

r. akad. 2012/2013

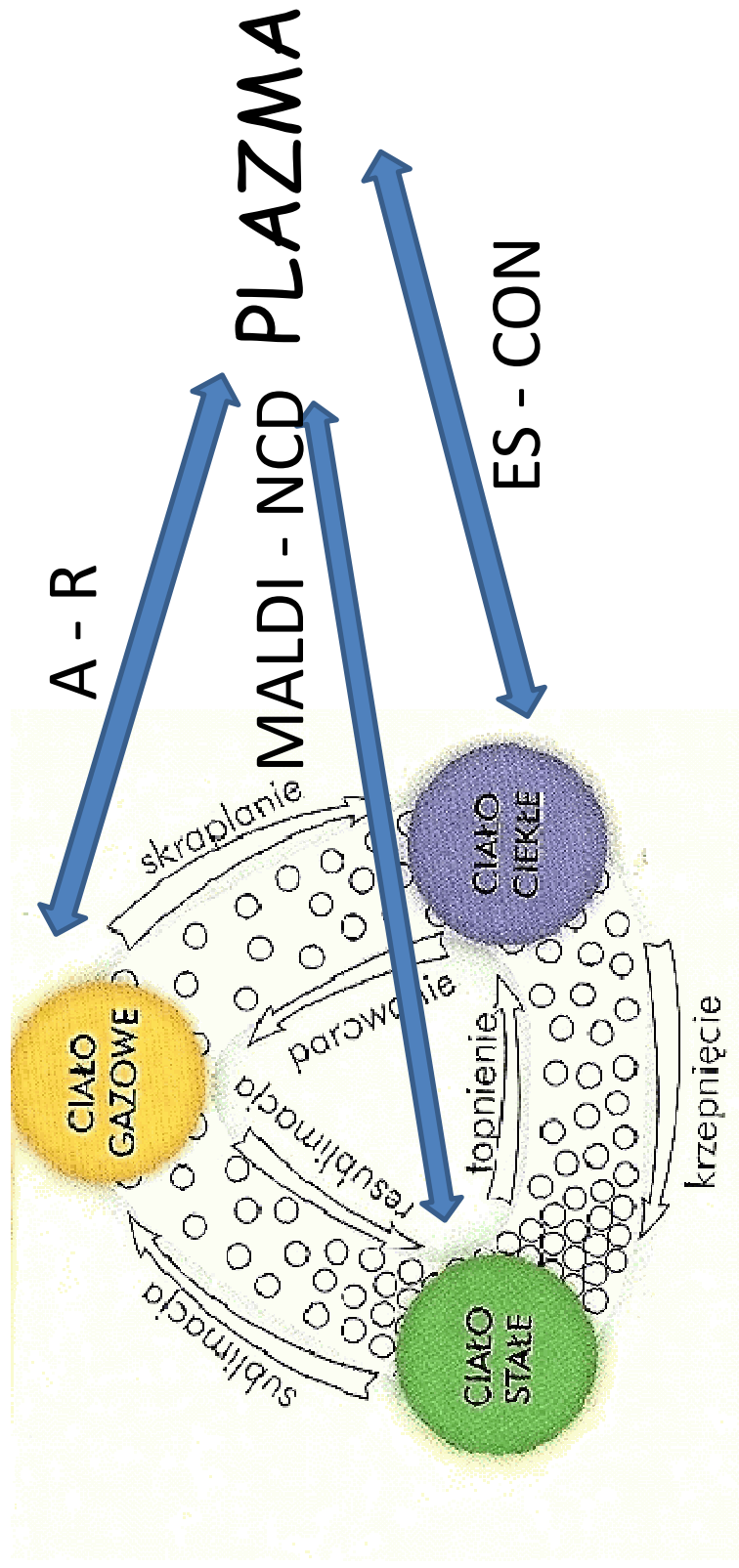
wykład XIII - XIV

Podstawy Procesów i
Konstrukcji Inżynierskich

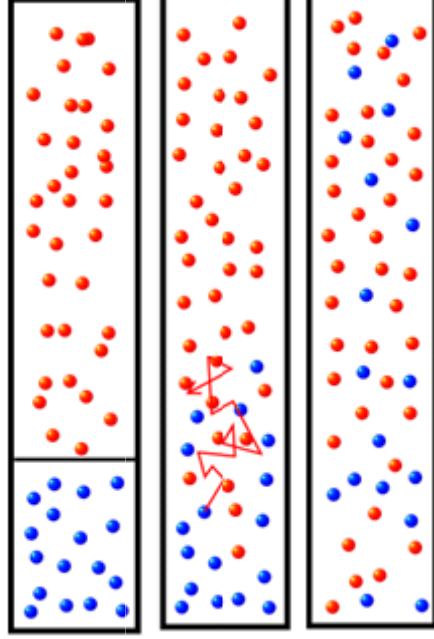
Elementy fizyki ciała stałego

Zakład Biofizyki

Stany skupienia materii

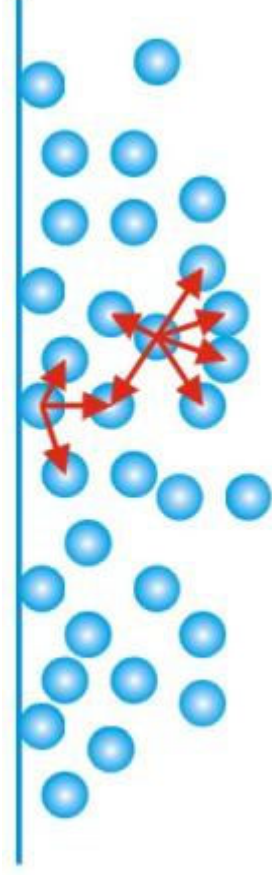


Zjawiska molekularne



DYFUZJA

$$J = -D \frac{dc}{dx}$$



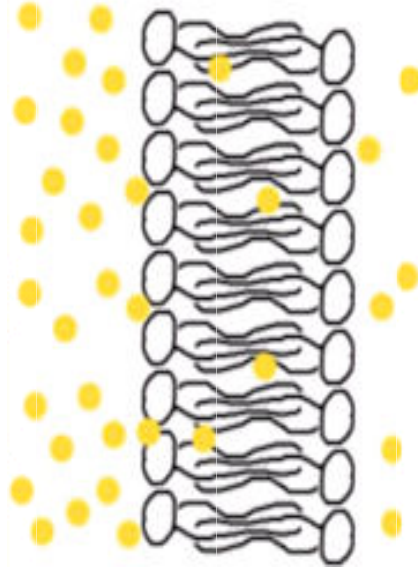
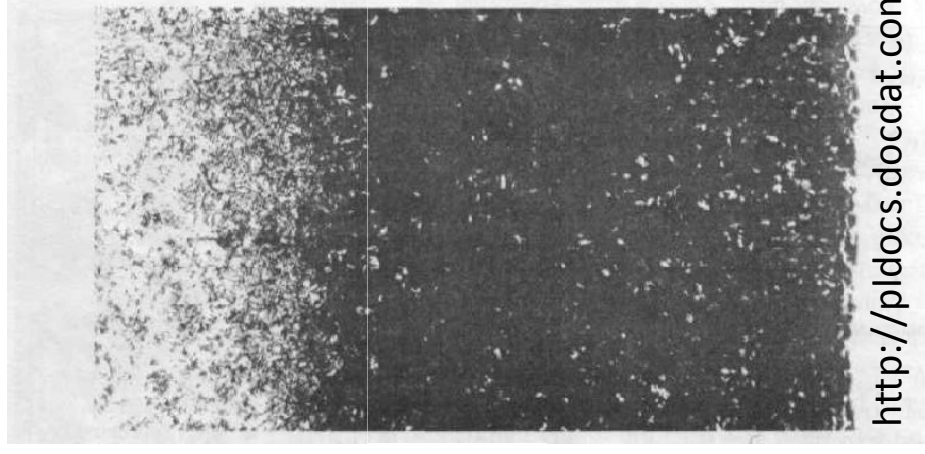
ODDZIAŁYWANIA
MIĘDZYCZĄSTECzkOWE

Siły van der Waalsa

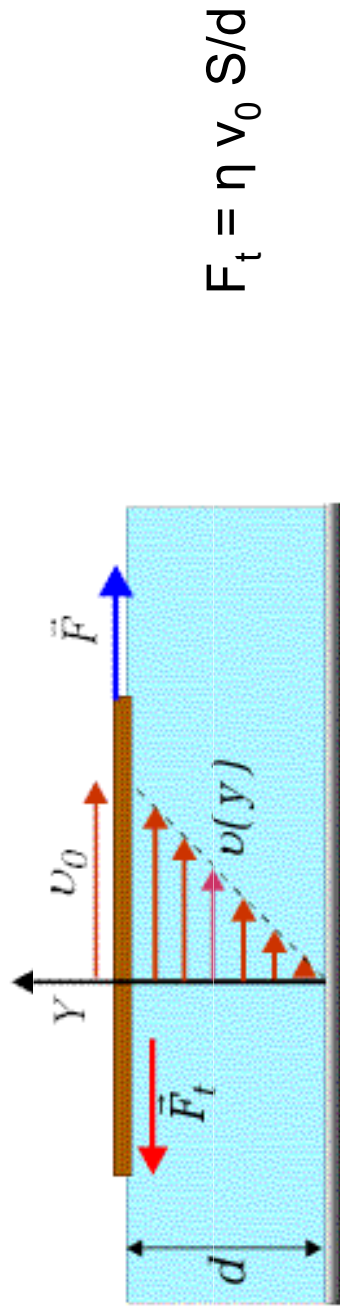
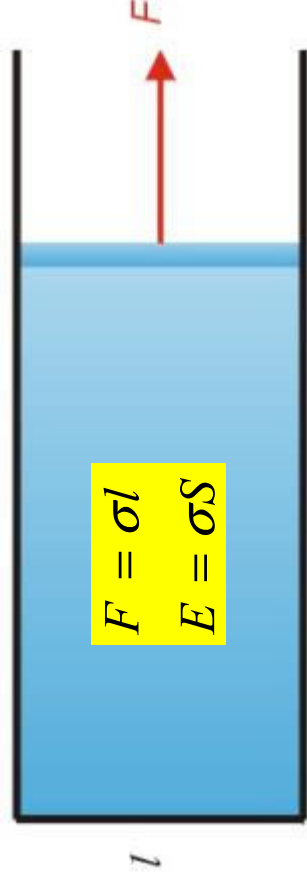
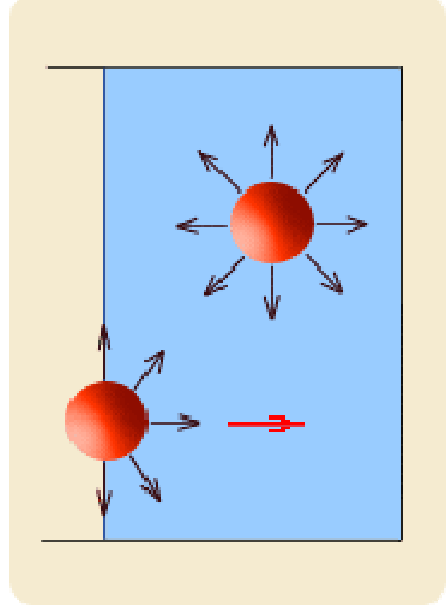
- dyspersyjne (przesunięcie elektronów)
- konformacyjne (zmiany położenia atomów)
- elektrostatyczne (dipole trwałe)
- elektrostatyczne (dipole indukowane)
- wiązania wodorowe

