

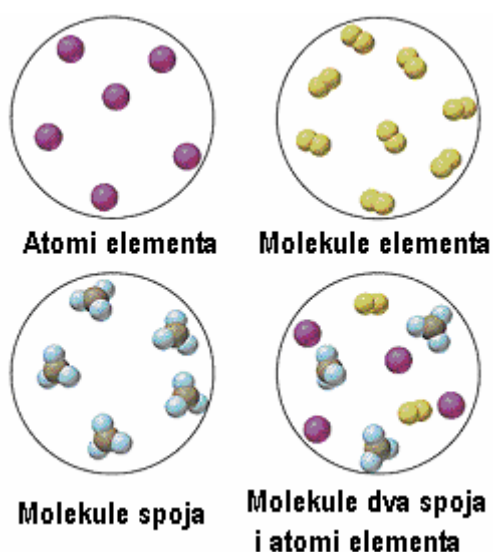
## Kemija

Kemija se temelji na razumijevanju “mikroskopskog” svijeta oko nas; atoma i molekula te njihovih pretvorbi. Poznavanje kemije ima izuzetno značenje za naše društvo u tehnološkom odnosno civilizacijskom smislu. Neka od najvažnijih pitanja opstanka ljudske vrste posljedica su nerazumne manipulacije i nedovoljne kontrole kemijskih reakcija. Sama po sebi, *kemija nije ni dobra niti loša*, pa njeno razumijevanje kao i razvijanje našeg kemijskog znanja nije upitno. Međutim, način njenog korištenja je od nemjerivog učinka na *održivi* razvoj naše civilizacije a i same vrste.

Kemija se razvila kao *empirijska i eksperimentalna* znanost koja *proučava i klasificira svojstva tvari te njihovu pretvorbu u kemijskim reakcijama*. Razvojem znanosti kemija se usredotočuje na prirodu i ponašanje pojedinačnih atoma i njihovih sastojaka – posebice *elektrona*. Zbog male mase elektrona, ponašanje elektrona u atomima se *ne može objasniti zakonima klasične fizike*, a bez toga je nemoguće razumijevanje kemijskih i fizičkih svojstava tvari.

*Tvar* ili *supstancija* je *organizirani oblik materije* koji pokazuje svojstvo *inercije* (sve ostalo je energija). Čistu tvar koja se sastoji od samo jedne vrste atoma zovemo *element* a tvar koja se sastoji od samo jedne vrste molekula (načinjene od atoma različitih elemenata) zovemo *spoj*.

Tvar koja se sastoji od više vrsta atoma i/ili molekula zovemo *smjesa*. Većina tvari koje poznajemo se sastoje od dvije (*binarne*) ili više *čistih tvari*.

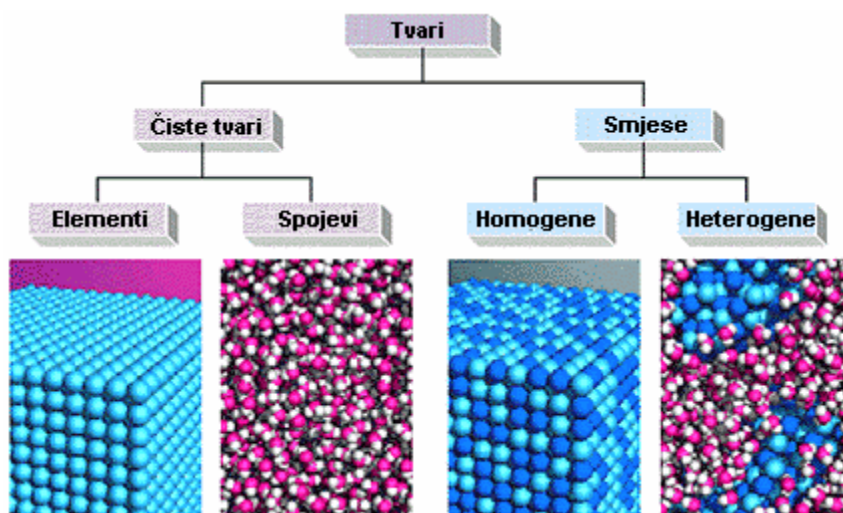
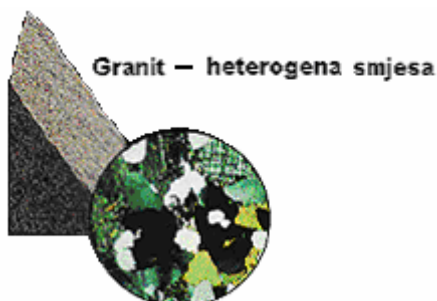


Smjese mogu biti homogene ili heterogene.

1. **Homogene** – u svim dijelovima iste (*i.* čiste tvari, *ii.* prave otopine)



2. **Heterogene** – nemaju jednak sastav u svim dijelovima (smjese čistih-homogenih tvari)



### Čiste tvari

1. **Elementarne tvari** su kemijski nerasčlanjive a dijelimo ih na **kovine** (metali) i **nekovine** (nemetali).
2. **Kemijski spojevi** su kemijskom analizom rasčlanjivi do elementarnih tvari

## Agregatna stanja materije

Način kako se atomi i/ili molekule kreću u prostoru određuje stanje tvari, napr., slobodno se kreću u plinovitom agregatnom stanju tvari. Postoji ogroman broj vrsta atoma i molekula, a samo nekoliko različitih stanja u kojem se mogu nalaziti tvari.

**Krutine** su tvari više ili manje postojanog oblika.

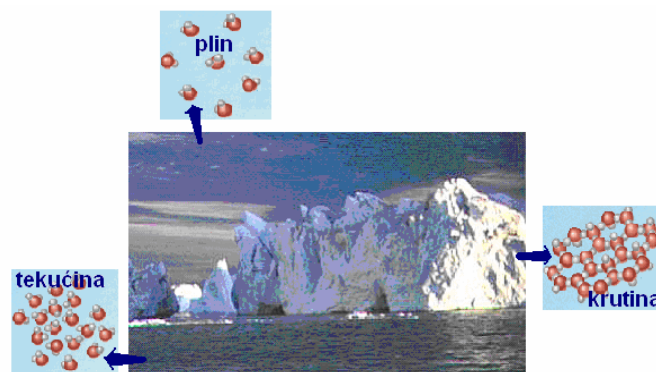
**Tekući kristali** su na mikroskopskoj skali sređene strukture koje često *izgledaju* kao tekućine.

**Tekućine** dijelimo na: **plinove** koji poprimaju zapreminu i oblik posude i

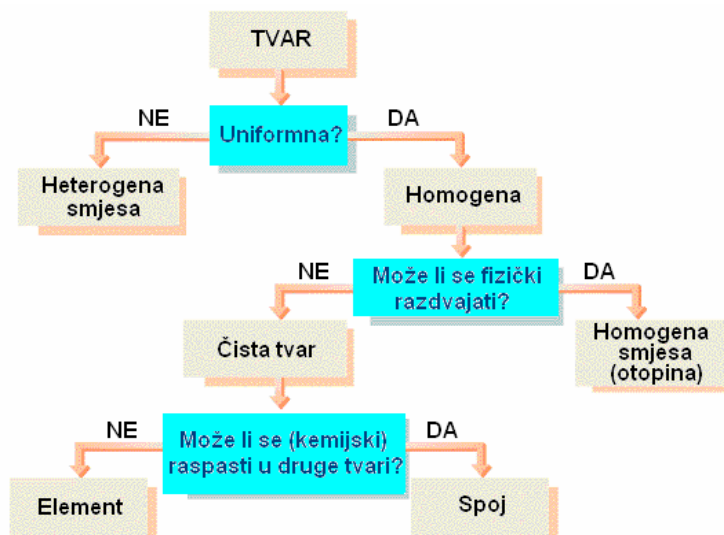
**kapljevine** koje su određene zapremine a poprimaju oblik posude

**Plazma** je ionski “plin”, tj. plin ioniziranih čestica koji je vrlo čest u svemiru.

U stvarnosti, tvari često koegzistiraju istovremeno u nekoliko agregatnih stanja kako je to za vodu pokazano na sljedećoj slici.



