

# MATERIJALI I

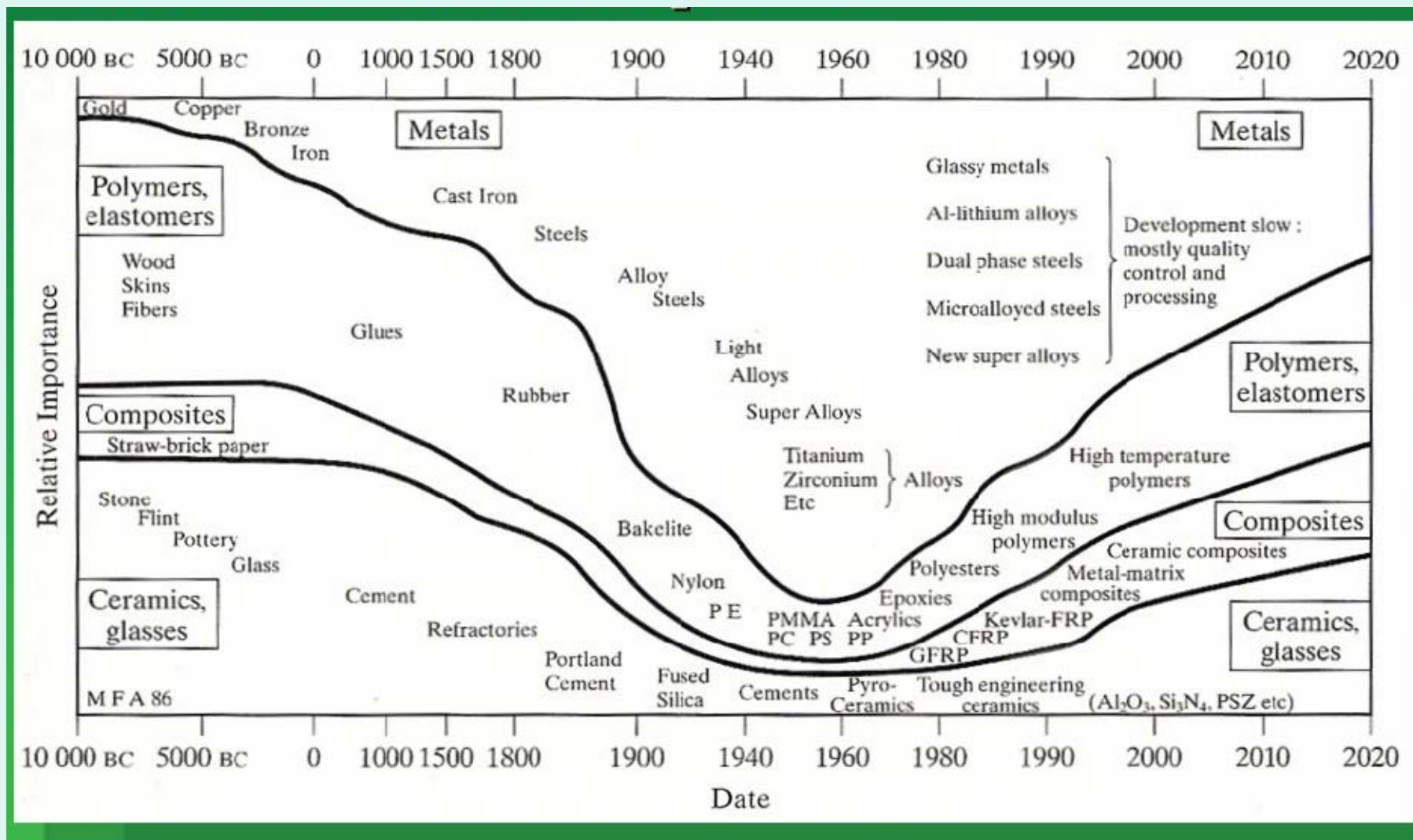
Prof. dr. sc. Loreta Pomenić

Lekcije od 1. – 4.

Materijali zauzimaju veliki dio naše kulture i više nego o tome razmišljamo. Svaki dio naše svakodnevice uključuje neke od materijala koje koristimo, kao na primjer, prijevozna sredstva, kuće i kućanski aparati, odjeća, obuća, rekreacija, proizvodnja hrane itd. Povijesno gledano, razvoj i unapređenje društva povezani su sa sposobnošću članova zajednice da proizvedu i koriste materijale za zadovoljenje svojih potreba. Tako su rane civilizacije obilježene prema nivou razvoja materijala (kameno doba, brončano doba, željezno doba koja odgovaraju razdoblju od otprilike 2.5 milijuna godina prije nove ere, odnosno 3500 do 1000 godina prije nove ere).

Prvi ljudi su imali pristup vrlo ograničenom broju materijala, samo onih koji su ih okruživali u prirodi: kamen, glina, koža, drvo, itd. S vremenom su ljudi pronašli načine kako proizvesti materijale koji imaju bolja svojstva od onih koje su pronalazili u prirodi. Ti novi materijali, koji uključuju keramiku i različite metale, imali su nova i bolja svojstva od prijašnjih. Otkrili su da se svojstva materijala mogu promijeniti korištenjem topline i dodavanjem drugih tvari. Tada se shvatilo da je upotreba materijala povezana s procesom njegova odabira i davanja novih funkcija. Tek relativno u novije vrijeme, otprilike u zadnjih 100 godina znanstvenici su počeli razumijevati povezanost strukturnih elemenata materijala i njihovih svojstava. Rezultat toga su pronalasci stotine novih različitih materijala, koji su zbog svojih posebnih karakteristika, našli i posebno mjesto u našem modernom društvu. To su materijali metali, plastike, stakla, vlakna itd. U našem dobu je razvoj novih tehnologija i novih materijala, kao što su poluvodiči i sofisticirani

# Evolucijski pregled tehničkih materijala



Relativna važnost materijala u odnosu na vrijeme (godine) kroz povijest, ali i predviđanje za budućnost

# Okvirni sadržaj predmeta

## MATERIJALI I

Definicija i vrste materijala. Trendovi primjene materijala u tehnici.

- **Građa tvari. Međuatomske i međumolekulske veze i svojstva materijala. Kristalna i amorfna struktura. Metalni, kovalentni, ionski, molekulski i tekući kristali.**
- **Osnove kristalografije. Millerovi indeksi. Kristali mješanci i prijelazne faze. Kristalne nesavršenosti.**
- **Difuzija.**
- **Skrućivanje metala.**
- **Kristali mješanci i prijelazne faze. Fazne pretvorbe. Dvokomponentni sustavi legura.**
- **Polimerni materijali. Dobivanje polimera. Bitne značajke makromolekula. Plastomeri i duromeri. Elastomeri. Intermolekulske sile. Kristaličnost polimera. Topivost i termodegradacija polimera.**
- **Keramički materijali u tehnici. Struktura keramike. Sinteriranje.**
- **Kompozitni materijali- definicije, osnovni pojmovi i sistematizacija. Struktura kompozita.**

**Ciljevi nastave su da studenti upoznaju:**

- vrste materijala,**
- materijale koji se koriste u tehnici (strojarstvo, brodogradnja)**
- strukturu i svojstva konstrukcijskih materijala,**
- potrebno je da studenti nauče razlikovati materijale na temelju znanstvenih spoznaja**
- potrebno je naučiti mogućnosti njihove primjene**
- student trebaju naučiti odabrati optimalan material za izradu svog proizvoda**

## Lekcija 1.

# UVOD

- **definicija materijala**
- **povijest važnijih materijala**
- **povijesni pregled materijala**

# ŠTO SU MATERIJALI ?

- **Materijali su čvrste tvari koje imaju masu i zauzimaju prostor. Uvjet da neka čvrsta tvar bude materijal je taj da mora imati jedno ili više specifičnih svojstava koja ju čine materijalom (npr. električna vodljivost, mehanička otpornost, obradivost, itd.).**
- **Materijali su čvrste tvari iz kojih su izrađeni proizvodi korisni za uporabu.**
- **Razumijevanje činjenice da se materijali ponašaju onako kako se ponašaju pod utjecajem okoline, te zašto imaju međusobno različita svojstva, bilo je moguće samo uz pomoć razumijevanja atomske građe tvari i prihvaćanja kvantne mehanike koja je definirala atome i čvrsta tijela negdje početkom tridesetih godina prošlog stoljeća. Te su spoznaje omogućile odgovore na mnoga pitanja pa i ona kako možemo promijeniti svojstva materijala kako bismo dobili nešto bolje i jeftinije proizvode. Ili, kako novo uočena svojstva materijala korisno uporabiti, tj. pronaći im nova područja primjene.**



# **KRATKI KRONOLOŠKI PREGLED TEHNIČKI VAŽNIH MATERIJALA (materijali posebnih svojstava)**

- **20. stoljeće – pronalazak i uporaba novih materijala kojih nema u prirodi**
- **1907. – bakelit, prvi potpuno sintetski polimer (Leo Baekand, Belgijac) SAD**
- **1909. – precipitacijsko očvršćivanje Al-legura (aeronautika); čelici s 13% Cr**
- **1915.- Pyrex, staklo za visoke temperature**
- **1925.- nehrđajući čelik, 18/8 Cr/Ni**
- **1930.- umjetna guma; staklena vlakna (za kompozite)**
- **1933.- polietilen**
- **1934.- poliamid, Nylon**
- **1936.- polimetilmetakrilat, Plexiglass**
- **1938.- politetrafluoretilen, Teflon**
- **1940.- Ni- superlegure**
- **Cr, Ti + Al – legure za mlazne motore, energane, svemirske brodove**
- **Keramički magneti (feriti, složeni iz karbida željeza, Ni i drugih metala), visokofrekventne komunikacije, snimanje glazbe)**

# **KRATKI KRONOLOŠKI PREGLED TEHNIČKI VAŽNIH MATERIJALA (materijali posebnih svojstava) - nastavak**

- **Ni-Zn – keramički magneti, za jezgre kompjutorske memorije, u TV i komunikacijskoj opremi**
- **1945.- Ba-titanat, keramika (daje električni naboj ako je mehanički izložen i obnuto), tehnologija zvuka i zapisa, sonari, ultrazvuk**
- **1946.- silikoni, brtve, maziva, implantati**
- **1956.- sintetski dijamanti**
- **1962.- Ni-Ti legure koje “pamte” oblik**
- **1964.- ugljična vlakna**
- **1970.- amorfne legure, signali, transformatori, senzori**
- **1977. - organski poluvodiči (Hideki Shirakawa, Alan MacDiarmid i Alan Heeger (LED- diode koje emitiraju svjetlost), solarne ćelije, display mobitela- 2000. g. Nobelova nagrada za kemiju**
- **1986-1990.- umjetna koža**
- **1990.- nanotehnologija**

# Materijali budućnosti

- **Nanomaterijali – mikrostruktura koja je reda veličine od 1 do 100 nanometara i imaju neuobičajena svojstva**
- **“Pametni materijali” – avionska krila koja će samostalno odlučivati, zgrade koje će se same stabilizirati u slučaju zemljotresa**
- **Okolišu prihvatljivi materijali- biorazgradljive ili fotorazgradljive plastike**
- **Materijali za: dugotrajnije baterije, za lopatice turbina koje mogu raditi na ekstremno visokim temperaturama, supravodiči koji rade na sobnoj temperaturi, kemijski senzori, odjeća koju neće trebati glačati i koja će se prilagođavati vanjskoj temperaturi**
- **Materijali koji će se proizvesti proučavajući prirodu, kojih ima u prirodi ali ih zasad ne znamo proizvesti**

## Lekcija 2.

# VRSTE MATERIJALA I PODJELE

- načini podjele materijala
- opće karakteristike materijala (metali, polimeri, keramike, kompoziti, poluvodiči, biomaterijali)
- selekcija materijala
- veza između materijala, funkcije, oblika i procesa

# PODJELA MATERIJALA PREMA PODRIJETLU

## PRIRODNI

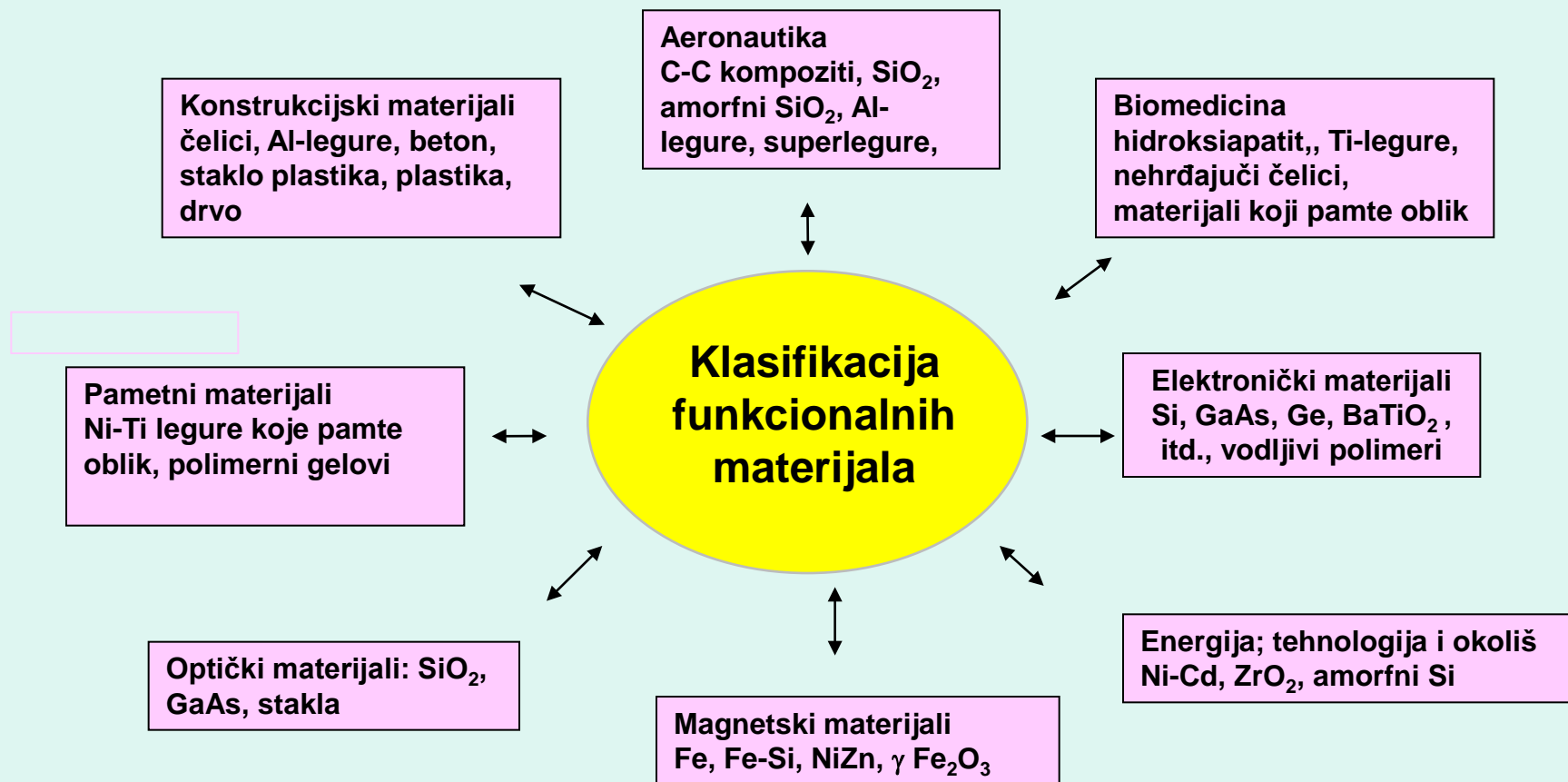
- metali
- kamen
- glina
- drvo
- vuna
- svila
- koža
- krzno
- pamuk, itd.

