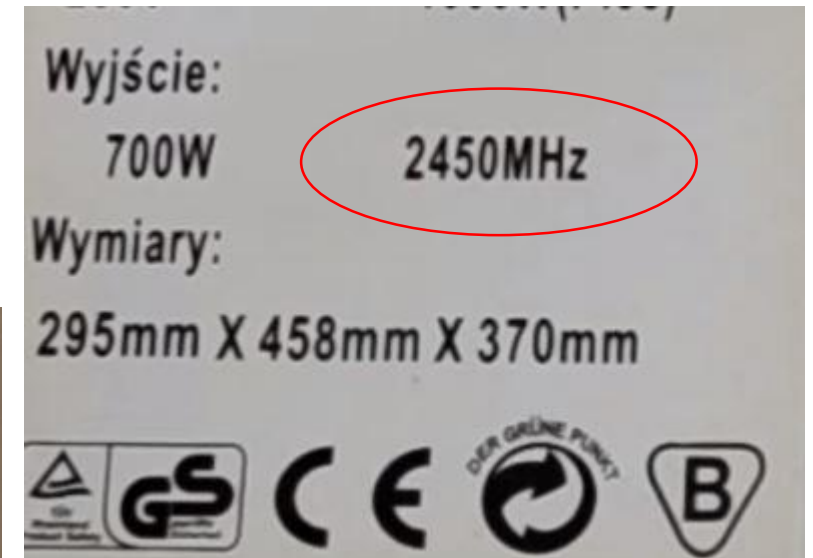
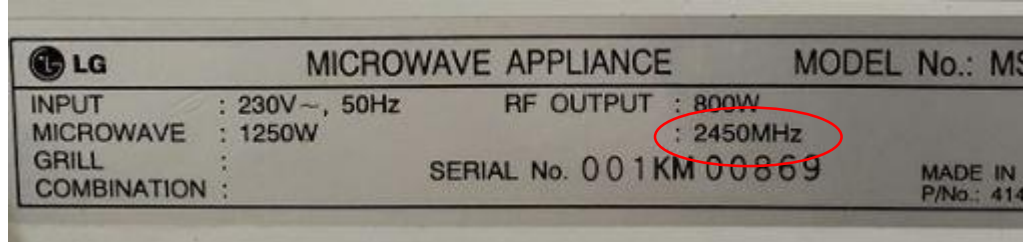
# Zależność częstotliwości relaksacyjnej od temperatury



Dla większości materiałów molekularnych im wyższa temperatura tym wyższa częstotliwość relaksacyjna

# Czy kuchenka mikrofalowa przydałaby się gdybyśmy mieli ciężką wodę?

- Częstotliwość relaksacyjna cząsteczki wody ( $\text{H}_2\text{O}$ ) **17,04 GHz**
- Częstotliwość relaksacyjna cząsteczki wody ciężkiej ( $\text{D}_2\text{O}$ ) **13,85 GHz**



**TAK!**

# Kuchenka mikrofalowa trochę historii

**RadaRange**

**Percy Lebaron Spencer** amerykański wynalazca zastosował jako pierwszy mikrofałe do podgrzewania pokarmów.

**Raytheon** amerykańska firma globalna w 1946 opatentowała „zastosowanie mikrofal do podgrzewania jedzenia”

Pierwsza kuchenka mikrofalowa komercyjna **RadaRange** w 1947 roku

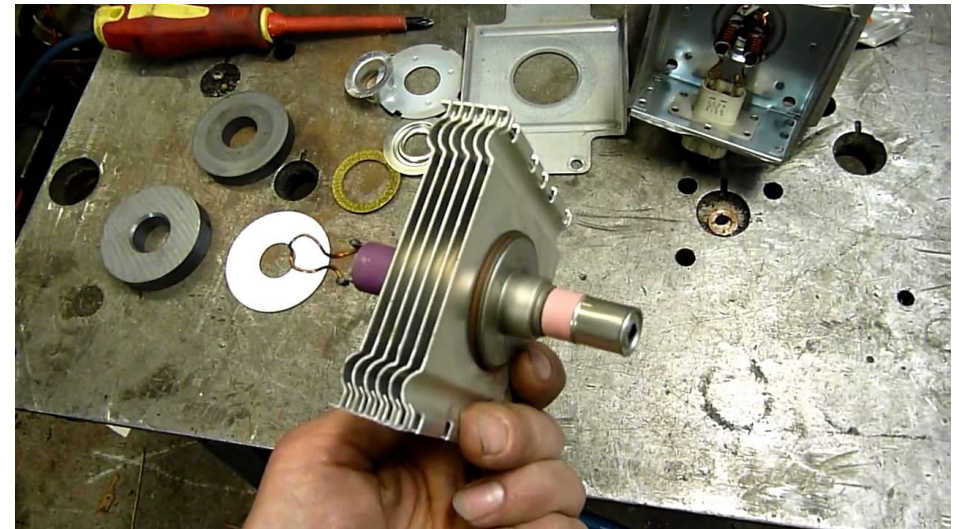
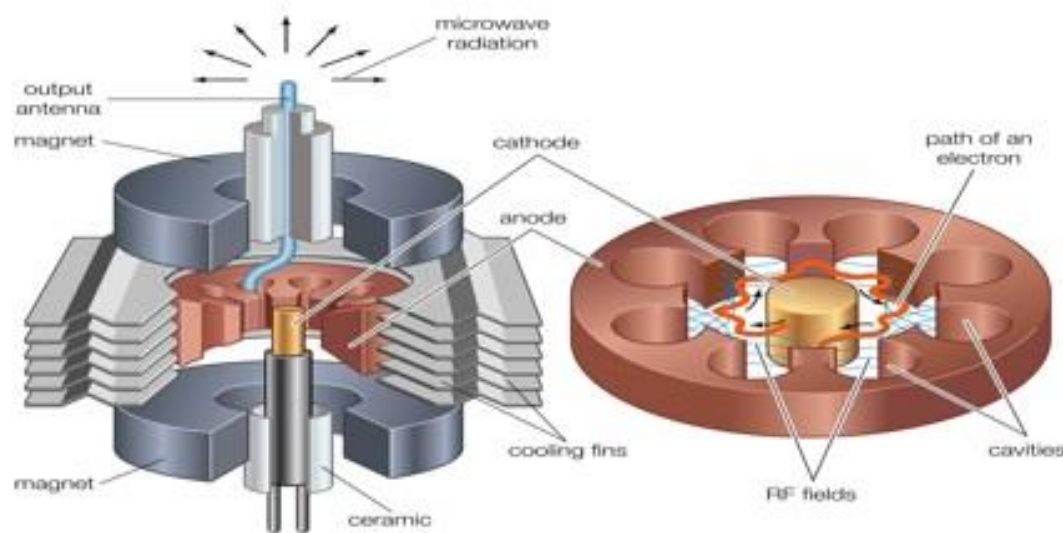
# Raytheon