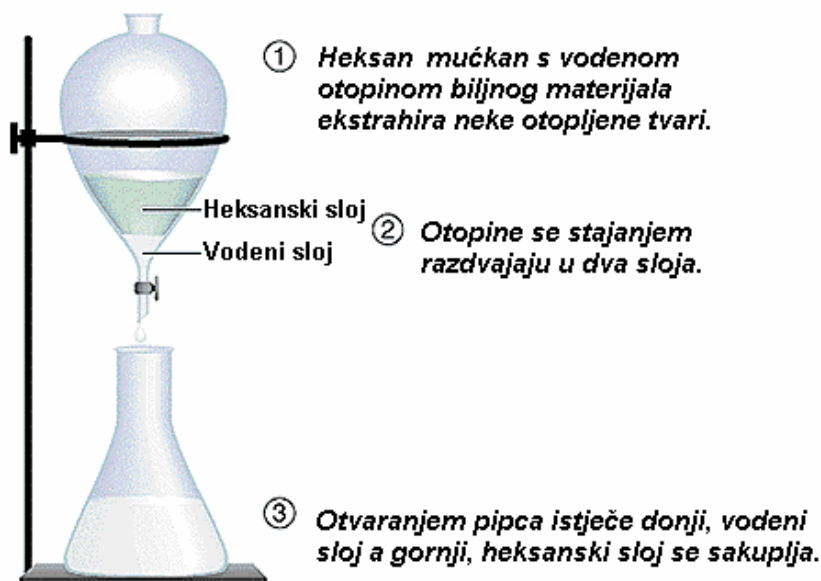
Klasifikacija tvari uključuje poznavanje njene makroskopske i “mikroskopske” strukture. To ponekad nije lako odrediti, otvarajući mogućnost različitih interpretacija. Općenito se klasifikacija tvari radi prema sljedećoj shemi:



Odgovor na pitanje je li tvar uniformna, zahtjeva pristup na makroskopskoj razini često organoleptički; voda u čaši je fizički uniformna dok komad drveta to nije.

Odgovor na drugo pitanje zahtjeva određenu fizičku obradu tvari koja individualne molekule razlikuje po nekoj svojoj osobini. Primjeri fizičkog razdvajanja tvari su ekstrakcija, destilacija, kristalizacija, kromatografija, centrifugiranje, itd. Niže su opisani neki od najvažnijih postupaka razdvajanja smjesa.

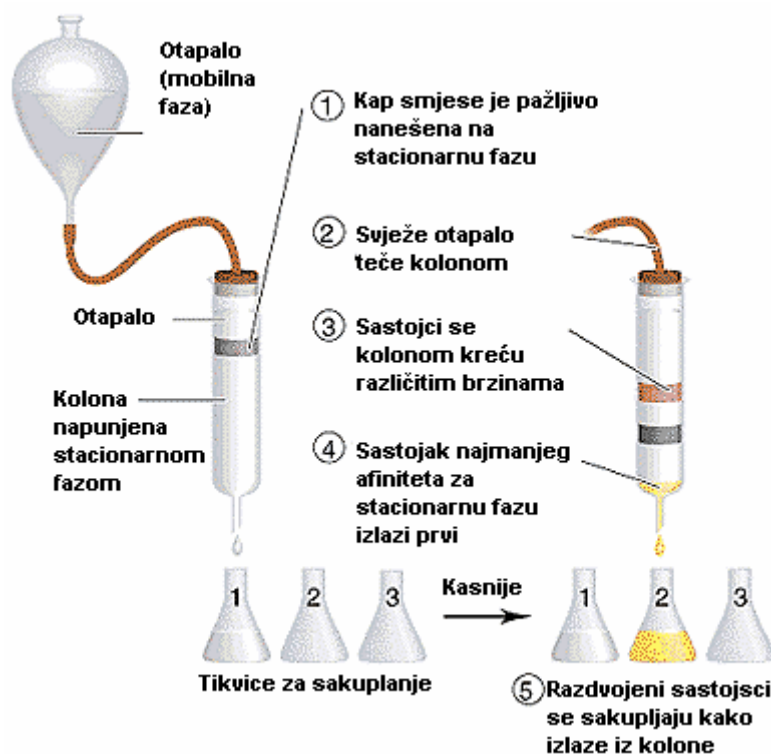
1. **Ekstrakcija**: razdvajanje se temelji na razlikama u topljivosti.



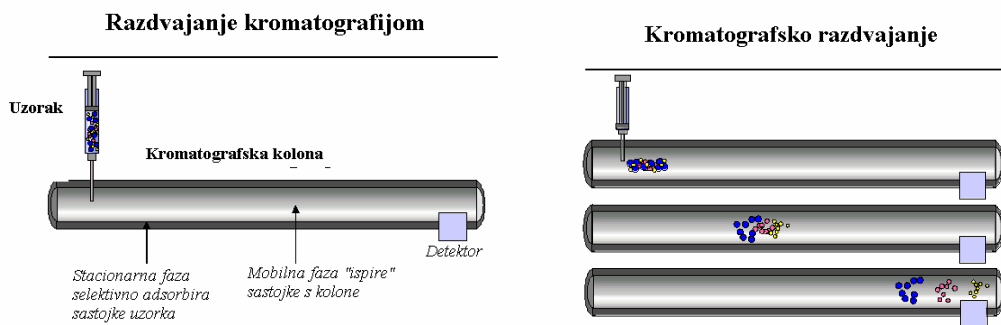
2. **Destilacija**: razdvajanje se temelji na razlikama vrelišta sastojaka smjese.



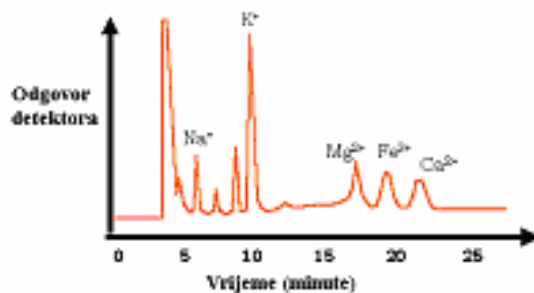
3. **Tekućinska kromatografija**: razdvajanje se temelji na različitim afinitetima i topljivostima sastojaka smjese.



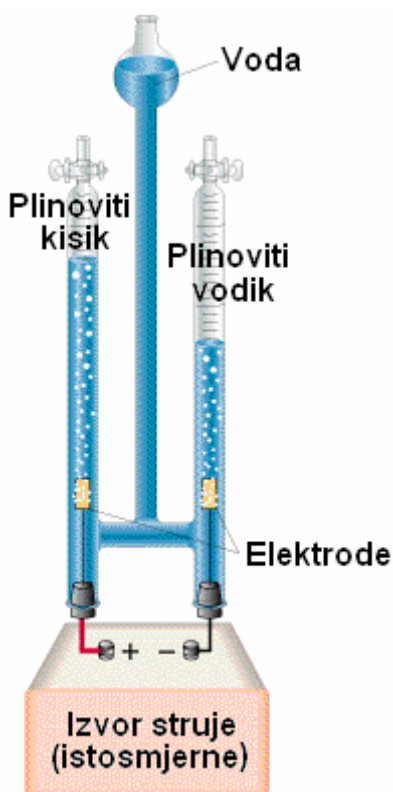
4. **Plinska kromatografija**: temelji se na istim načelima kao i tekućinska kromatografija a od nje se razlikuje po mobilnoj fazi (plin).