## UMJETNI, SINTETSKI

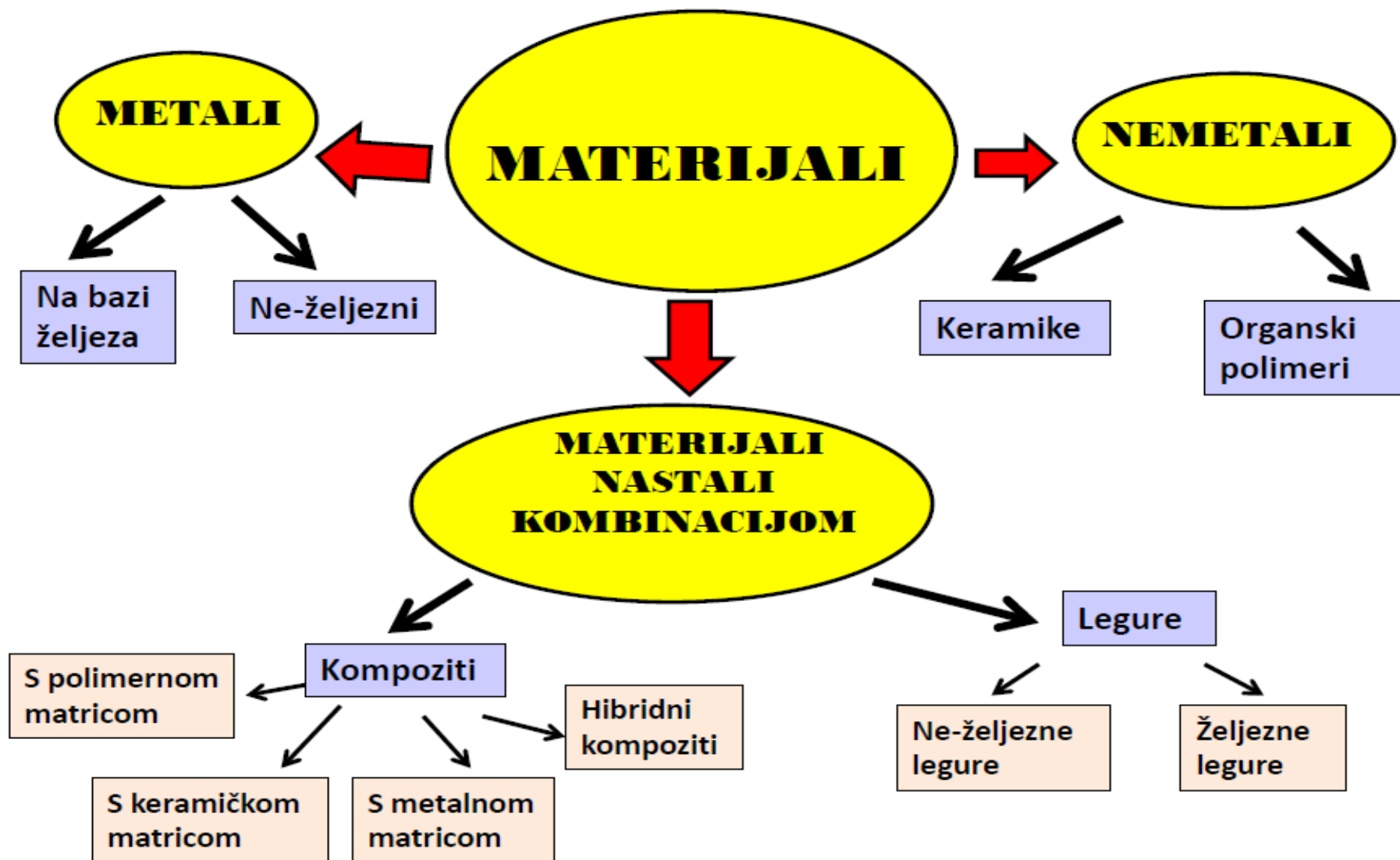
(nisu izravno iz prirode)

- legure metala
- polimeri
- poluvodiči
- supravodiči
- tehničke keramike
- kompoziti

Podjela materijala prema njihovom podrijetlu



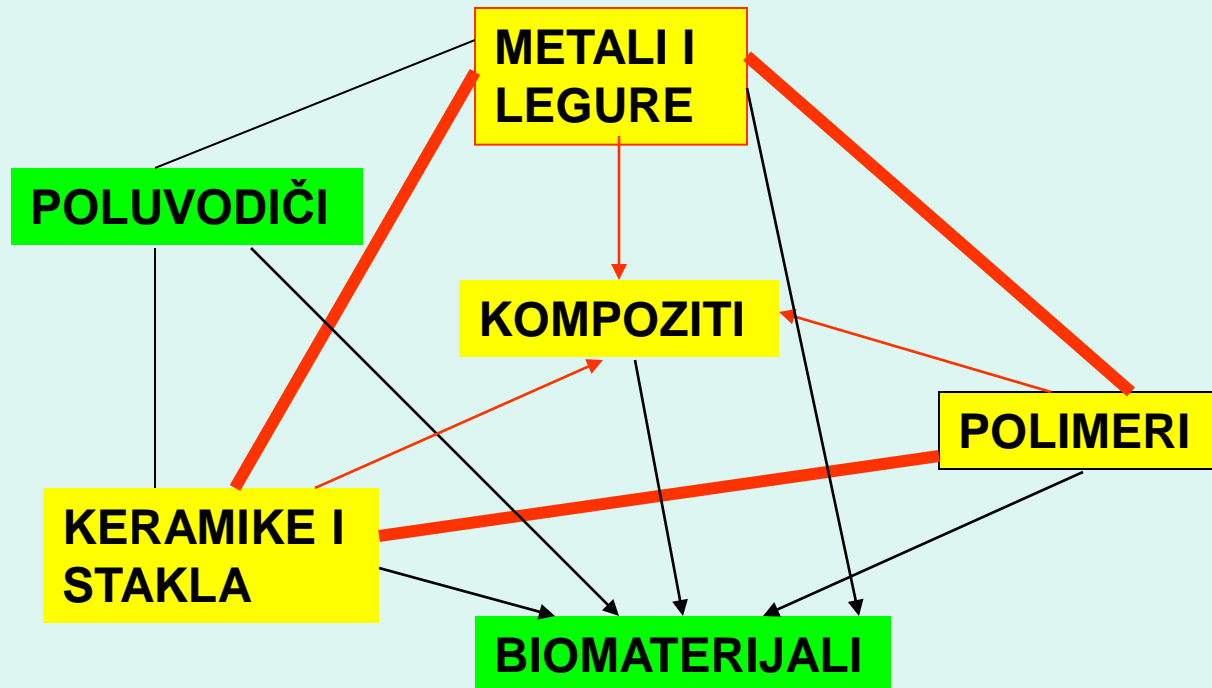
## Klasifikacija funkcionalnih materijala



Podjela materijala

# PODJELA MATERIJALA PREMA VRSTI, GRAĐI, SVOJSTVIMA I PRIMJENI

- **strojarstvo, brodogradnja, aeronautika, građevinarstvo**, itd.: metali i legure, keramike, polimeri, kompoziti
- elektrotehnika i elektronika: poluvodiči, metali, keramike, polimeri
- medicina: biomaterijali, metali, keramike, polimeri, kompoziti





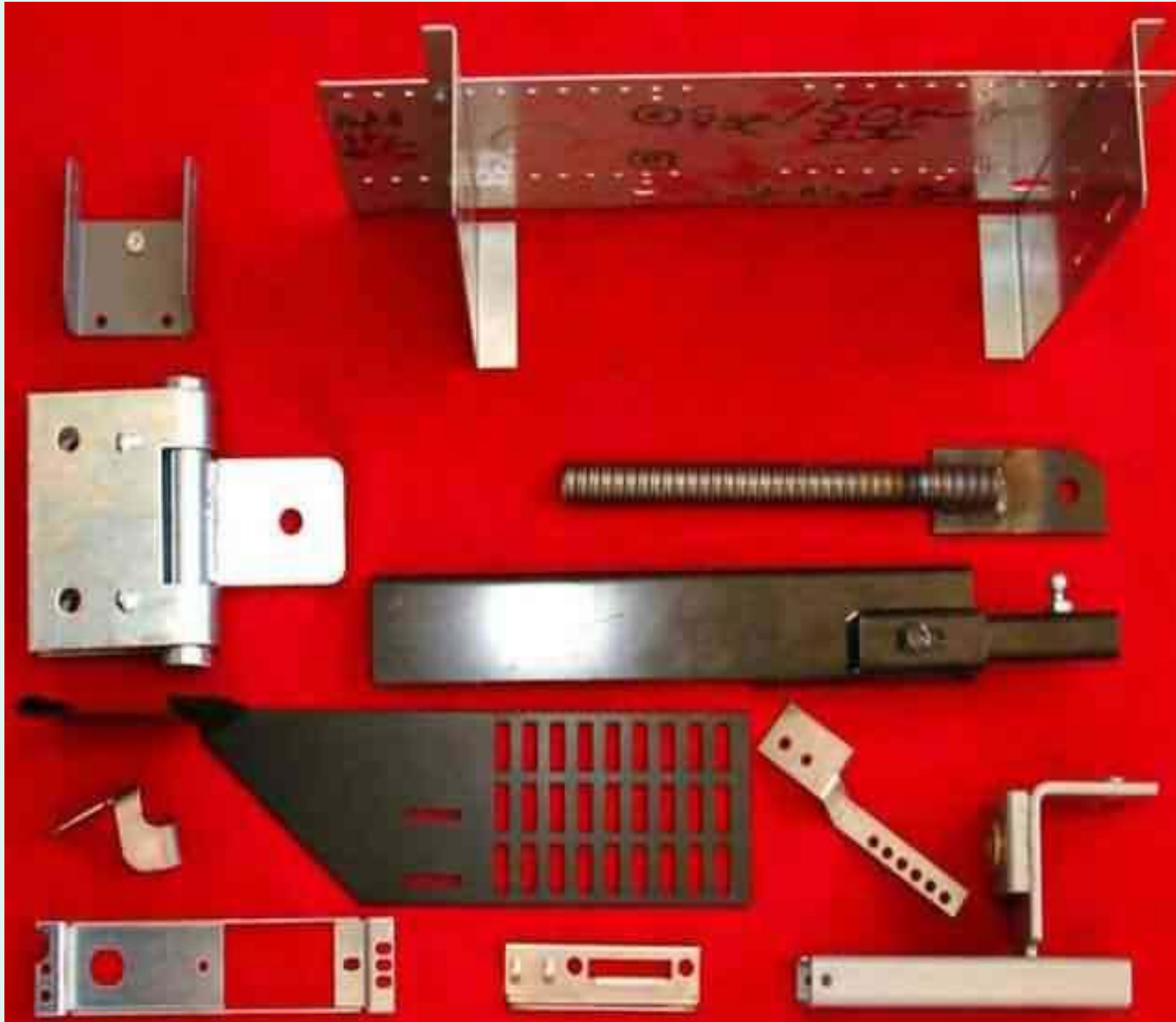
# METALI I LEGURE

**Metalni materijali i legure** su anorganske tvari sastavljene od atoma kemijskih elemenata po karakteru metala povezanih međusobno metalnom vezom. Većina elemenata u periodnom sustavu su metali. Primjer legura su Cu-Zn, mjed i Fe-C, čelik. Najviše ima legura kojima je osnovni element Fe.

Osnovne karakteristike metala su:

- kristalana struktura,
- dobra električna i toplinska vodljivost,
- čvrsti su i žilavi,
- imaju metalni sjaj

# Primjeri nekih proizvoda iz metala i legura







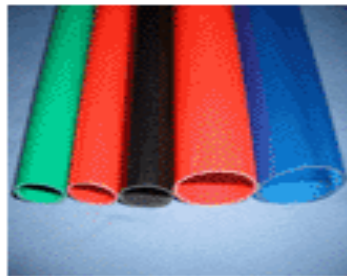
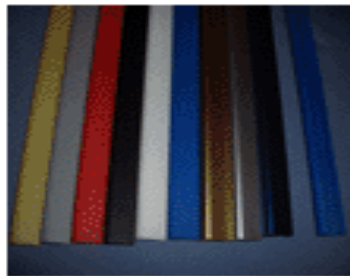
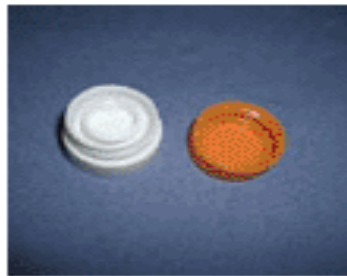
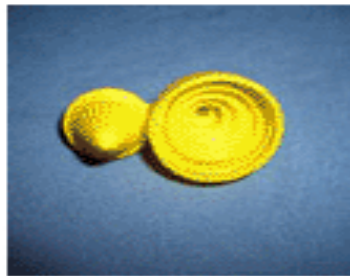
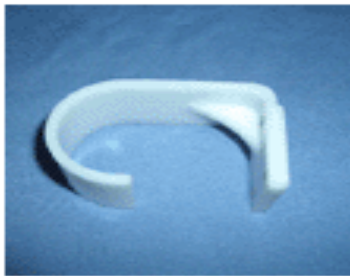
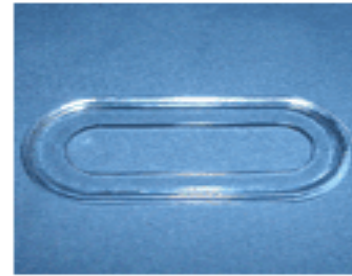
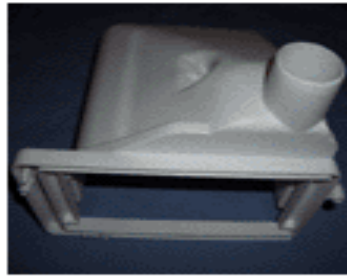
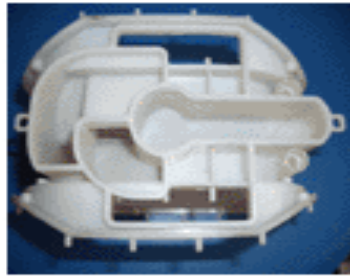
# POLIMERNI MATERIJALI

- **Polimeri su organske tvari - makromolekule sastavljene iz ponavljajućih jedinica (mera) koje su međusobno povezane kovalentnom vezom, a dobiveni su procesom polimerizacije (sintetski).** Najčešće se sastoje iz lanaca atoma ugljika na kojima su vezani atomi vodika, kisika, dušika, sumpora, klora, itd.