<http://pl.wikipedia.org>

Dyfuzja - przykłady



Oddziaływanie międzycząsteczkowe



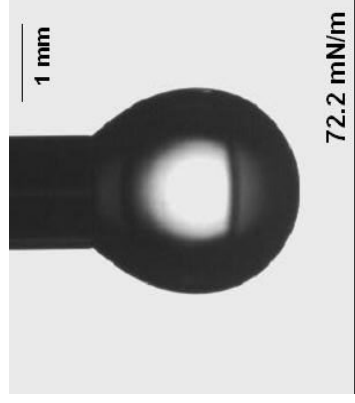
Napięcie powierzchniowe



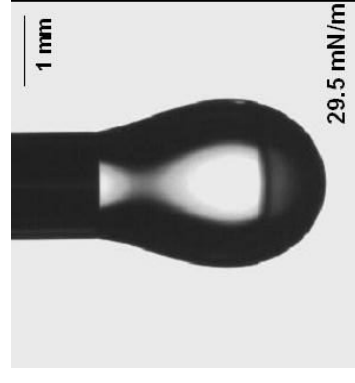
Nartnik poruszający się po wodzie



Doświadczenia związane z napięciem powierzchniowym



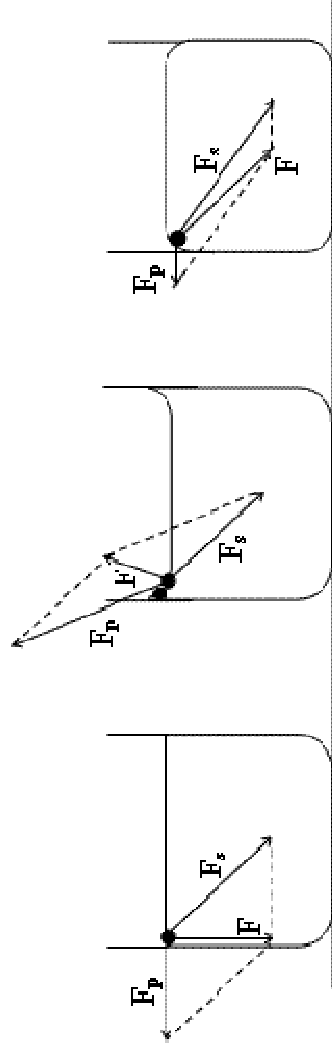
Kształt kropli wody



Kształt kropli wody z detergentem

Elementy fizyki ciała stałego

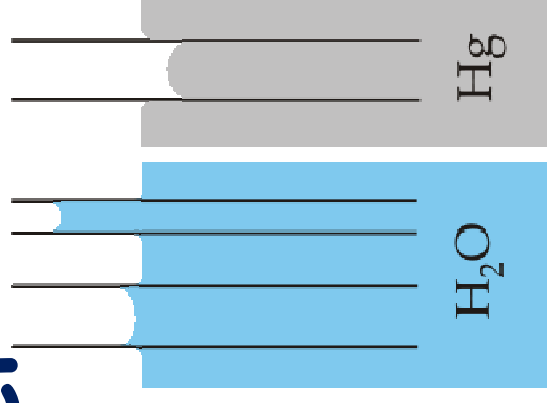
Sily przylegania i spójności



Menisk płaski

Menisk wklęsły

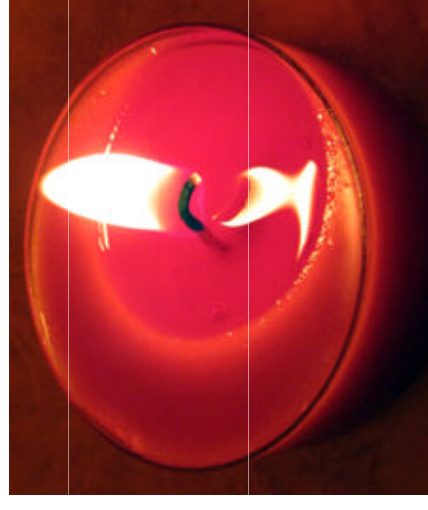
Menisk wypukły



H₂O

Hg

Zwilżalność

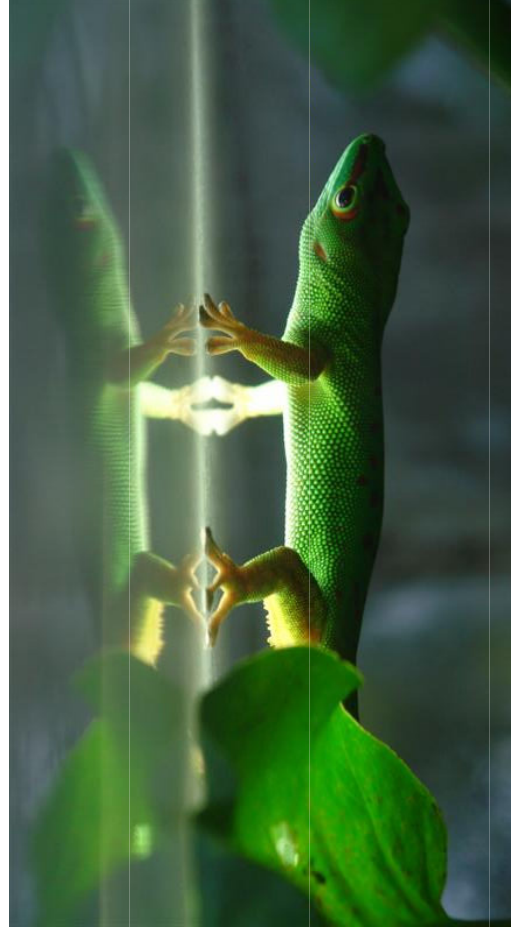
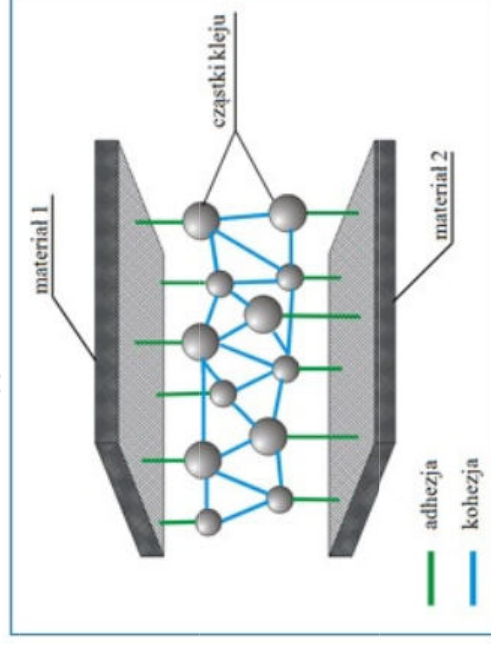


Siły przylegania - adhezja

Przykładem siły przylegania jest łączenie się kropelek wody na pajęczynie tworząc coraz to większe krople.



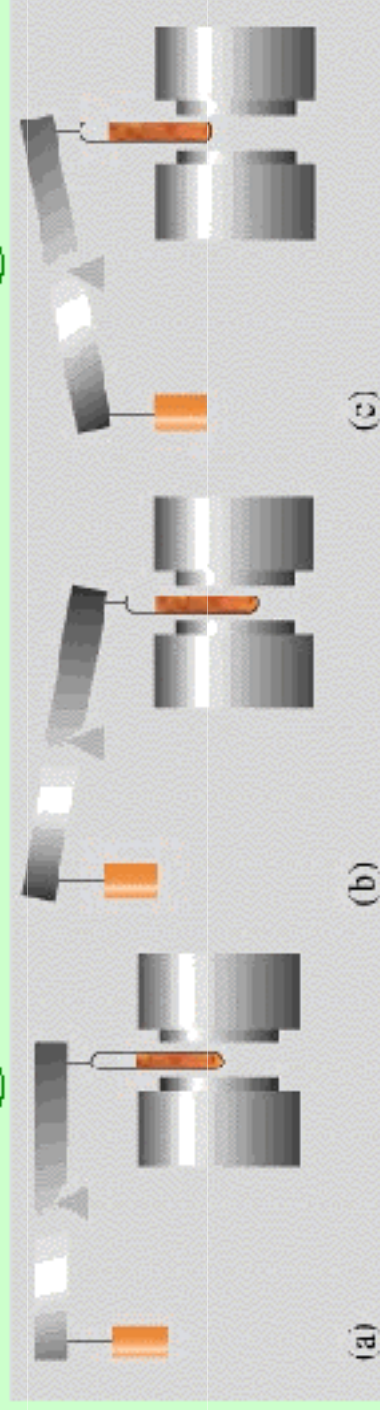
Adhezja występuje m.in. przy klejeniu (kleje adhezyjne) i malowaniu, stosowaniu kartek i taśm przylepnych (folia adhezyjna).



Zwierzęta mogą poruszać się nawet po powierzchniach poziomych grzbietem skierowanym w dół.

Magnetyczne właściwości materii

Paramagnetism and Diamagnetism



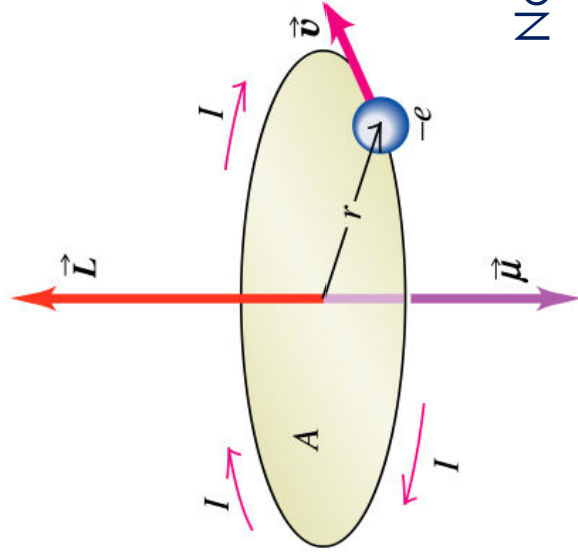
- Paramagnetism and diamagnetism can be distinguished experimentally by an apparatus like that above.
 - (a) no magnetic field
 - (b) paramagnetic substance appears to weigh more.
 - (c) diamagnetic substance appears to weigh less.

