dr hab. inż. Stanisław Wyderka, prof. PRz
e-mail: swyderka@prz.edu.pl
Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki
ul. W. Pola 2, budynek B, pokój B.106

INŻYNIERIA MATERIAŁOWA W ELEKTROTECHNICE

Program wykładów

Budowa fizykochemiczna materiałów. Wiązania chemiczne. Struktury materiałów elektrotechnicznych.

Materiały przewodzące. Przewodnictwo elektryczne metali, zjawisko oporu elektrycznego. Nadprzewodnictwo. Materiały przewodowe, oporowe i stykowe. Zastosowanie w elektrotechnice.

Materiały magnetyczne. Własności. Materiały magnetycznie miękkie i magnetycznie twarde - metaliczne i niemetaliczne - zastosowanie.

Materiały półprzewodzące. Własności półprzewodników. Wytwarzanie materiałów półprzewodnikowych, surowce, oczyszczanie, krystalizacja, domieszkowanie. Technologie epitaksjalne. Nanotechnologia i jej zastosowanie w elektronice.

Materiały elektroizolacyjne. Własności. Materiały izolacyjne gazowe, ciekłe i stałe, pochodzenia naturalnego i syntetyczne.

Sprawdzenie wiadomości z wykładów:

Kolokwium w połowie semestru. Egzamin pisemny.

Literatura

1. Celiński Z., Materiałoznawstwo elektrotechniczne, OWPW Warszawa, 2018.
2. Bojarski Z. [i in.], Krystalografia, Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa, 2014.
3. Adamov G. E. [et al.], Handbook of nanophysics, T.6 Nanoelectronics and nanophotonics, Boca Raton: CRC Press/ Taylor & Francis Group, 2011.
4. Kostrubiec F., Podstawy fizyczne materiałoznawstwa dla elektryków, Wydawn. PŁ, Łódź, 1999.
5. Wyderka S., Materiałoznawstwo elektryczne, materiały pomocnicze, OWPRz Rzeszów, 2011.
6. Plewako J., Wyderka S., Inżynieria materiałowa dla elektryków i elektroników, materiały pomocnicze, OWPRz, 2013.
7. Grabarczyk J., Wstęp do fizyki ciała stałego, OWPW Warszawa, 2000.
8. Blicharski M., Inżynieria materiałowa, Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa, 2017.
9. Nitkiewicz Z., Iwaszko J., Kucharska B., Podstawy krystalografii geometrycznej, Wydawn. PCz, Częstochowa, 2008.

Biblioteka PRz, IBUK Libra. Wysłać e-mail na adres: biblio_info@prz.edu.pl z prośbą o indywidualny kod dostępu do zasobów elektronicznych. Szczegółowe informacje na stronie: https://biblio.prz.edu.pl/e-zrodla/dodatkowe-info-o-bazach/ibuk

Materiały elektrotechniczne

Podstawowe czynniki decydujące o własnościach materiałów:

1) skład chemiczny (określone pierwiastki i związki chemiczne wchodzące w skład materiału),
2) rodzaje i siły wiązań między poszczególnymi cząstkami (atomami, jonami, cząsteczkami),
3) układ przestrzenny cząstek (określone struktury krystaliczne lub ich brak),
4) stan termodynamiczny (wartości funkcji stanu: energia wewnętrzna, entalpia, entropia).

Wiązania międzyatomowe i międzycząsteczkowe

Spójność - cecha materiałów stałych i ciekłych: określona wytrzymałość na działanie sił zewnętrznych.

Wiązania międzyatomowe

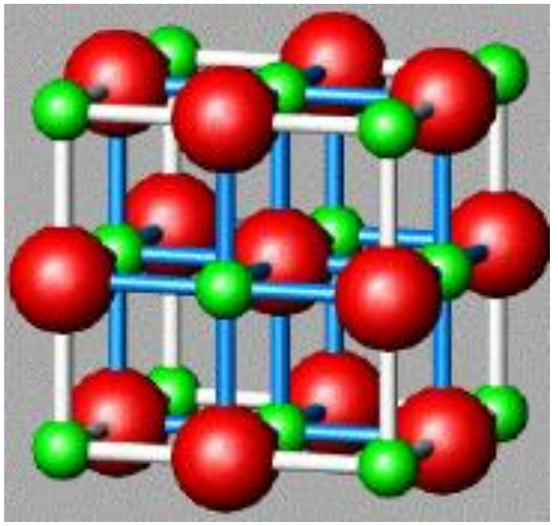
(jonowe, kowalencyjne, metaliczne oraz pośrednie)

Wiązania międzyatomowe polegają na dążeniu atomów do uzyskania kompletu elektronów w ostatniej powłoce.

Energia wiązania jest rzędu kilkaset kilodżuli na mol.

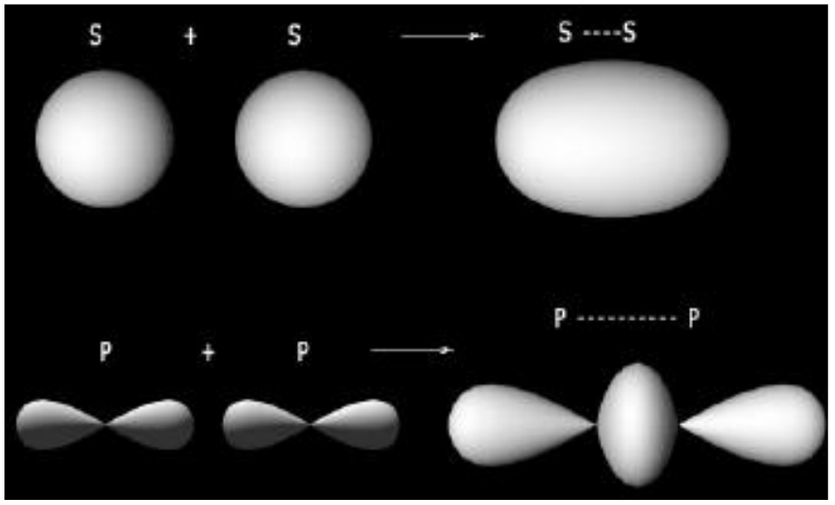
Wiązania jonowe

Polegają na wymianie elektronów walencyjnych między atomami różnych pierwiastków.