Karakteristike polimera su:

- struktura: velike molekule (makromolekule) – lanci uglavnom u nesređenom poretku,
- slaba električna vodljivost (tipični su izolatori),
- slaba toplinska vodljivost,
- mehanička svojstva su im različita i ovise o kemijskom sastavu i strukturi,
- neotporni su na visokim temperaturama,
- uglavnom su otporni na utjecj različitih kemikalija

# Primjeri nekih proizvoda iz polimera



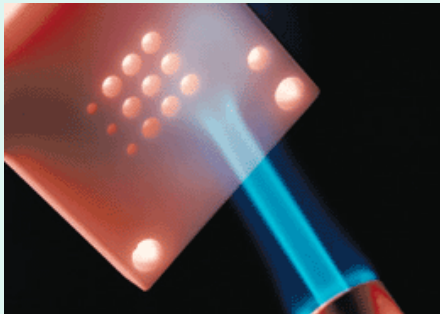
# KERAMIČKI MATERIJALI

**Keramički materijali su anorganski materijali kristalne građe (stakla su amorfne građe) sastavljeni od atoma metalnih i nemetalnih kemijskih elemenata koji su međusobno spojeni uglavnom kemijskim vezama (kovalentnim i /ili ionskim vezama).**

**Osnovne karakteristike tih materijala su:**

- **kristalna ili amorfna (stakla) građa,**
- **tvrdi su i krhki,**
- **slabo provode toplinu,**
- **uglavnom su izolatori,**
- **imaju dobra mehanička svojstva na visokoj temperaturi**

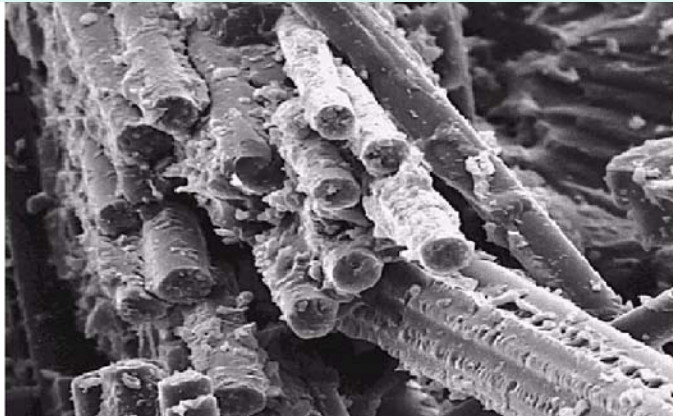
# Primjeri nekih proizvoda iz tehničke (inženjerske) keramike





# KOMPOZITNI MATERIJALI

- **Kompoziti su materijali sastavljeni iz drugih već gotovih materijala, uglavnom kao njihova mješavina, kako bi zajedno imali nova svojstva, tj. ona svojstva koja svaki materijal sam ne bi imao. Sastavljeni su iz najmanje dva materijala (komponente) jedna je komponenta osnovni materijal, a druga je komponenta materijal za očvršćivanje (npr. vlakna ili čestice).**



Mikrostruktura kompozita

Palica za golf

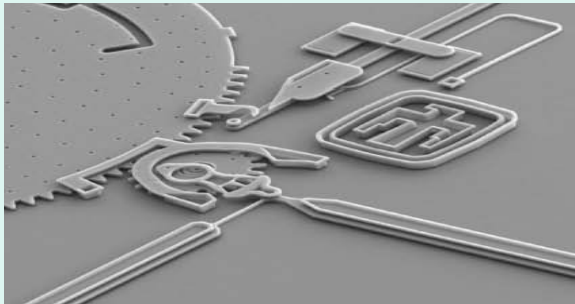






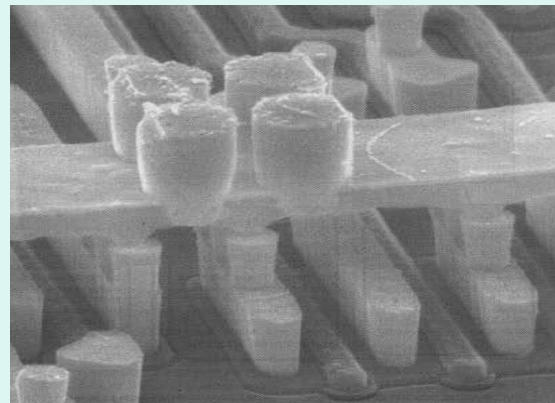
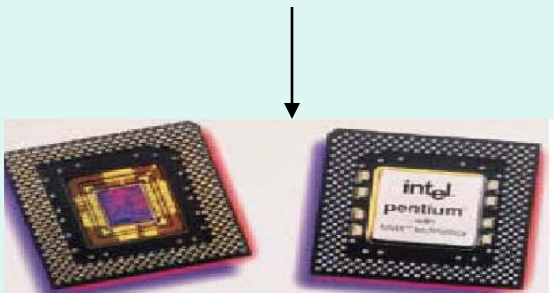
# POLUVODIČI

**Poluvodiči** su silicij, germanij, galij, arsen. Oni provode električnu struju ako se valentni elektroni pobude s pomoću toplinske, optičke ili neke druge energije kako bi prešli iz valentne trake u traku električne vodljivosti.



Elektronički sklopovi

Pločice čipova, Si



# BIOMATERIJALI

Biomaterijali se primjenjuju u komponentama koje se ugrađuju u ljudsko tijelo zbog zamjene ozlijeđenog ili bolesnog dijela tijela (npr. umjetni kuk).



Sve navedene vrste materijala metali, keramike, polimeri, kompoziti i poluvodiči mogu se koristiti kao biomaterijali.

Ti materijali moraju biti netoksični, ne smiju korodirati niti na drugi način reagirati s okolnim tkivom.

Endoproteza kuka – prikaz spajanja sa safirnom glavom



Rentgenska snimka pacijenta:

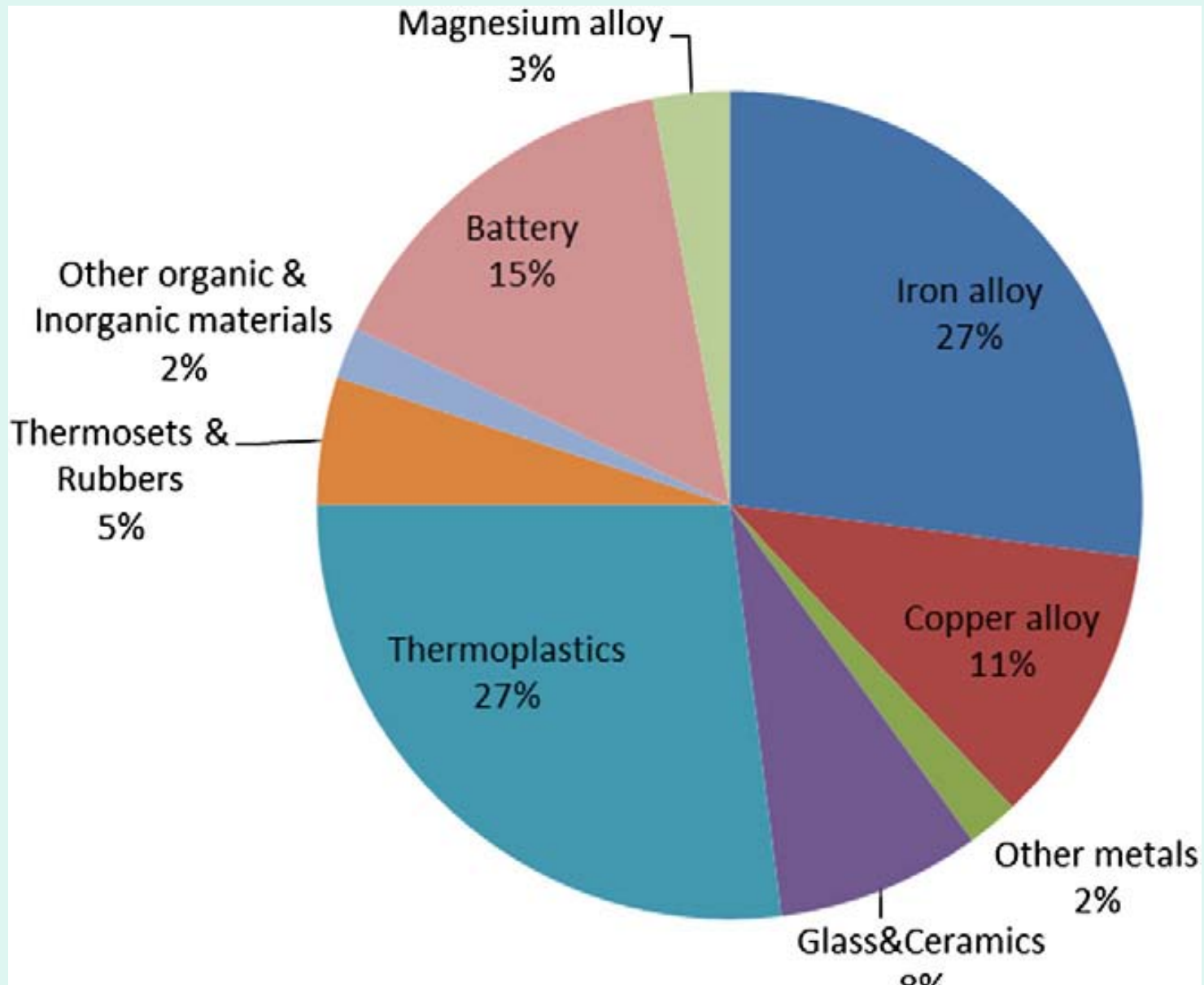
a) prije operacije,

b) nakon operacije

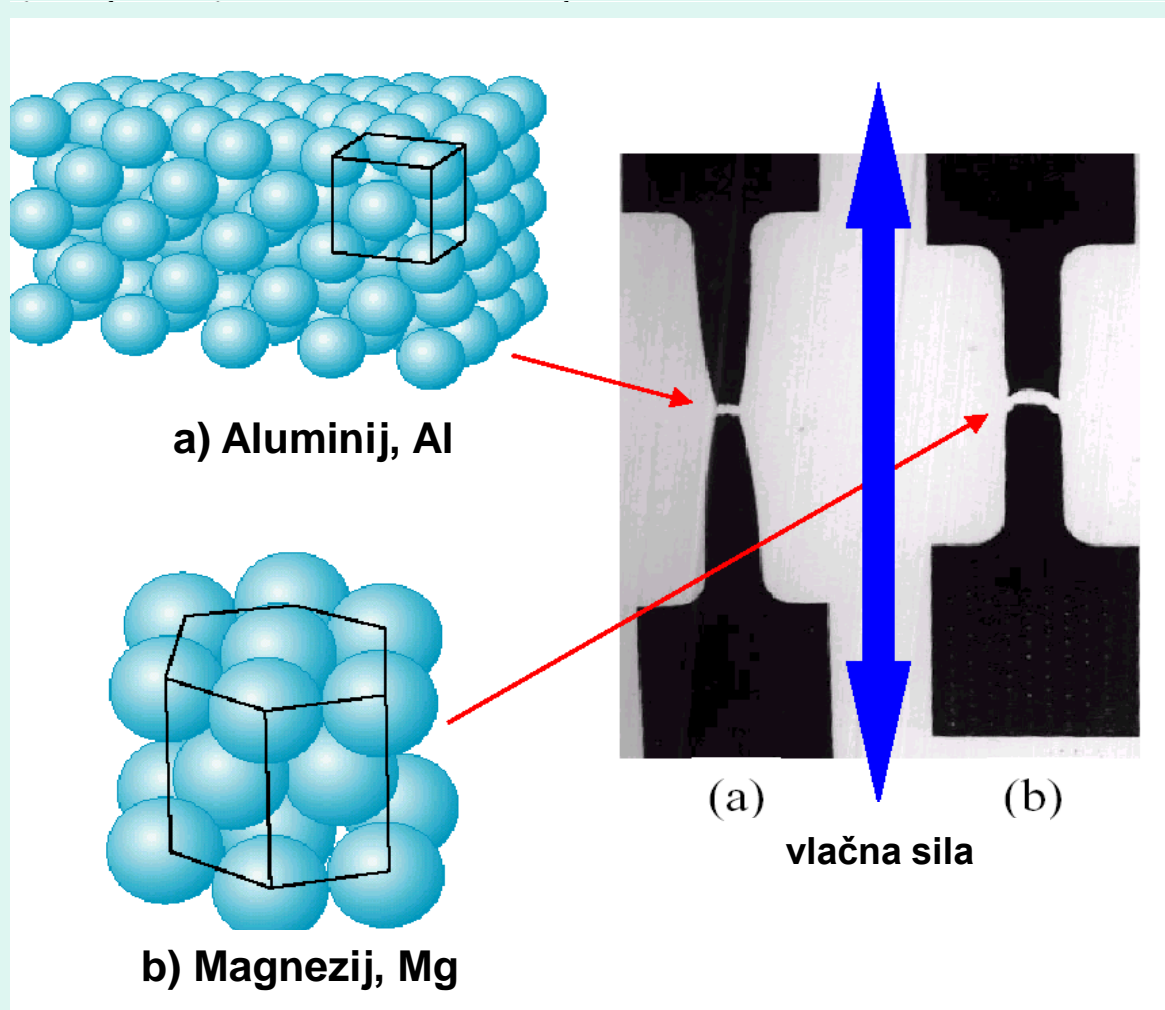
a)

b)