Magnetyczne właściwości materii

Orbitalny moment magnetyczny

$$M = \mu \times B$$

$$\mu = IA$$



Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

$$\mu = \frac{e v}{2 \pi r} \cdot \pi r^2 = \frac{e v r}{2} = \frac{e}{2 m} L$$

Namagnesowanie (moment magnetyczny)

$$M = \chi H$$

M – namagnesowanie

χ – podatność magnetyczna

H – natężenie zewnętrznego pola magnetycznego

Magnetyczne właściwości materii

Ze względu na właściwości magnetyczne substancje dzielimy na:

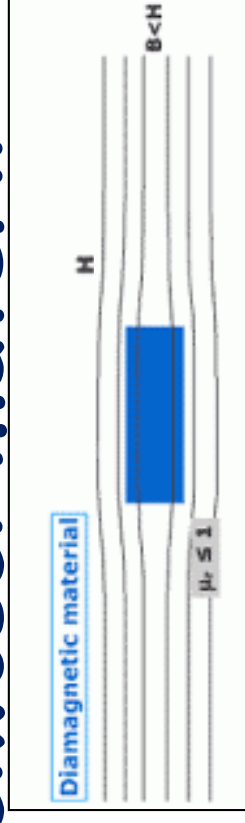
- $\chi < 0$ substancja jest diamagnetykiem
- $\chi > 0$ substancja jest paramagnetykiem
- $\chi \gg 0$ substancja jest ferromagnetykiem
- $\chi = f(H)$ ferrimagnetyki
- $\chi = f(H)$ antyferromagnetyki

Kryterium podziału jest χ - podatność magnetyczna, która charakteryzuje zachowanie ciała w zewnętrznym polu magnetycznym

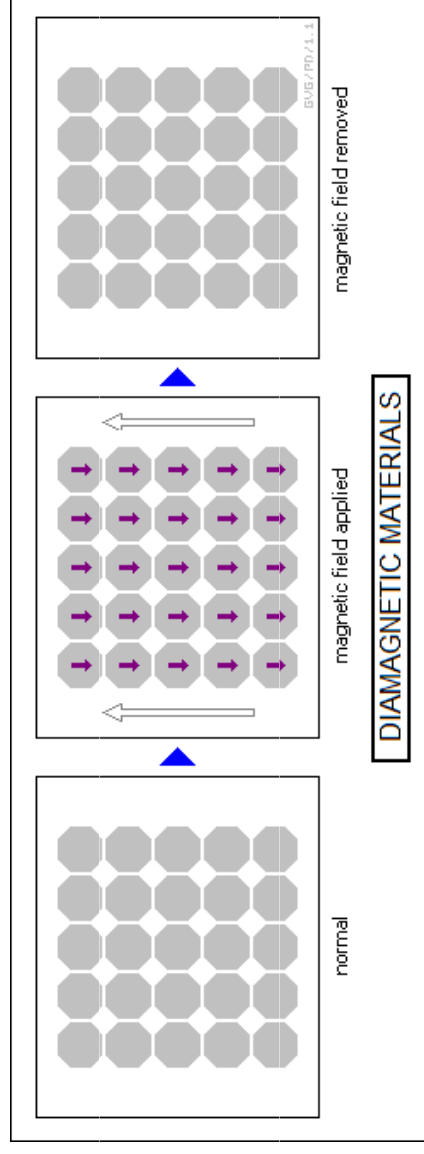
Magnetyczne właściwości materii

Diamagnetyki $\chi < 0$

Indukowany polem moment magnetyczny skierowany jest przeciwnie do tego pola. Atomy diamagnetyka mają wypadkowe momenty magnetyczne równe zero.



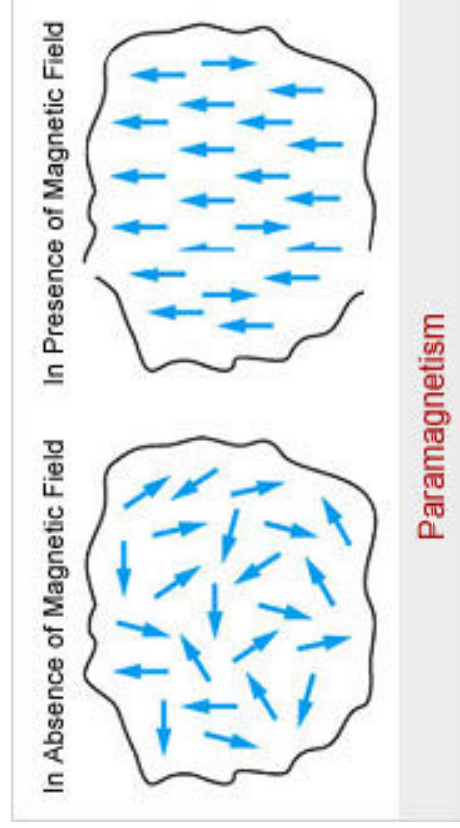
Diamagnetic	
Ammonia	-26
Bismuth	-16.6
Mercury	-2.9
Silver	-2.6
Carbon (diamond)	-2.1
Carbon (graphite)	-1.6
Lead	-1.8
Sodium chloride	-1.4
Copper	-1.0
Water	-0.91



Magnetyczne właściwości materii

Paramagnetyki $\chi > 0$

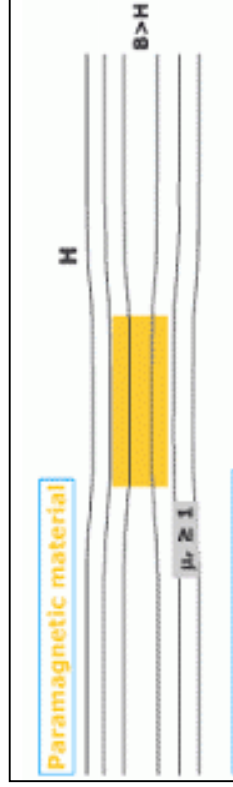
Atomy paramagnetyczne posiadają stały niezerowy moment magnetyczny.



Prawo Curie

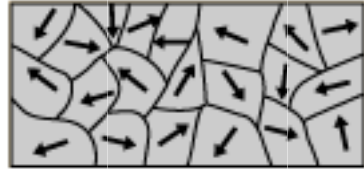
$$\chi = \frac{C}{T}$$

Material	$\chi_m = \frac{K_m}{1}$ (x 10 ⁻⁵)
Paramagnetic	
Iron oxide (FeO)	720
Iron ammonium alum	66
Uranium	40
Platinum	26
Tungsten	6.8
Cesium	5.1
Aluminum	2.2
Lithium	1.4
Magnesium	1.2
Sodium	0.72
Oxygen gas	0.19

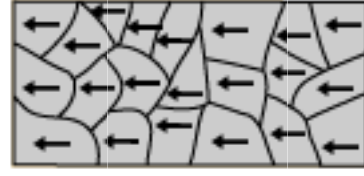


Magnetyczne właściwości materii

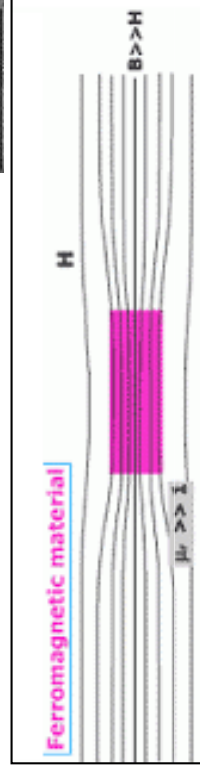
Ferromagnetyki $\chi > > 0$



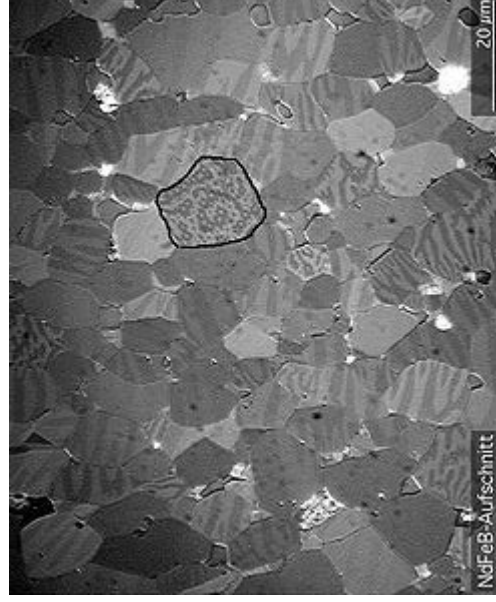
In bulk material the domains usually cancel, leaving the material unmagnetized.



Externally applied magnetic field.



Występuje samoistne namagnesowanie tzn.: istnieje niezerowy moment magnetyczny nawet w nieobecności zewnętrznego pola magnetycznego

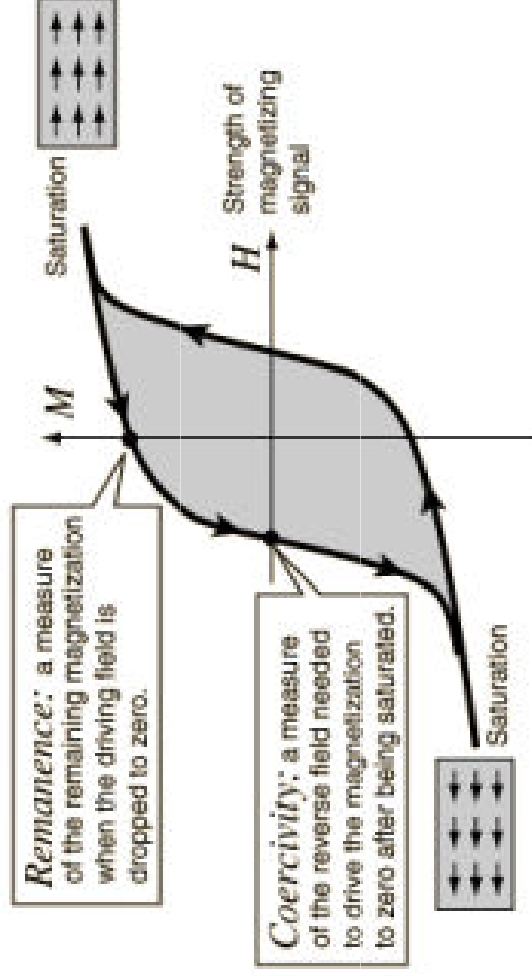
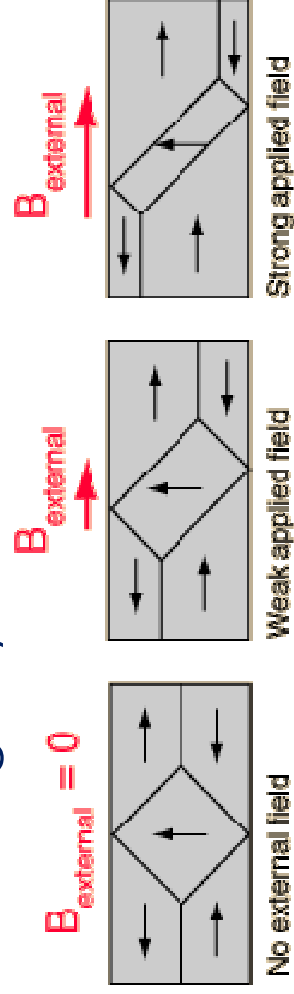