Ionski kromatogram narandžinog soka



Odgovor na treće pitanje daje kemijski proces reorganiziranja, a ako je moguće i razdvajanja atoma unutar molekula. Pod time se najčešće podrazumijeva toplinski (termalni) raspad, ali uz nužan oprez jer i čisti elementi mogu dati toplinske reakcije s atmosferskim kisikom. Zbog toga se toplinski raspad tvari mora izvoditi u vakuumu ili inertnoj atmosferi (Ar, He). Osim toplinskog raspada odgovor na to pitanje može dati napr. i elektroliza tvari kao na primjeru vode.



Ukratko da ponovimo, *razrastavanje neke tvari u smjesu, spoj, ili element zahtjeva poznavanje vrste i organizacije molekula* u nekom uzorku.

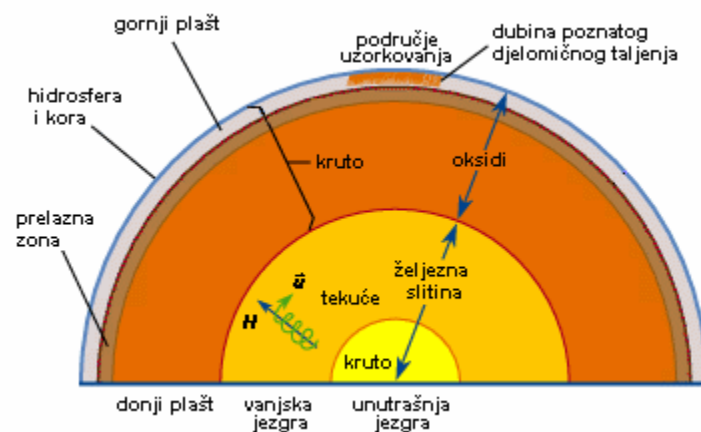
### ***Kemijski sastav Zemlje***

Sve naše znanje o tvarima temelji se na istraživanju i analizi sastojaka naše planete, Zemlje, i to ponajviše njenog relativno tankog površinskog dijela. Međutim, dokazano je da se čitav Svemir sastoji od elemenata jednakih onima koji su pronađeni na Zemlji.

Čvrsti dio Zemlje se sastoji od dva osnovna dijela: jezgre i plašta. Kemijski sastav ovih dijelova se potpuno razlikuje; jezgra se sastoji od slitine bogate željezom a plašt od oksidnih stijena – (keramičkih materijala, silikata itd.).

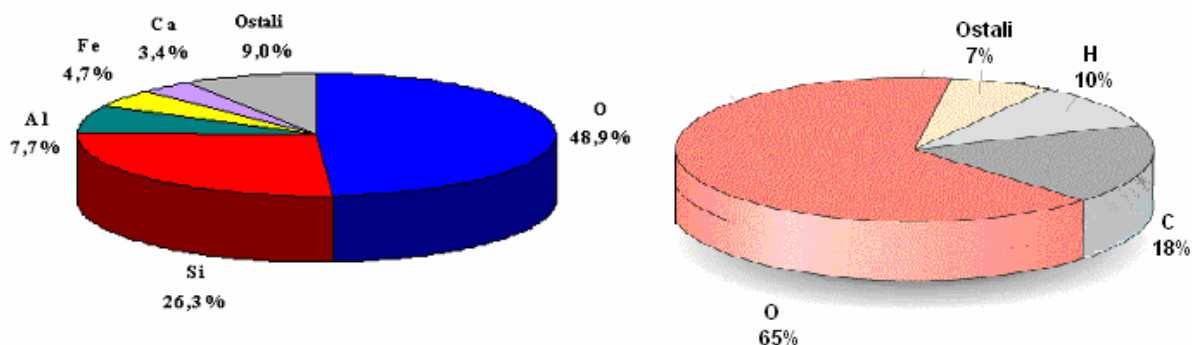
Tlak i temperatura Zemlje rastu s dubinom sloja i to do približno 364 GPa i 6000 K.

Na sljedećoj slici pokazan je raspored sastavnih slojeva Zemlje.



Shematski prikaz slojeva Zemlje.\*

Elementarni sastav našeg okoliša ne uključuje sve elemente u jednakim udjelima. Približan sastav površinskog dijela zemljinog plašta (nekoliko 100 km) i bioloških organizama<sup>i</sup> (desno) pokazan je na sljedećoj slici.

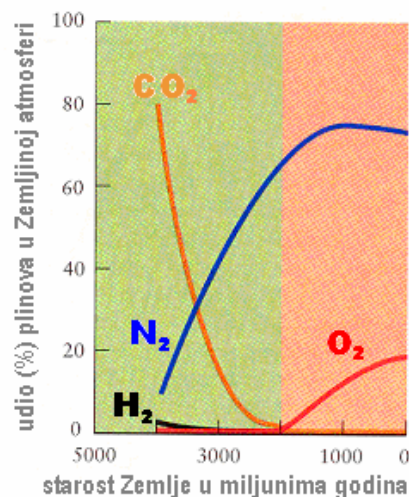


Ako sastav ne izrazimo masenim udjelima elemenata nego udjelnim brojem atoma, vodik je najrasprostranjeniji element u ljudskom tijelu. Sastav cijelog Svemira također pokazuje da je brojem atoma<sup>ii</sup> najzastupljeniji vodik; 91% H, 8.75% He i 0.25% atomi svih ostalih elemenata.

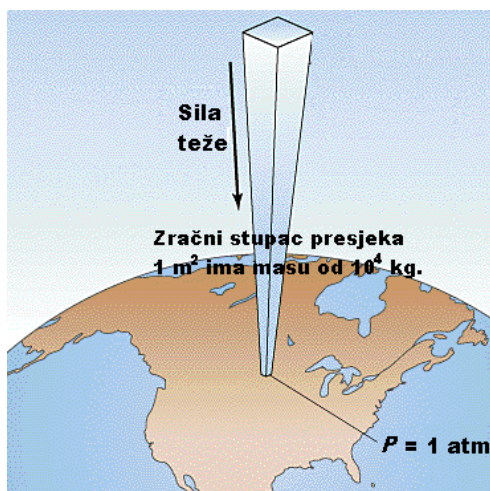
Premda su najčešće nevidljivi dio svijeta oko nas, plinovi su njegov važan dio, a postojanje zemljine atmosfere (plinskog omotača) je od izuzetne važnosti za razvoj aerobnih organizama. Starenjem planeta Zemlje mijenjao se je sastav njegove atmosfere kako to pokazuje sljedeća slika. Međutim, treba zapamtiti da su i živi organizmi mijenjali sastav atmosfere,. Kisik se u atmosferi pojavljuje tek nastankom živih organizama koji ga stvaraju asimilacijom tj. kataliziranom redukcijom ugljičnog dioksida s vodom.