**Figure 1: Example of the material content of a mobile phone in wt.%.  
(Tanskanen, 2013)**



# ZAŠTO SU NAM VAŽNA SVOJSTVA MATERIJALA?



Razlika u svojstvima materijala između aluminija i magnezija kod vlačnog pokusa. Djelovanjem vlačne sile Al i Mg se ne ponašaju isto - ne dolazi do loma uzorka na isti način što je posljedica njihove unutarnje (kristalne) građe

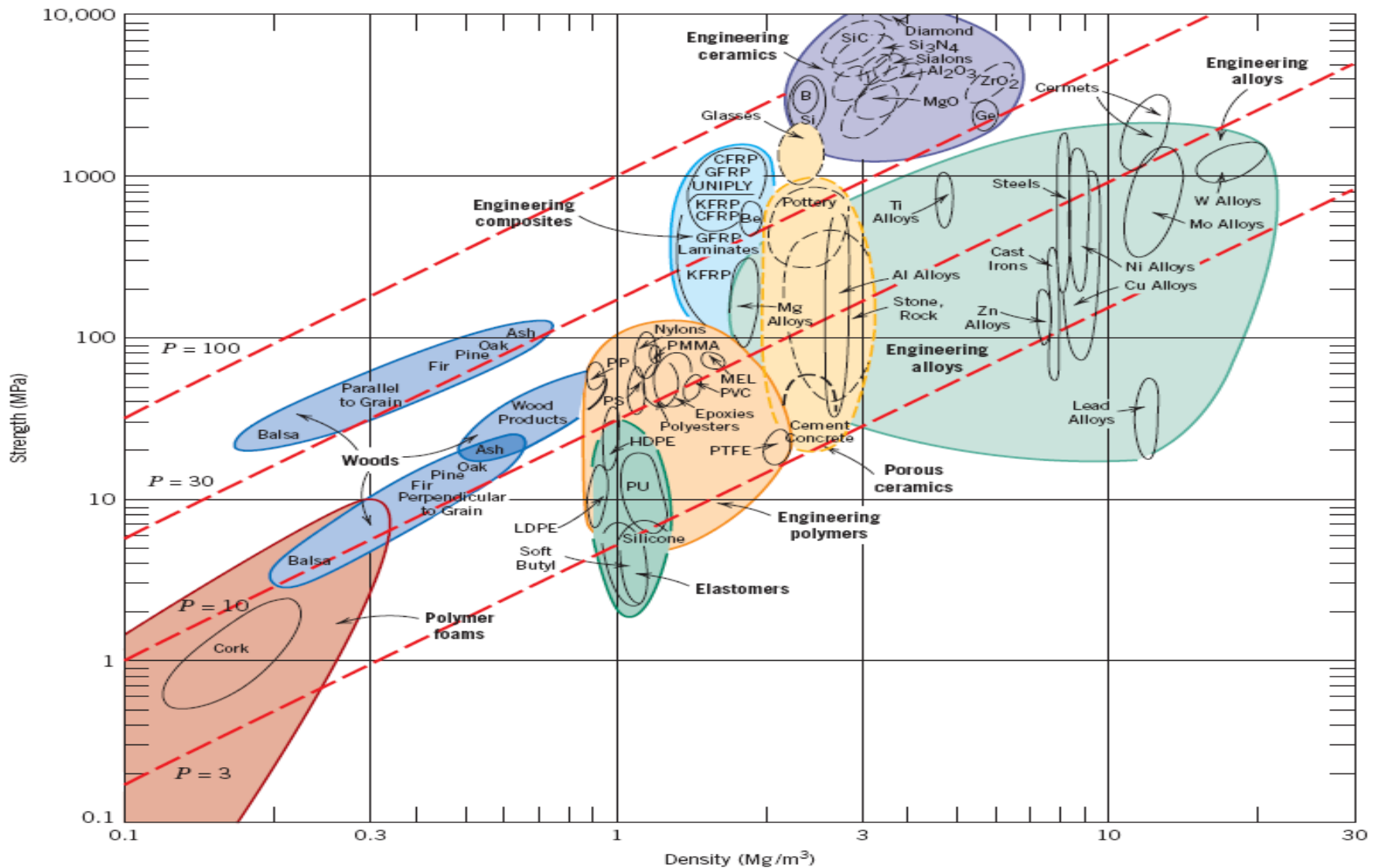
# ZAŠTO SU NAM VAŽNA SVOJSTVA MATERIJALA?

- svojstva materijala su nam važna kako bismo mogli predvidjeti njihovo ponašanje u praksi (primjeni, tijekom eksploatacije),
- važna su za optimalan odabir (selekciju) konstrukcijskog materijala (prema cijeni, načinu oblikovanja, obrade, završne obrade, prema utrošku vremena potrebnog za izradu našeg gotovog proizvoda, prema utrošku energije, prema predviđenom vijeku trajanja proizvoda, itd.)
- da bismo sve to mogli ispravno učiniti - potrebno je znati što je moguće više podataka o tim materijalima,
- potrebno je “razumijeti” njihova svojstva, tj. zašto su takvi i što možemo od njih očekivati tijekom proizvodnje i primjene,
- da možemo tražiti nove materijale, ako postojeći ne zadovoljavaju ono što od njih očekujemo



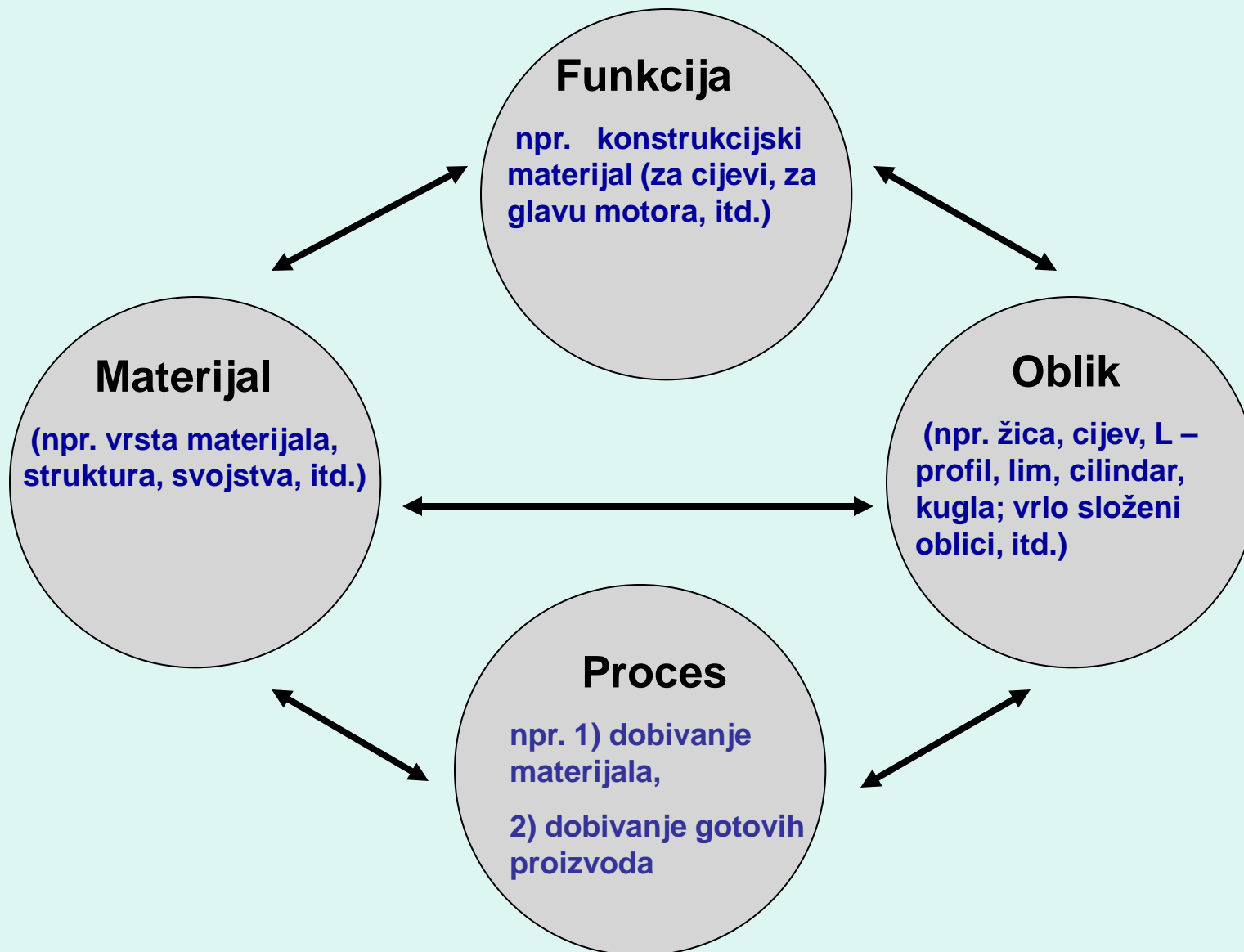
# SELEKCIJA (ODABIR) MATERIJALA

- **Veliki dio inženjerske djelatnosti čine prerada sirovina (materijala) i proizvodnja gotovih proizvoda**
- **Inženjeri, u svrhu kreiranja proizvoda i proizvodnih sustava, trebaju poznavati unutarnju građu i svojstva materijala**
- **S tim će znanjem biti u stanju odabrati najpogodniji materijal i najprimjereniju tehnologiju izrade za određeni proizvod**



Ashbyjev dijagram: svi su konstrukcijski materijali prikazani u odnosu na njihovu čvrstoću (strength) i gustoću (density). Ovo je samo jedan od mogućih Ashbyjevih dijagrama – u drugim su dijagramima kombinirana neka druga svojstva materijala koja se od njih očekuju za različita polja i uvjete primjene.

# Veza između materijala, funkcije, oblika i procesa



- **Materijal** je (kao što vidimo na slici 6) povezan: s **funkcijom**, **oblikom** i **procesom**.
- **Strelice** su (na slici 6) u svim slučajevima dvosmjerne:
- ✓ **materijal** određuje funkciju, mogućnost oblikovanja u gotov proizvod i proces kojim ćemo to postići
- ✓ **funkcija** određuje materijal, oblik i proces
- ✓ **oblik** određuje materijal, funkciju i proces
- ✓ **proces** određuje materijal, funkciju i oblik

### Napomena:

Slika 6 se može tumačiti na dva načina:

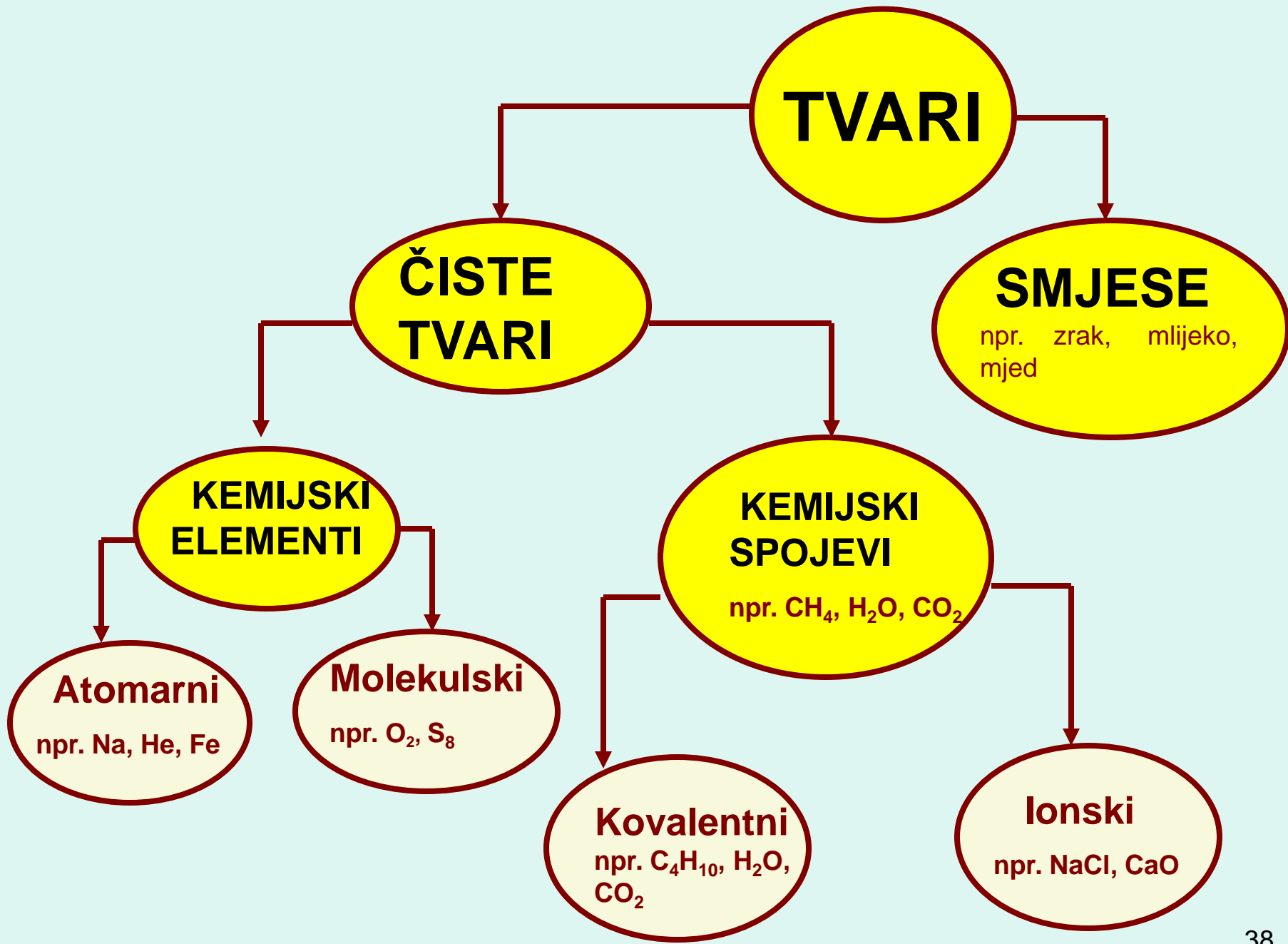
- 1) S gledišta proizvođača materijala (u tom slučaju je na prvom mjestu proizvodnja određene vrste materijala koja je uvjetovana njegovom funkcijom, oblikom i procesom dobivanja)
- 2) S gledišta prerađivača materijala u gotove proizvode (što je inženjerima strojarstva i brodogradnje zadatak i zanimljivije) kao što je prikazano u tumačenju slike 6