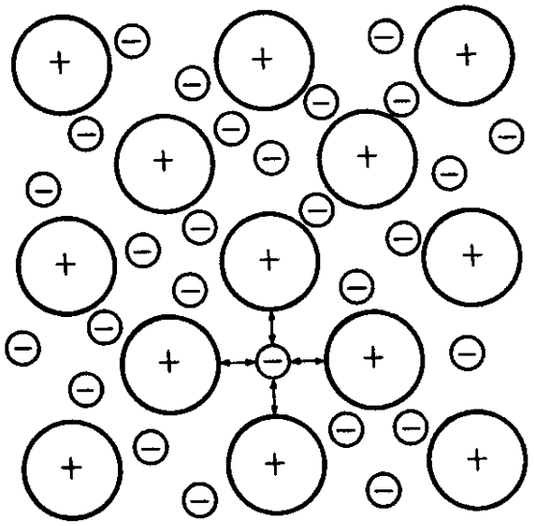
Wiązania kowalencyjne

Polegają na uwspólnianiu elektronów walencyjnych atomów tego samego pierwiastka lub pierwiastków o zbliżonych wartościach elektroujemności.

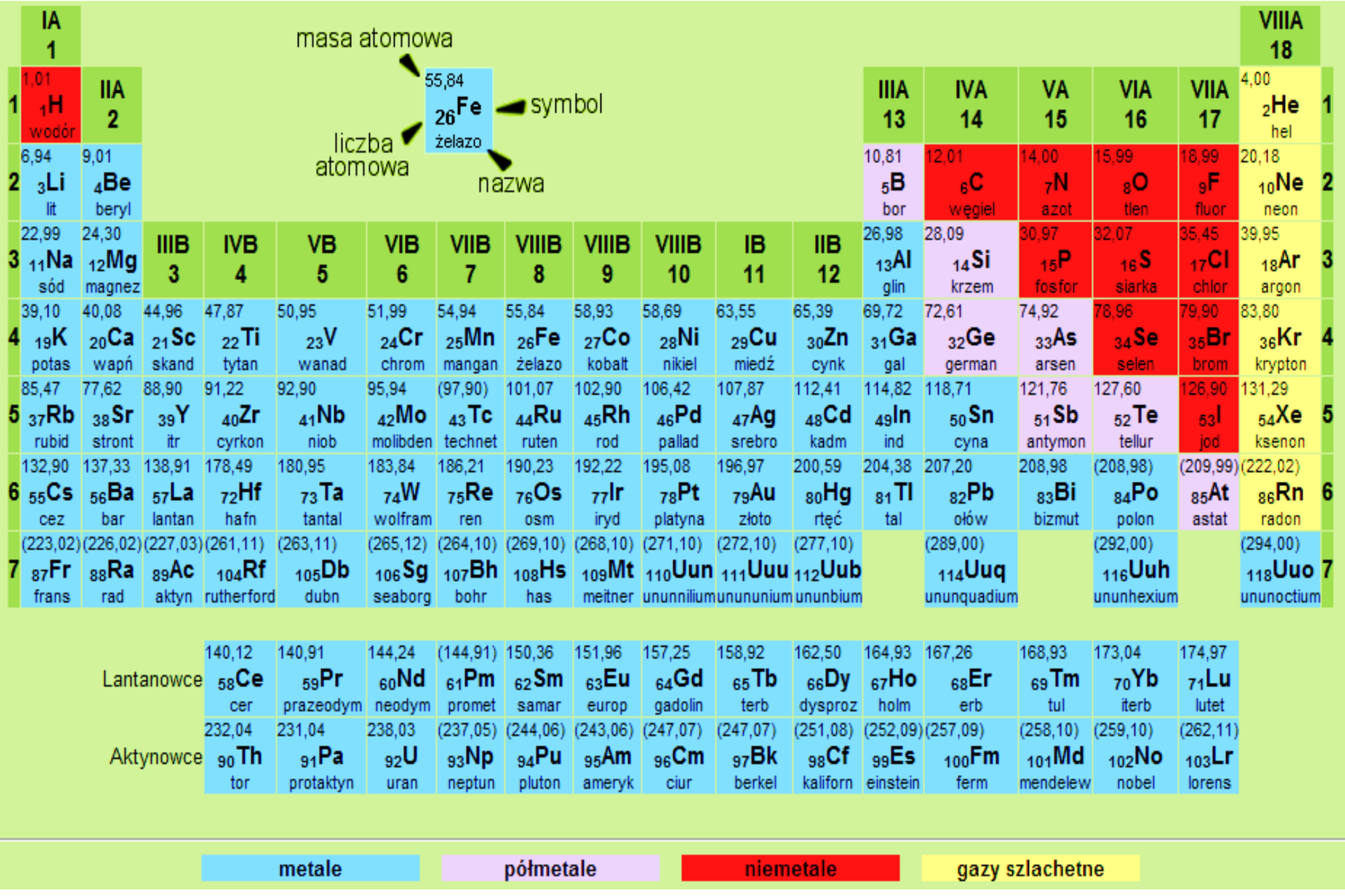


Wiązania metaliczne

Dotyczą pierwiastków o liczbie elektronów walencyjnych mniejszej niż 4. Polegają na wymianie energii między rdzeniami atomowymi a elektronami swobodnymi.



Układ okresowy pierwiastków



Wiązania pośrednie jonowo-kowalencyjne

Udział energii poszczególnych rodzajów wiązań zależy od elektroujemności (E). Elektroujemność pierwiastka zależy od dążności jego atomów w cząsteczkach do przyciągania elektronów.

Elektroujemność wg Paulinga:

$$E = (PJ + PE)/130$$

Pierwiastek:	Si	C	O
E:	1,90	2,55	3,44

Przykłady:

Si-O $\Delta E = 1,54$ wiązanie jonowo-kowalencyjne
udział w wiązaniu: 50 % + 50 %

SiC $\Delta E = 0,65$ wiązanie jonowo-kowalencyjne
udział w wiązaniu: 20 % + 80 %

