

ELEKTROTEHNIČKI MATERIJALI

Doc. dr Milena Đukanović
milenadj@ac.me

**PREDAVANJE III
KRISTALI,
KRISTALNA REŠETKA**

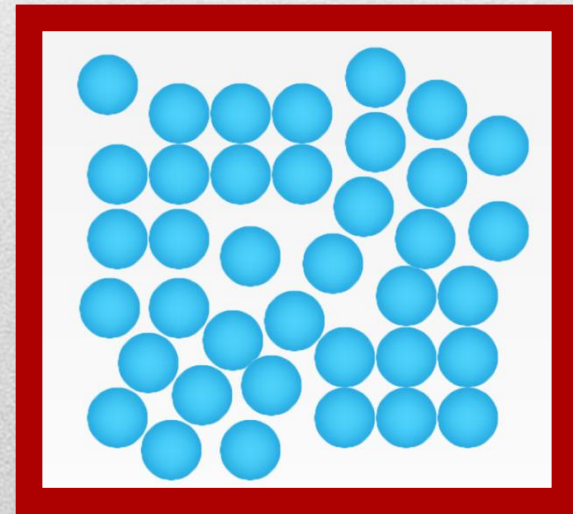
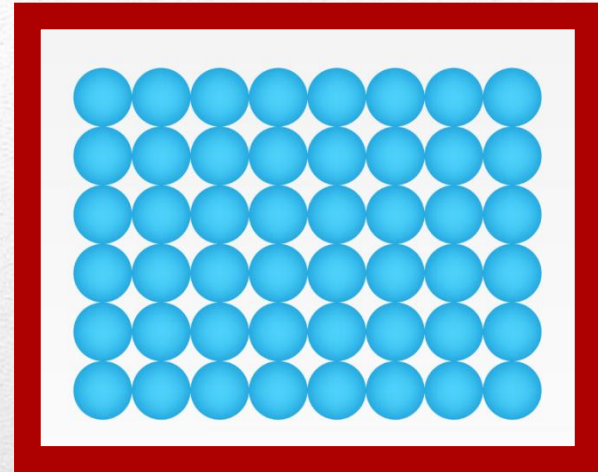
ČVRSTO AGREGATNO STANJE:

- Materijale u čvrstom agregatnom stanju možemo podijeliti na:
 - **Monokristalne**
 - **Polikristalne**
 - **Polimerne**
 - **Amorfne.**
- Riječ kristal se do kraja srednjeg vijeka odnosila samo na kvarc (slika 1 i 2), a koji je drugi najzastupljeniji mineral u Zemljinoj kori.
- Ipak, to ne znači da minerali i drago kamenje nisu bili poznati i opisani znatno prije toga.
- Kroz istraživanja u laboratoriji od XVII vijeka do danas, potvrđena je struktura kristalnih materijala koju čine identične strukturne jedinice koje se pravilno ponavljaju.



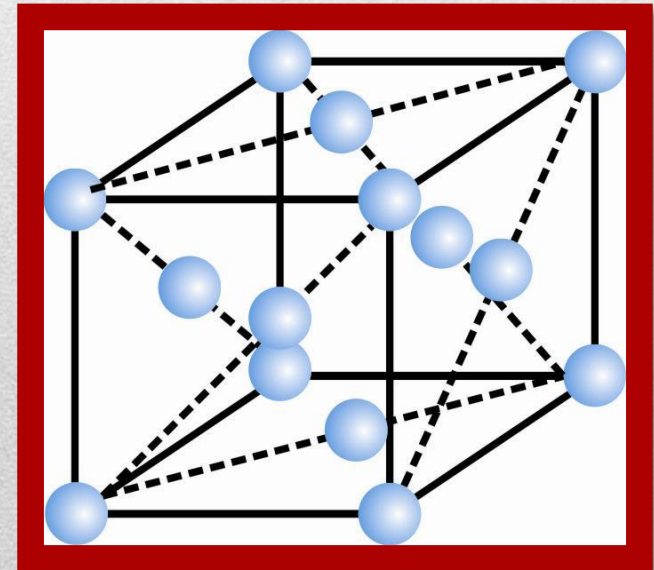
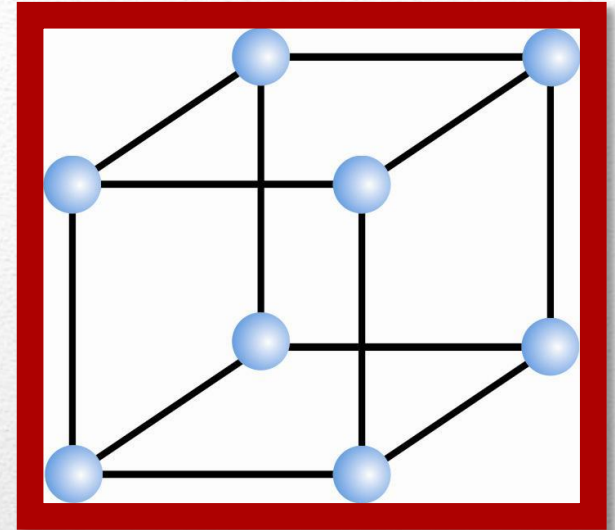
ČVRSTO AGREGATNO STANJE:

- Monokristalni materijali imaju pravilan raspored strukturnih jedinica u čitavoj zapremini uzorka, tj. maksimalno su uređeni!
- Brzina kretanja nosilaca naelektrisanja znatno je veća u monokristalima, pa je i sama brzina poluprovodničkih kola veća u slučaju kada su izgrađena od monokristala.
- Strukturom monokristala moguće je objasniti i polikristale, jer mikroskopski monokristali čine zrnastu građu polikristalnih materijala.



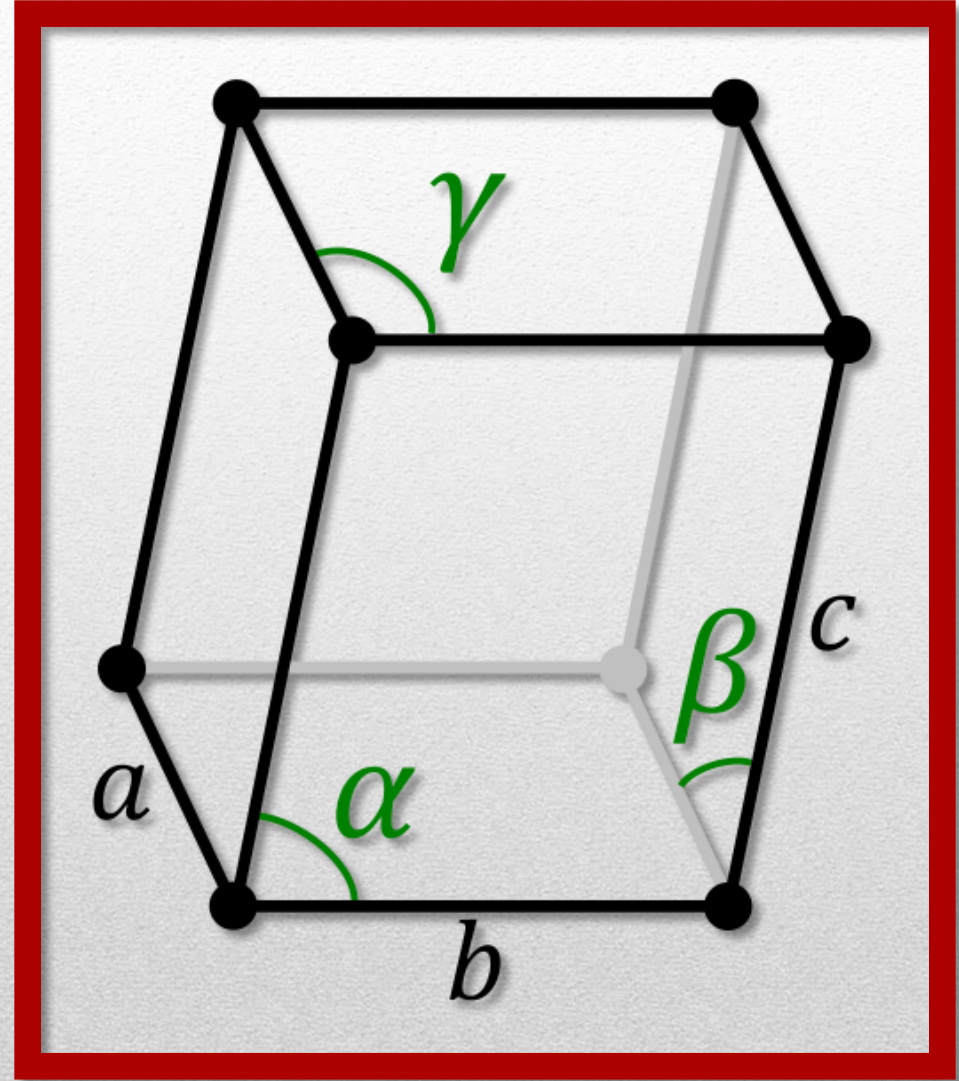
KRISTALNA REŠETKA:

- Kristalnu strukturu materijala, pravilan trodimenzionalan raspored atoma u prostoru, matematički opisujemo modelom kristalne rešetke.
- Kristalna rešetka je samo zamišljeni, a ne realni model kristala: kuglice predstavljaju atome (jone, molekule), a linije koje povezuju kuglice simbolizuju sile koje djeluju između njih.
- Najmanji mikrokristal karakterističnih zapremina naziva se elementarna ili jedinična ćelija (slika 1 i 2).
- Poznavajući karakteristike jediničnih ćelija, poznate su nam i karakteristike odgovarajućih kristalnih rešetki.