**Iz slike 6 vidimo koliko su materijal, funkcija, oblik i proces uzajamno povezani i kako bez poznavanja materijala ne možemo odrediti ostale bitne činjenice.**

## Lekcija 3.

# ATOMSKA STRUKTURA

- ❖ podjela tvari
- ❖ atomska struktura
- ❖ elektronska struktura atoma
- ❖ kvantni brojevi
- ❖ elektronska konfiguracija atoma
- ❖ periodni sustav elemenata



Slika 7. Podjela tvari

# ATOMSKA STRUKTURA TVARI

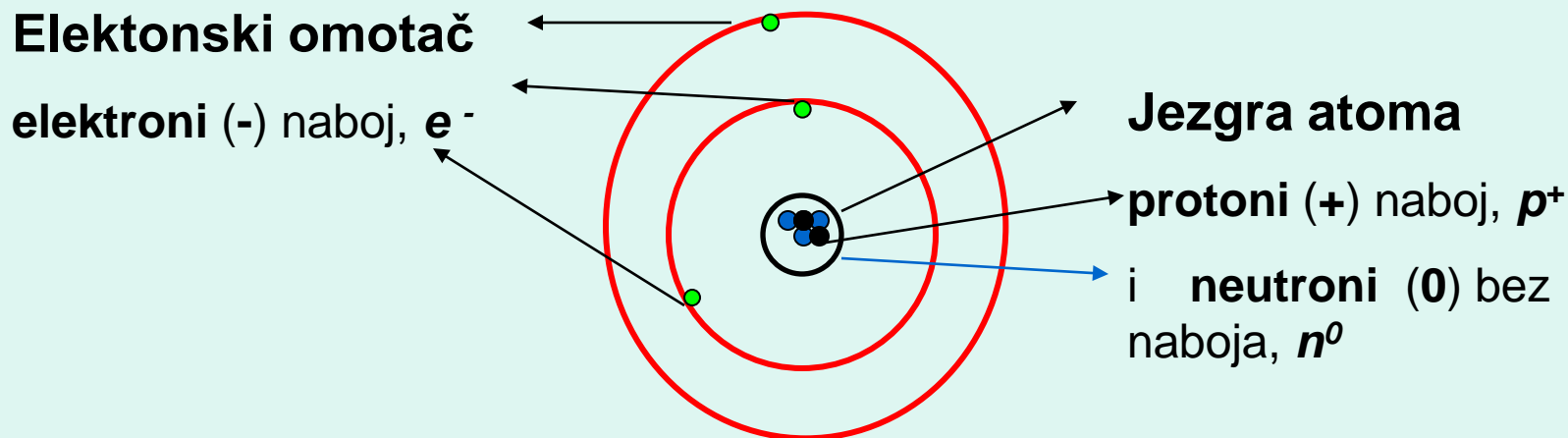
- Danac Niels Bohr usavršio je Rutherfordov model atoma primjenivši kvantnu teoriju njemačkog fizičara Maxa Plancka prema kojoj se energija apsorbira ili emitira isključivo u diskretnim iznosima- kvantima.
- Prema Bohrovom modelu, elektroni kruže oko jezgre po kvantiziranim stazama (luskama) i tada ne zrače energiju.
- Elektroni se mogu gibati po sedam (7) energijskih nivoa (luskaka).
- Svaka luskaka ima svoj energijski nivo.
- Ljuske bliže jezgri su na nižem energijskom nivou.
- Kvantnomehanički model zasniva se na Heisenbergovom načelu neizvjesnosti i Schrödingerovoj jednažbi.

- **Atom je najmanji dio nekog kemijskog elementa, koji zadržava svojstva tog elementa.**
- Riječ **atom** dolazi od grčke riječi **atomos** nedjeljiv.
- Sve do početka 20. stoljeća mislilo se daje atom nedjeljiv i da je to elementarna čestica.
- **Atomi su građeni od jezgre i elektronskog omotača.**
- **Elektroni:** (-) naboj, velikom brzinom kruže oko jezgre i oko svoje osi.
- **Jezgra se sastoji iz: protona (+),  $p^+$  i neutrona (0),  $n^0$ .**
- Broj elektrona jednak je broju pozitivno nabijenih protona, tako da je atom prema vani neutralan.



# GRAĐA ATOMA

Atom je građen iz jezgre i elektronskog omotača oko jezgre.



Slika 8. Shematski prikaz modela atoma

**Elektron,  $e^-$**  je jedinična množina električne energije. Može se uzeti kao sitna čestica ili energijski val negativnog naboja. Ako govorimo o elektronu kao o slobodnoj čestici tada se njegova masa odnosi prema masi atoma vodika kao 1: 1837. **Elektron kruži oko svoje osi i oko jezgre atoma.**

**Proton,  $p^+$**  je teška čestica materije 1837 puta teža od elektrona. Nosi pozitivan jedinični naboj jednak množini naboja elektrona. **Proton je sastavni dio jezgre atoma.**

**Neutron,  $n^0$**  je također teška čestica materije tek nešto teža od protona. Električki je neutralan (nema naboja). **Neutron je sastavni dio jezgre atoma.**

Tablica 1. Mase i naboji elektrona, protona i neutrona

Čestica	Masa	Naboj
Elektron	$9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$	$- 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Proton	$1.672 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$+ 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Neutron	$1.674 \times 10^{-27} \text{ kg}$	0

Najlakše ćemo predstaviti navedene veličine ako ih povećamo za  $10^{11}$  puta, tj. za sto milijarda puta, jer bi tada atom bio lopta promjera 1m u čijem bi se centru nalazila jezgra veličine glavice pribadače (oko 1mm promjera). Kada bismo složili kockicu od samih atomskih jezgri s bridom od 1 cm tada bi ta kockica težila milijun tona. Kockica istih dimenzija sastavljena iz atoma platine teži svega 22 g.

# Atomski broj, maseni broj i izotopi

- Pripadnost atoma nekom određenom kemijskom elementu određena je njegovim *atomskim brojem (Z)* – brojem protona u jezgri.
- Svaki je kemijski element građen iz istih atoma, tj. atoma koji imaju jednaki atomski broj, odnosno broj protona u jezgri.
- U električki neutralnom, tj. nepobuđenom, kompletnom atomu bilo kojeg elementa, broj protona u jezgri jednak je broju elektrona u elektronskom omotaču – što znači da je atom električki neutralna čestica materije.
- *Maseni broj (A)* je zbroj protona i neutrona prisutnih u jezgri atoma nekog kemijskog elementa. Izuzetak je atom vodika koji ima samo proton u jezgri, tj. nema neutrona.

➤ **Izotopi** su atomi istog elementa koji se razlikuju u broju neutrona prisutnih u jezgri dok im je broj protona isti.

➤ **Izobari** - imaju isti maseni broj

➤ **Izotoni** – imaju isti broj neutrona

➤ **Kemijske elemente možemo definirati kao smjesu nuklida istog atomskog broja, gdje je nuklid vrsta atoma određenog sastava jezgre.**

Svi poznati elementi imaju dva ili više izotopa. U nekim slučajevima u prirodi postoji samo jedan, jer su ostali nestabilni (radioaktivni) npr. berilij, natrij, aluminij.

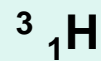
Najviše stabilnih izotopa ima kositar, Sn - njih 10. Vodik se sastoji od dva stabilna izotopa *protija* i *deuterija* i jednog nestabilnog *tritija*. Simbole izotopa pišemo kao indeks gore lijevo dok atomski broj pišemo dolje lijevo (primjer za izotope vodika):



*protij*



*deuterij*



*tritij*

Kisik i ugljik imaju po tri izotopa. Posebno je važan izotop ugljika  ${}^{12}\text{C}$  jer služi za određivanje relativne mase atoma kemijskih elemenata.

## Relativna atomska masa

- Atomi su vrlo sitne čestice nevidljive oku i ne možemo ih vagati.
- Zato se određuje relativna atomska masa, tj. masa nekog atoma u odnosu na masu nekog drugog atoma.
- Kao standard prema kojemu se određuje relativna atomska masa uzima se izotop ugljika koji u jezgri ima 6 protona i 6 neutrona.
- Jedinica atomske mase ( $m_u$ ) je definirana kao masa jednaka jednoj dvanaestini mase atoma ugljika 12 i iznosi **Relativna atomska masa elementa ( $A_r$ ) je omjer  $m_u = 1/12 m_a(^{12}\text{C}) = 1.6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$ .**
- **prosječne mase atoma elementa ( $m_a$ ) i 1/12 mase atoma nuklida  $^{12}\text{C}$  :**

$$A_r = m_a / m_a(^{12}\text{C}) / 12$$

# ***Mol i masa atoma i molekula***

- Jedinica za fizičku veličinu količinu ili množinu tvari naziva se ***mol***.
- ***Mol*** je množina (količina) tvari onog sustava koji sadrži toliko jedinki koliko ima atoma u 0.012 kg ugljika 12, a to je Avogadrov broj.
- **1 mol sadrži Avogadrov broj  $6.023 \times 10^{23}$  jedinki (atoma, molekula ili iona)**

# Elektronska struktura atoma

Elektroni, shvaćeni kao čestice, kruže oko jezgre i to u serijama ljusaka i orbitala koje su analogne orbitalama sunčevog sustava. Ponekad je stvarnije predstaviti elektron kao *elektronski oblak različite gustoće* oko atomske jezgre. Tada je razmatranje kvantnomehaničko i u tom slučaju vrijedi:

1. Elektron može imati samo neke određene vrijednosti energije, a ne i vrijednosti između njih.
2. Heisenbergov princip neodređenosti, koji kaže da je nemoguće istodobno točno odrediti brzinu, odnosno impuls elektrona i njegov položaj u prostoru. Što točnije odredimo položaj elektrona to neizvjesniji postaje impuls elektrona.
3. Paulijev princip isključenja ili zabrane, tj. u stanju minimalne energije istovremeno mogu biti samo dva elektrona uz uvjet da imaju suprotne spinove (vrtnje).

Na temelju valne mehanike možemo utvrditi samo vjerojatnost da će se elektroni nalaziti u određenom položaju, tj. području jednog atoma. Za naše razumijevanje elektroni će se promatrati kao odvojene čestice smještene u najvjerojatnijem položaju. Na temelju toga elektroni u jednom atomu tvore elektronske oblake u serijama orbitala koje čine vanjsko područje atoma. Elektroni u drugim atomima su potpuno i elastično odbijeni tim elektronskim oblakom, tako da se atom ponaša poput malene kugle u njegovim fizikalnokemijskim reakcijama.

**Stanje jednog elektrona u atomu opisuje se s četiri kvantna broja:  $n$ ,  $l$ ,  $m_l$  i  $m_s$ .** Orbitala je valna funkcija koja odgovara kombinaciji triju kvantnih brojeva (bez kvantnog broja spina  $m_s$ ). Svaka orbitala odgovara određenoj vrijednosti energije. Orbitale koje imaju istu vrijednost energije su tzv. *degenerirane* i one pripadaju određenoj *podljuski* ili *energijskom podnivou*.

# KVANTNI BROJEVI

Stanje elektrona u atomu određeno je s četiri kvantna broja:

**n - glavni kvantni broj** kvantizira energiju elektrona. Određuje elektronske ljuske, koje označavamo slovima K, L, M, N, O, P i Q. Najbliža jezgri je K ljuska, a najudaljenija Q.

$$n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,$$

**l - sporedni (ili azimutski kvantni broj)** kvantizira moment gibanja elektrona na kružnoj i (ili) eliptičnoj putanji oko jezgre.

$$l = 0 \text{ do } n-1.$$

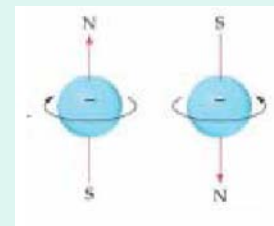
On određuje broj energijskih podnivoa (podljuski) u jednoj ljuski s glavnim kvantnim brojem n. Određuje oblik podljuski, podnivoa i pripadajući broj elektrona: **s (1x2)**, **p (3x2)**, **d (5x2)** i **f (7x2)**.

**m<sub>l</sub> - magnetski kvantni broj** kvantizira magnetski moment elektrona koji nastaje zbog gibanja elektrona oko jezgre. Određuje broj energijskih stanja u podnivoima (podljuskama).

$$m_l = -l \dots -1, 0, +1 \dots +l$$

**m<sub>s</sub> - kvantni broj orijentacije spina** kvantizira magnetski moment magnetskog polja koje nastaje zbog vrtnje elektrona oko svoje – spin.

$$m_s = +1/2 \text{ i } -1/2 \text{ (paralelni i antiparalelni položaj).}$$





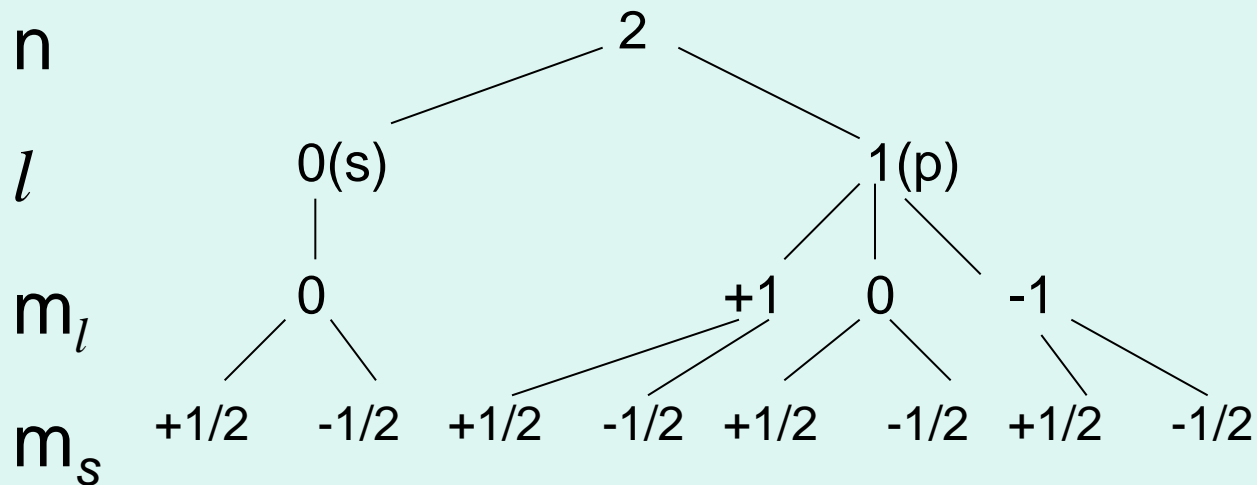
\* Energija atoma kao cjeline ovisi o načinu kako su elektroni raspoređeni u različita moguća energijska stanja.