\* I unutrašnji slojevi Zemlje igraju važnu ulogu u razvoju života na njenoj površini (biosferi). Tako primjerice narandasto obojen sloj Zemlje, koji se sastoji od tekućeg željeza u kružnom gibanju, zaslužan je za stvaranje zemljinog **magnetnog polja**, bez kojeg bi solarno elektromagnetno zračenje bilo pogubno za žive organizme.





Kao i sve ostale plinovite smjese, atmosferu se može svrstati u homogene smjese. Pod djelovanjem gravitacije (sile teže) atmosfera svojom masom pritišće sve objekte na površini Zemlje silom od  $\sim 10^5$  N po  $\text{m}^2$  površine. Od neprocjenjive je važnosti činjenica da je pri takvom tlaku gustoća leda manja od gustoće vode na  $4^\circ\text{C}$ . To omogućava zaleđivanje oceana, mora, jezera i rijeka na njihovim površinama, pa se život u dubinama nesmetano odvija i u zimskim razdobljima.\*



Atmosfera nas tlači težinom zračnoga stupca iznad nas, koji na razini mora daje tlak od  $1.013 \times 10^5$  Pa ( $= \text{N m}^{-2} = \text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$ ).

Sastav atmosfere se potpuno razlikuje od sastava zemljinog /krutog/ plašta!

---

\* Da je gustoća leda veća od gustoće vode na  $4^\circ\text{C}$ , stvoreni led gomilao bi se na dnu oceana, mora i jezera te se za ljetnih toplih razdoblja ne bi uspio otopiti. Sav život morao bi se odvijati u površinskom dijelu voda što bi u temeljima promijenilo evoluciju živih oblika na Zemlji.



**Prosječan sastav suhog zraka u troposferi**

Dušik	78,08
Kisik	20,95
Argon	0,934
Neon	0,0018
Helij	0,0005
Kripton	0,0001
Ksenon	0,000009
Ugljični dioksid	0,035
Metan	0,00017
Dušikov oksid	0,00003
Ugljični monoksid	0,00002
Voda	0,00005
Ozon	0,000001

Prosječan sadržaj H<sub>2</sub>O je do 4%

## ATOM I KEMIJSKI ELEMENT

(John) **Daltonova** hipoteza atoma (1807.) temeljena je na brojnim **pokusima**. Osnovni postulati njegove teze jesu:

- svi atomi jednog elementa su jednaki
- atomi različitih elemenata imaju različite mase
- spajanjem istovrsnih atoma nastaju elementarne tvari (sve istovrsne atome zovemo **element** a do 1997. otkriveno je i stvoreno **117** elemenata)
- kemijski spojevi su specifične kombinacije atoma različitih elemenata
- u kemijskim reakcijama se atomi niti stvaraju ni razaraju nego izmjenjuju partnere i stvaraju nove spojeve.

### *Možemo li vidjeti atome ili kako vidjeti nevidljivo?*

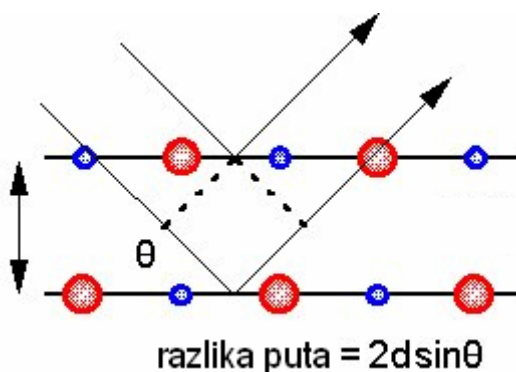
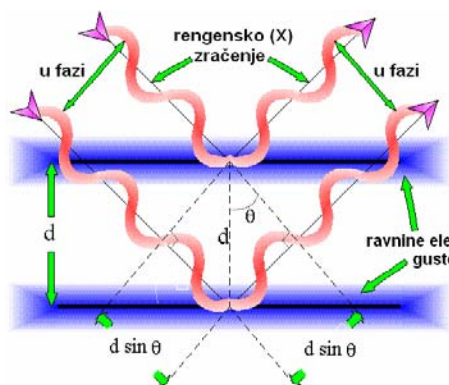
Atomi su presitni da bismo ih vidjeli golim okom ili pomoću **svjetlosnog mikroskopa** (veličinu najsitnije vidljive čestice određuje valna duljina svjetlosti – za usporedbu, razmak između atoma u krutinama je oko 1000 puta manji od valne duljine svjetlosti pa bi u takvoj slici bilo previše atoma da bi ih oko moglo razlikovati uz pomoć najboljeg svjetlosnog mikroskopa)!<sup>iii</sup>

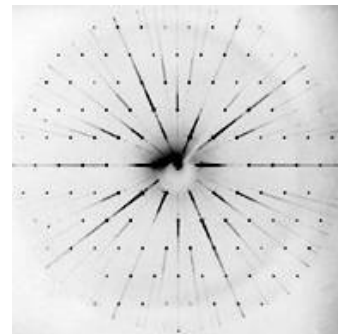
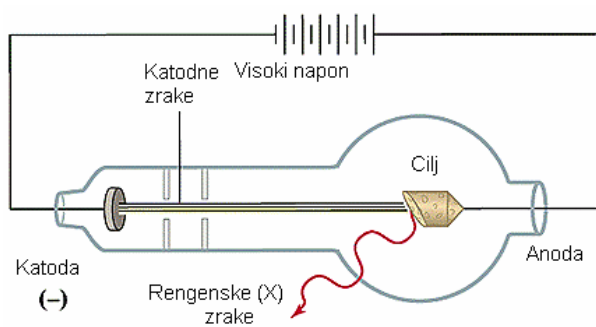
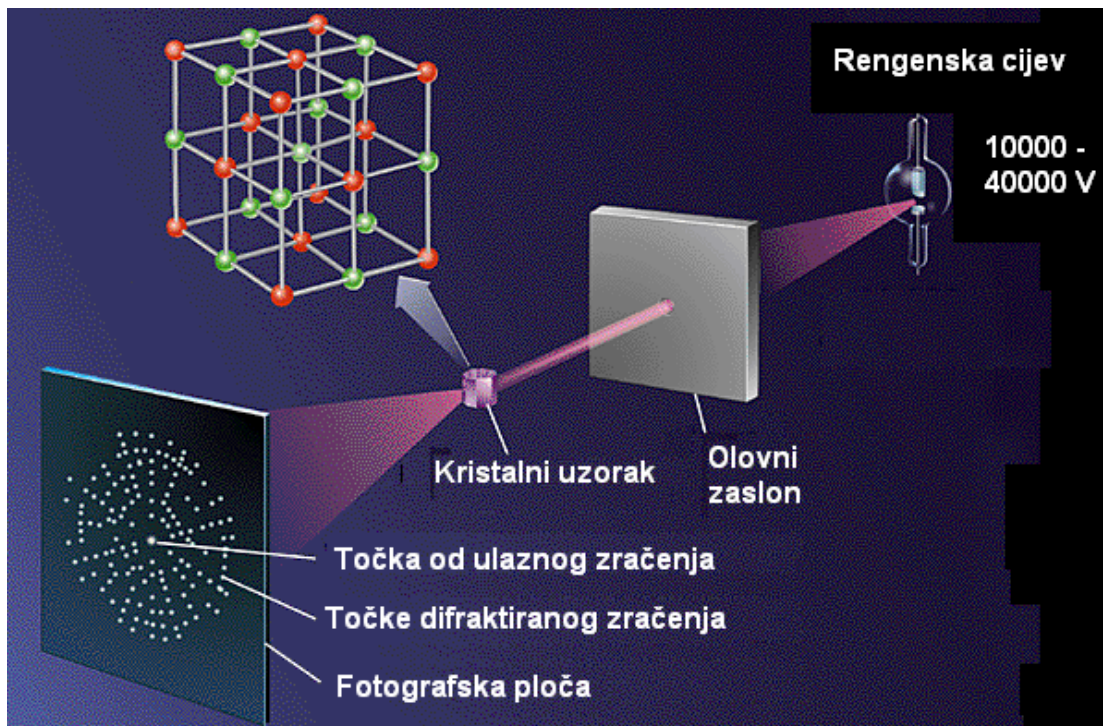
Unatoč tome, postoji nekoliko načina opažanja pojedinačnih atoma, odnosno njihovog rasporeda u molekulama i krutinama.