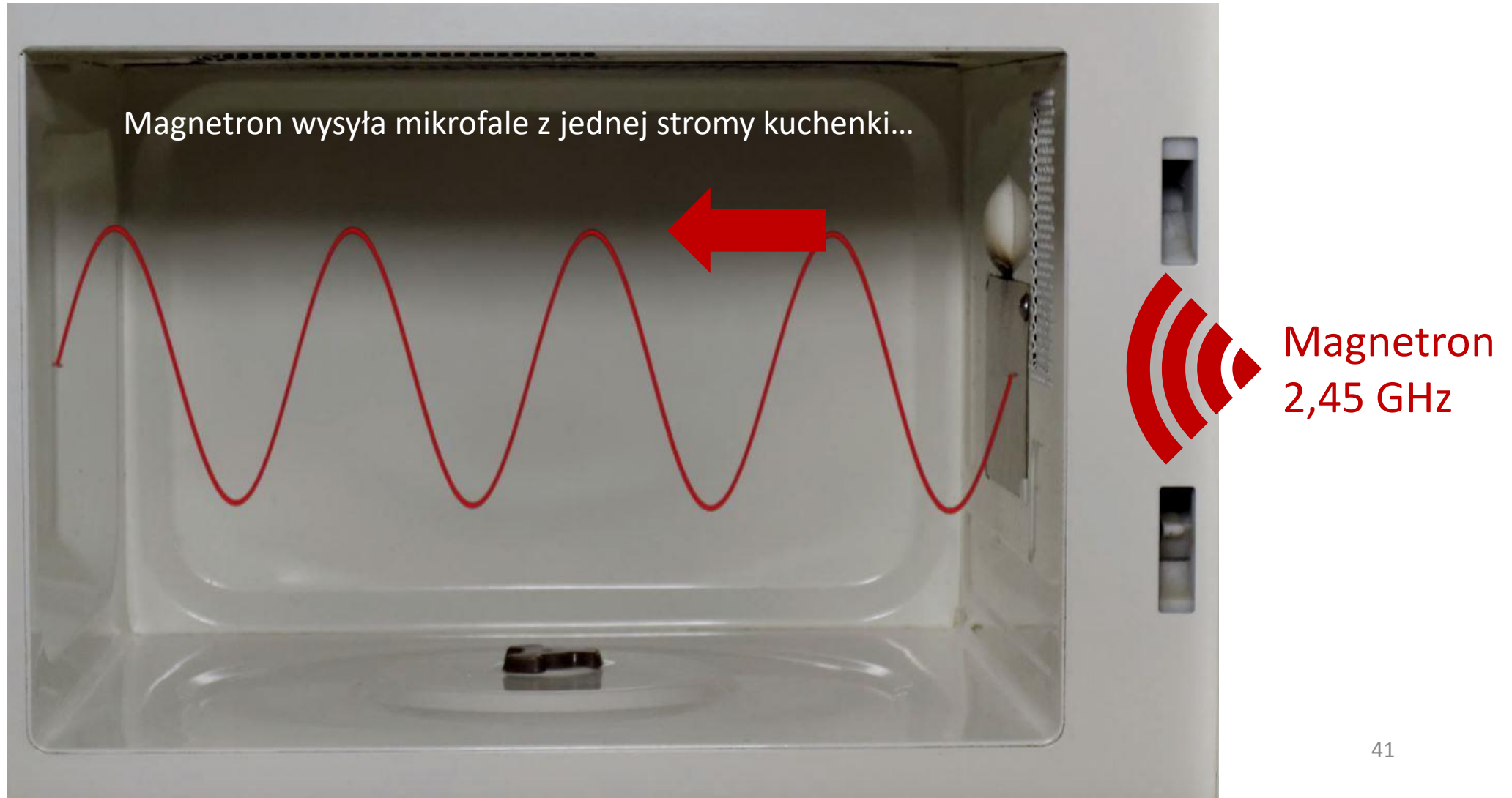
1,5 m wysokości,  
ważyła 300 kg

# Słów parę na temat magnetronu...

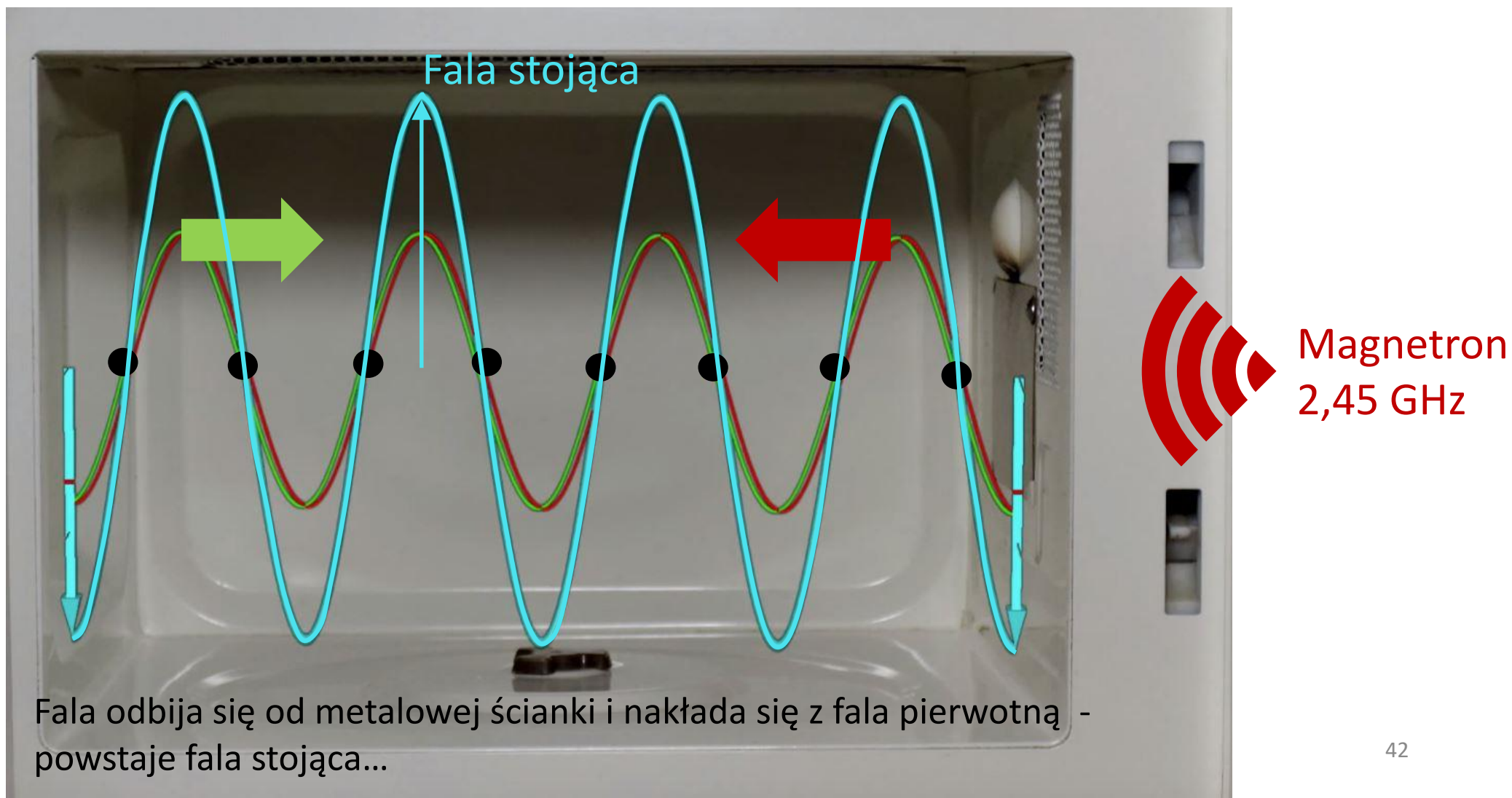
To samowzbudne urządzenie oscylacyjne oparte na zjawisku rezonansu, które przetwarza wejściową energię prądu stałego na energię elektryczną wysokiej częstotliwości. Przetwarzanie energii odbywa się w specjalnie ukształtowanej komorze anodowej umieszczonej w silnym polu magnetycznym. Elektrony emitowane przez katodę przyciągane są przez anodę, tor i ich prędkość modyfikowane są przez pole magnetyczne i kształt komory anodowej. W efekcie magnetrony emitują promieniowanie mikrofalowe. Są stosowane także w radarach jako źródła fali e-m.