\* Maksimalan broj elektrona s kvantnim brojem  $n$  je  $2n^2$ . Međutim, to ne vrijedi do kraja zato što nema kemijskog elementa koji bi imao tako veliki broj protona u jezgri i elektrona u omotaču.

\* Zadnja, valentna ljuska može imati najviše 2 elektrona za helij (He), a za atome ostalih elemenata 8 elektrona, *oktet*.

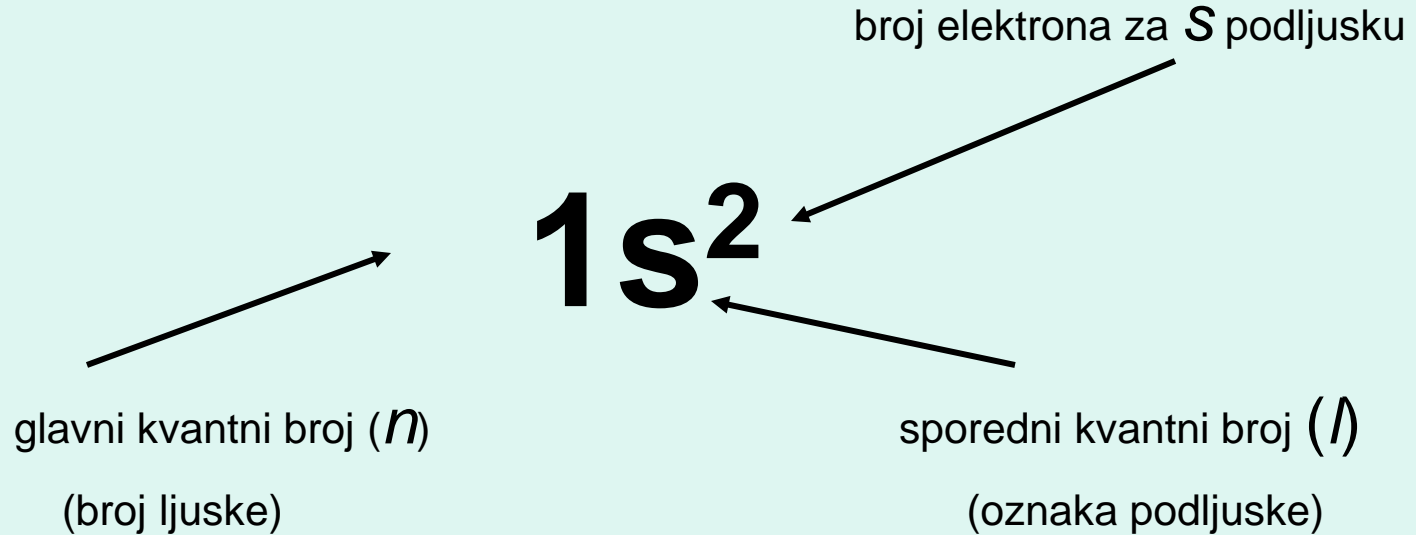
Prema **Paulijevom principu isključenja (zabrane)**: u atomu ne mogu 2 elektrona imati iste vrijednosti sva četiri kvantna broja  $n$ ,  $l$ ,  $m_l$  i  $m_s$ .

Hundovo pravilo sugerira da će se elektroni istog spina nalaziti u novim orbitalama (ne mogu biti u istoj orbitali).

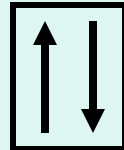


Slika 9. Shematski prikaz raspodjele elektrona po kvantnim nivoima 2., K - ljuske

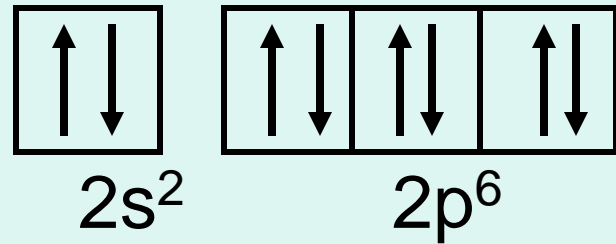
# Elektronska konfiguracija atoma

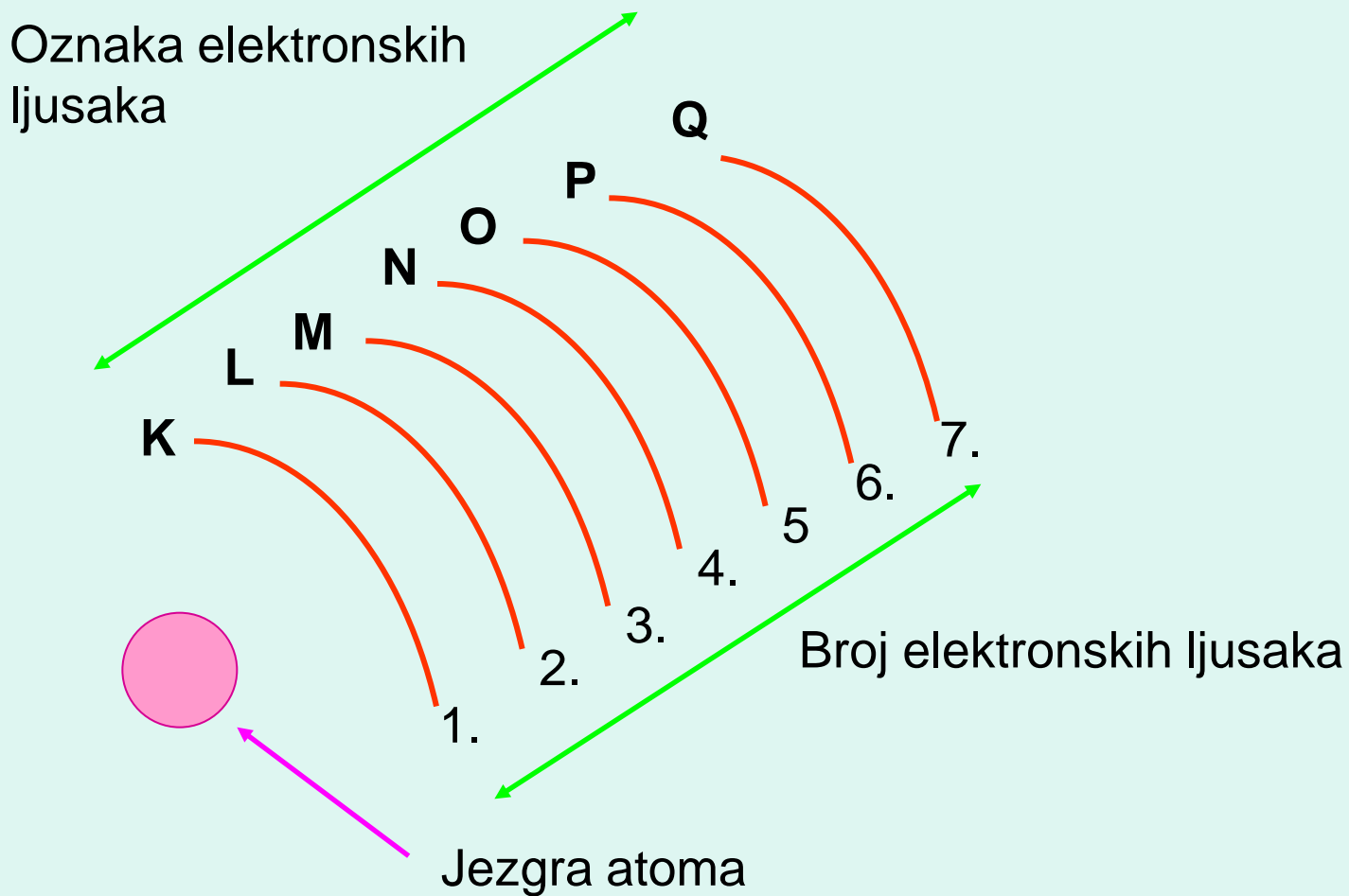


K – ljuska: **1s<sup>2</sup>**



L – ljuska: **2s<sup>2</sup> 2p<sup>6</sup>**





Slika 10. Shematski prikaz raspodjele elektronskih ljusaka oko atomske jezgre

## Shema redosljeda popunjavanja elektrona po ljuskama i podljuskama (tzv. pravilo dijagonale)

Broj ljuske	Oznaka ljuske	Podljuske			
1	K	1s <sup>2</sup> ↙			
2	L	2s <sup>2</sup> ↙	2p <sup>6</sup> ↙		
3	M	3s <sup>2</sup> ↙	3p <sup>6</sup> ↙	3d <sup>10</sup> ↗	
4	N	4s <sup>2</sup> ↙	4p <sup>6</sup> ↙	4d <sup>10</sup> ↗	4f <sup>14</sup> ↗
5	O	5s <sup>2</sup> ↙	5p <sup>6</sup> ↙	5d <sup>10</sup> ↗	5f <sup>14</sup> ↗
6	P	6s <sup>2</sup> ↙	6p <sup>6</sup> ↙	6d <sup>10</sup> ↗	
7	Q	7s <sup>2</sup> ↙	7p <sup>6</sup> ↙		

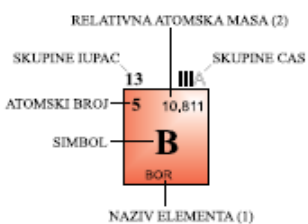
Elektroni najprije popunjavaju niže energijske nivoe – ljuske i podljuske (bliže jezgri atoma).

Atomi kemijskih elemenata poredani su u **PERIODNI SUSTAV ELEMENATA** po rastućem broju protona u jezgri. Pripadnost atoma određenom kemijskom elementu određuje njegov **atomski broj (Z)** odnosno **broj protona** u njegovoj jezgri.

## PERIODNI SUSTAV ELEMENATA

<http://www.kjf-split.hr/periodni/>

PERIODA	1 IA	2 IIA	3 IIIA	4 IVA	5 VA	6 VIA	7 VIIA	8 VIIIA										
1	1, 1,0079 <b>H</b> VODIK							2 4,0026 <b>He</b> HELIJ										
2	3 6,941 <b>Li</b> LITIJ	4 9,0122 <b>Be</b> BERILIJ																
3	11 22,990 <b>Na</b> NATRIJ	12 24,305 <b>Mg</b> MAGNEZIJ																
4	19 39,098 <b>K</b> KALIJ	20 40,078 <b>Ca</b> KALCIJ	21 44,956 <b>Sc</b> SKANDIJ	22 47,867 <b>Ti</b> TITANIJ	23 50,942 <b>V</b> VANADIJ	24 51,996 <b>Cr</b> KROM	25 54,938 <b>Mn</b> MANGAN	26 55,845 <b>Fe</b> ŽELJEZO	27 58,933 <b>Co</b> KOBALT	28 58,693 <b>Ni</b> NIKAL	29 63,546 <b>Cu</b> BAKAR	30 65,39 <b>Zn</b> CINK	31 69,723 <b>Ga</b> GALIJ	32 72,64 <b>Ge</b> GERMANIJ	33 74,922 <b>As</b> ARSEN	34 78,98 <b>Se</b> SELENIJ	35 79,904 <b>Br</b> BROM	36 83,80 <b>Kr</b> KRIPTON
5	37 85,468 <b>Rb</b> RUBIDIJ	38 87,62 <b>Sr</b> STRONCIJ	39 88,906 <b>Y</b> ITRIJ	40 91,224 <b>Zr</b> CIRKONIJ	41 92,906 <b>Nb</b> NIJEBIJ	42 95,94 <b>Mo</b> MOLIBDEN	43 (98) <b>Tc</b> TEHNECIJ	44 101,07 <b>Ru</b> RUTENIJ	45 102,91 <b>Rh</b> RODIJ	46 106,42 <b>Pd</b> PALADIJ	47 107,87 <b>Ag</b> SREBRO	48 112,41 <b>Cd</b> KADMIJ	49 114,82 <b>In</b> INDIJ	50 118,71 <b>Sn</b> KOSIČAR	51 121,76 <b>Sb</b> ANTIMON	52 127,60 <b>Te</b> TELURIJ	53 126,90 <b>I</b> JOD	54 131,29 <b>Xe</b> KSENON
6	55 132,91 <b>Cs</b> CEZIJ	56 137,33 <b>Ba</b> BARIJ	57-71 <b>La-Lu</b> Lantanoidi	72 178,49 <b>Hf</b> HAFNIJ	73 180,95 <b>Ta</b> TANTAL	74 183,84 <b>W</b> VOLFRAM	75 186,21 <b>Re</b> RENIJ	76 190,23 <b>Os</b> OSMIJ	77 192,22 <b>Ir</b> IRIDIJ	78 195,08 <b>Pt</b> PLATINA	79 196,97 <b>Au</b> ZLATO	80 200,59 <b>Hg</b> ŽIVA	81 204,38 <b>Tl</b> TALIJ	82 207,2 <b>Pb</b> OLOVO	83 208,98 <b>Bi</b> BIZMUT	84 (209) <b>Po</b> POLONIJ	85 (210) <b>At</b> ASTAT	86 (222) <b>Rn</b> RADON
7	87 (223) <b>Fr</b> FRANCIJ	88 (226) <b>Ra</b> RADIJ	89-103 <b>Ac-Lr</b> Aktinoidi	104 (261) <b>Rf</b> RUTHERFORDIJ	105 (262) <b>Db</b> DUBNIJ	106 (266) <b>Sg</b> SEABORGIJ	107 (264) <b>Bh</b> BOHRIJ	108 (277) <b>Hs</b> HASSIJ	109 (268) <b>Mt</b> MEITNERIJ	110 (281) <b>Uun</b> UNUNUNIJ	111 (272) <b>Uuu</b> UNUNIJ	112 (285) <b>Uub</b> UNUNBIJ		114 (289) <b>Uuq</b> UNUNKVADIJ				