Ferryty:
Hematyt Fe_2O_3
Magnetyt Fe_3O_4



Magnetyczne właściwości materii

Ferromagnetyki



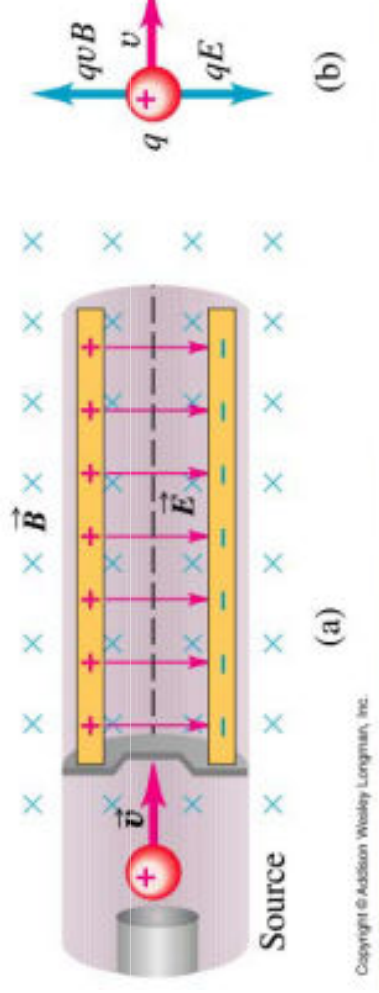
Material	Coercivity (T)	Remanence (T)	$(BB_0/\mu_0)_{\text{max}}$ (kJ/m ³)
BaFe₁₂O₁₉	0.36	0.36	25
Alnico IV	0.07	0.6	10.3
Alnico V	0.07	1.35	55
Alcomax I	0.05	1.2	27.8
MnBi	0.37	0.48	44
Ce(CuCo) ₅	0.45	0.7	92
SmCo₅	1.0	0.83	160
Sm₂Co₁₇	0.6	1.15	215
Nd₂Fe₁₄B	1.2	1.2	260

Prawo Curie-Weissa

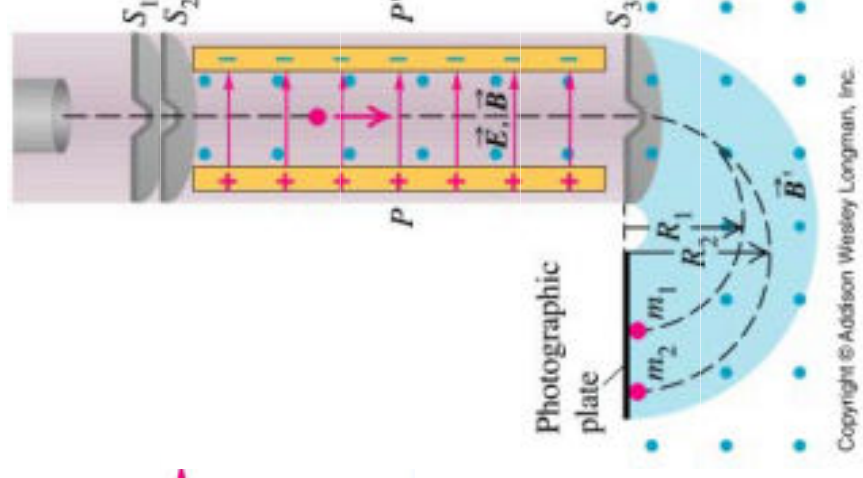
$$\chi = \frac{C}{T - T_C}$$

Magnetyczne właściwości materii

Spektrometr masowy

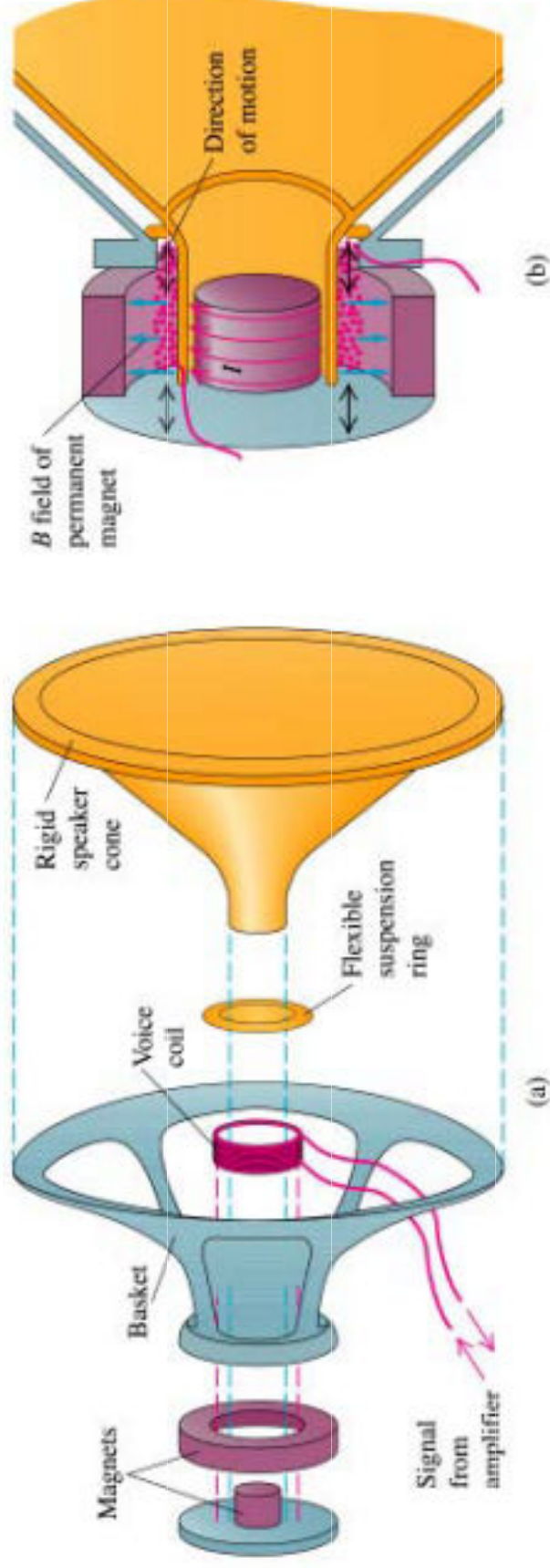


- identyfikacja związków chemicznych i ich mieszanin,
- ustalenie struktury związków chemicznych,
- ustalania ich składu pierwiastkowego,
- ustalanie składu izotopowego analizowanych substancji, co m.in. umożliwia określenie ich źródła pochodzenia
- precyzyjne ustalanie składu złożonych mieszanin związków o wysokich masach molowych w proteomice, badaniach materiałowych i chemii polimerów.