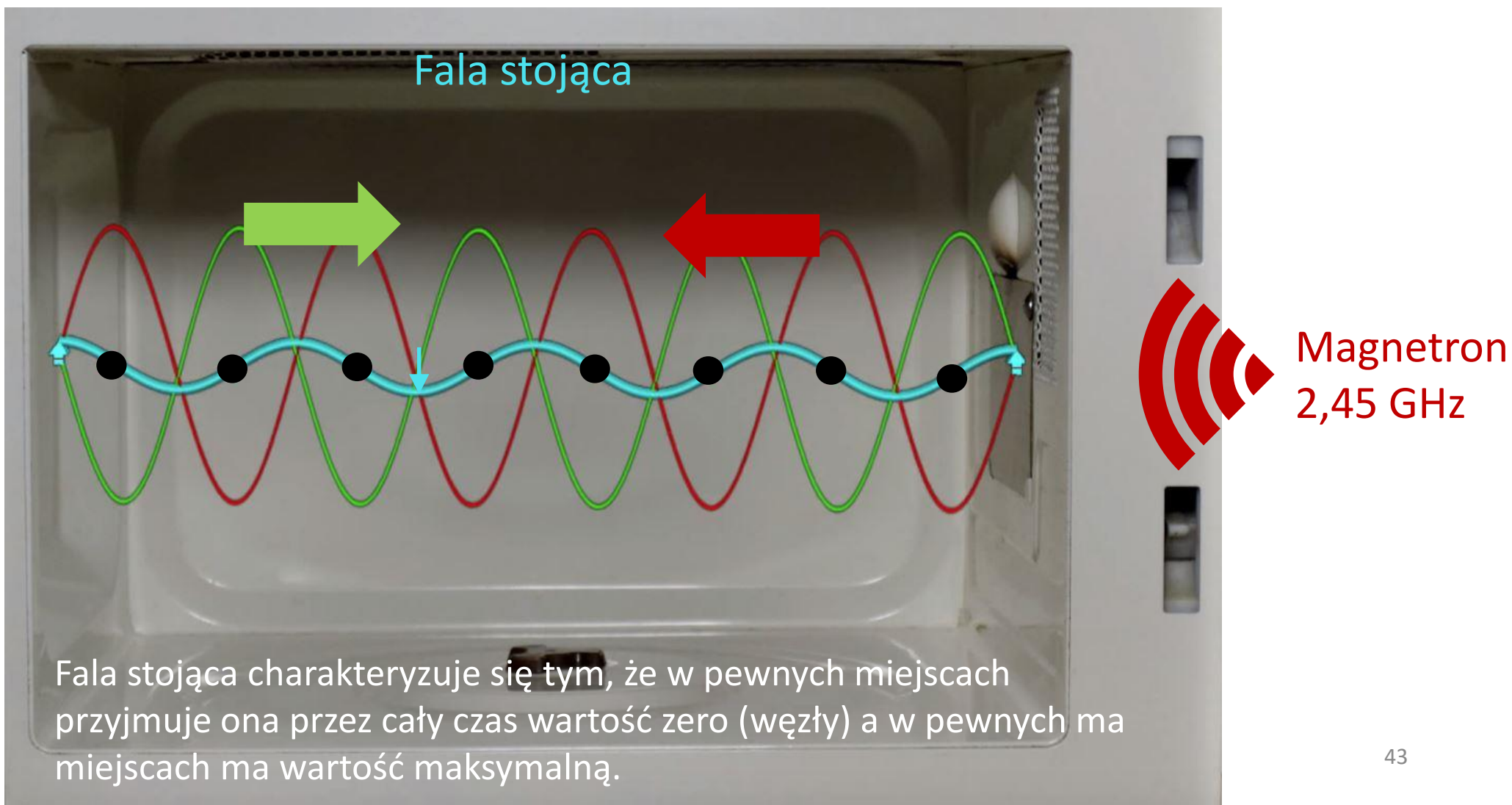
# Kuchenka mikrofalowa – zasada działania



# Kuchenka mikrofalowa – zasada działania



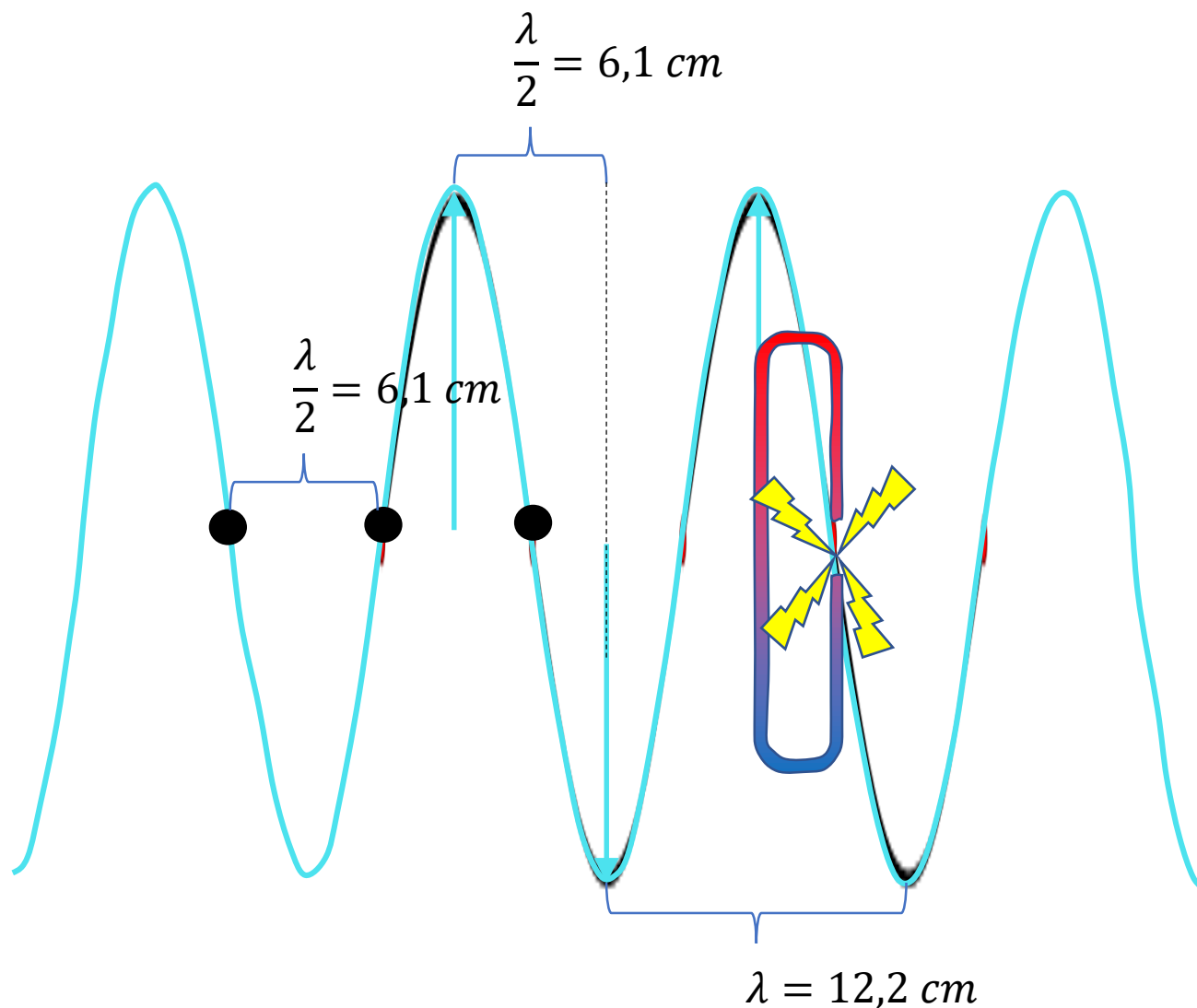
# Kuchenka mikrofalowa – zasada działania



# Odległość pomiędzy strzałkami

Długość fali elektromagnetycznej o częstotliwości 2,45 GHz jest równa  $\lambda = 12,2 \text{ cm}$ .

Odległość pomiędzy strzałkami dla fali elektromagnetycznej stojącej o częstotliwości 2,45 GHz jest równa  $\lambda/2 = 6,1 \text{ cm}$ .

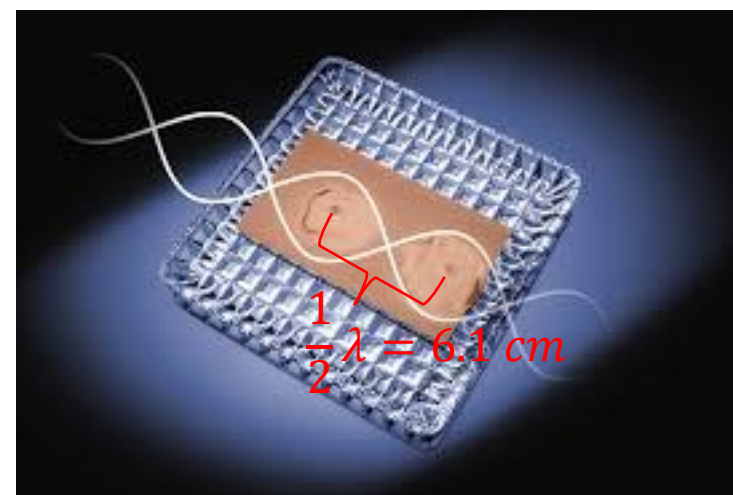


# Czy można wyznaczyć prędkość światła $c$ za pomocą mikrofalówki i czekolady?

długość fali  $\lambda$       okres fali  $T$       częstotliwość fali  $\nu$

$$\lambda = c \cdot T = c \cdot \frac{1}{\nu}$$

$$c = \lambda \cdot \nu$$



$$c = 12,2 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot 2,45 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1} = 3 \cdot 10^9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Czekolada nie może się ruszać w kuchence czyli musimy usunąć obrotowy talerz...