Różnica E < 0,4 - wiązanie kowalencyjne

Różnica E od 0,4 do 1,7 - wiązanie jonowo-kowalencyjne

Różnica E > 1,7 - wiązanie jonowe

Elektroujemność pierwiastków wg Paulinga

H 2,20																He
Li 0,98	Be 1,57											B 2,04	C 2,55	N 3,04	O 3,44	F 3,98	Ne
Na 0,93	Mg 1,31											Al 1,61	Si 1,90	P 2,19	S 2,58	Cl 3,16	Ar
K 0,82	Ca 1,00	Sc 1,36	Ti 1,54	V 1,63	Cr 1,66	Mn 1,55	Fe 1,83	Co 1,88	Ni 1,91	Cu 1,90	Zn 1,65	Ga 1,81	Ge 2,01	As 2,18	Se 2,55	Br 2,96	Kr 3,00
Rb 0,82	Sr 0,95	Y 1,22	Zr 1,33	Nb 1,6	Mo 2,16	Tc 1,9	Ru 2,2	Rh 2,28	Pd 2,20	Ag 1,93	Cd 1,69	In 1,78	Sn 1,96	Sb 2,05	Te 2,1	I 2,66	Xe 2,6
Cs 0,79	Ba 0,89	*	Hf 1,3	Ta 1,5	W 2,36	Re 1,9	Os 2,2	Ir 2,20	Pt 2,28	Au 2,54	Hg 2,00	Tl 1,62	Pb 2,33	Bi 2,02	Po 2,0	At 2,2	Rn 2,2
Fr 0,7	Ra 0,9	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo
*	La 1,1	Ce 1,12	Pr 1,13	Nd 1,14	Pm 1,13	Sm 1,17	Eu 1,2	Gd 1,2	Tb 1,1	Dy 1,22	Ho 1,23	Er 1,24	Tm 1,25	Yb 1,1	Lu 1,27		
**	Ac 1,1	Th 1,3	Pa 1,5	U 1,38	Np 1,36	Pu 1,28	Am 1,13	Cm 1,28	Bk 1,3	Cf 1,3	Es 1,3	Fm 1,3	Md 1,3	No 1,3	Lr 1,3		

$$E = (PJ + PE)/130 \quad [kJ/mol]$$

PJ - <u>potencjał jonizacyjny</u> atomu lub cząsteczki, jego miarą jest minimalna energia, którą należy dostarczyć, aby oderwać elektron od atomu danego pierwiastka lub cząsteczki.

PE - <u>powinowactwo elektronowe</u>, jego miarą jest energia uwalniana podczas przyłączania elektronu do obojętnego atomu danego pierwiastka.

Liczba Avogadro $N_A = 6{,}02214076 \cdot 10^{23}$ cząstek w 1 molu

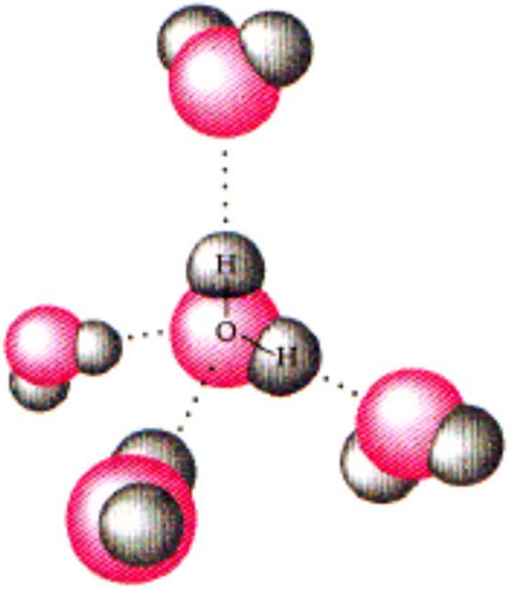
Wiązania międzycząsteczkowe

Występują między cząsteczkami, w których atomy są już związane wiązaniami międzyatomowymi.

Energia wiązania mieści się w przedziale od ułamków do kilkudziesięciu kilodżuli na mol (kJ/mol).

Wiązania dipol-dipol

Polegają na wymianie energii (przyciąganiu) między różnoimiennymi biegunami dipoli naturalnych lub indukowanych.



Przykłady:

Wiązania wodorowe (dipol-dipol)

Są to silne wiązania dipol-dipol między prawie nieosłoniętymi jądrami wodoru a pobliskimi elektronami tlenu.

Wiązania dyspersyjne (dipol-dipol)

Występują między atomami gazów szlachetnych w stanie ciekłym w wyniku dyspersji wzajemnego położenia jąder i otaczających je elektronów.

Budowa ciał stałych

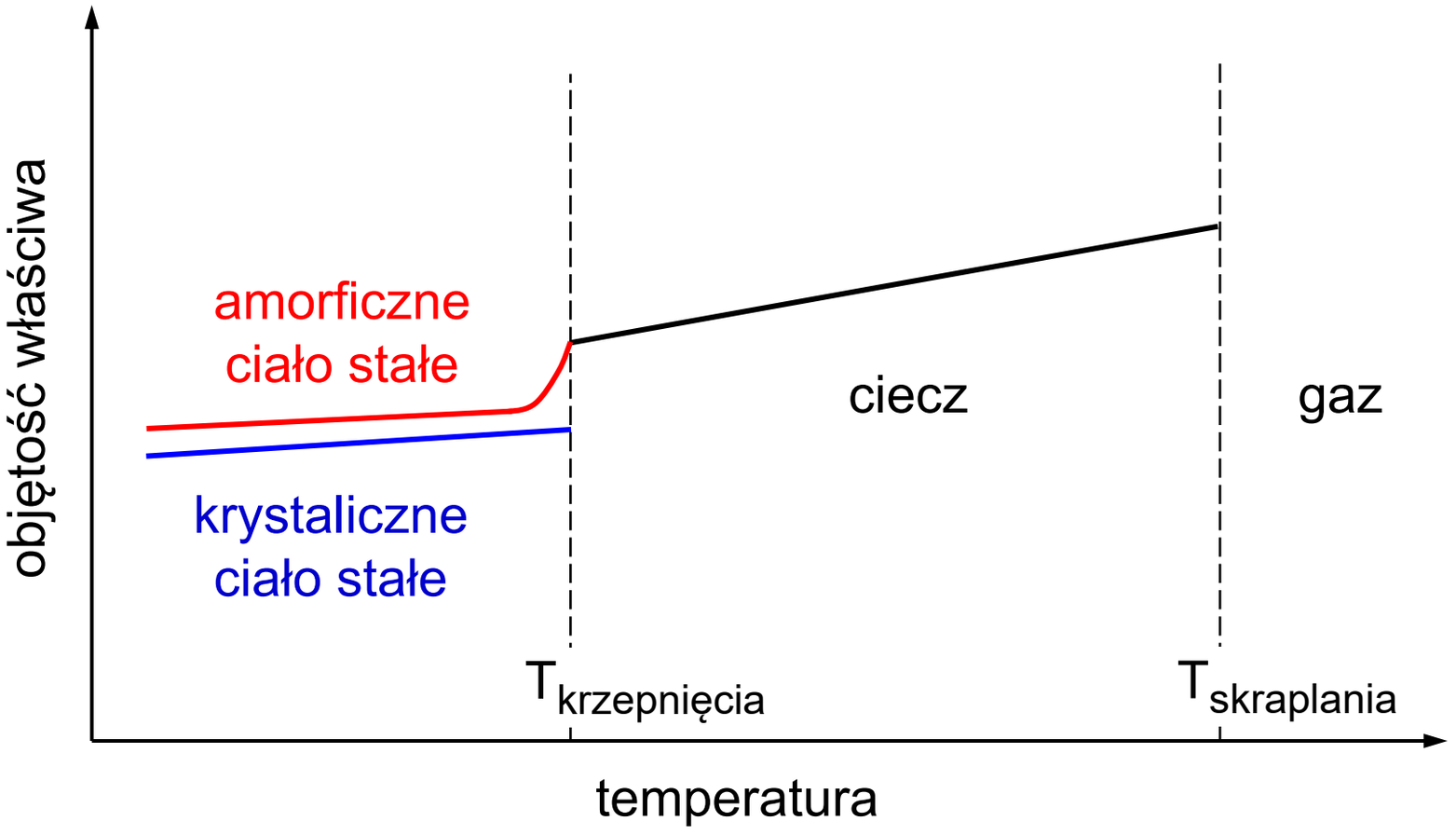
Można wyróżnić dwa procesy zestalania się cieczy przy obniżaniu ich temperatury.