Magnetyczne właściwości materii

Głośniki

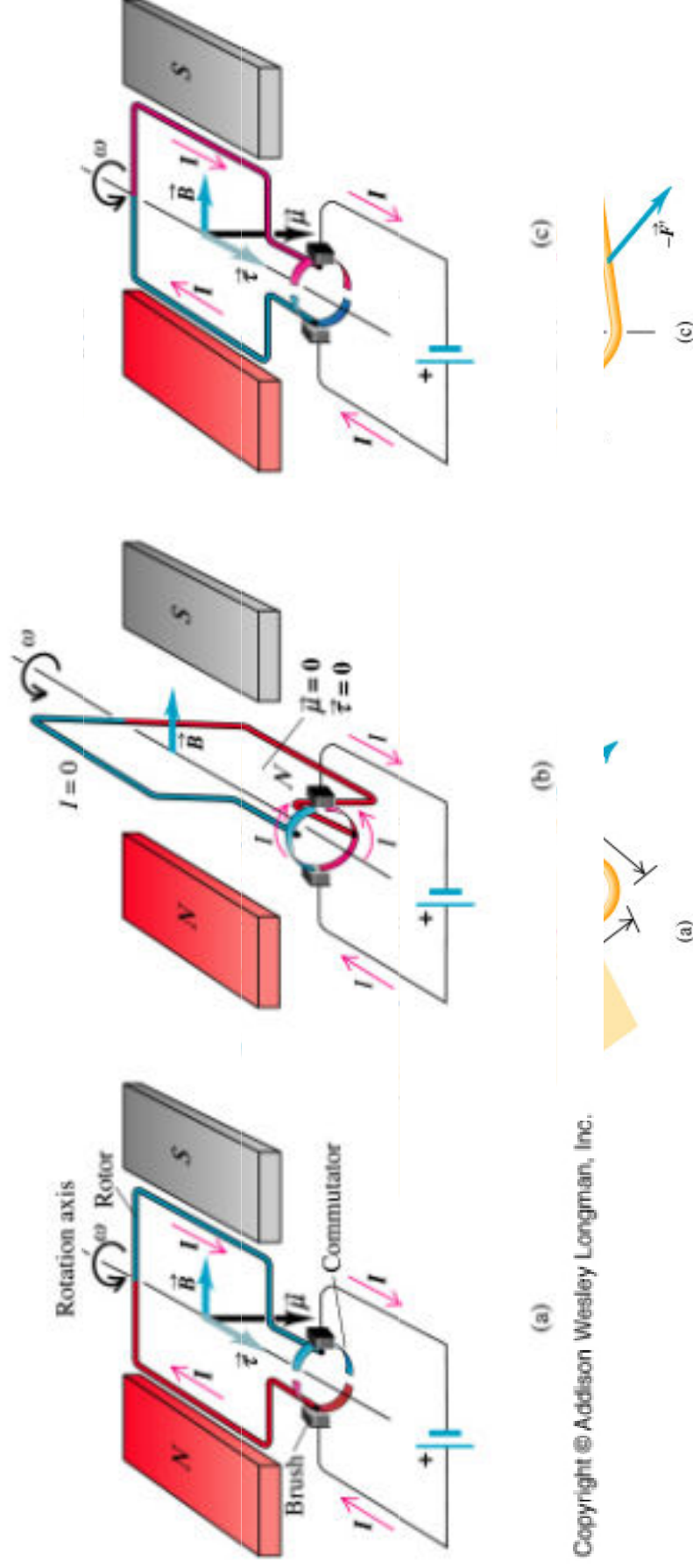


Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

http://www.physics.sjsu.edu/becker/physics51/mag_field.htm

Magnetyczne właściwości materii

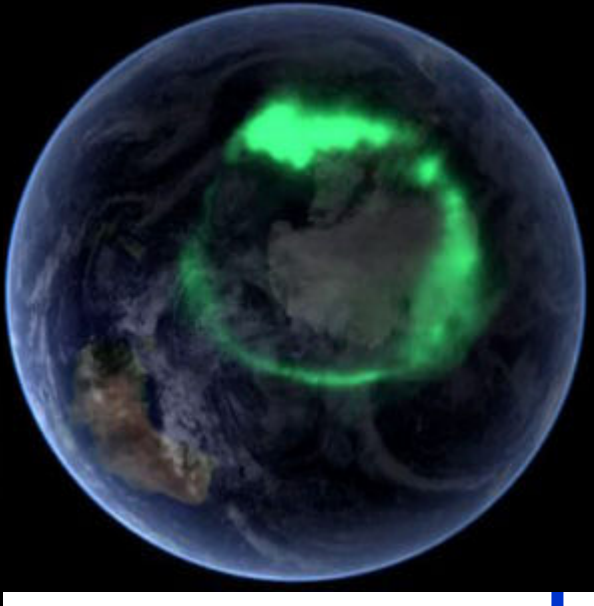
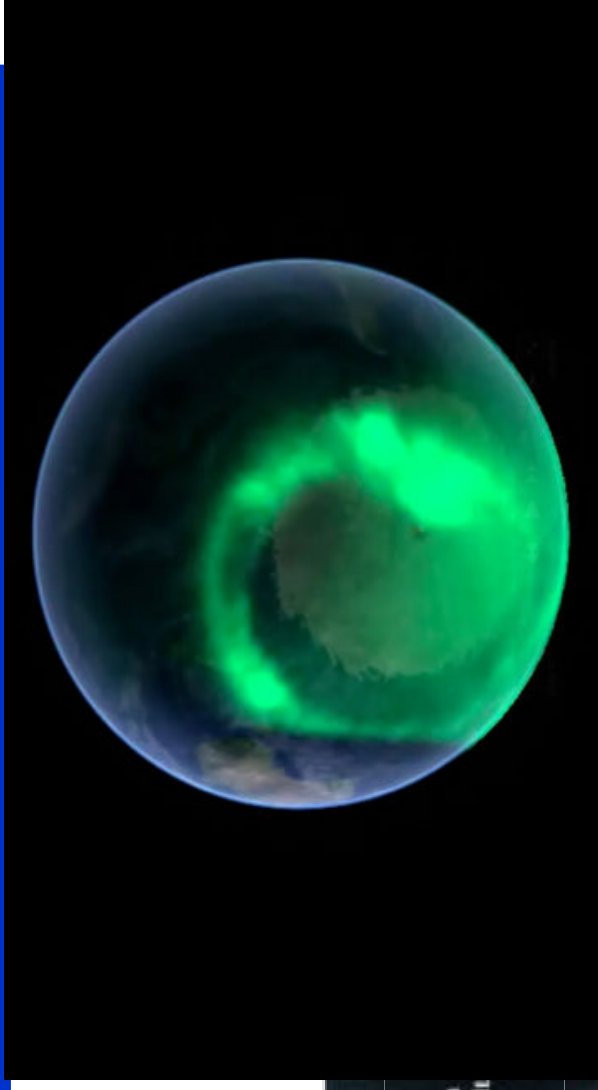
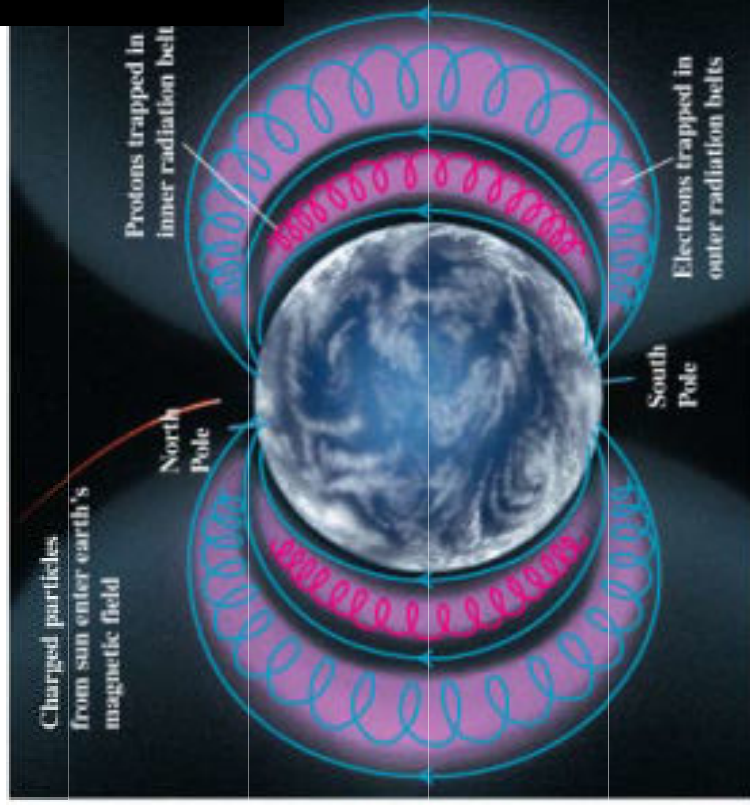
Silnik elektryczny



Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

Copyright © Addison Wesley https://www.physics.sjsu.edu/becker/physics51/mag_field.htm

Zorza polarna



Elektryczne właściwości materii

Przewodność właściwa – rodzaj i stężenie ładunków, możliwość ich ruchu w polu elektrycznym

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

gdzie:

j - gęstość prądu elektrycznego,

E - natężenie pola elektrycznego

Przenikalność– rozmieszczenie przestrzenne ładunków, ich zdolność do przemieszczania się.

$$\epsilon = \frac{D}{E}$$

gdzie:

D – indukcja pola elektrycznego,

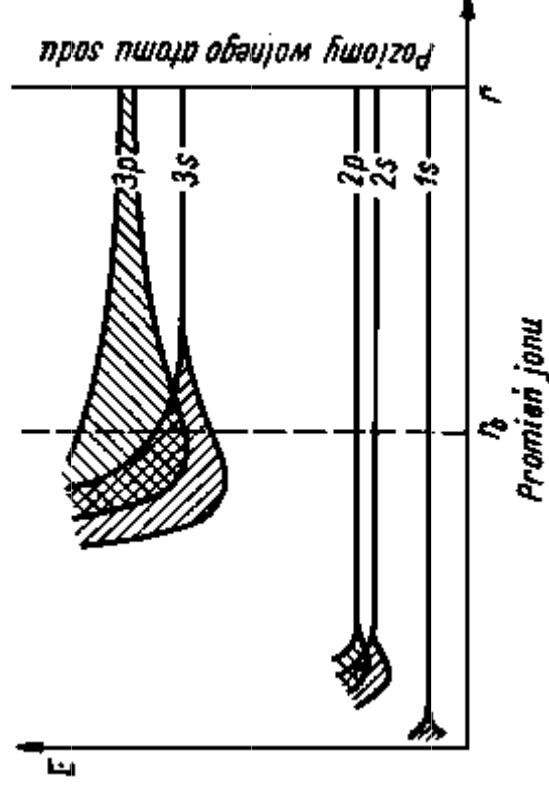
E - natężenie pola elektrycznego

Elektryczne właściwości materii

Gazy – niewielkie oddziaływania międzycząsteczkowe. Brak ładunków

Ciecze – słabe siły spójności. W większości izolatory.

Ciała stałe – izolatory ($\Delta E > 2eV$)
półprzewodniki ($\Delta E < 2eV$)
przewodniki ($\Delta E = 2eV$)



<http://pl.tribologia.org>

Elementy fizyki ciała stałego

Dielektryki

ciała nie posiadające ładunków swobodnych.

Material	Dielectric constant
Vacuum	1 (by definition)
Air	1.00054
Teflon™	2.1
Polyethylene	2.25
Polystyrene	2.4-2.7
Paper	3.5
Silicon dioxide	3.7
Concrete	4.5
Pyrex (glass)	4.7 (3.7-10)
Rubber	7
Diamond	5.5-10
Salt	3-15
Graphite	10-15
Silicon	11.68
Methanol	30
Furfural	42.0
Glycerol	47-68
Water	88-80.1-55.3-34.5 (0-20-100-200 °C)

$$\vec{E}_w = \vec{E} + \vec{E}_{ind}$$

E_w ma kierunek wektora, ale jest od niego mniejsze $\vec{E}_w = \vec{E} - \vec{E}_{ind}$

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E}$$

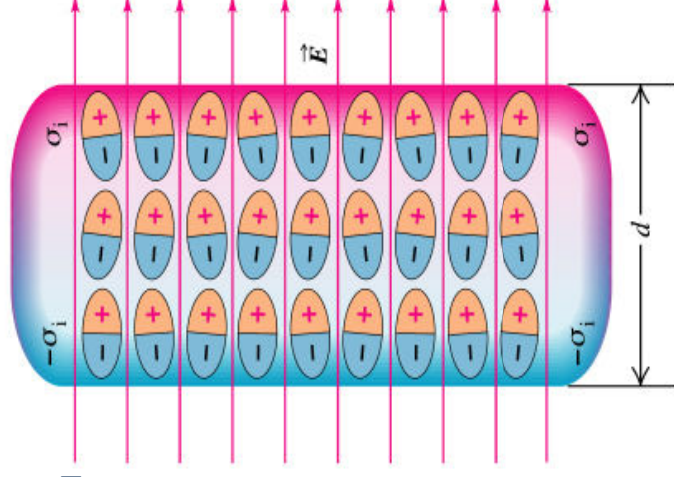
gdzie:
 D –wektor indukcji pola elektrycznego
 ϵ_0 –przenikalność elektryczna w próżni

$$\vec{P} = \epsilon_0 (\epsilon - 1) \vec{E} = \epsilon_0 \chi \vec{E}$$

gdzie:
 χ –podatność elektryczna

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

gdzie:
 χ –Względna przenikalność elektryczna



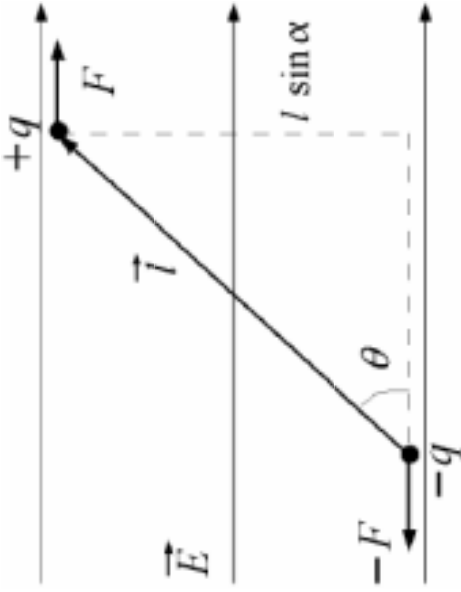
Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