# W powiększeniu

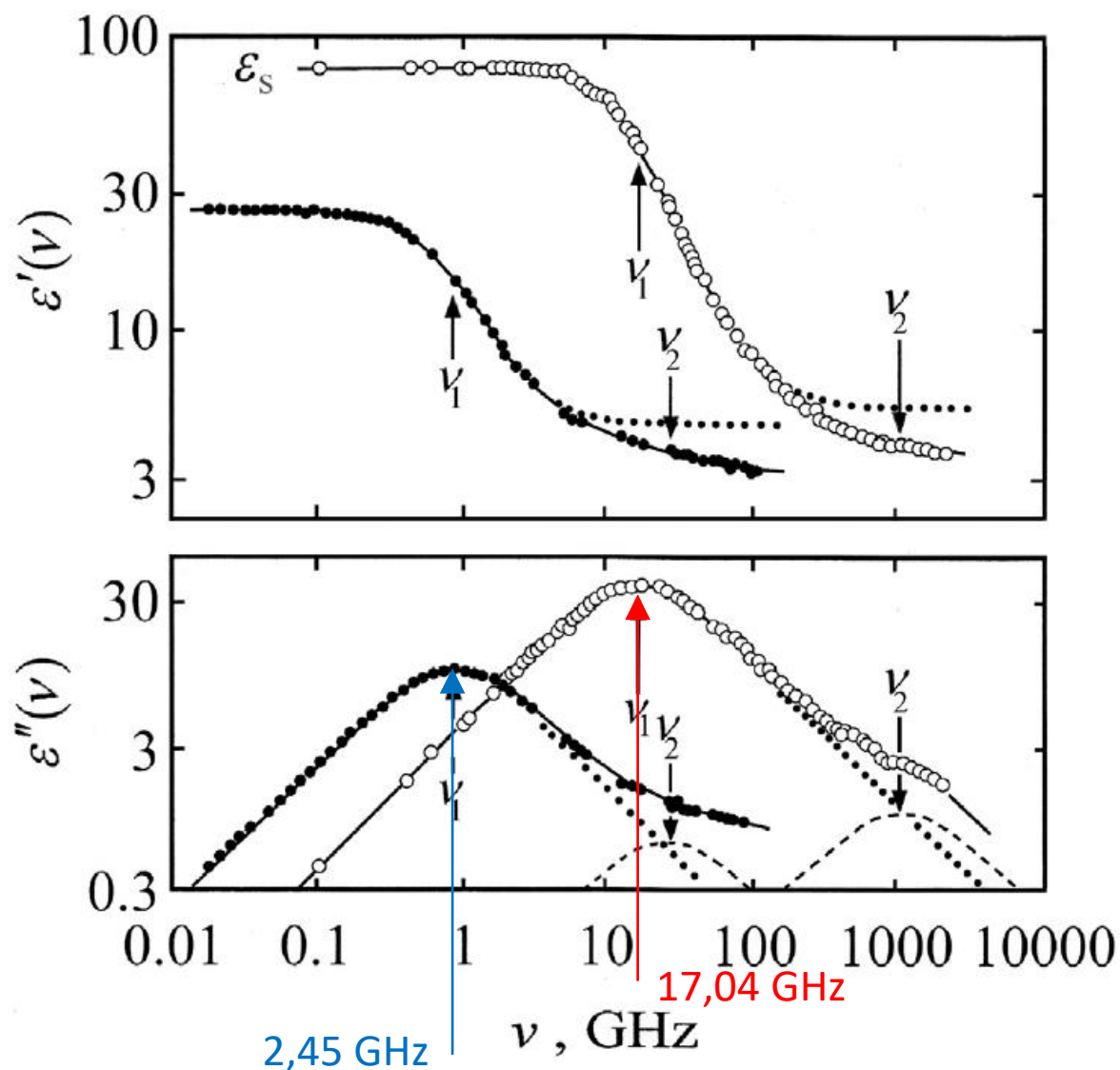
Odległość pomiędzy „gorącymi” miejscami na tabliczce czekolady



# Dlaczego taka różnica częstotliwości? (efekt naskórkowy)

Częstotliwość relaksacyjna cząsteczek wody wynosi **17,04 GHz** a częstotliwość stosowana w mikrofalówce to **2,45 GHz**.

Ścisłe dobranie częstotliwości powodowałoby, że całe promieniowanie byłoby pochłaniane mocno w bardzo cienkiej warstwie potrawy a w środku byłaby ona surowa...



# Pochłanianie wiązki promieniowania w materii (prawo Lamberta)



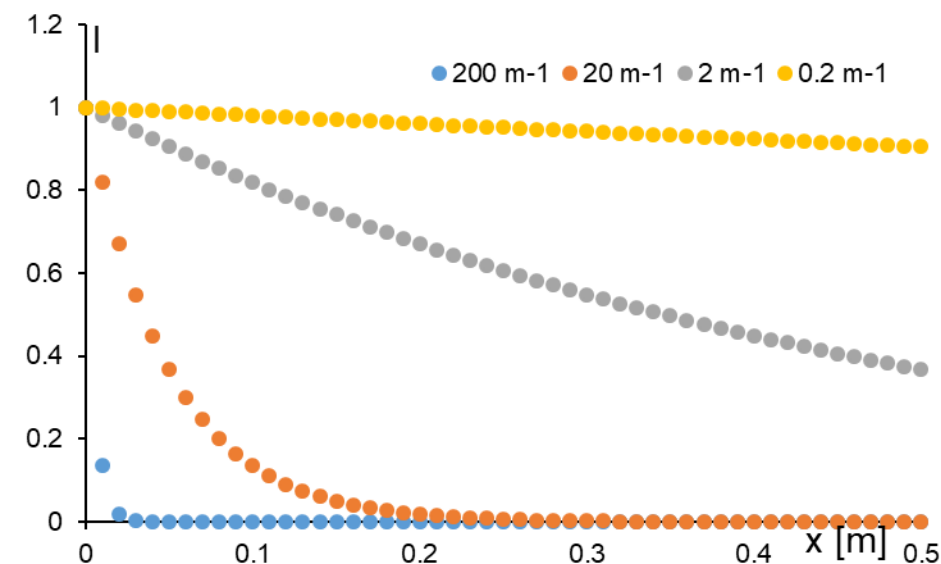
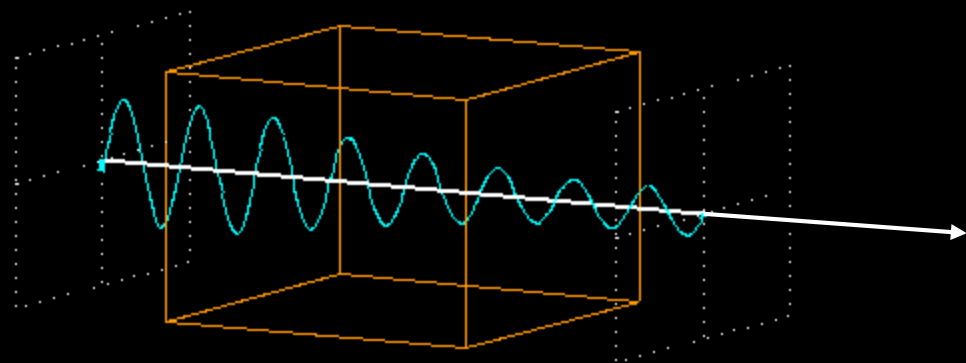
Każdy materiał pochłania promieniowanie – jeden lepiej drugi gorzej. W mikrofalówce materiał musi pochłaniać energię dobrze ale... bez przesady. Ilościowo pochłanianie opisuje prawo Lamberta.

Współczynnik pochłaniania  $\alpha$  często zależy od długości fal.

Dokładnie dla częstotliwości relaksacyjnej wody współczynnik  $\alpha$  będzie duży i efektywnie pochłanianie zajdzie tylko w zewnętrznej warstwie potrawy (około 0.5cm).

Na wykresie przedstawiono zmienność natężenia promieniowania dla czterech różnych współczynników tłumienia  $\alpha$  :  $2 \text{ cm}^{-1}$ ,  $0.2 \text{ cm}^{-1}$ ,  $0.02 \text{ cm}^{-1}$  oraz  $0.002 \text{ cm}^{-1}$ .

$$I(x) = I_0 e^{-\alpha x}$$
$$[\alpha] = [\text{cm}^{-1}]$$



Co ma wspólnego mikrofalówka z wi-fi,  
bluetooth i telefonią komórkową?