1. **Difrakcija rengenškog (X) zračenja** (valna duljina kraća od svjetlosne) se koristi za određivanje strukture krutina. Atomska rešetka molekulnog kristala stvara prepreke i otvore koji ogibaju rengenško zračenje. Raspršeno zračenje stvara interferencijski uzorak iz kojeg se može odrediti raspored i razmak atoma u kristalu. Položaji difrakcijskih točaka (mrlja) na zaslonu difraktometra dani su Braggovom jednačbom,

$$n \lambda = 2 d \sin \theta$$

gdje je  $\lambda$  valna duljina rengenškog zračenja. Do interferencije zračenja, tj. do pojačavanja njegove amplitude, doći će samo u određenoj kombinaciji razmaka među plohama odnosno valne duljine zračenja.

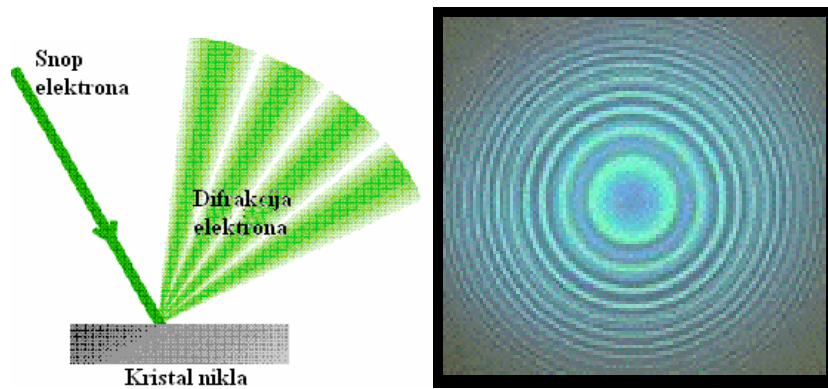




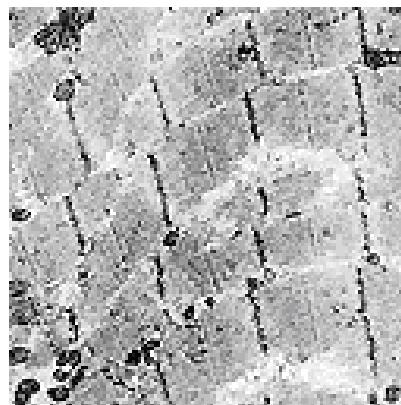
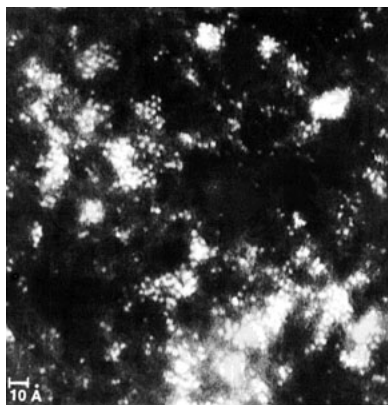
Shema rengenskog difraktometra (gore). Izvor rengenskog zračenja (dolje lijevo) i difraktogram paladijevog kompleksnog spoja (dolje desno).

## 2. Elektronska mikroskopija

- **Elektronska pretražna mikroskopija** - za elektron mase  $9.11 \times 10^{-31}$  kg ubrzan razlikom potencijala 100 kV može se izračunati brzina kretanja  $5.9 \times 10^6$  m/s, a što daje valnu duljinu njegova vala od 0.123 nm (u skladu s de Broglievom teorijom valnih svojstava materije). Ova duljina vala približno odgovara razmacima atoma u kristalnim rešetkama pa je moguće opaziti *difrakciju snopa elektrona* na površini tvari ako se elektroni ubrzavaju u polju 40 kV ( $\lambda = 0.5$  nm).



- **Elektronska transmisijaska mikroskopija** - koristi propuštene elektrone kroz istraživanu tvar a slike se stvaraju na fluorescirajućem platnu jer različiti atomi različito apsorbiraju elektrone. Tom metodom se mogu vidjeti pojedinačni atomi najtežih elemenata. Zbog poteškoća s lećama za fokusiranje elektrona na uzorak, granično razlučivanje metode je oko 2 nm.



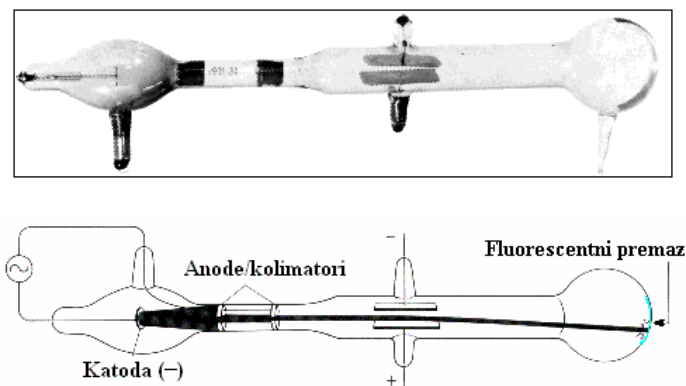
Fotografije pojedinačnih atoma i mikrokristala uranija (lijevo) te mišićnog tkiva (desno), dobivene elektronskom transmisijskom mikroskopijom.

3. **Neutronska difrakcija** – difrakcija neutrona niske energije upotpunjuje rendgensku difrakciju u određivanju položaja atoma u molekulama i molekulnim kristalima – naročito atoma malog rednog broja kao što je vodik.