Elementy fizyki ciała stałego

Dielektryki niepolarne

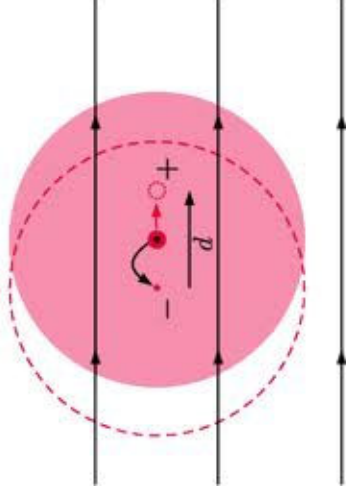
Elektryczny moment dipolowy

$$\vec{p} = q \cdot \vec{l}$$

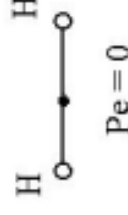
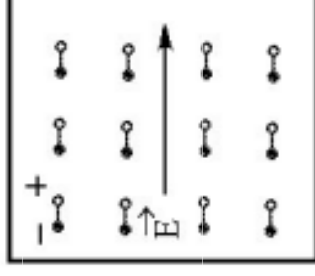
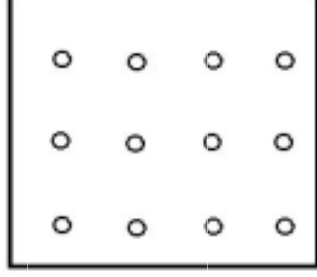


$$M = Fl \sin \alpha = qEl \sin \alpha = pE \sin \alpha$$

$$\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$$



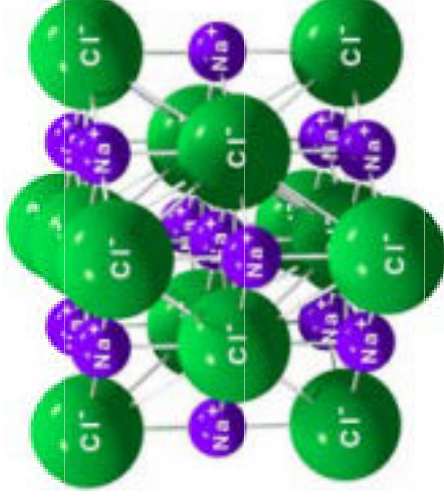
Pod wpływem zewnętrznego pola następuje natomiast przemieszczenie środków ciężkości ładunków jąder i elektronów i w cząsteczce zostaje indukowany moment dipolowy. Dielektrykami niepolarnymi są cząsteczki symetryczne, np. H_2 , N_2 , O_2 , CH_4



Dielektryki niepolarne

Polaryzowalność $\vec{p} = \alpha \cdot \vec{E}$

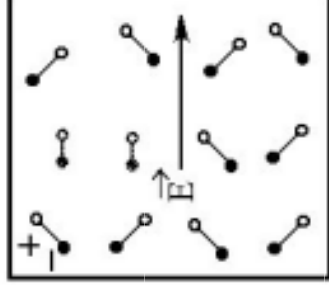
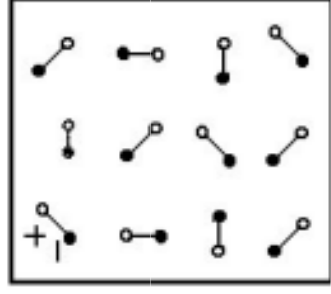
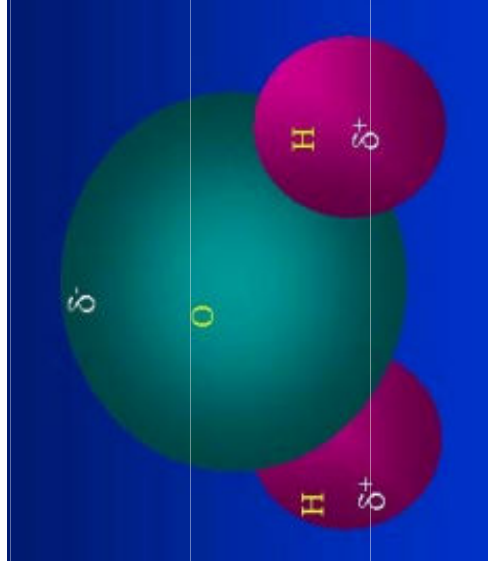
Polaryzacja elektronowa: obojętne elektrycznie atomy mogą w zewnętrznym polu elektrycznym stać się dipolami wskutek zniekształcenia chmury elektronowej wywołanego polem zewnętrznym.



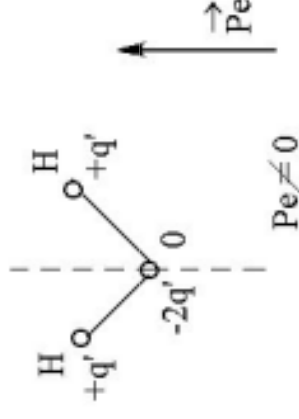
Polaryzacja jonowa występuje w substancjach o wiązaniu jonowym, takich jak chlorek sodu NaCl, zbudowanych z dwu rodzajów jonów. Dochodzi do wzajemnego przesunięcia podsięci kationowej i anionowej

Polaryzacja ładunkiem przestrzennym zachodzi, kiedy nośniki ładunku (jony) gromadzą się na niejednorodnościach ośrodka, np. na granicach obszarów o różnej wartości stałej dielektrycznej.

Dielektryki polarne



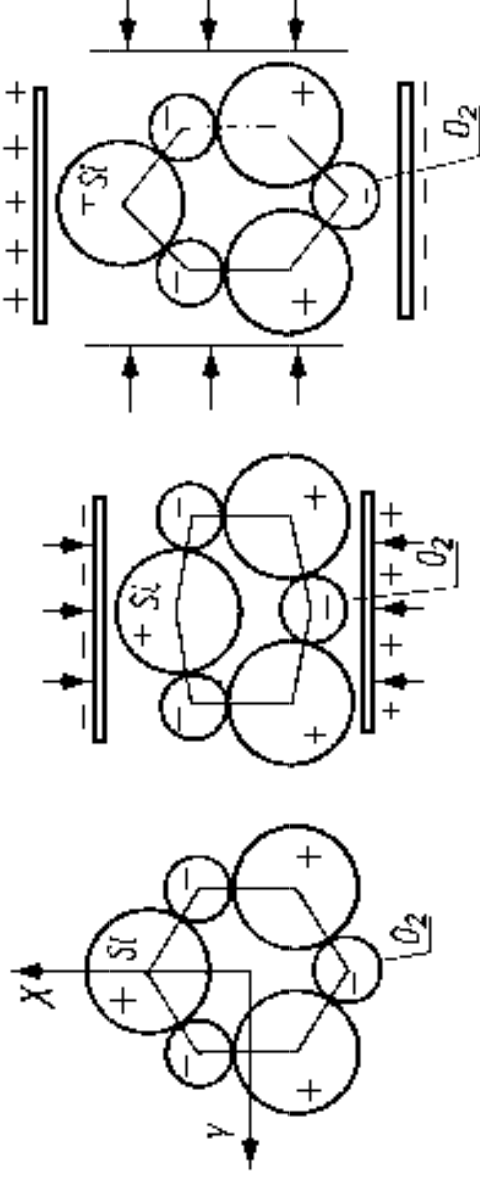
dielektryk polarny



Jeśli w nieobecności pola elektrycznego moment dipolowy atomu lub cząsteczki dielektryka nie jest równy zero, dielektryk nazywamy **polarnym**. Do dielektryków polarnych należą substancje, których cząsteczki są niesymetryczne np.: **H₂O** lub **HCl**. Pod wpływem pola elektrycznego momenty dipolowe cząsteczek dielektryków polarnych pozostają niezmiennione ale ustawiają się w kierunku pola.

Dielektryki o specjalnych właściwościach

Piezoelektryki

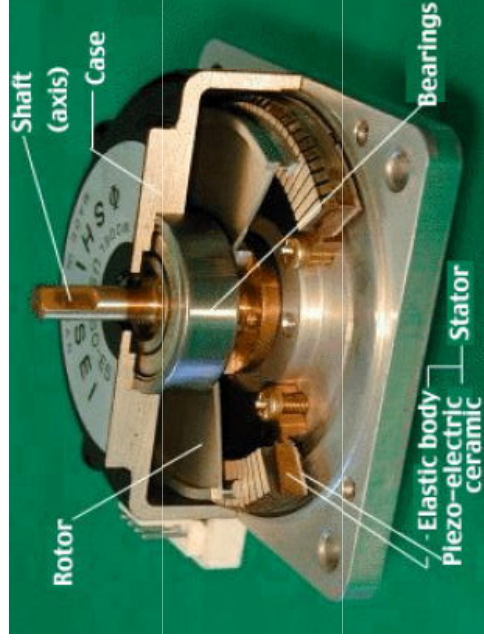


Pod wpływem zewnętrznego naprężenia w kryształach pojawia się polaryzacja. Charakterystyczną cechą kryształów piezoelektrycznych jest brak środka symetrii ich struktury krystalicznej. Istnieją również ceramiki i substancje organiczne o właściwościach piezoelektrycznych, takie jak polimery, DNA, białka, kości.

Elementy fizyki ciała stałego

Dielektryki o specjalnych właściwościach

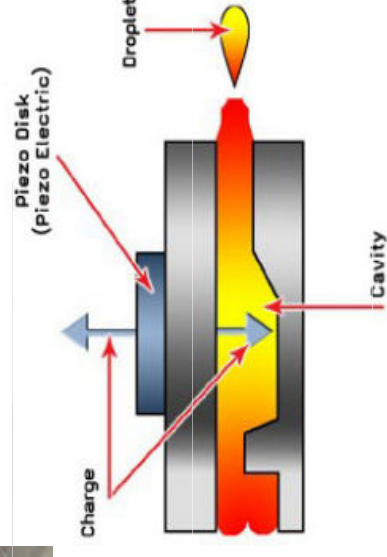
Piezoelektryki - zastosowania



Silnik piezoelektryczny (USM)



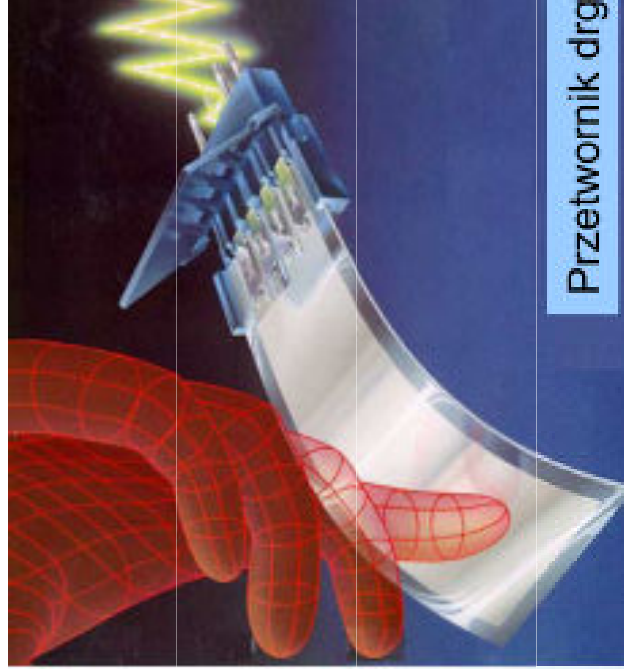
Mikrofony



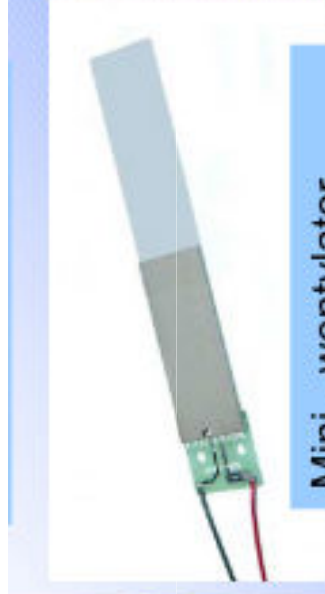
Piezoelektryczne "mikropompy" są elementami drukarek atramentowych