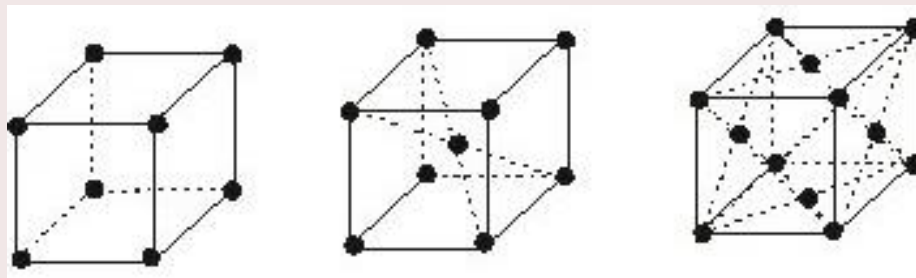
KRISTALNA REŠETKA:

- Postoji 14 tipova (3D) elementarnih kristalnih rešetki (Braveovih rešetki).
- Osnovne osobine jedinične ćelije:
 1. geometrijski parametri rešetke – veličina i oblik jedinične ćelije i uglovi između strana,
 2. broj atoma u jediničnoj ćeliji,
 3. veza između poluprečnika atoma i parametra rešetke,
 4. koordinacioni broj – broj susjednih atoma koji dodiruju centralni atom,
 5. faktor atomskog pakovanja (*Atomic Packing Factor* - *APF*) – zapreminski udio koji zauzimaju atomi unutar jedinične ćelije,
 6. gustina.



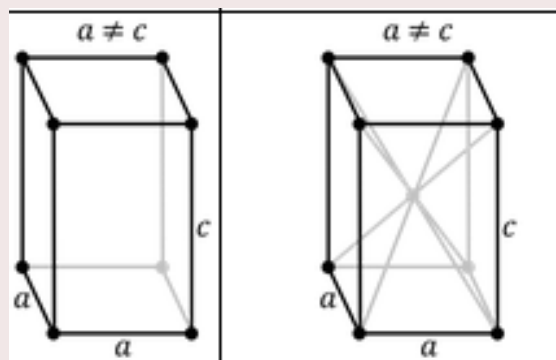
PREGLED KRISTALOGRAFSKIH SISTEMA:

SISTEM	OSE	UGLOVI
KUBNI	$a=b=c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



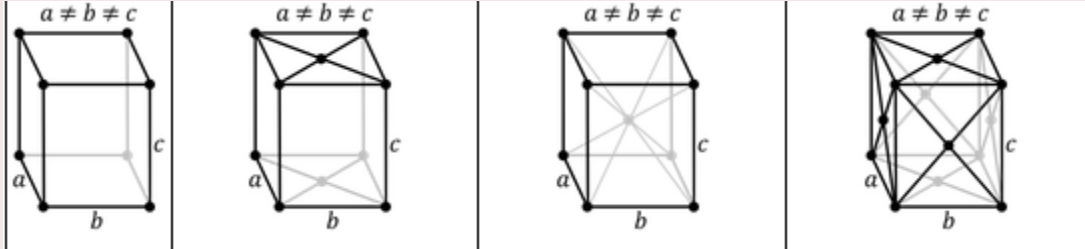
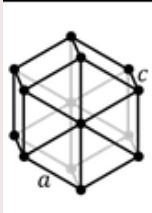
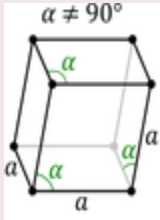
Osnovna, prostorno i površinski centrirana kubna kristalna rešetka

TETRAGONALNI	$a=b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
--------------	--------------	--------------------------------------

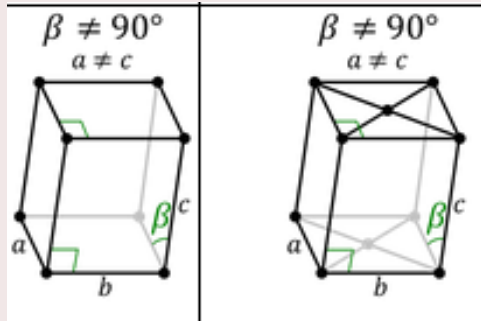
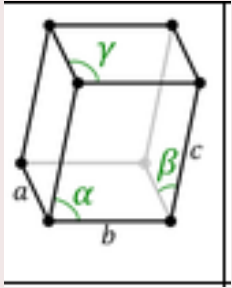