# Częstotliwości komunikacji wi-fi

$f = 2.4 \text{ GHz}$

802.11  
802.11b  
802.11g

802.11n  
802.11ax

802.11a  
802.11ac (wave1)  
802.11ac (wave2)  
802.11g

$f = 5 \text{ GHz}$

$f = 60 \text{ GHz}$

802.11ad

802.11ay  $f = 45 - 60 \text{ GHz}$



# Częstotliwości łączności Bluetooth

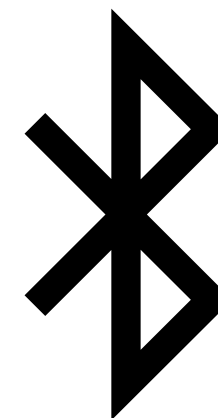


2,4 GHz

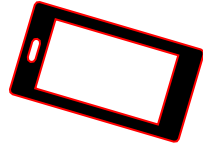


Harald Sinozęby (**H**arald **B**låtand)  
- teść Świętosławy – córki Mieszka I

H (⌘) + B (ᚱ) =  **Bluetooth**



# Zakresy częstotliwości telefonii komórkowych



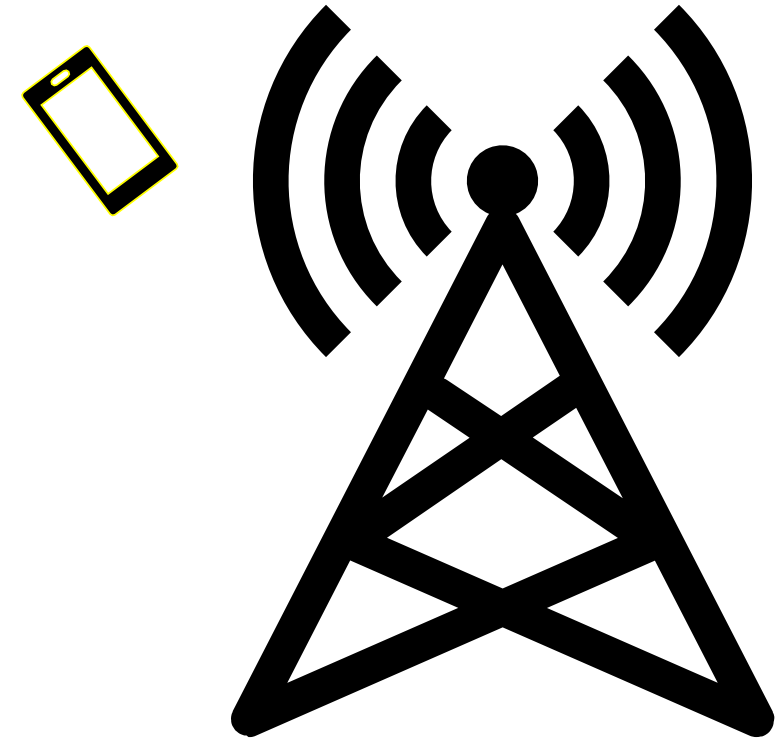
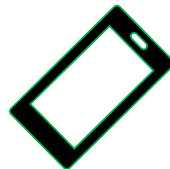
GSM 800 zakres 824 MHz – 894 MHz

GSM 900 zakres 880 MHz – 960 MHz

GSM 1800 zakres 1.710 GHz – 1.880 GHz

GSM 1900 zakres 1.850 GHz do 1.990 GHz

G5 zakres w pobliżu 6 GHz



# Bezpieczeństwo mikrofalówek i potraw

Bardzo toksyczny tlenek **berylu** w magnetronie – nikt niepowołany nie powinien rozkręcać kuchenki mikrofalowej... Ceramika ta jest zastosowana ze względu na bardzo dobre przewodnictwo termiczne

Generator wysokiego napięcia stosowanego w magnetronie –  
uwaga niebezpieczeństwo.

Kuchenska mikrofalowa na szczęście działa tylko jak są zamknięte  
drzwi – i wtedy jest bezpieczna.

|   | 1                            | 2                             |                                  |
|---|------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 1 | <b>H</b><br>Wodór<br>1.008   |                               | Atomic<br>Sym<br>Nazwa<br>Weight |
| 2 | <b>Li</b><br>Lit<br>6.94     | <b>Be</b><br>Beryl<br>9.0122  |                                  |
| 3 | <b>Na</b><br>Sód<br>22.990   | <b>Mg</b><br>Magnez<br>24.305 |                                  |
| 4 | <b>K</b><br>Potas<br>39.098  | <b>Ca</b><br>Wapń<br>40.078   | <b>Sc</b><br>Skand<br>44.956     |
| 5 | <b>Rb</b><br>Rubid<br>85.468 | <b>Sr</b><br>Stront<br>87.62  | <b>Y</b><br>Itr<br>88.906        |
| 6 | <b>Cs</b><br>Cez<br>132.91   | <b>Ba</b><br>Bar<br>137.33    |                                  |
| 7 | <b>Fr</b><br>Frans<br>(223)  | <b>Ra</b><br>Rad<br>(226)     |                                  |

Każda obróbka termiczna prowadzi do zmian w potrawach.

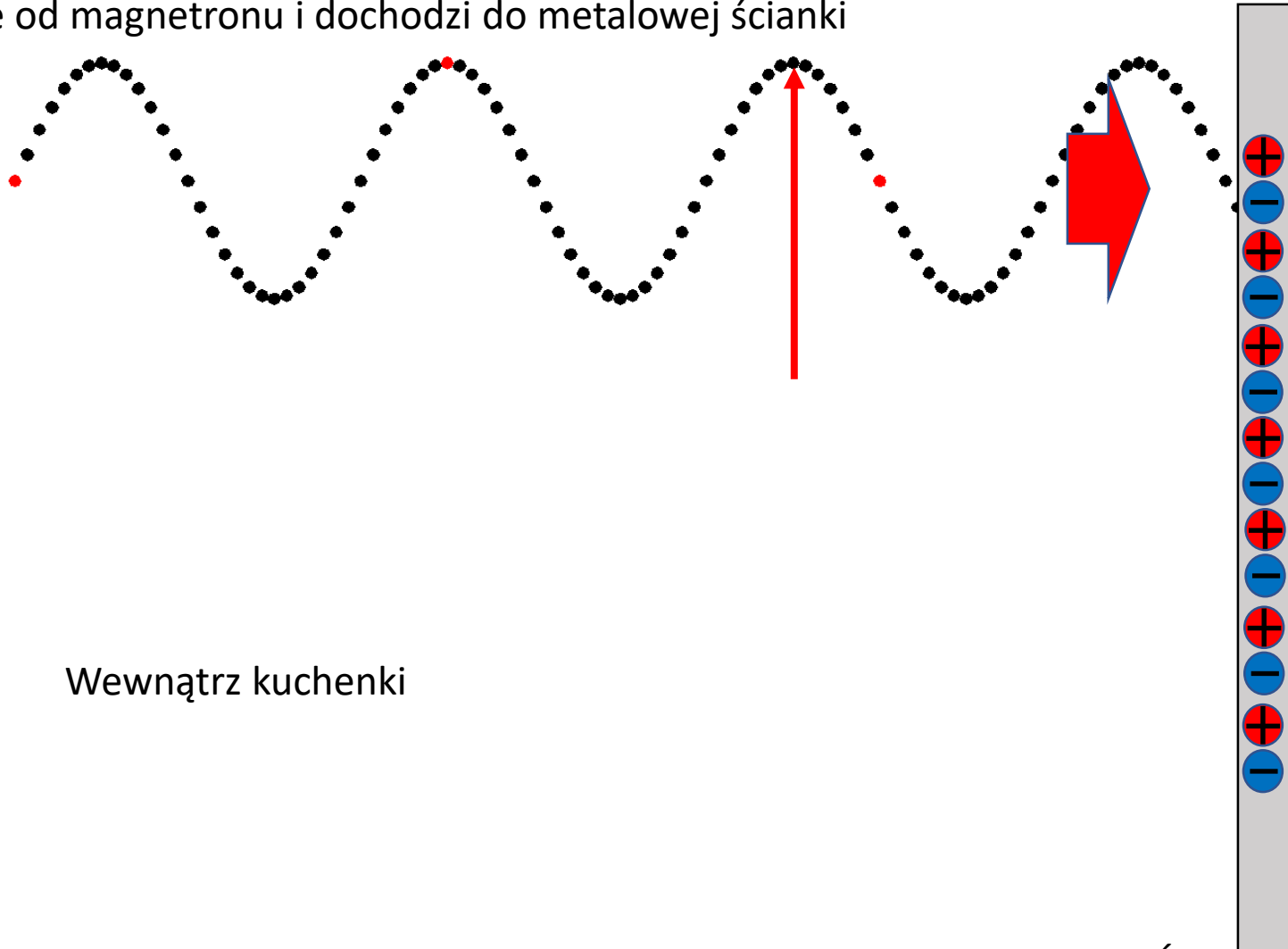
Najbardziej jaskrawym przykładem jest ścięte białko jajka.  
Następuje denaturacja białek.