## NUKLEARNI ATOM

### Interna struktura atoma

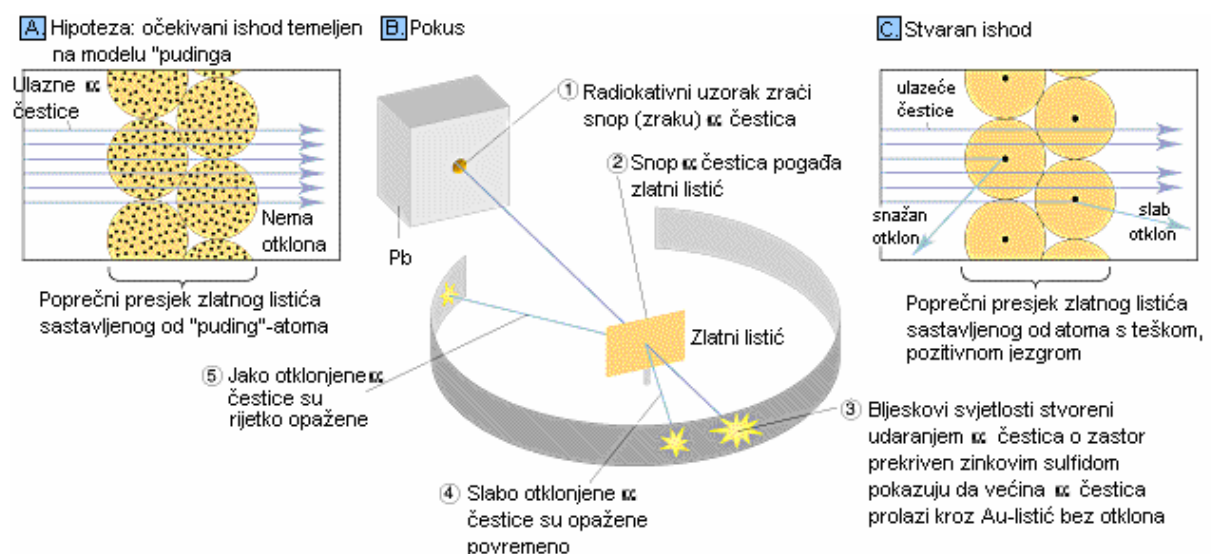
Danas znamo da se materija sastoji od preko **200 elementarnih čestica** - **subatomskih čestica**. Interakcijom elementarnih čestica nastaju **atomi**, a atomi različitih elemenata se međusobno razlikuju **brojem** i **vrstom** elementarnih čestica koje ih tvore. **Prva** otkrivena subatomska čestica je **elektron** (1897.) Thomson je ustanovio da je elektron **negativno nabijena** čestica naboja  $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ , mase  $9.10939 \times 10^{-31} \text{ kg}$ .



Fotografija i shematski prikaz Thomsonove katodne cijevi koju je koristio u pokusu dokazivanja postojanja elektrona. Cijev je duga oko 1 m.

**Gdje je smješten pozitivan naboj** koji neutralizira negativni naboj elektrona? Thomson je predlagao model pudinga: pozitivno nabijen gel u kojem su suspendirani negativno nabijeni elektroni!

### Geiger i Marsdenov pokus s $\alpha$ česticama



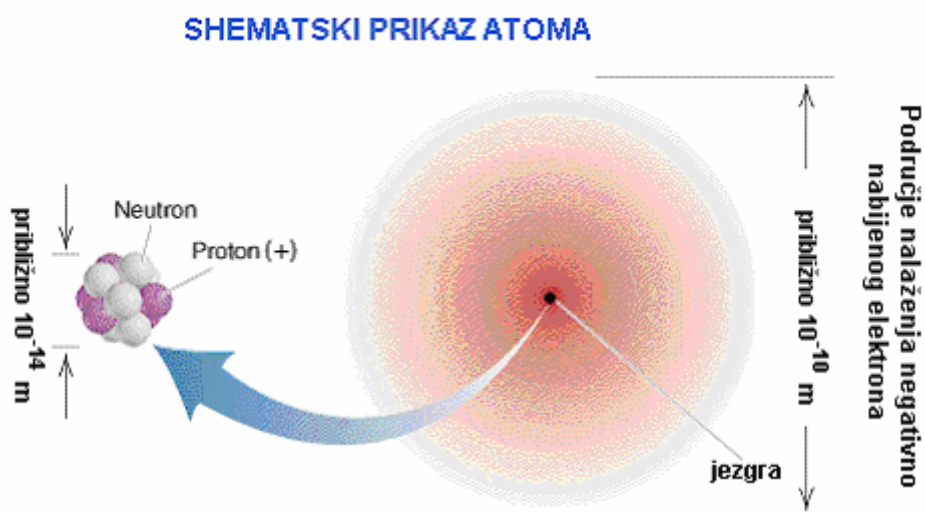
Rezultati pokusa pokazali su da je model pudinga potpuno pogrešan.



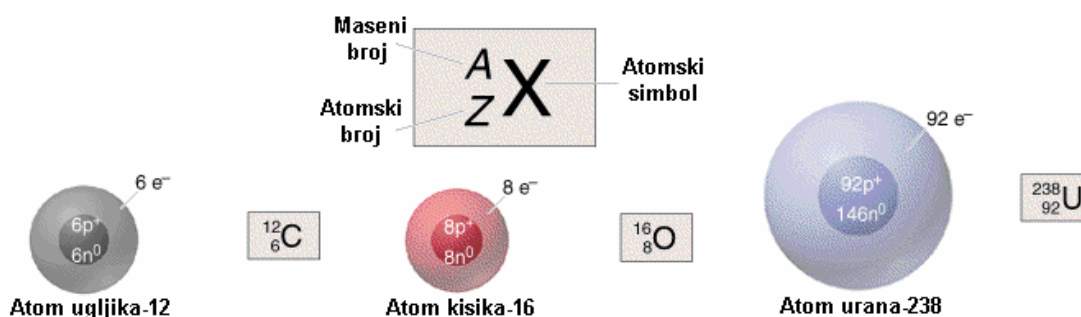
U gelu se  $\alpha$  čestice ne bi raspršile iz čega se može zaključiti da je pozitivan naboj u atomu smješten u **čvrstim** česticama **atomskih jezgara**! Pozitivna čestica u jezgri nazvana je **proton**. **Broj protona u jezgri** = **atomski broj**,  **$Z$** .

Proton je čestica **pozitivnog** naboja  $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ , mase  $1.67262 \times 10^{-27} \text{ kg}$ .

Konsistentna atomska teorija nije bila moguća dok engleski fizičar [James Chadwick](#) 1932. nije otkrio treću subatomsku česticu, **neutron**. On je utvrdio da alfa čestice (helijeve jezgre) reagiraju s berilijevim jezgrama uz izbacivanje neutralnih čestica gotovo jednake mase kakvu ima proton, tj. masa neutrona je  $1.67495 \times 10^{-27} \text{ kg}$ .

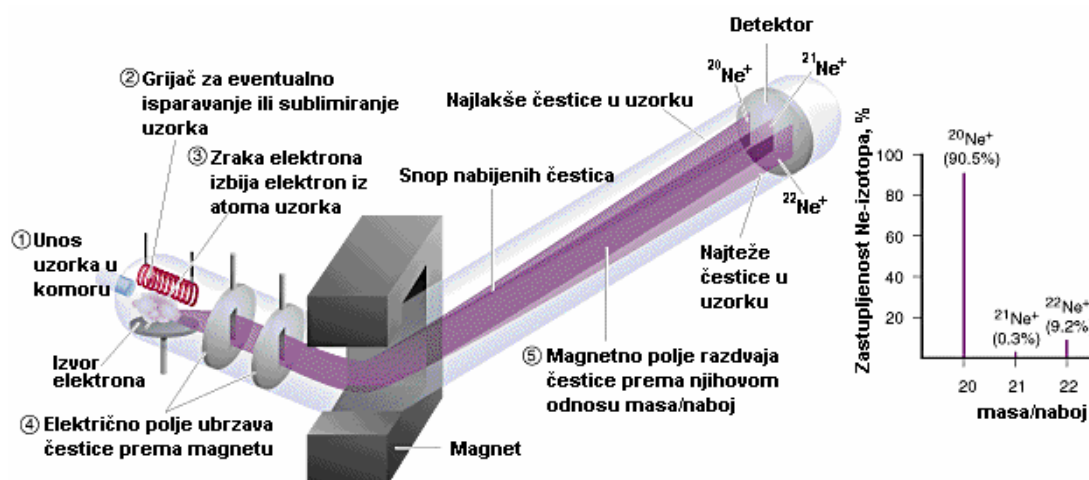


Svaki element opisan je atomskim simbolom (**X**), te atomskim ( **$Z$** ) i masenim ( **$A$** ) brojem kako je to ilustrirano sljedećim primjerima.