Osnovna i prostorno centrirana tetragonalna kristalna rešetka

PREGLED KRISTALOGRAFSKIH SISTEMA:

SISTEM	OSE	UGLOVI
ORTOROMBNI	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
 <p>Osnovna, bazno, prostorno i površinski centrirana kubna kristalna rešetka</p>		
HEKSAGONALNI	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
 <p>Osnovna heksagonalna kristalna rešetka</p>		
ROMBOEDARSKI	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
 <p>Osnovna romboedarska kristalna rešetka</p>		

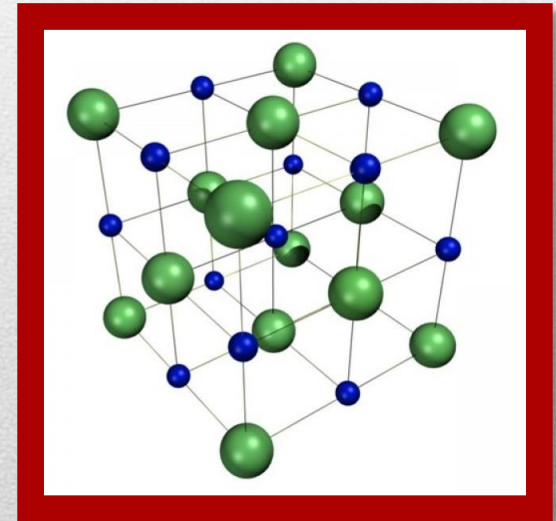
PREGLED KRISTALOGRAFSKIH SISTEMA:

SISTEM	OSE	UGLOVI
MONOKLINIČNI	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma \neq 90^\circ$
 <p>Osnovna i bazno centrirana monoklinična kristalna rešetka</p>		
TRIKLINIČNI	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
 <p>Osnovna triklinična kristalna rešetka</p>		

TIPOVI KRISTALNIH REŠETKI:

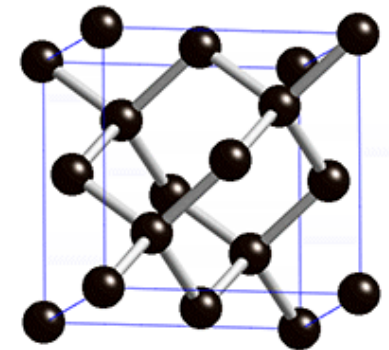
- U zavisnosti od vrste čestica i sila koje djeluju među njima, razlikujemo četiri osnovna tipa kristalnih rešetki:
 1. Jonske kristalne rešetke u čvorovima sadrže pozitivne i negativne jone između kojih deluju elektrostatičke sile. Tipičan primjer ovakvog kristala je kuhinjska so (NaCl). Struktura kuhinjske soli je takva struktura kod koje odvojeno atomi natrijuma i hlora čine površinski centriranu kubnu strukturu. Ova ista struktura se nalazi kod mnogih drugih minerala, u skoro svim alkalnim halogenidima, kao i mnogim dvovalentnim metalnim oksidima, sulfidima, selenidima itd. Uopšteno, u prirodi postoji velika vjerovatnoća da se formira ovakva struktura.

Koordinacioni broj u ovoj strukturi je 6: svaki katjon koordinira sa 6 anjona u tjemenu oktaedra, i slično, svaki anjon je koordiniran sa 6 katjona.