W obróbce termicznej jest istotna temperatura. Żeby była  
wystarczająco wysoka ale nie za wysoka. Może wówczas  
doprowadzić do zmian niepożądanych w podgrzewanym daniu.



# Jak to się dzieje, że promieniowanie mikrofalowe jest zamknięte w mikrofalówce.

Fala biegnie od magnetronu i dochodzi do metalowej ścianki



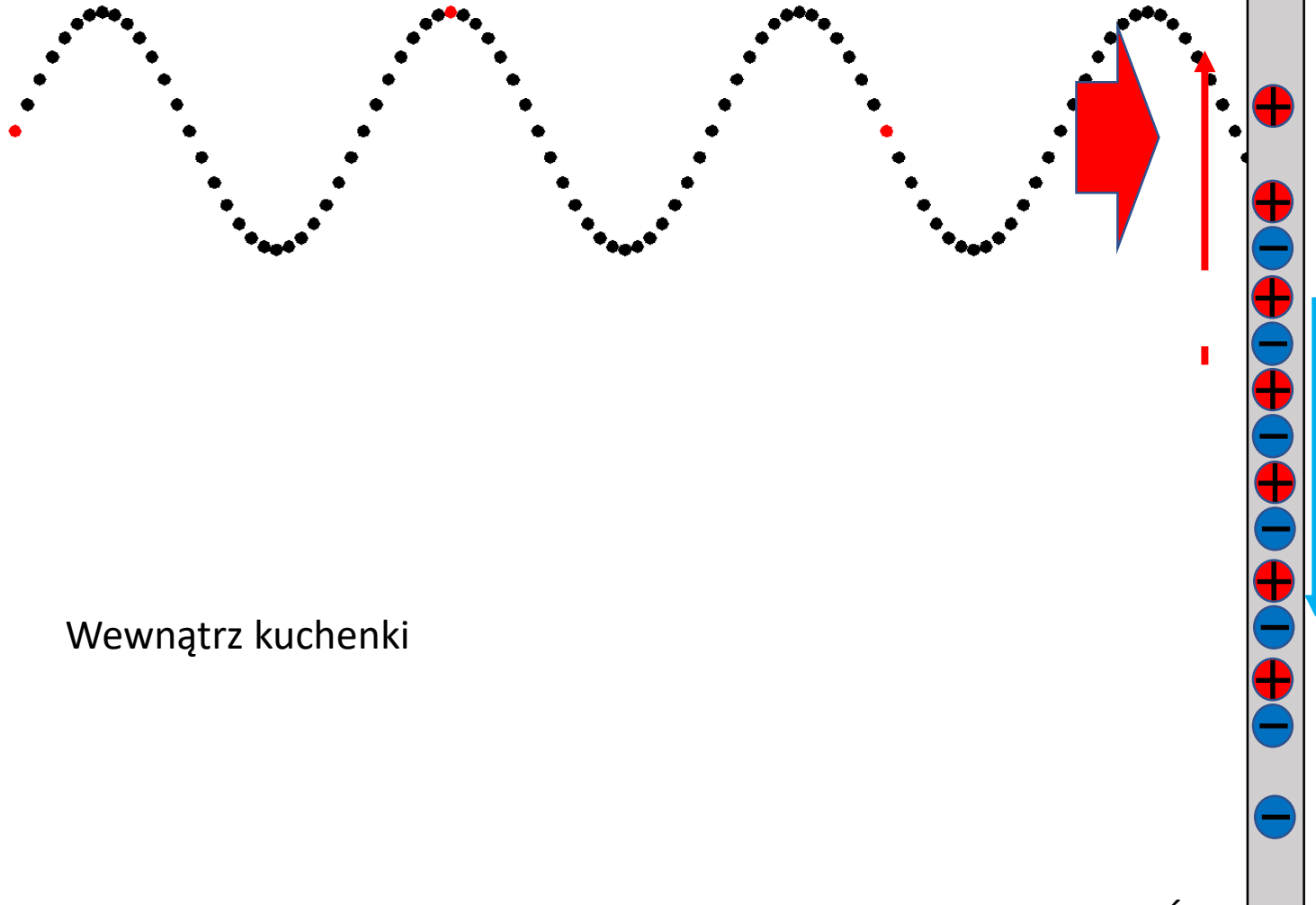
Wewnątrz kuchenki

Na zewnątrz kuchenki

Ściana metalowa

# Jak to się dzieje, że promieniowanie mikrofalowe jest zamknięte w mikrofalówce.

Fala biegnie od magnetronu i dochodzi do metalowej ścianki



Pole elektryczne fali e-m  
Indukuje taki rozkład ładunku na  
ściance, który wytworzy  
przeciwnie pole elektryczne