Metali: Alkaljski metali, Zemnoalkaljski metali, Prijelazni elementi, Lantanoidi, Aktinoidi

Polumetali

Nemetali: Halogeni elementi, Halogeni elementi, Elementi plinovi

AGREGATNO STANJE (100 °C; 101 kPa)  
Ne - plin, Fe - krutina, Ga - tekućina, T - sintetski

LANTANOIDI

57 138,91 <b>La</b> LANTAN	58 140,12 <b>Ce</b> CERIJ	59 140,91 <b>Pr</b> PRASEODIMIJ	60 144,24 <b>Nd</b> NEODIMIJ	61 (145) <b>Pm</b> PROMETIJ	62 150,36 <b>Sm</b> SAMARIJ	63 151,96 <b>Eu</b> EUROPIJ	64 157,25 <b>Gd</b> GADOLINIJ	65 158,93 <b>Tb</b> TERBIJ	66 162,50 <b>Dy</b> DISPROZIJ	67 164,93 <b>Ho</b> HOLMIJ	68 167,26 <b>Er</b> ERBIJ	69 168,93 <b>Tm</b> TULIJ	70 173,04 <b>Yb</b> ITERBIJ	71 174,97 <b>Lu</b> LUTECIJ
----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

AKTINOIDI

89 (227) <b>Ac</b> AKTINIJ	90 232,04 <b>Th</b> TORIJ	91 231,04 <b>Pa</b> PROTAKTINIJ	92 238,03 <b>U</b> URANIJ	93 (237) <b>Np</b> NEPTUNIJ	94 (244) <b>Pu</b> PLUTONIJ	95 (243) <b>Am</b> AMERICIJ	96 (247) <b>Cm</b> KURIJ	97 (247) <b>Bk</b> BERKELEJ	98 (251) <b>Cf</b> KALIFORNIJ	99 (252) <b>Es</b> EINSTEINIJ	100 (257) <b>Fm</b> FERMIJ	101 (258) <b>Md</b> MENDELEVIJ	102 (259) <b>No</b> NOBELIJ	103 (262) <b>Lr</b> LAWRENCIJ
----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

(1) Hrvatska nomenklatura anorganske kemije, ed. V. Stiecon, Školska knjiga, Zagreb, 1996. Pure Appl. Chem., 69, 2471-2473 (1997) za imena elemenata od rednog broja 104 do 109.

(2) Pure Appl. Chem., 73, No. 4, 667-683 (2001) Relativne atomske mase su zaokružene na pet značajnih znamenki. Za elemente koji nemaju stabilnih nuklida u zagradama je dan maseni broj najduže živućeg izotopa, izuzevsek su Th, Pa i U koji imaju karakterističan izotopski sastav u zemljinoj kori.

Urednik: Eni Generalić (eni@kijf-split.hr)

# PERIODNI SUSTAV ELEMENATA

## (Mendeljejev)

- **Periode-** vodoravni redovi (ima ih 7). Broj odgovara glavnom kvantnom broju  $n$ , daje broj ukupnih ljusaka u atomu i broj zadnje ljuske
- **Skupine** – okomiti stupci , po građi vanjsle ljuske - sličnost kemijskih svojstava (ima 18 skupina)
- Od lijeva na desno raste atomski broj i promjer atoma
- Odozgo prema dolje raste promjer atoma
- **Elementi glavne skupine:** 1. i 2. (s-orbitale); 13., 14., 15., 16., 17., i 18. (p –orbitale)
- **Prijelazni elementi** – od 3. – 10. skupine (d-orbitale predzadnje ljuske)
- **Unutarnjeprijelazni elementi - lantanoidi i aktinoidi** (f- orbitale predpredzadnje ljuske)
- Nemetali, metali i polumetali
- Od lijeva na desno (po dijagonali) raste elektronegativnost, a u obrnutom smjeru raste elektropozitivnost elemenata

1A																	0
1	2A											3A	4A	5A	6A	7A	8A
H																	He
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg	III B	IV B	V B	VI B	VII B	I B				II B	Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89	104	105	106												
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg												

nemetali

polumetali

metali – svi ostali elementi

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw

## Lekcija 4.

# VRSTE VEZA IZMEĐU STRUKTURNIH JEDINICA

Veze između atoma, primarne (kemijske) veze:

- ionska veza,
- kovalentna veza,
- metalna veza.

Veze između atoma i molekula, sekundarne (fizikalne) veze:

- van der Waalsova veza,
- vodikova veza,
- polarne veze.



# VEZE IZMEĐU STRUKTURNIH JEDINICA

## VEZE IZMEĐU ATOMA (PRIMARNE ILI KEMIJSKE)

- IONSKA VEZA
- KOVALENTNA VEZA
- METALNA VEZA

## VEZE IZMEĐU ATOMA I MOLEKULA (SEKUNDARNE ILI FIZIKALNE)

- VAN DER WAALSOVA VEZA
- VODIKOVA VEZA
- INDUCIRANE DIPOLNE VEZE
- DISPERZNE (LONDONOVE) VEZE

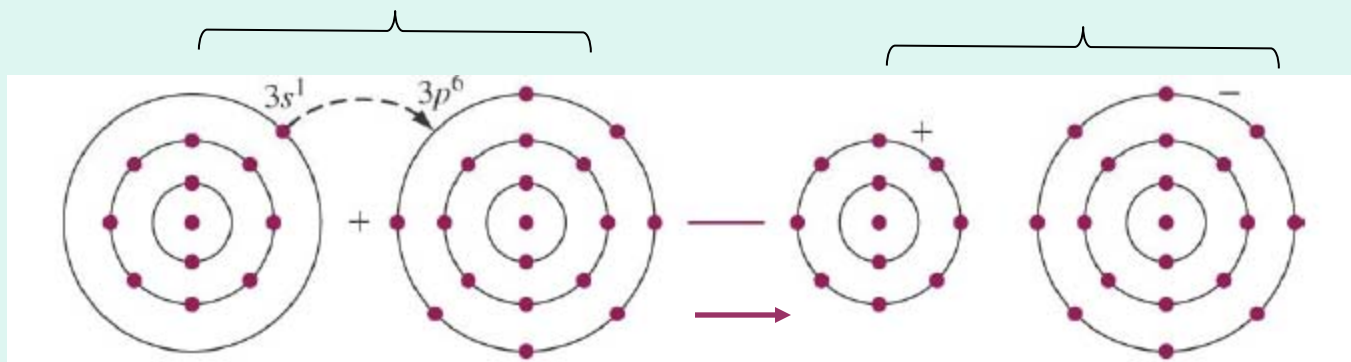
# VEZE IZMEĐU ATOMA (PRIMARNE ILI KEMIJSKE)

## 1. IONSKA VEZA

- **vezuju se atomi metala i nemetala**
- jake atomske veze (Coulombove sile) – povezivanje (+) i (-) iona; jakost opada s udljenošću iona
- nisu usmjerene, u spojevima su u krutini zbijeni ovisno o njihovim dimenzijama
- prema vani mora biti očuvana njihova neutralnost
- kation ima mnogo manji promjer od aniona
- u suhom (bezvodnom) stanju ne provode električnu struju

## Nastajanje ionske veze

atomi: Na i Cl      ioni: Na<sup>+</sup> i Cl<sup>-</sup>



$_{11}\text{Na}$

$_{17}\text{Cl}$

$_{11}\text{Na}^+$

$_{17}\text{Cl}^-$

2,8,1

2,8,7

2,8

2,8,8

plemeniti plin  $_{10}\text{Ne}$

plemeniti plin  $_{18}\text{Ar}$

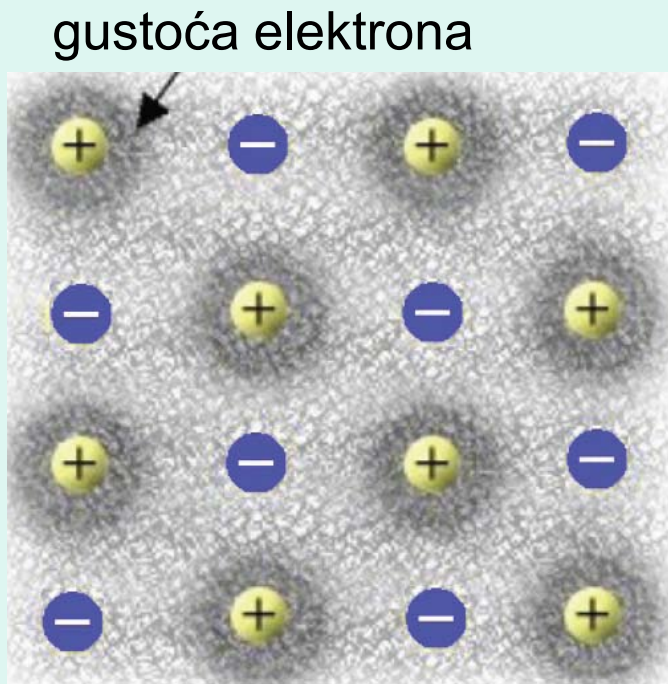
Elektronska  
konfiguracija

2,8

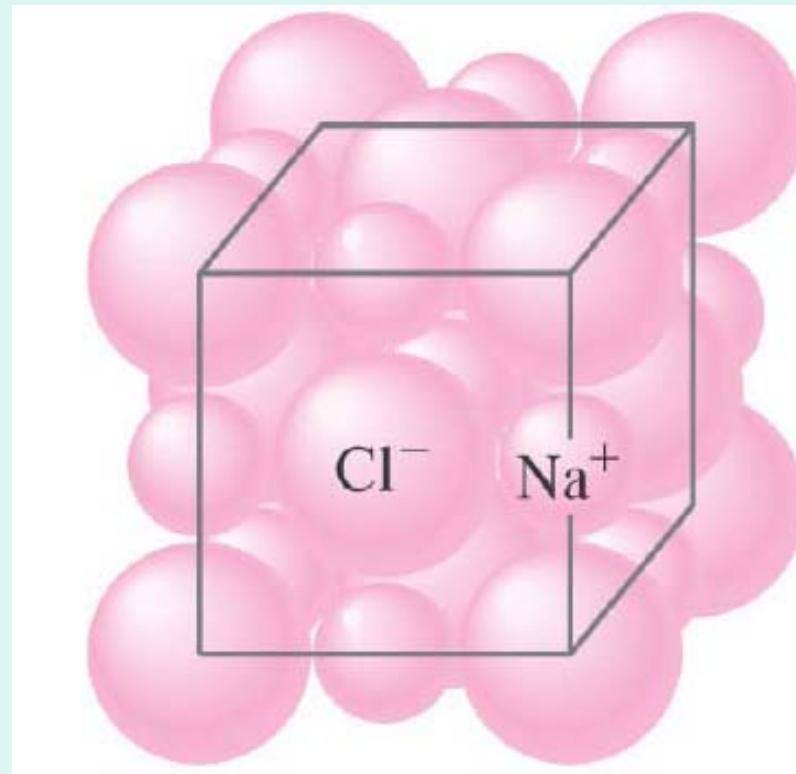
2,8,8

**Atom metala predaje svoj vanjski (valentni) elektron atomu nemetala. Atom metala postaje pozitivno nabijeni kation (elektronska konfiguracija je kao kod plemenitog plina – stabilana, oktet) dok atom nemetala postaje negativno nabijeni anion (također s elektronskom konfiguracijom plemenitog plina)**

Shematski prikaz ionske veze i kristalne građe NaCl, kuhinjske soli, slika 12.



a)



b)

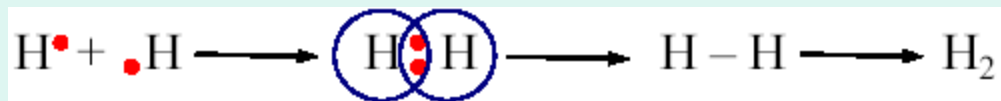
Slika 12. Shematski prikaz ionske veze: a) ionska veza, b) kristalna rešetka NaCl

# KOVALENTNA VEZA

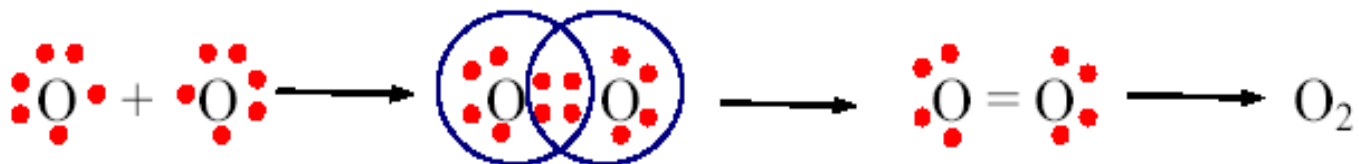
- **vezuju se atomi nemetala**
- veza je homopolarna, za razliku od ionske veze koja je heteropolarna
- međusobnim vezivanjem atomi postižu elektronsku konfiguraciju plemenitog plina, odnosno *oktet*
- svaki atom daje po jedan elektron i stvaraju zajednički elektronski par ( kovalenciju) ili više
- zajednički elektronski parovi pripadaju i jednoj i drugoj atomskoj jezgri, povezuju oba atoma
- usmjerena je u prostoru (molekule imaju definiran oblik)
- nespareni elektroni nisu “ slobodni” – ne provode električnu struju

## Nastajanje kovalentne veze

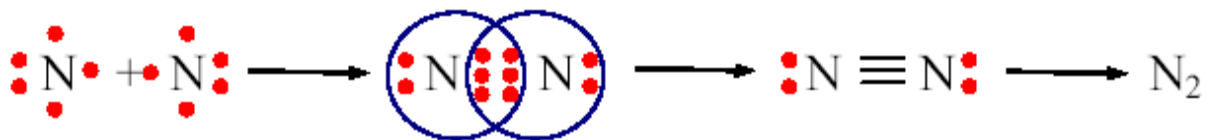
### JEDNOSTRUKA KOVALENTNA VEZA :