Dielektryki o specjalnych właściwościach

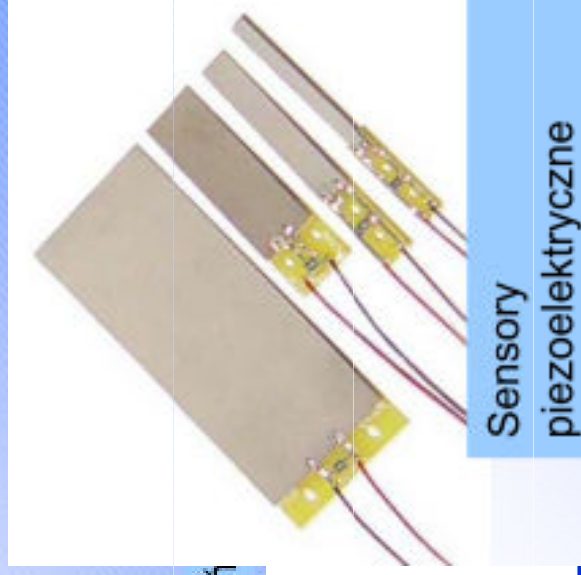
Piezoelektryki - zastosowania



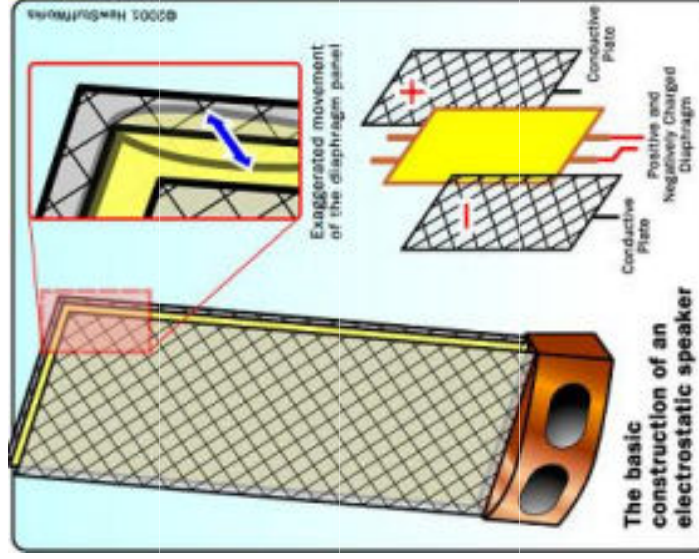
Przetwornik drgań



Mini - wentylator



Sensory
piezoelektryczne



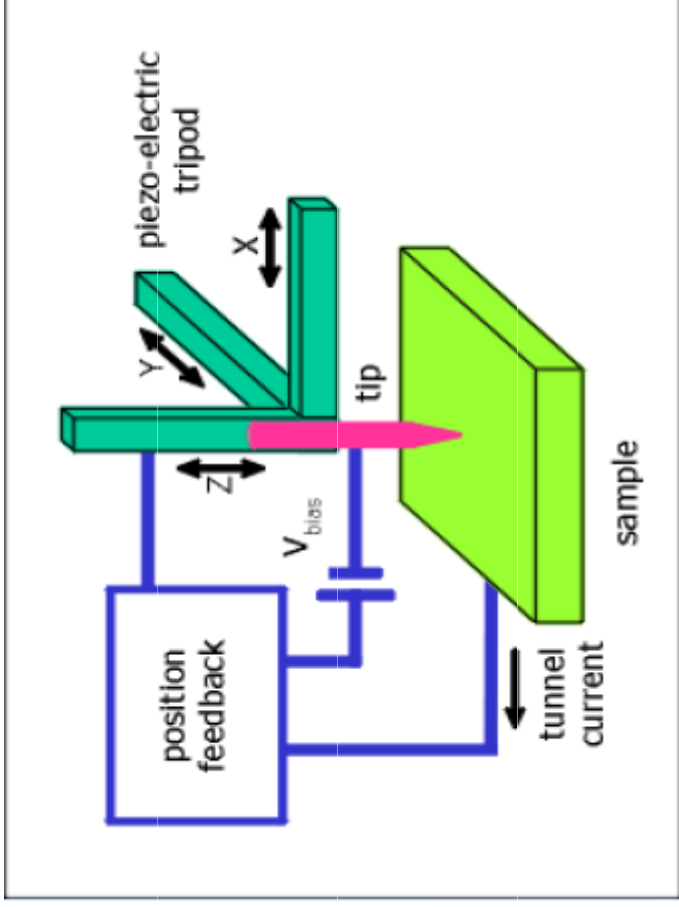
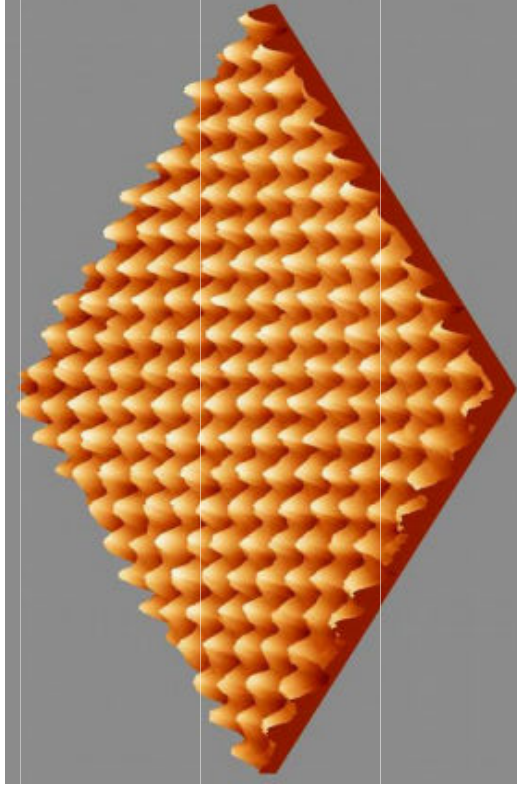
Głośniki

Elementy fizyki ciała stałego

Dielektryki o specjalnych właściwościach

Piezoelektryki - zastosowania

Układ pozycjonujący igłę w mikroskopie tunelowym (STM)



Obraz STM powierzchni grafitu

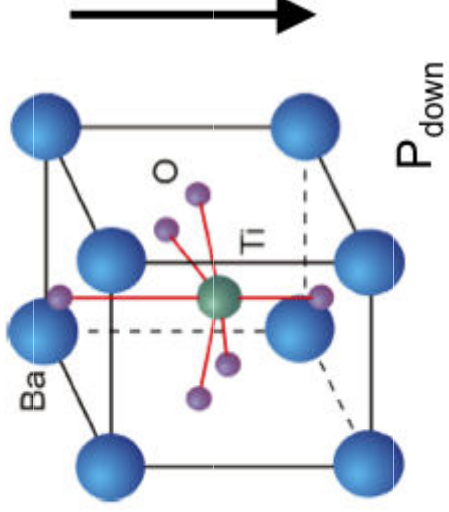
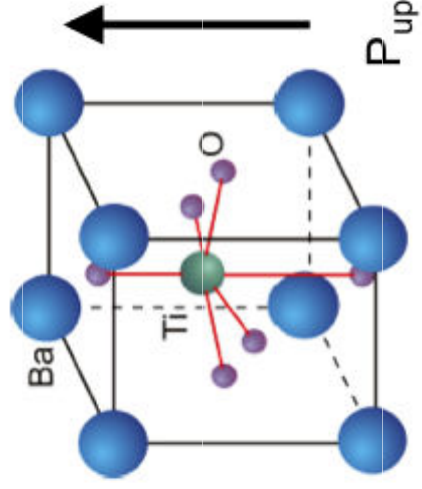
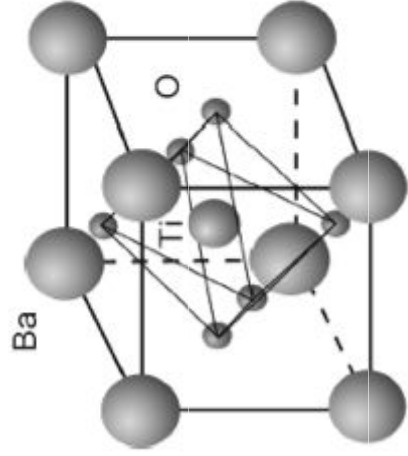
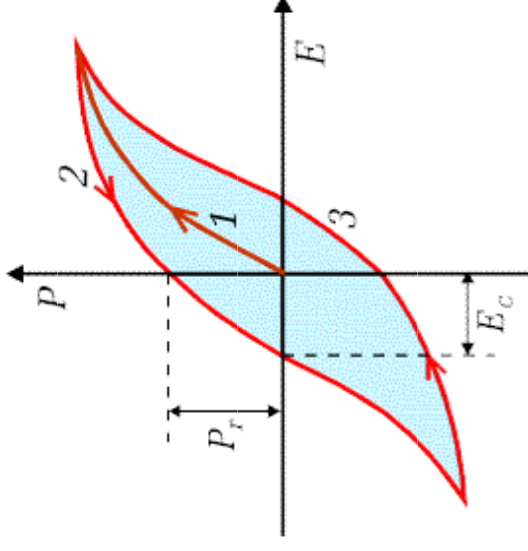
Dielektryki o specjalnych właściwościach

Ferroelektryki

Ferroelektrykami nazywamy ciała o budowie krystalicznej, które nawet w nieobecności zewnętrznego pola elektrycznego wykazują polaryzację elektryczną, przy czym zwrot tej polaryzacji można odwrócić za pomocą zewnętrznego pola elektrycznego.