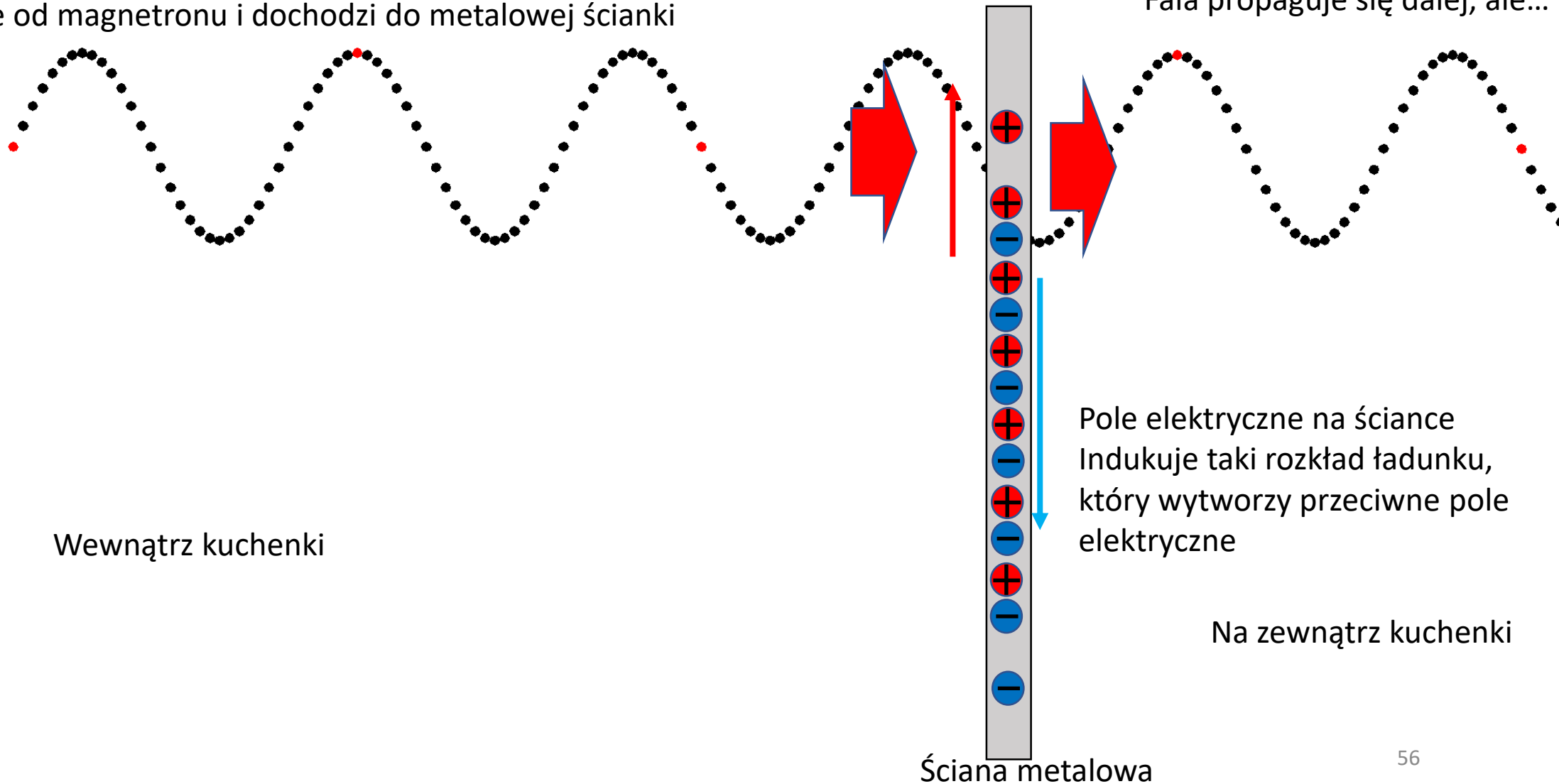
Na zewnątrz kuchenki

Ściana metalowa

# Jak to się dzieje, że promieniowanie mikrofalowe jest zamknięte w mikrofalówce.

Fala biegnie od magnetronu i dochodzi do metalowej ścianki

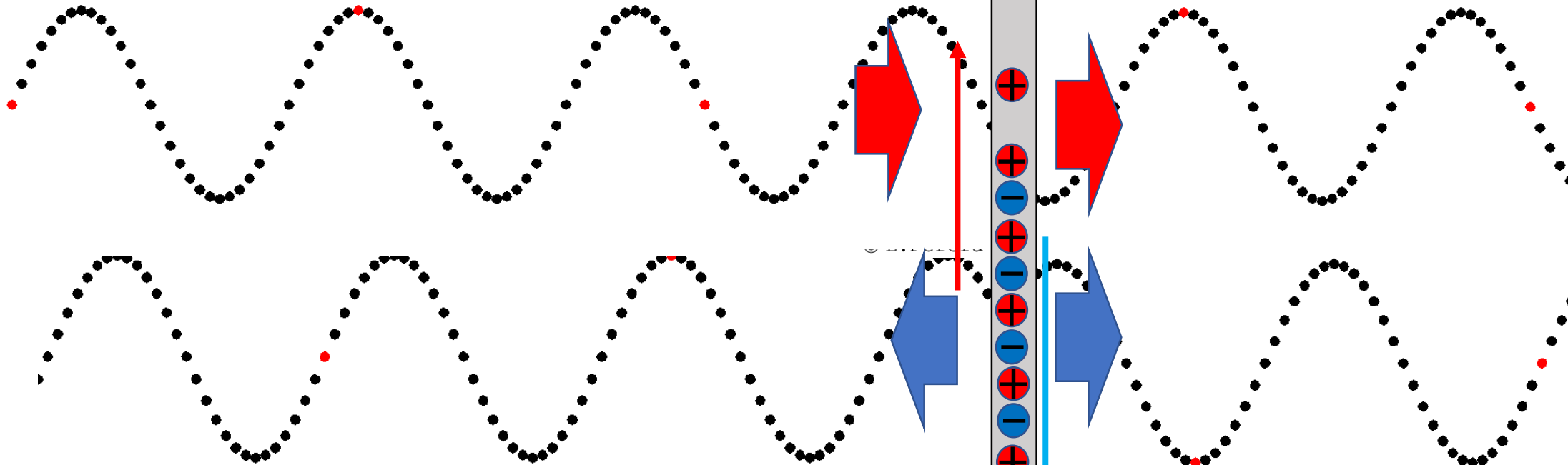
Fala propaguje się dalej, ale...



# Jak to się dzieje, że promieniowanie mikrofalowe jest zamknięte w mikrofalówce.

Fala biegnie od magnetronu i dochodzi do metalowej ścianki

Fala propaguje się dalej, ale...



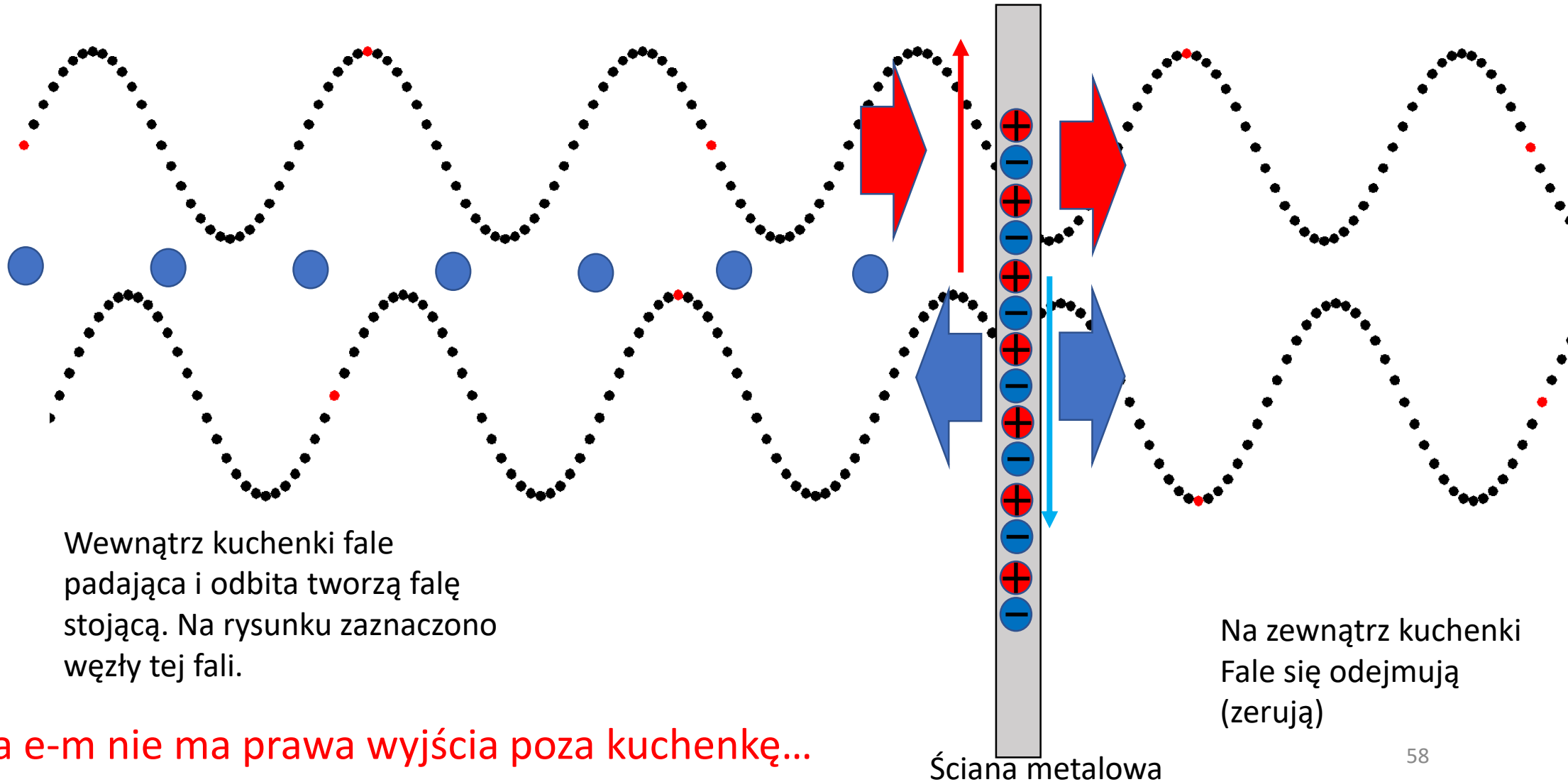
Wewnątrz kuchenki

Zmienny rozkład ładunku  
generuje w prawą i lewą stronę  
falę e-m

Na zewnątrz kuchenki

Ściana metalowa

Jak to się dzieje, że promieniowanie mikrofalowe jest zamknięte w mikrofalówce.



Wiec fala e-m nie ma prawa wyjścia poza kuchenkę...