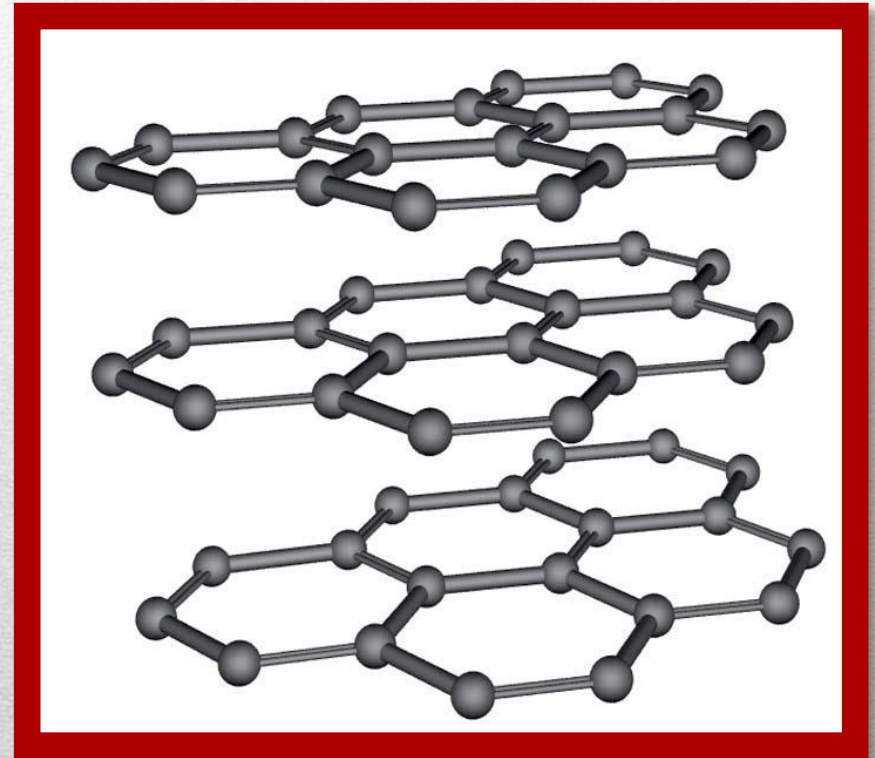
TIPOVI KRISTALNIH REŠETKI:

- U zavisnosti od vrste čestica i sila koje djeluju među njima, razlikujemo četiri osnovna tipa kristalnih rešetki:
- 2. Atomske kristalne rešetke imaju atome u svojim čvorovima. Između njih postoji kovalentna veza koja je izuzetno jaka pa su samim tim atomski kristali najtvrdi, najteže se sijeku, imaju veliku temperaturu topljenja. Ovakvi su dijamant, silicijum, germanijum itd. Kristalna struktura dijamanta je nešto složenija struktura koja potpada pod kubni kristalni sistem, ali ne pod jednostavne kombinacije, već se predstavlja kao modifikacija površinski centrirane kubne rešetke. Struktura dijamanta je važna jer se po njoj, osim samog dijamanta, kristališu poluprovodnici Ge i Si. Osnovnu ulogu u ovoj strukturi igraju tetraedične valentne veze kojima je svaki atom ugljenika vezan sa četiri najbliža susjeda raspoređena u tetraedar. Čvrstina i sposobnost dijamanta da prelama svjetlost su posljedica njegove strukture.



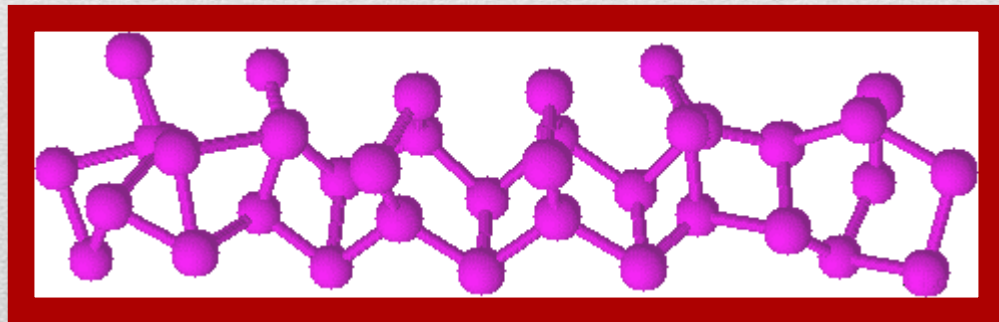
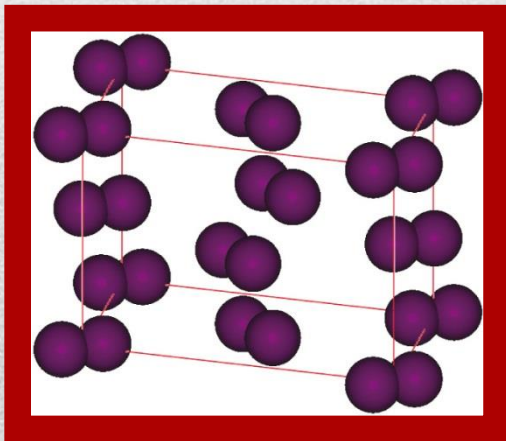
TIPOVI KRISTALNIH REŠETKI:

- U zavisnosti od vrste čestica i sila koje djeluju među njima, razlikujemo četiri osnovna tipa kristalnih rešetki:
2. Drugi primjer atomske kristalne rešetke je grafit. Kao i dijamant, grafit je građen od atoma ugljenika, ali je prostorni raspored atoma unutar kristala drugačiji. U kristalnoj rešetki grafita (slika 1) atomi ugljenika su raspoređeni slojevito, u obliku šestočlanih prstenova. Unutar tih šestočlanih prstenova atomi su povezani jakim kovalentnim vezama, dok su između paralelnih slojeva te veze znatno slabije, tako da slojevi klize jedan preko drugog. Između slojeva se nalaze i slobodni elektroni.