Szybki wzrost lepkości cieczy

- przemiana fazowa w pewnym zakresie temperatury,
- uzyskanie własności ciała stałego (zachowanie objętości i kształtu),
- izotropia własności,
- ciała amorficzne (nieuporządkowana struktura).

Krystalizacja

- dokładnie określona temperatura krystalizacji,
- rola centrów krystalizacji (zarodników),
- wzrost kryształu kosztem fazy ciekłej,
- uporządkowanie cząstek w mikroprzestrzeniach,
- ciało polikrystaliczne – duża liczba mikro-monokryształów,
- anizotropia własności w ziarnach krystalicznych.



Poglądowy wykres przemian fazowych dla substancji krystalicznych i amorficznych w stanie stałym

Ciała stałe krystaliczne

Struktura krystaliczna

- regularny układ przestrzenny cząstek (atomów, jonów, cząsteczek)

Przestrzenna sieć krystalograficzna

- określa uporządkowane ułożenie cząstek

Komórka elementarna:

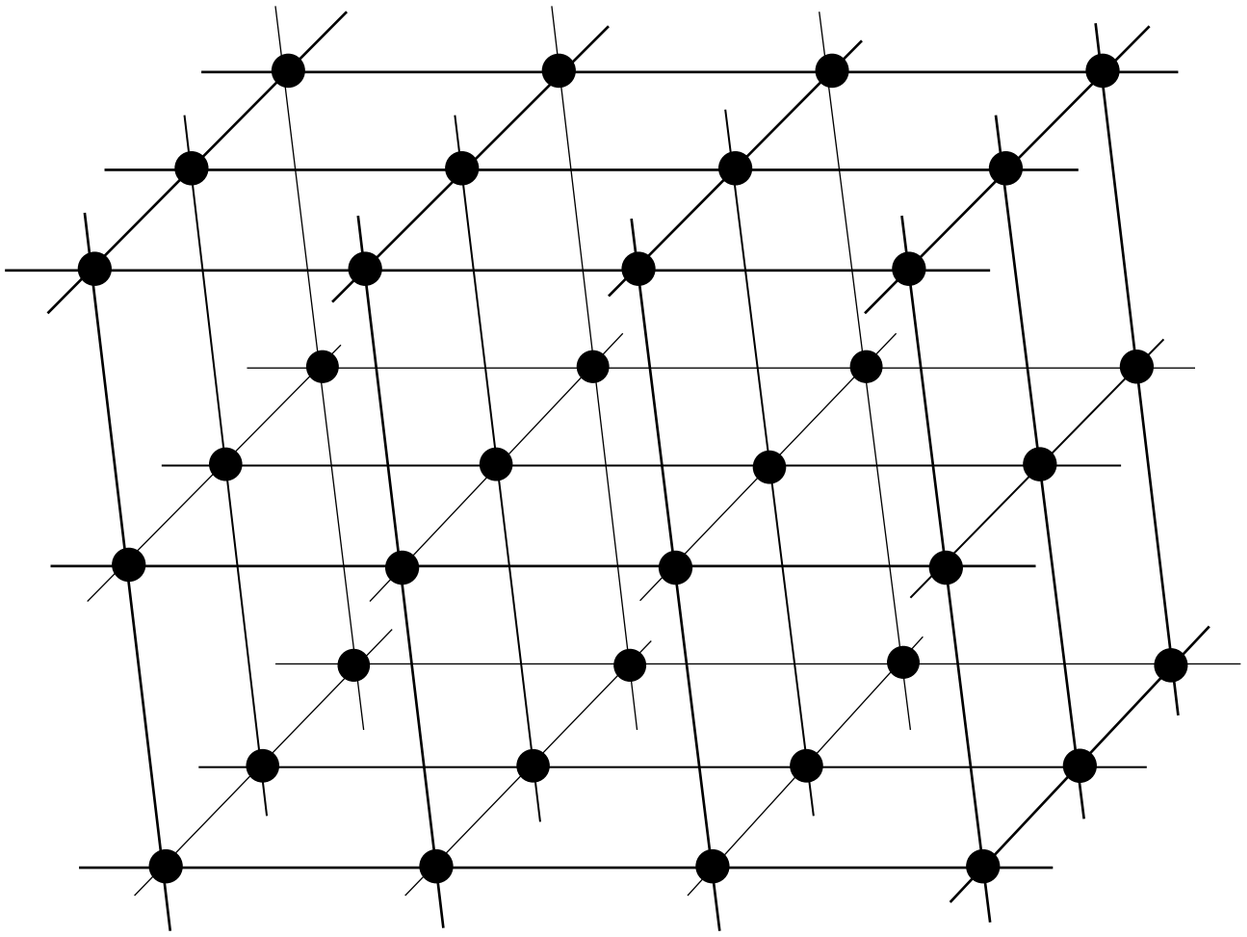
- najmniejszy powtarzający się element sieci krystalicznej

Monokryształy

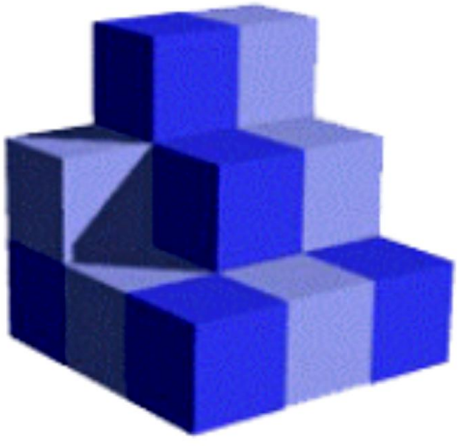
- idealne uporządkowanie dużej objętości (o wymiarach przestrzennych 1 mm – 1 m)