# Bezpieczeństwo mikrofalek i potraw

Pieczenie na ognisku

Pieczenie na grillu

Smażenie na patelni

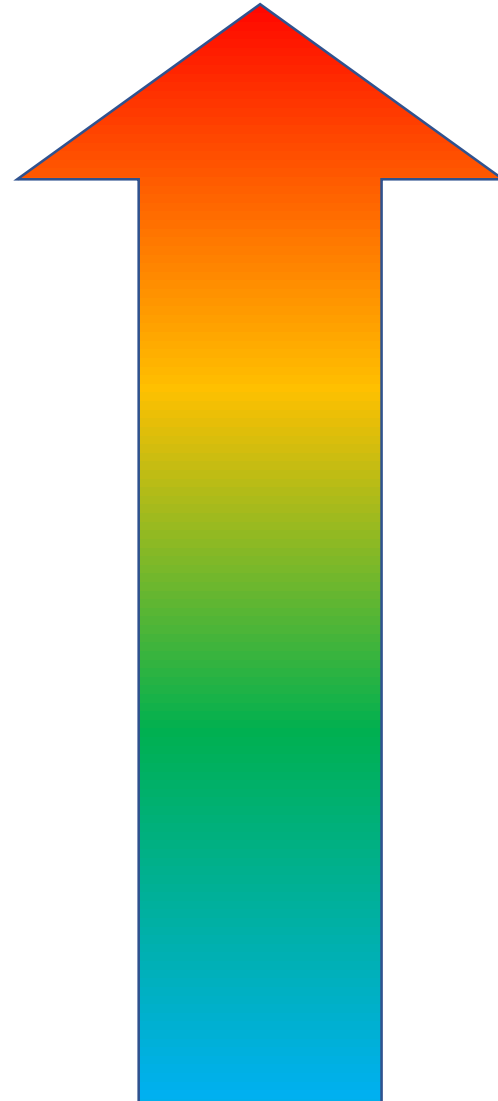
Pieczenie w piekarniku

„Gotowanie” w „mikrofali”

Gotowanie „klasyczne”

Gotowanie na parze

Większe niepożądane zmiany w potrawach



Mniejsze niepożądane zmiany w potrawach

# O czym pamiętać i dlaczego (z punktu widzenia fizyki)

Nie włączaj mikrofalówki gdy nie ma niczego w środku do podgrzania. Gdy nie ma potrawy do podgrzania grzeje się sama kuchenka – energia wypromieniowana nigdzie nie zginie – pochłaniają ją ścianki kuchenki.

Nie wkładaj do kuchenki metalowych sztućców albo naczyń ponieważ pole elektryczne będzie w nich wywoływało prądy, które mogą doprowadzić do ikrzenia.

Nie podgrzewaj niczego w metalowym naczyniu (puszce) – przez metal mikrofałe nie przechodzą – jak widziałeś na poprzednich slajdach – odbijają się od niego.

Stawiaj potrawy centralnie ponieważ gdy będą stały na obrzeżu talerza obrotowego będą się podgrzewały co pewien czas (związany z obrotem talerza).

Nie wyjmuj talerza obrotowego – potrawy muszą się obracać żeby się równomiernie grzać. Bez talerza obrotowego potrawa będzie się mocno grzać w strzałce a nie grzać się w ogóle w węźle fali stojącej.

# O czym pamiętać i dlaczego (z punktu widzenia fizyki)

W mikrofalówce nie podgrzejemy potrawy liofilizowanej – ponieważ grzanie dielektryczne wymaga obecności wody – rozpuszczalnika dipolowego.

Podgrzewając wodę pamiętaj, że w szklance dobrej jakości czysta woda może się pogrzać powyżej  $100^{\circ}\text{C}$  (przegrzać). Po lekkim wstrząśnięciu szklanką, wsypaniu cukru lub włożeniu łyżki do szklanki nastąpi gwałtowny proces wrzenia, który może doprowadzić do poparzeń.

Najlepiej odgrzewaj potrawy w naczyniach szklanych lub ceramicznych.

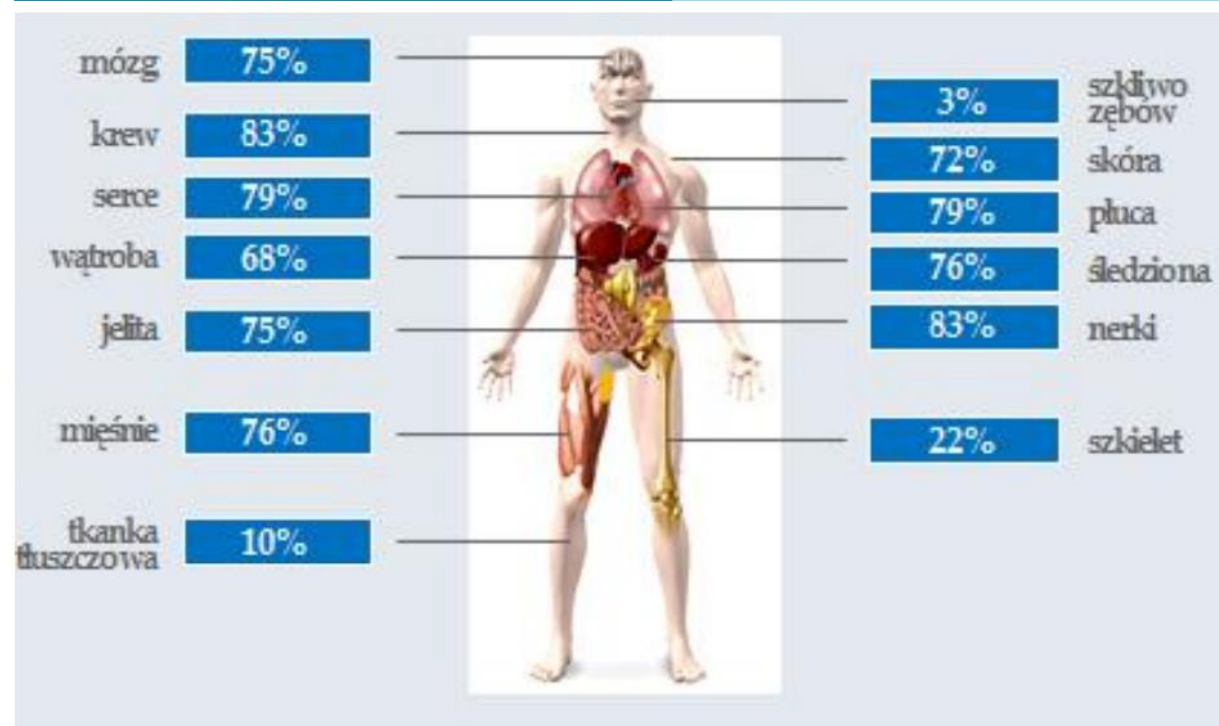
Kuchenka jest bardzo dobra do podgrzewania potraw ale nie jest optymalna do długotrwałego gotowania potraw.

# Broń mikrofalowa

Z tego powodu, że człowiek składa się w dużej części z wody to jest bardzo łatwym obiektem, który można zaatakować bronią mikrofalową.

Źr. <http://www.wodanastart.pl>

| Grupa                          | Zawartość % wody w zależności od wieku (średnio) |
|--------------------------------|--------------------------------------------------|
| 0-6 miesięcy                   | 64-84 (74)                                       |
| 6 miesięcy – 1 rok             | 57-64 (60)                                       |
| 1 rok – 12 lat                 | 52-66 (60)                                       |
| Nastolatki – chłopcy           | 52-66 (59)                                       |
| Nastolatki – dziewczęta        | 49-63 (56)                                       |
| Dorośli do 50 r.ż. - mężczyźni | 43-73 (59)                                       |
| Dorośli do 50 r.ż. - kobiety   | 41-60 (50)                                       |
| Mężczyźni po 51 r.ż.           | 47-67 (56)                                       |
| Kobiety po 51 r.ż.             | 39-57 (47)                                       |



# Active Denial System (ADS) – mikrofalowa broń nieśmiercionośna



93 GHz - czyli więcej niż w kuchence mikrofalowej

Mikrofale są absorbowane w skórze dając wrażenie parzenia.

Źr. <https://constantinereport.com/active-denial-system-tested-in-virginia/>

# Active Denial System (ADS) – mikrofalowa broń nieśmiercionośna

Mikrofale są absorbowane w skórze dając wrażenie parzenia.

Zasięg 500 m

Film z testowania systemu:

<https://www.youtube.com/watch?v=kzG4oEutPbA>



Źr. Wikipedia i Youtube

Dziękuję za uwagę