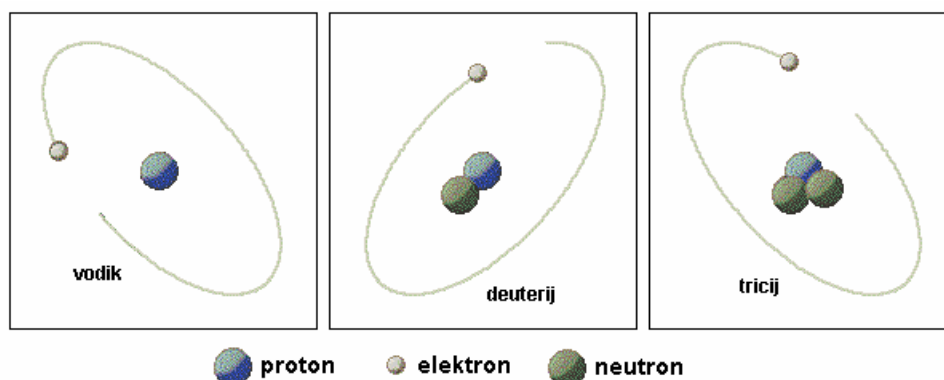
Atomski broj predstavlja broj protona u jezgri odnosno broj elektrona u elektronskom omotaču, a maseni broj je jednak ukupnom broju subatomskih čestica jezgre, odnosno zbroju protona i neutrona.

Broj subatomske čestice jezgre moguće je odrediti spektrometrijom masa ili **masenom spektrometrijom**.



Načelo rada masenog spektrometra i maseni spektar neona.

Masenom spektrometrijom moguće je razlikovati atome istog elementa (atomi jednakog  $Z$ , odnosno s jednakim brojem protona) koji se razlikuju po **broju neutrona** – **izotope**. Na sljedećoj slici pokazana su tri izotopa vodika.



Atomi su sastavljeni od **dvije** vrste subatomske čestice: kvarkova i elektrona.

1. **kvarkovi** – od njih su načinjeni sastojci jezgre, tj. protoni i neutroni. Vrlo pojednostavljeno, kvarkovi su brzo krećuće točke energije kojih ima nekoliko vrsta. **Protoni** i **neutroni** su načinjeni od dvije vrste kvarkova: nabijeni  $+2/3$  ili  $-1/3$  **jediničnog električnog naboja**. Naboj svake čestice atomske jezgre je zbroj naboja kvarkova koji čine tu česticu. Svaki proton i neutron sadrže po 3 kvarka. Proton sadrži **dva kvarka s  $+2/3$  i jedan kvark s  $-1/3$  električnog naboja**, a neutron **jedan s  $+2/3$  i dva kvarka s  $-1/3$  električnog naboja**. Sastojci jezgre su povezani «**jakom nuklearnom silom**» (jednom od 4 temeljne sile; slaba nuklearna sila, gravitacija i elektromagnetizam su ostale tri sile) kojoj su suprotstavljene sile elektrostatskog odbijanja istovrsno nabijenih protona.
2. **elektroni** – zauzimaju prostor oko jezgre. Premda elektroni unutar atoma iskazuju složeno ponašanje oni su potpuno opisani s nekoliko parametara. Intrinzična svojstva elektrona su naboj, masa, spin i magnetni moment. Svi elektroni imaju identična intrinzična svojstva. Kao najmanje nabijene čestice, oni su apsolutno stabilni i ne raspadaju se u manje čestice. **Većina kemijskih svojstava atoma ovise isključivo o elektronima**.



i Na slici periodnog sustava kemijskih elemenata najzastupljeniji elementi bioloških sustava su obojeni **crveno**, manje prisutni su obojeni **plavo**, a elementi u tragovima su obojeni **zeleno**.

1A																	8A
H																	He
	2A											3A	4A	5A	6A	7A	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	3B	4B	5B	6B	7B	8B			1B	2B	Al	Si	P	S	Cl	Ar
							8	9	10								
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

## ii Mjerenje: „oči“ znanosti

Da bismo sastav izrazili udjelnim brojem atoma, nužno je odrediti, odnosno **izmjeriti** masu atoma svakog od elemenata. Znanstvenici u kemiji moraju kvantificirati **vrlo velike i vrlo malene veličine** koje opisuju svojstva onoga čime se kemija bavi. Zbog toga je nužan prihvatljiv način izražavanja tih veličina u razumljivom i standardiziranom obliku. Za različite vrste mjerenja potrebne su pogodne i lako pretvorljive jedinice pa je nužno dogovoren koherentan, međunarodni sustav (SI) standardnih jedinica.

### SI-skup osnovnih jedinica

Fizičko svojstvo	Ime jedinice	Kratika
Masa	kilogram	kg
Duljina	metar	m
Vrijeme	sekunda	s
Električna struja	amper	A
Temperatura	kelvin	K
Množina (količina) tvari	mol	mol

Jedna od poteškoća u raspravljanju svojstava molekula je njihova veličina. One su tako sićušne čestice da ih i u najsitnijem uzorku ima ogroman broj.

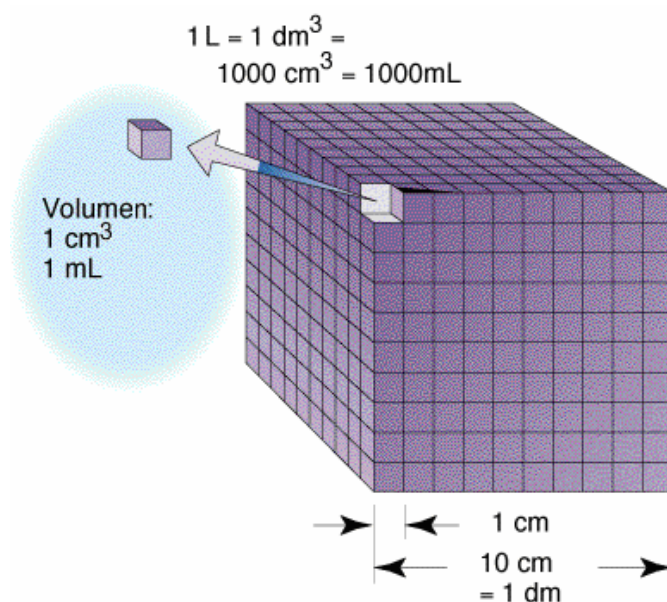
To je razlog zašto je kemiju uvedena jedinica **mol**, kojom umjesto navođenja „sve molekule u 18 g vode“ kažemo „jedan mol vode“ znajući da **1 mol objekata =  $6.02 \times 10^{23}$  objekata** (kao što je **1 tucet objekata =  $1.2 \times 10^1$  objekata**).