Polikryształy

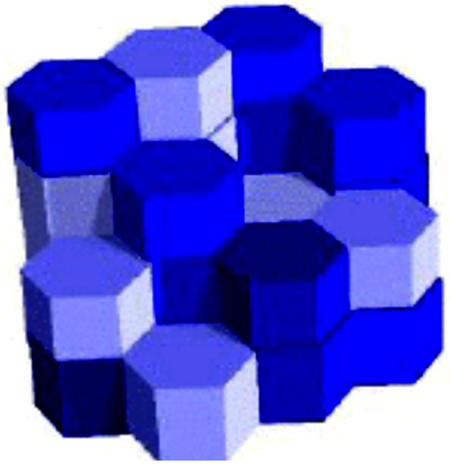
- ziarna krystaliczne > 1 μm (~10^4 atomów w jednej linii) i < 1 mm



Fragment idealnej sieci krystalograficznej



a)

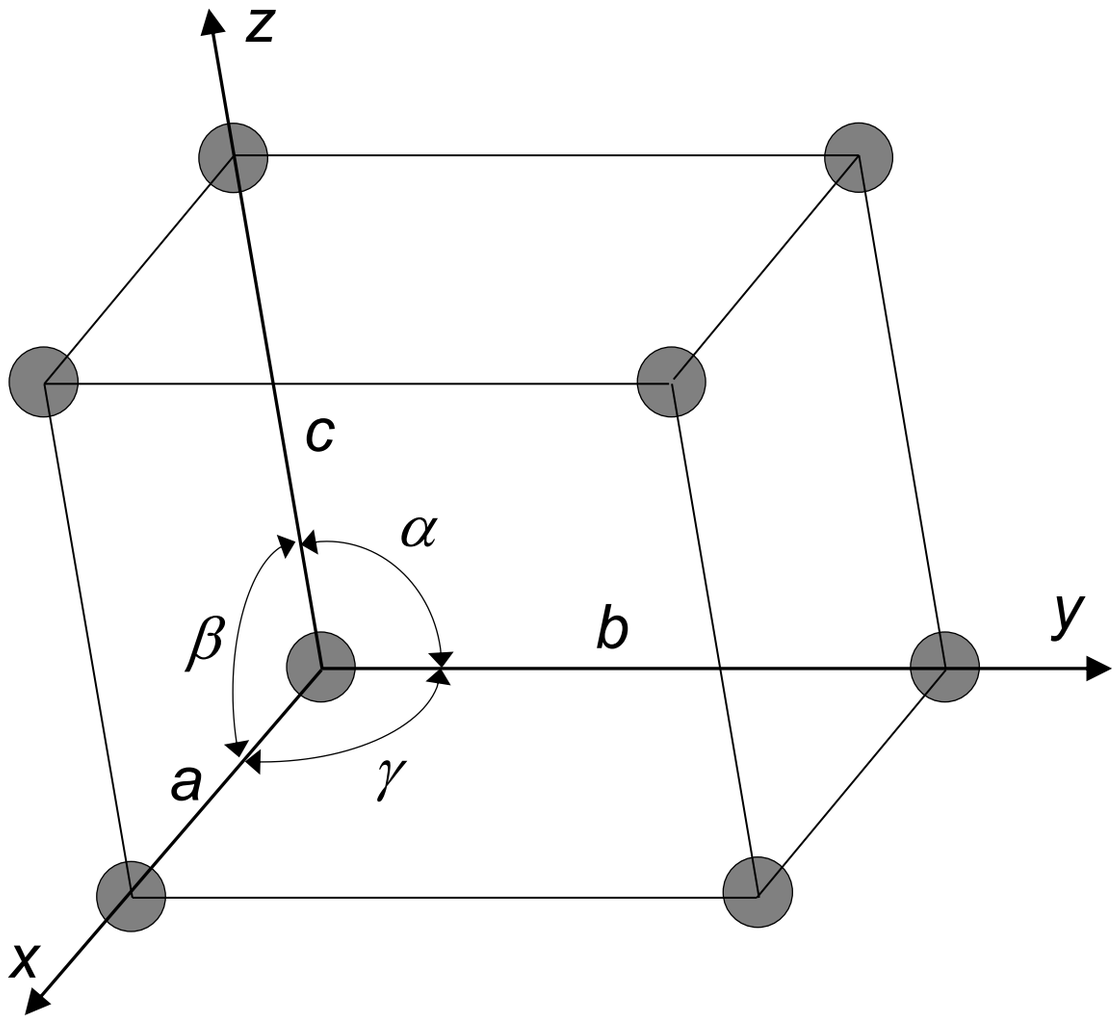


b)

Przykłady struktur krystalicznych zbudowanych z komórek elementarnych:

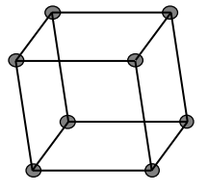
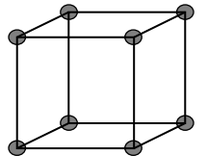
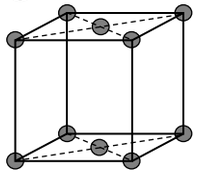
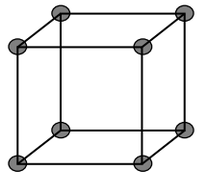
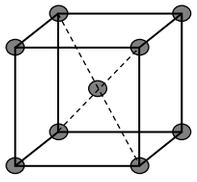
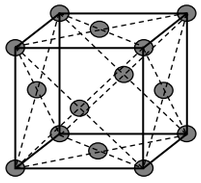
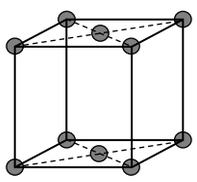
a) w postaci sześcianów,

b) w postaci graniastosłupów prawidłowych o podstawie sześciokąta foremnego.