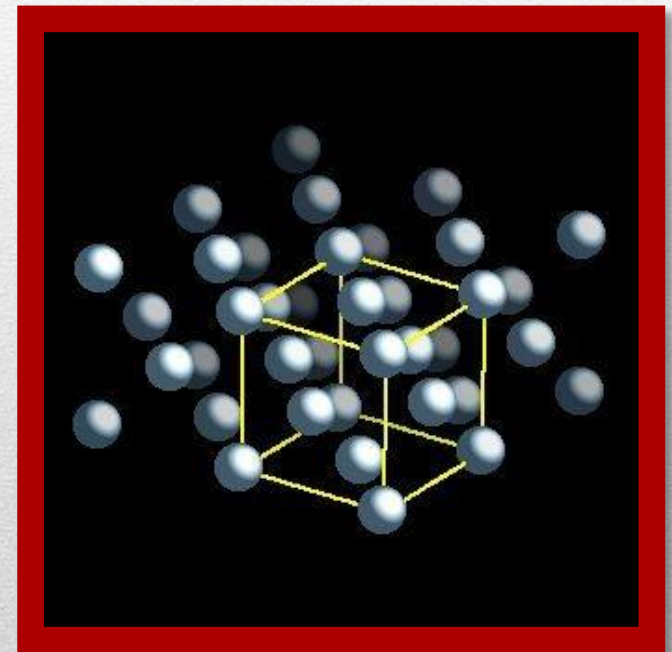
TIPOVI KRISTALNIH REŠETKI:

- U zavisnosti od vrste čestica i sila koje djeluju među njima, razlikujemo četiri osnovna tipa kristalnih rešetki:
3. Molekulske kristalne rešetke u čvorovima imaju molekule koji su elektroneutralne čestice, ali pozitivna i negativna naelektrisanja nisu pravilno raspoređena. Zato između molekula djeluju slabe električne sile, pa se iz tog razloga ovakvi kristali lako razgrađuju. Primjeri ovakvih kristala su elementi jod i fosfor (slike 1 i 2), a od jedinjenja su led, kvarc i šećer.



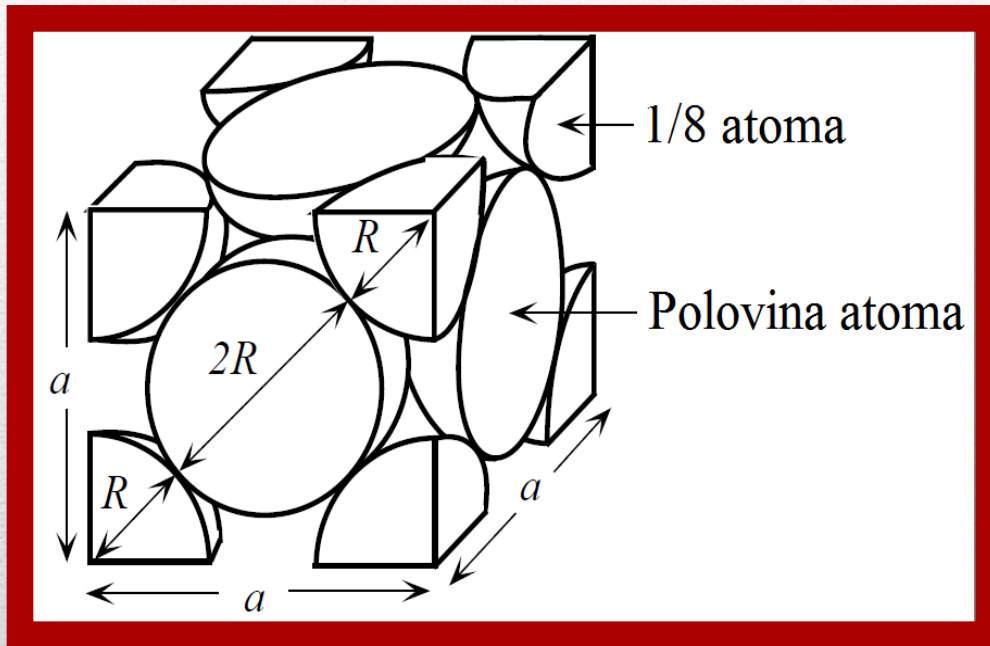
TIPOVI KRISTALNIH REŠETKI:

- U zavisnosti od vrste čestica i sila koje djeluju među njima, razlikujemo četiri osnovna tipa kristalnih rešetki:
4. U čvorovima metalnih kristalnih rešetki nalaze se pozitivno naelektrisani joni. Odvojeni od jona, elektroni se kreću haotično kroz kristal, pri čemu između jona i elektrona djeluju električne sile. Metali su zbog velikog broja slobodnih elektrona, jako dobri provodnici električne struje i toplote. Na slici je prikazana metalna rešetka aluminijuma (istu metalnu rešetku imaju i Ag, Au, Cu, Ni, Pd, Pt, γ -Fe ($>912^{\circ}\text{C}$)).



JEDINIČNE ČELIJE KRISTALNE REŠETKE:

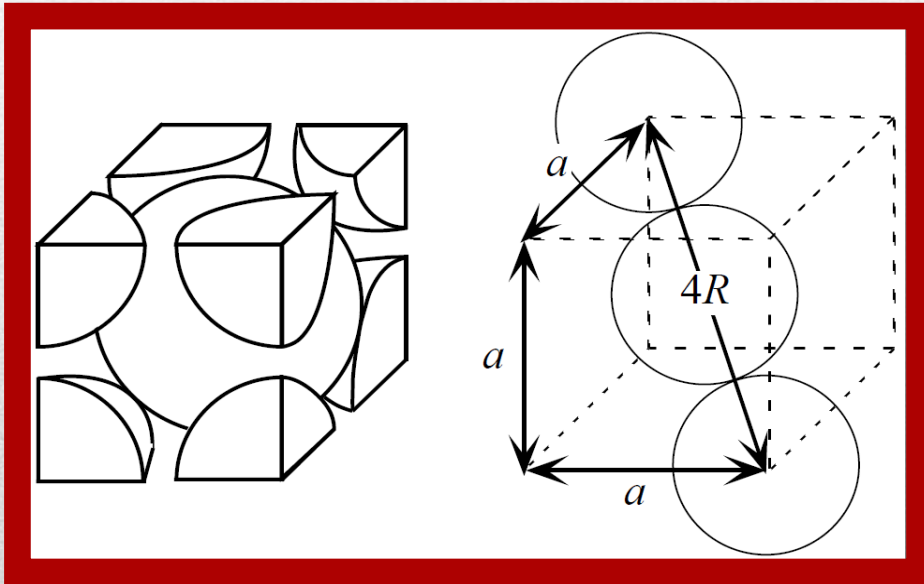
- FCC (Face Centered Cubic) ćelija (Ag, Al, Au, Cu, Ni, Pd, Pt, γ -Fe ($>912^{\circ}\text{C}$))



- Ukupan broj atoma:
$$\text{broj atoma} = 8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$$

JEDINIČNE ĆELIJE KRISTALNE REŠETKE:

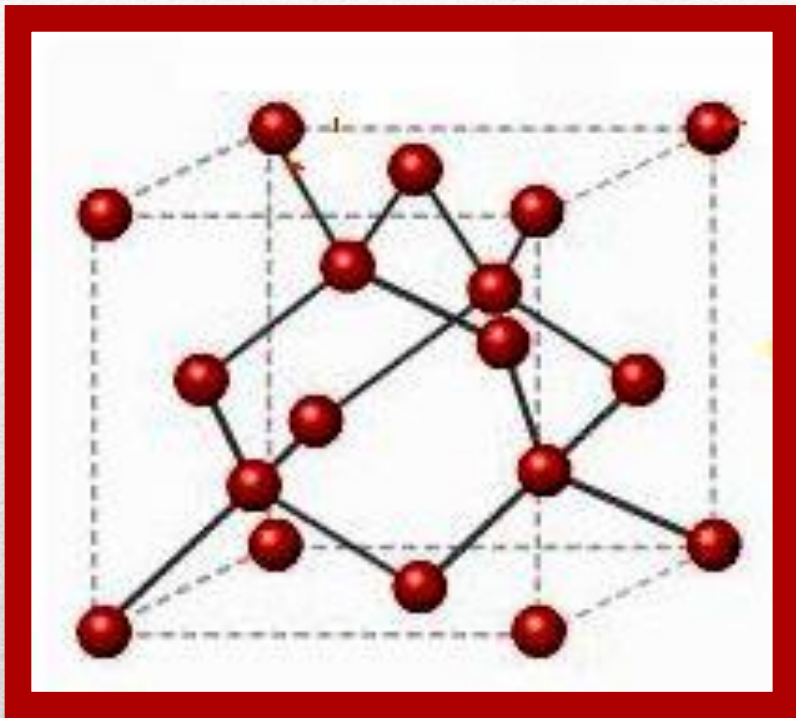
- BCC (Body Centered Cubic) ćelija (Li, Na, K, Rb, Cr, Mo, W, Mn, α -Fe (<912°C), β -Ti (>882°C))