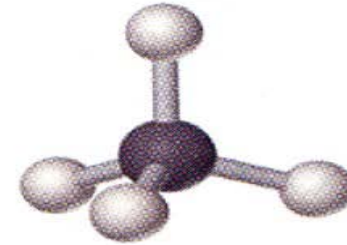
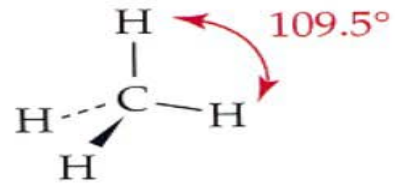
### DVOSTRUKA KOVALENTNA VEZA:



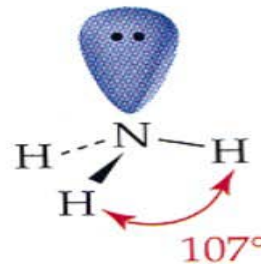
### TROSTRUKA KOVALENTNA VEZA:



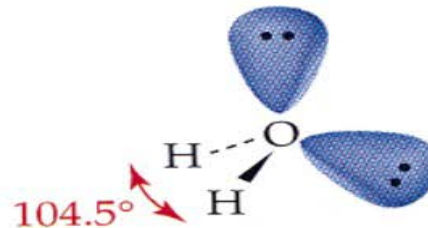
Molekula metana,  $\text{CH}_4$  – tetraedalni raspored, kutovi između veza od  $109.5^\circ$



Molekula amonijaka,  $\text{NH}_3$  – trigonalni raspored, kutovi između veza  $107^\circ$

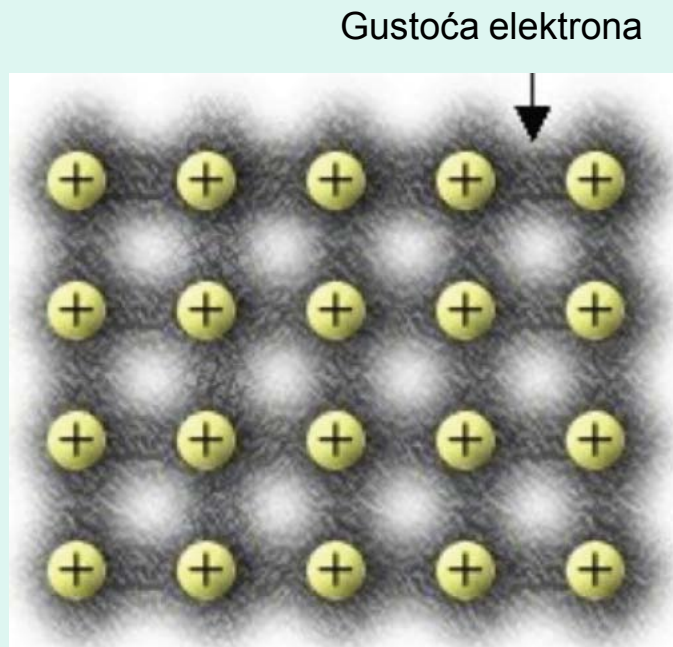


Molekula vode,  $\text{H}_2\text{O}$  – savinuta, kut između veza od  $104.5^\circ$

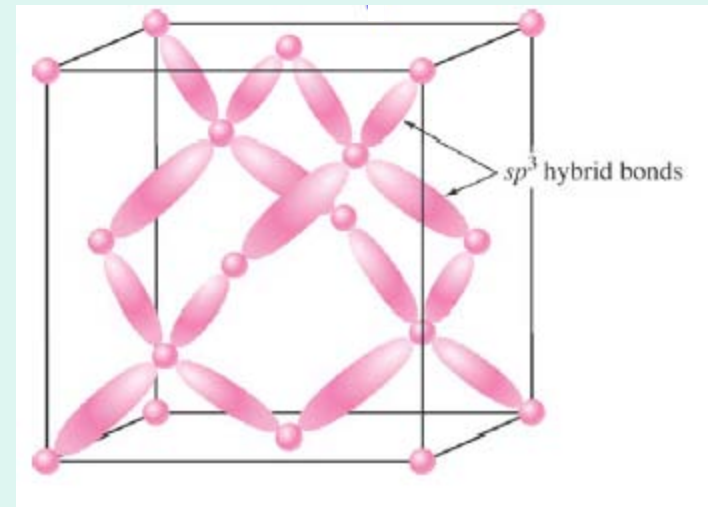


Primjeri usmjerenosti kovalentne veze

Shematski prikaz kovalentne veze i kovalentne veze u kristalu dijamanta, slika 14.



a)



dijamant

b)

Shematski prikaz kovalentne veze: a) kovalentna veza, b) dijamant



# METALNA VEZA

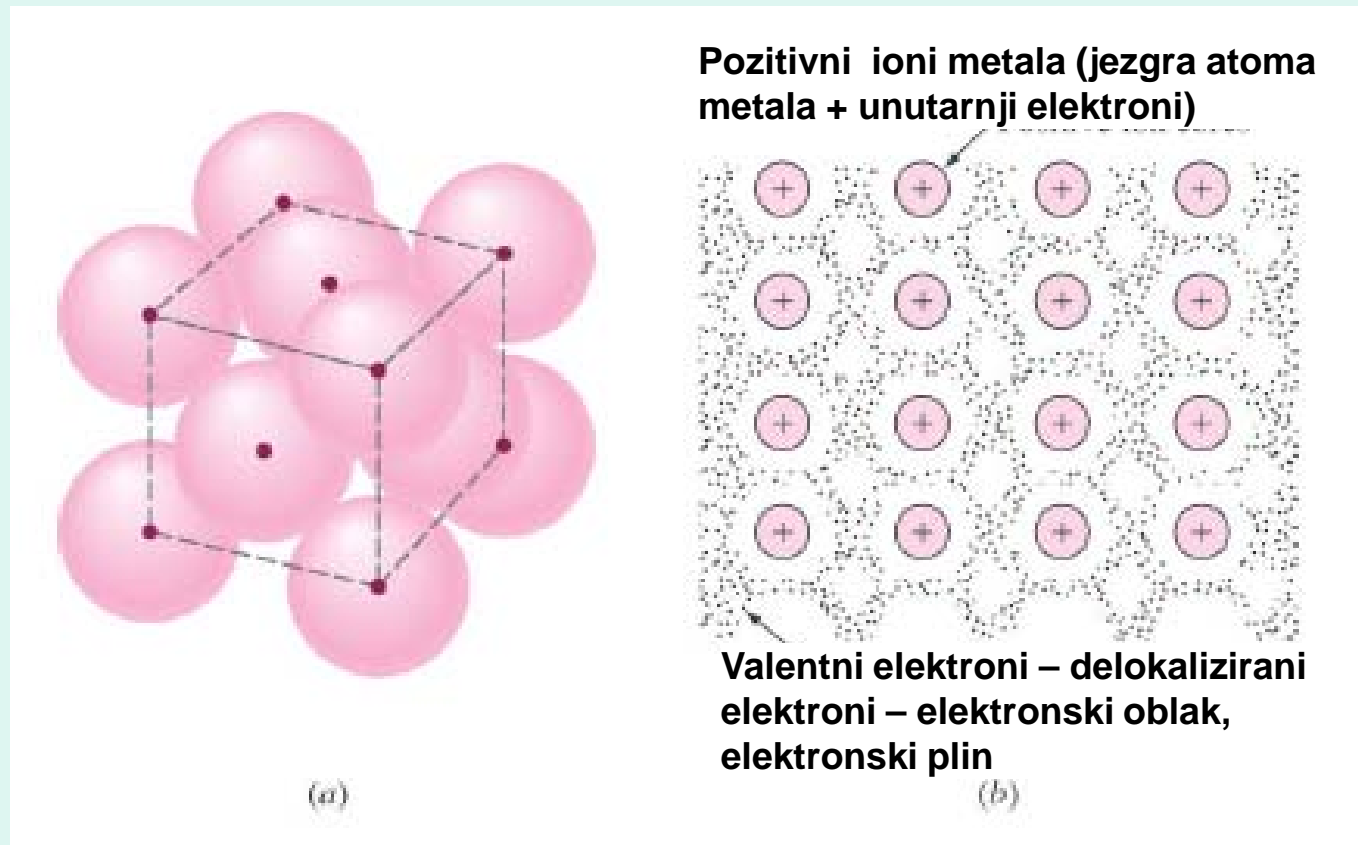
## Karakter metalne veze:

- **vežu se atomi metala**
- elektroni oko iona metala su “slobodni”- provode električnu struju
- nije usmjerena
- gusto pakovane strukture – guste slagaline

## Nastajanje metalne veze

- Osnovna privlačna sila, kod metalne veze, uzrokovana je uzajamnim djelovanjem metalnih iona i zajedničkog elektronskog oblaka (elektronski plin) kojim su opkoljeni
- Atomi metala postaju pozitivni ioni koje čvrsto veže jedan oblak delokaliziranih valentnih elektrona (elektronski plin)

Shematski prikaz metalne veze kod kristalane rešetke metala -gusta, zbijena struktura i raspodjela "slobodnih" – delokaliziranih elektrona oko pozitivnih iona metala, slika 15.



Shematski prikaz metalne veze: a) kristalna rešetka metala, b) metalna veza

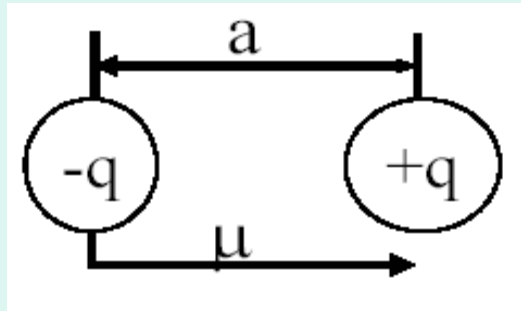
# VEZE IZMEĐU ATOMA I MOLEKULA (SEKUNDARNE ILI FIZIKALNE)

- veze između molekula nastaju uslijed **polarizacije molekule**
- **polarnost** – posljedica razlike u elektronegativnosti kemijskih elemenata koji su međusobno povezani kao i oblika (građe) molekule

Dipolni moment ( $\mu$ ) – mjera za polarnost molekule:

$$\mu = q \cdot a$$

(umnožak električnog naboja i udaljenosti, razmaka između pozitivnog i negativnog naboja)

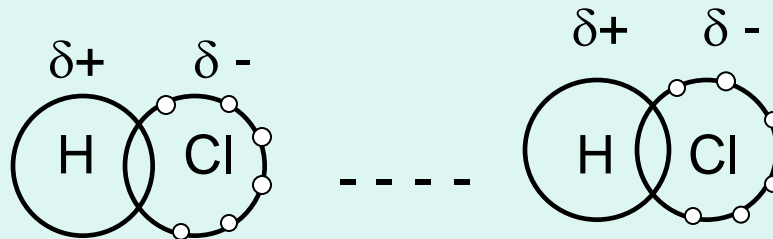


. Shematski prikaz dipolnog momenta

# 1. STALNI (permanentni) DIPOLI

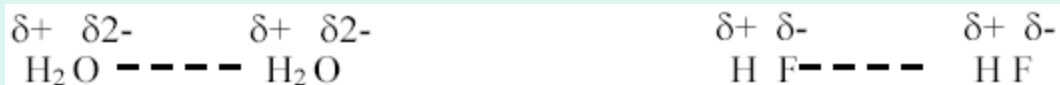
## A) VAN DER WAALSOVA VEZA

- dipolne privlačne sile nazivamo općenito i van der Waalsove sile
- veze koje nastaju nazivamo van der Waalsovima
- molekula ima dipolni moment samo kada se središte pozitivnog i negativnog naboja molekule ne poklapaju
- veza je jače polarnog karaktera ako je veća razlika u relativnoj elektronegativnosti atoma
- negativno nabijen dio molekule privlači elektrostatskim silama pozitivno nabijen dio molekule, npr. molekule HCl:



## B. VODIKOVA VEZA

- između molekula u kojima su vodikovi (H) atomi povezani s najjače elektronegativnim atomima: fluora (F), kisika (O) i dušika (N)
- vodikova je veza jača od van der Waalsove, a slabija od ionske i kovalentne:



## 2. PROMJENJIVI DIPOLI

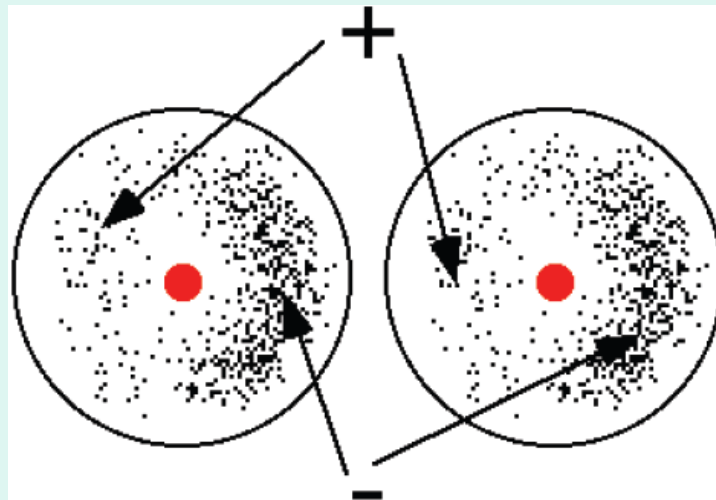
### A. INDUCIRANE DIPOLNE VEZE

- npr.  $\text{Fe}^{2+}$  ion može kod nepolarnih molekula (npr.  $\text{O}_2$ ) izazvati dipol (tzv. inducirani dipol) deformiranjem elektronske strukture molekule:



## B. DISPERZNE (LONDONOVE) VEZE

- privlačenje i između atoma (npr. plemenitih plinova) i molekula koje nemaju trajni dipol (simetrične molekule)
- nastaju kratkotrajni promjenjivi dipoli (oscilacije pozitivno nabijene jezgre u odnosu na elektrone u elektronskom omotaču – koji također osciliraju oko svojih ravnotežnih položaja)



Shematski prikaz Londonove veze između atoma plemenitih plinova

## Vrste veza u tehničkim materijalima

Vrsta materijala	Način vezivanja	Primjeri
Metali	Metalna veza	Fe, Cu, Al, Au,..
Keramike i stakla	Ionska / kovalentna	SiO <sub>2</sub> (kristaliničan i amorfan)
Polimeri	Kovalentna i sekundarne veze	Polietilen, PE
Poluvodiči	Kovalentna ili ionska / kovalentna	Si, CdS