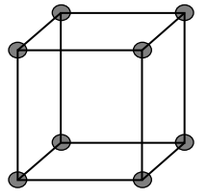
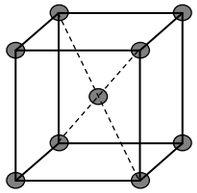
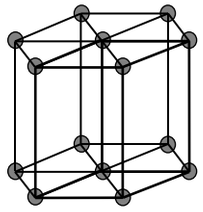
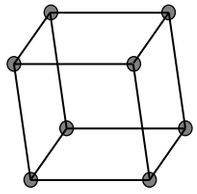
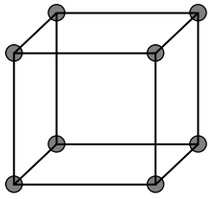
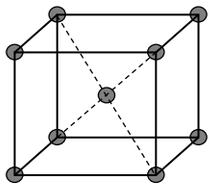
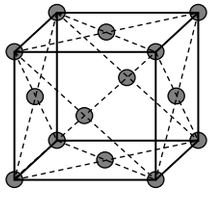


Parametry określające wielkość i kształt elementarnej komórki struktury krystalicznej

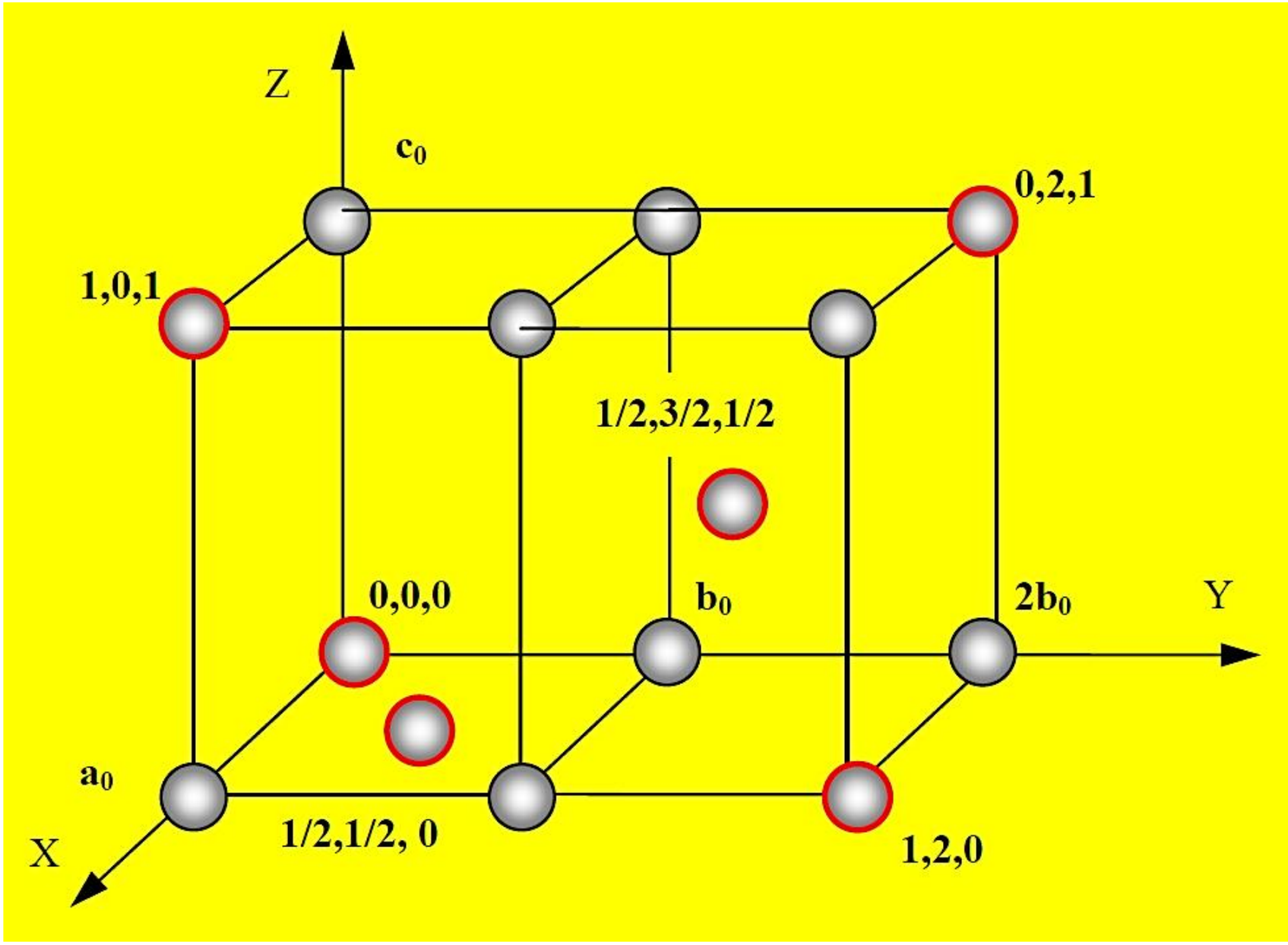
Układy krystalograficzne i sieci Bravais'go

Układ krystalo-graficzny	Rodzaj sieci Bravais'go	Komórka elementarna
Trójskośny $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$	*P* - prymitywna	*P* 
Jednoskośny $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90° \neq \gamma$	*P* - prymitywna, *C* - centrowana na podstawach	*P*  *C* 
Rombowy $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$	*P* - prymitywna, *I* - przestrzennie centrowana, *F* - ściennie centrowana, *C* - centrowana na podstawach	*P*  *I*  *F*  *C* 

Układy krystalograficzne i sieci Bravais'go - ciąg dalszy

Tetragonalny $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$	*P* - prymitywna, *I* - przestrzennie centrowana	*P*  *I* 
Heksagonalny $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90°,$ $\gamma = 120°$	*P* - prymitywna	*P* 
Romboedryczny $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$	*P* - prymitywna	*P* 
Regularny $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90°$	*P* - prymitywna, *I* - przestrzennie centrowana, *F* - ściennie centrowana	*P*  *I*  *F* 