Vrlo često smo prisiljeni „skalirati“ jedinice za mjerenja vrlo malih i vrlo velikih objekata. U tu svrhu koriste se različiti prefiksi ispred temeljnih jedinica, koji pokazuju za koliko redova veličina želimo promijentati temeljnu jedinicu u iskazivanju neke veličine. Najčešće korišteni prefiksi jesu:

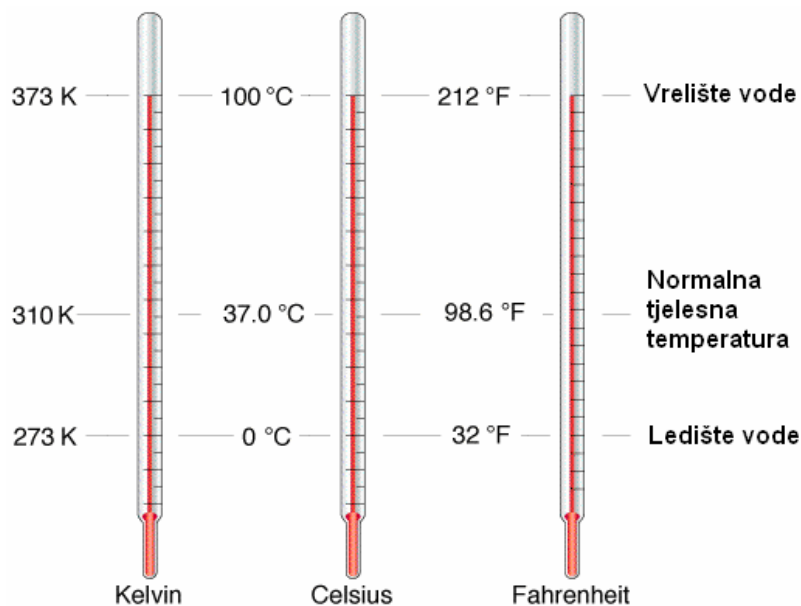
### Odabrani prefiksi u SI sustavu

Prefiks	Kratika	Značenje	Primjer
Giga	G	$10^9$	1 gigametar (Gm) = $1 \times 10^9$ m
Mega	M	$10^6$	1 megametar (Mm) = $1 \times 10^6$ m
Kilo	k	$10^3$	1 kilometar (km) = $1 \times 10^3$ m
Deci	d	$10^{-1}$	1 decimetar (dm) = $1 \times 10^{-1}$ m
Centi	c	$10^{-2}$	1 centimetar (cm) = $1 \times 10^{-2}$ m
Mili	m	$10^{-3}$	1 milimetar (mm) = $1 \times 10^{-3}$ m
Mikro	$\mu$	$10^{-6}$	1 mikrometar ( $\mu$ m) = $1 \times 10^{-6}$ m
Nano	n	$10^{-9}$	1 nanometar (nm) = $1 \times 10^{-9}$ m
Piko	p	$10^{-12}$	1 pikometar (pm) = $1 \times 10^{-12}$ m
Fermo	f	$10^{-15}$	1 fermometar (fm) = $1 \times 10^{-15}$ m

U kemiji se za volumen ne koristi kub standardne jedinice za duljinu (tj.  $\text{m}^3$ ) nego jedinica **1 kubični decimetar** [ $1 \text{ dm}^3 = \text{1 L (litra)}$ ], uz korištenje i jedinice **1 mL** =  $1 \text{ cm}^3$ .

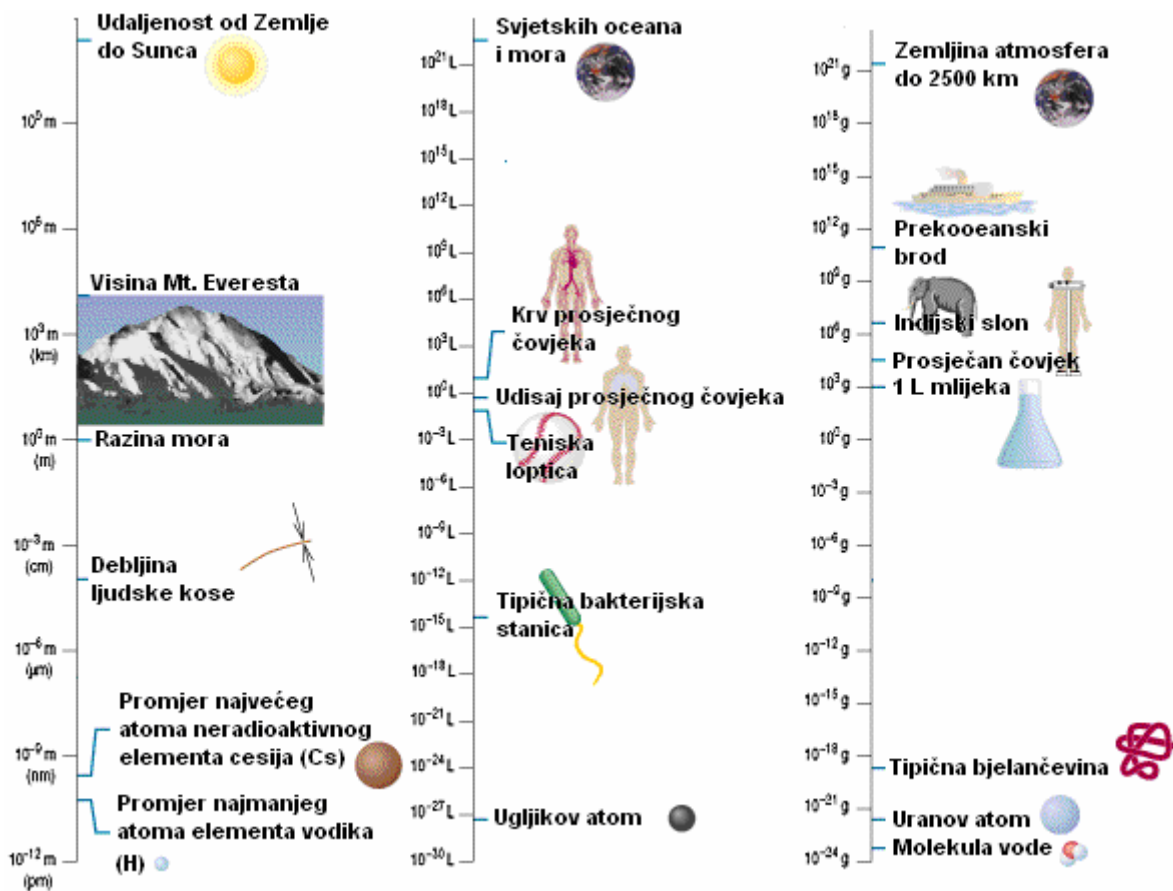


Temperatura se standardno izražava **KELVIN**ovom ljestvicom ali se osim nje vrlo često koriste **Celcius**ova (u većini država) i **Fahrenheit**ova (u anglosaksonskim državama) temperaturna ljestvica. Kelvinova i Celsiusova ljestvica imaju jedinice jednake veličine (promjena od 1 K = promjena od 1 °C) a razlikuju se u nultoj vrijednosti ljestvica. Nula Kelvinove temperaturne ljestvice je **APSOLUTNA NULA**, pa je to ljestvica apsolutne temperature. Zato je najprikladnije uvijek koristiti Kelvinovu ljestvicu, odnosno preračunati vrijednosti ostalih ljestvica u K.



Izračunajte temperaturu apsolutne nule izraženu  $^{\circ}\text{C}$  i  $^{\circ}\text{F}$ .

Umjesto korištenja prefiksa pri uspoređivanju vrlo raličitih vrijednosti neke fizičke veličine, često se koristi i logaritamsko skaliranje. Takav način poredbe duljina, volumena i masa nekih zanimljivih objekata pokazane su na sljedećem crtežu.



Ljestvice su logaritamske.

---

<sup>iii</sup> Svjetlosni mikroskop ima rezolucijsku granicu oko 200 nm (0.2  $\mu\text{m}$ ). Granica je tolika zbog valne duljine svjetlosti (0.4 - 0.7  $\mu\text{m}$ ).

**Svjetlosna mikrografija kosti**