Prawo Curie-Weissa

$$\chi = \frac{C}{T - T_C}$$



Dielektryki o specjalnych właściwościach

Ferroelektryki - zastosowania



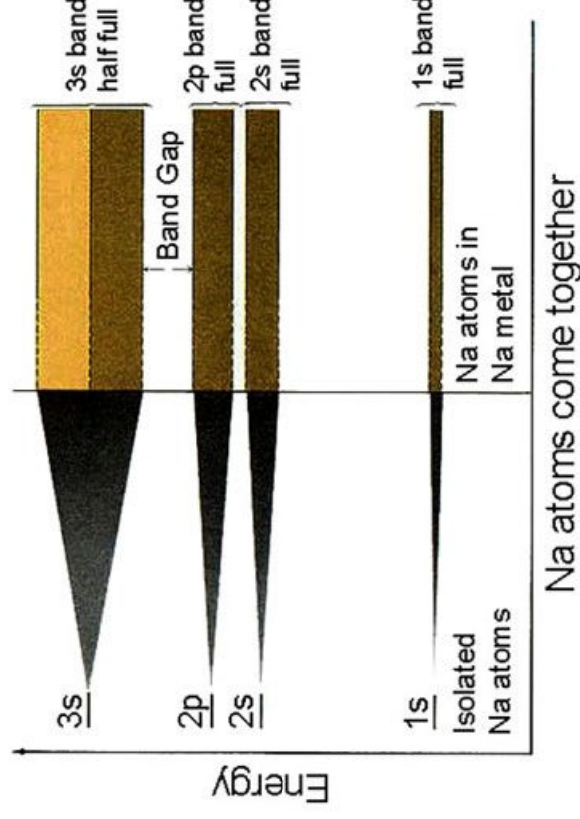
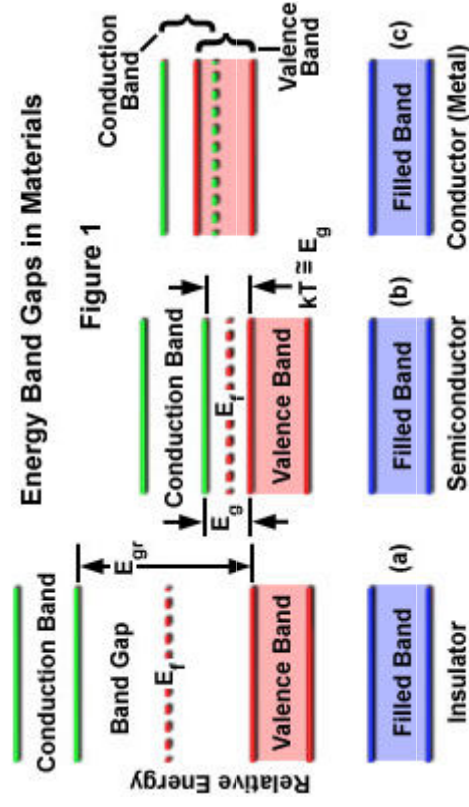
Pamięć FRAM - Fujitsu (Cebit 2006):
 30.000 razy szybsza niż EEPROM,
 100.000 razy więcej cykli zapisu/odczytu
 200 razy mniejsze zużycie energii



Podstawowym zastosowaniem materiałów ferroelektrycznych jest budowa miniaturowanych kondensatorów o dużych pojemnościach.

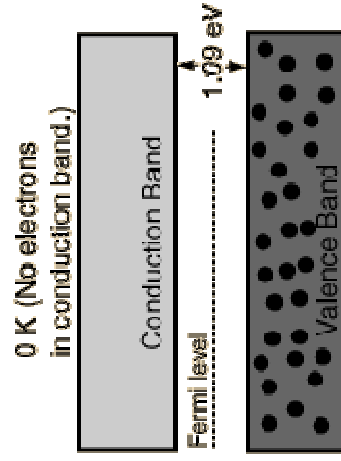
Teoria pasmowa ciał stałych

Poziomy elektronowe atomów w cząsteczkach ulegają rozszczępieniu. W kryształach zjawisko to prowadzi do wytworzenia się pasm.

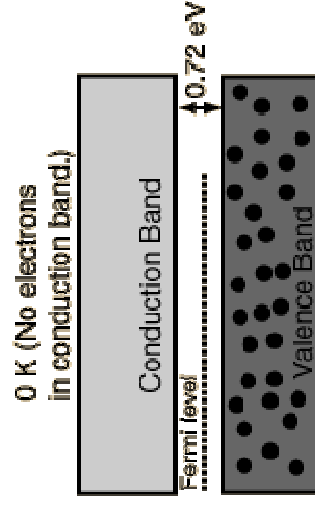
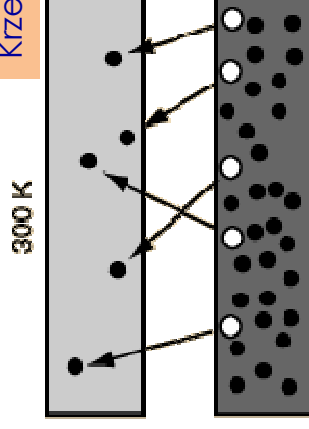


Półprzewodniki

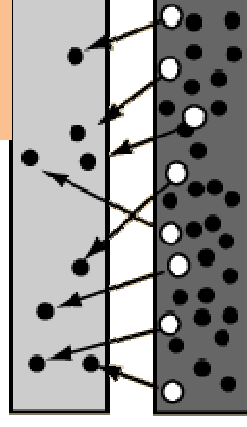
Półprzewodnikami nazywamy materiały, które w temperaturze zera bezwzględnego mają całkowicie obsadzone pasmo walencyjne i całkowicie puste pasmo przewodnictwa, a szerokość pasma zabronionego nie przekracza 3 eV.



Krzem Si



German Ge

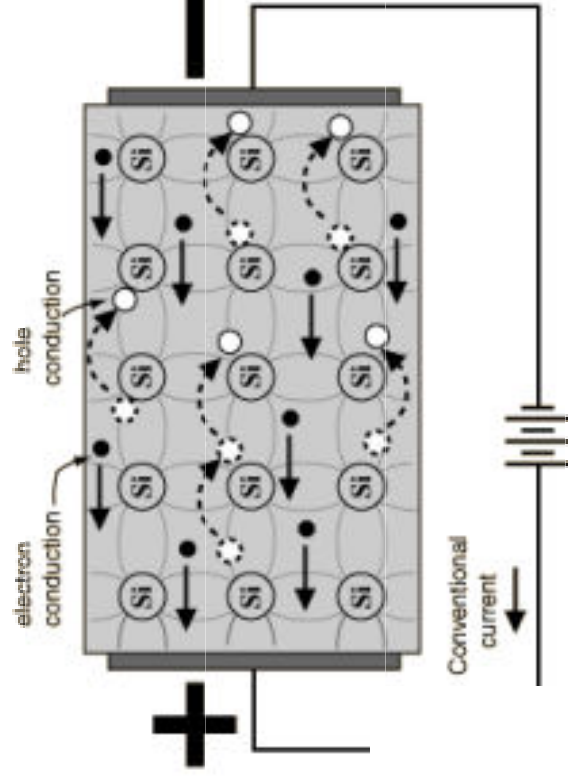


Grupa ⇒ Okres ↓	II	III	IV	V	VI	VII
II		B 1.1	C 5.2			
III			Si 1.1	P 1.5	S 2.5	
IV			Ge 0.7	As 1.2	Se 1.7	
V			Sn 0.08	Sb 0.12	Te 0.36	J 1.25
VI						

Rozmieszczenie półprzewodników w układzie okresowym pierwiastków. Obok symbolu pierwiastka podano wartość przerwy energetycznej w eV.

Półprzewodniki samoistne

W półprzewodnikach samoistnych w warunkach równowagi termodynamicznej, elektrony w paśmie przewodnictwa pojawiają się wyłącznie wskutek wzbudzenia z pasma walencyjnego.



$$n = p = n_i$$

n_i - koncentracja samoistna

n - koncentracja elektronów

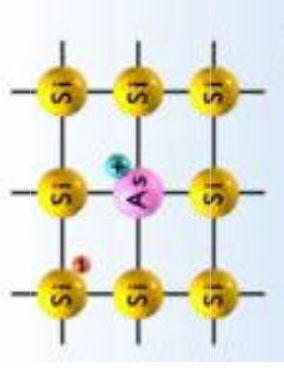
p - koncentracja dziur

$$\sigma = ne\mu_e + pe\mu_d$$

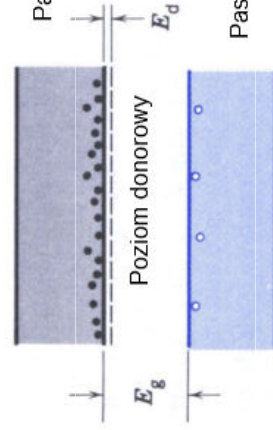
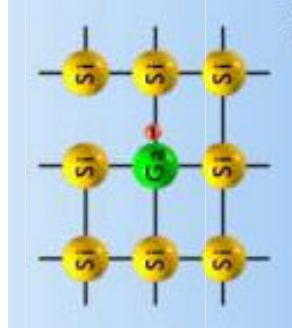
$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right) \quad \Delta E = \frac{E_g}{2}$$

Półprzewodniki domieszkowane

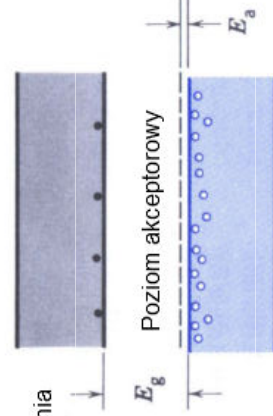
Domieszki pięciwartościowe



Domieszki trójwartościowe



Półprzewodnik typu n



Półprzewodnik typu p

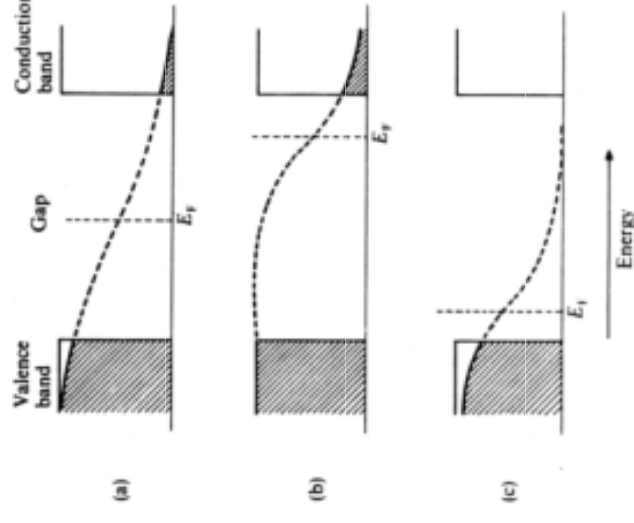
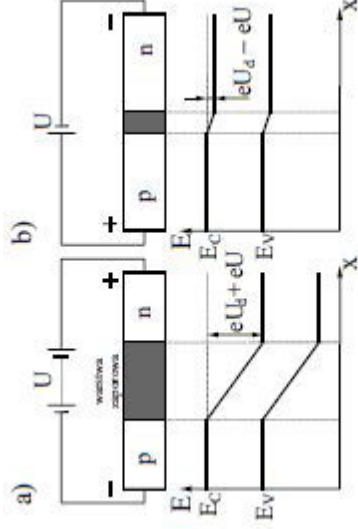


Fig. 1.11 Fermi-Dirac distribution in a semiconductor. (a) Pure solid; (b) *n*-type; and (c) *p*-type semiconductors. Shading represents occupied levels.

Złącze p-n



Modele pasmowe złącza p-n spolaryzowanego:
a) w kierunku zaporowym, b) w kierunku przewodzenia