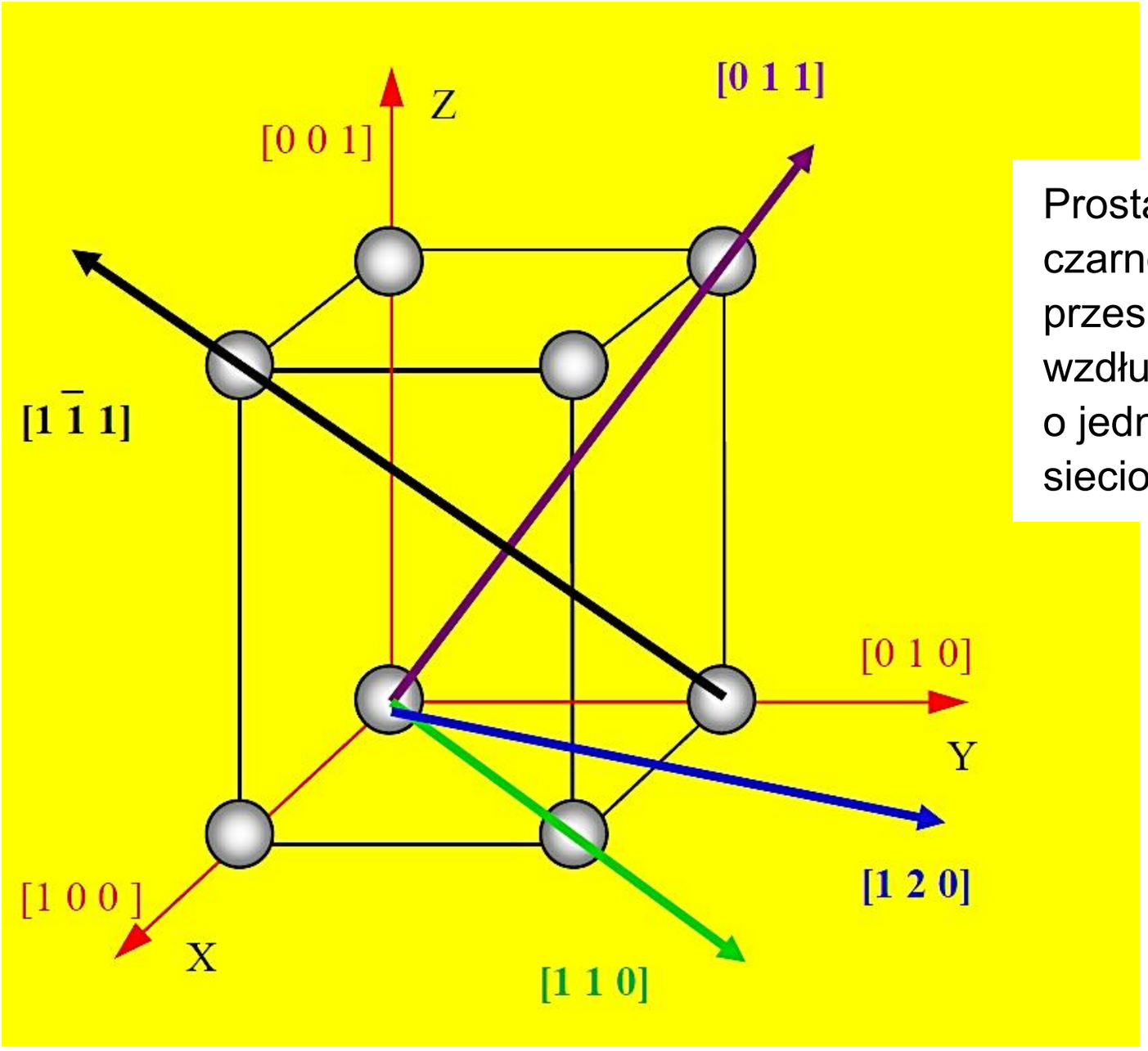
Współrzędne węzłów sieci krystalograficznej



Współrzędne wybranych węzłów sieci przestrzennej

Wskaźniki Millera

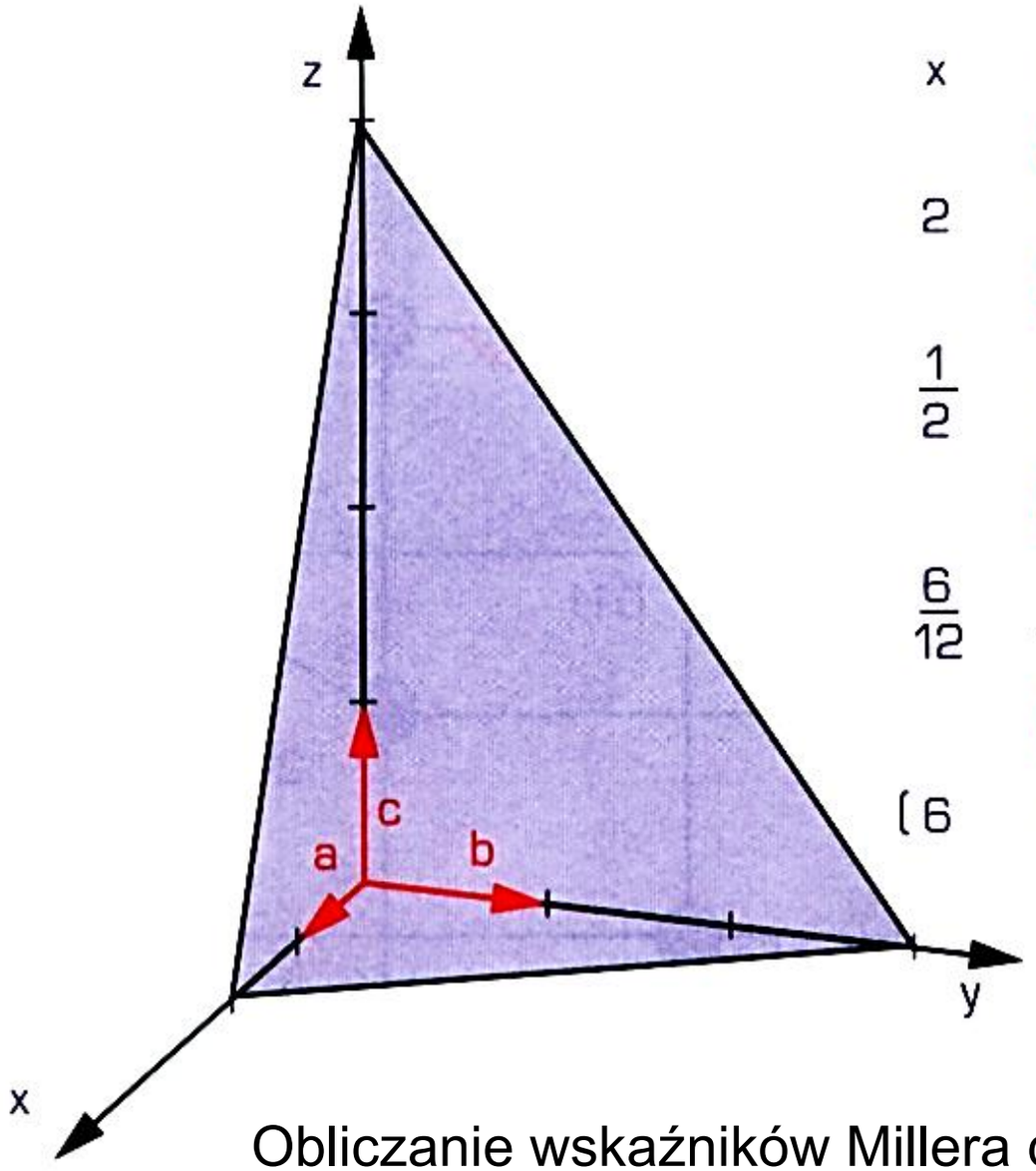
Wskaźniki Millera dla prostych



Prostą koloru czarnego należy przesunąć w lewo wzdłuż osi Y o jedną stałą sieciową.