- Ukupan broj atoma:
$$\text{broj atoma} = 8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$$

JEDINIČNE ČELIJE KRISTALNE REŠETKE:

- Dijamantska jedinična ćelija (Ge, Si, α -Sn)

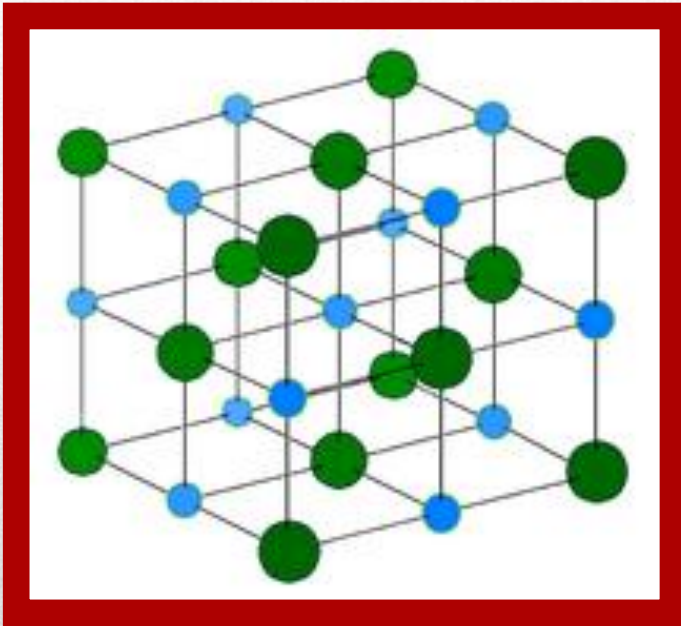


- Ukupan broj atoma:

$$\text{broj atoma} = 8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} + 4 = 8$$

JEDINIČNE ČELIJE KRISTALNE REŠETKE:

- NaCl jedinična ćelija (NaCl, AgCl, LiF, MgO, CaO)



- Ukupan broj atoma:

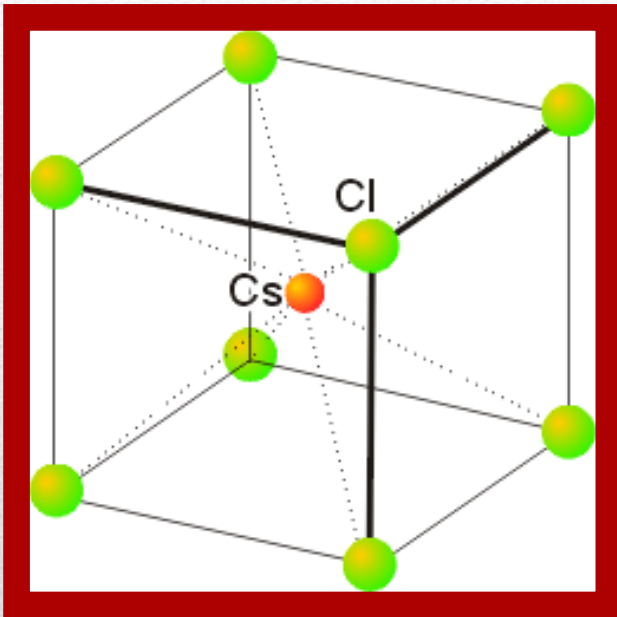
$$Cl \text{ anjona} = 8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$$

$$Na \text{ katjona} = 12 \times \frac{1}{4} + 1 = 4$$

R_+/R_-	<0.155	0.155-0.225	0.225-0.414	0.414-0.732	0.732-1
CN	2	3	4	6	8
Primjer			ZnS	NaCl	CsCl

JEDINIČNE ČELIJE KRISTALNE REŠETKE:

- CsCl jedinična ćelija (CsCl, CsBr, CsI, TlBr, TlCl, TlI)



- Ukupan broj atoma:

$$Cl \text{ anjona} = 8 \times \frac{1}{8} = 1$$

$$Cs \text{ katjona} = 1$$

R_+/R_-	<0.155	0.155-0.225	0.225-0.414	0.414-0.732	0.732-1
CN	2	3	4	6	8
Primjer			ZnS	NaCl	CsCl