Wskaźniki Millera dla prostych definiuje się dla linii przechodzących przez początek układu współrzędnych.

Wskaźniki Millera dla płaszczyzn

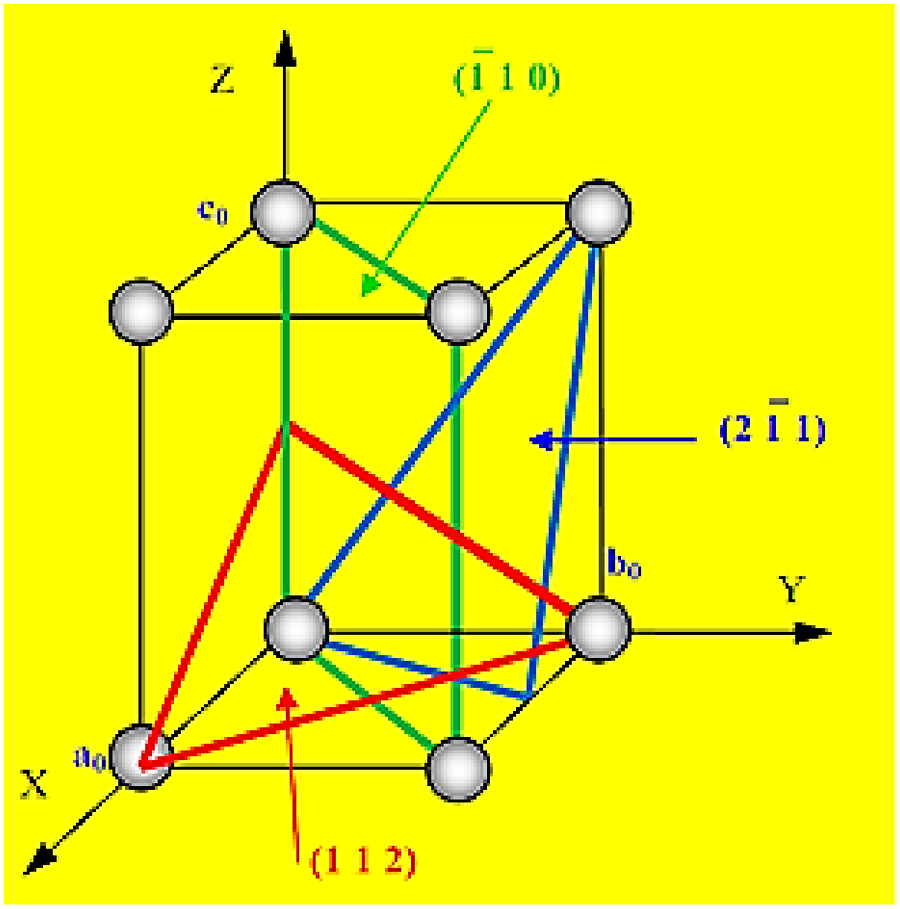


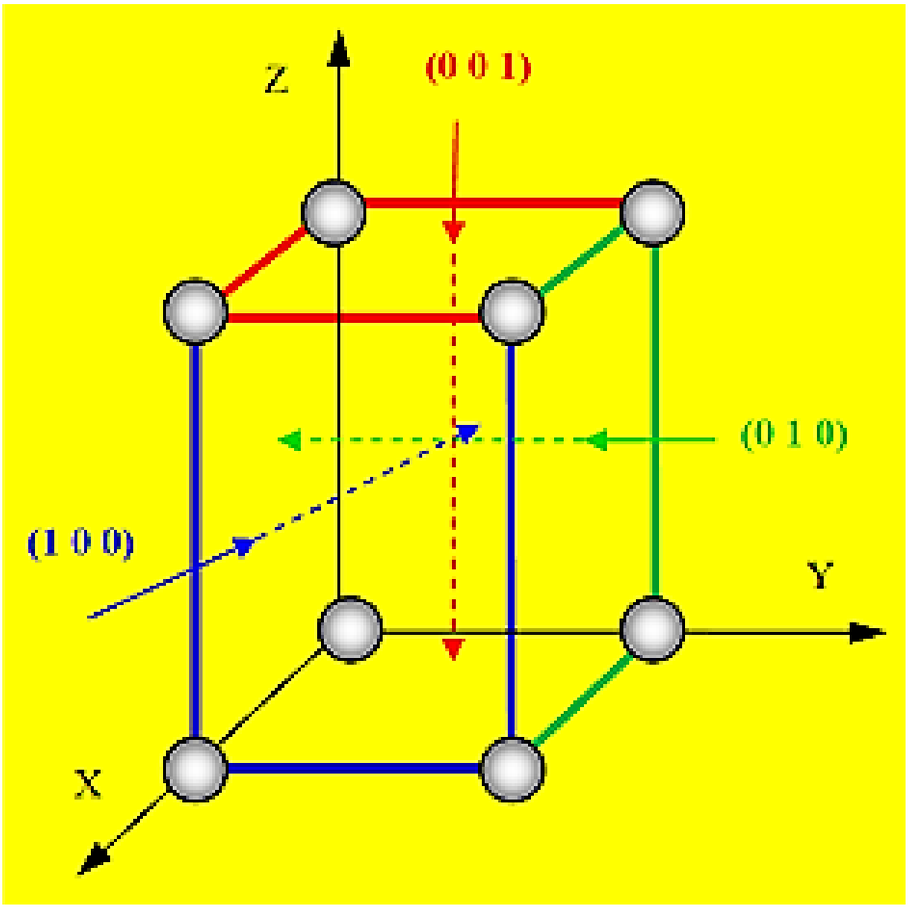
x	y	z
2	3	4
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{6}{12}$	$\frac{4}{12}$	$\frac{3}{12}$
(6	4	3)

Obliczanie wskaźników Millera dla płaszczyzn

Należy znaleźć odwrotności odległości przecięcia poszczególnych osi, licząc od początku układu współrzędnych przestrzennych i sprowadzić je do wspólnego mianownika. Liczniki otrzymanych ułamków będą szukanymi wskaźnikami Millera dla rozpatrywanej płaszczyzny.

Przykłady wskaźników Millera dla płaszczyzn





Płaszczyznę koloru niebieskiego należy przesunąć w lewo wzdłuż osi Y o jedną stałą sieciową.

Płaszczyznę koloru zielonego należy przesunąć w głąb wzdłuż osi X o jedną stałą sieciową.

Wskaźniki Millera definiuje się dla płaszczyzn nieprzechodzących przez początek układu współrzędnych.