

1

Struktura atoma i periodni sustav elemenata

Ključni pojmovi

tvari
atom
kemijski elementi
kemijski spoj
subatomske čestice
atomski broj
maseni broj
izotopi
elektronska konfiguracija
relativna atomska masa
relativna molekulska masa
množina tvari
molarna masa

Ciljevi

Upoznati vrste tvari
Usvojiti građu atoma
Usvojiti postupke pisanja elektronske konfiguracije
Izračunati masu elektrona
Definirati značenje pojma mol
Povezati množinu tvari i brojnost jedinki
Uočiti periodičnost svojstava elemenata
Usvojiti pojmove atomski i maseni broj

1. Struktura atoma i periodni sustav elemenata

1.1. Sastav tvari

U svakodnevnom životu susrećemo se s različitim **tvarima** koje se međusobno razlikuju po svojim fizikalnim i kemijskim svojstvima, a zajedničko im je da posjeduju masu i volumen.

Ljudi su od davnina pokušavali objasniti od čega su građena živa bića i predmeti koji nas okružuju. Zašto je nešto tvrdo, a nešto drugo ne? Zašto neke stvari možemo prelomiti bez posebnog napora, dok za neke druge trebamo posebne noževe?

Ideja da su tvari građene od sitnih čestica potječe još iz antičke Grčke. Prvi je Demokrit (5. stoljeće pr. n. e.) izrazio uvjerenje da se svaka tvar sastoji od jako malih, nedjeljivih čestica koje je nazvao **atom** (grč. *atomos* – nedjeljiv). Iako njegove ideje njegovi sunarodnjaci nisu prihvatali, počeci moderne znanosti (17. i 18. stoljeće) i uvođenje eksperimenata su potkrijepili njegove tvrdnje i dali maha razvoju moderne atomističke teorije. Osnovna pretpostavka atomističke teorije je da su sve tvari građene od atoma – osnovnih strukturnih jedinica. No, o atomima ćemo više pričati u sljedećoj cjelini.

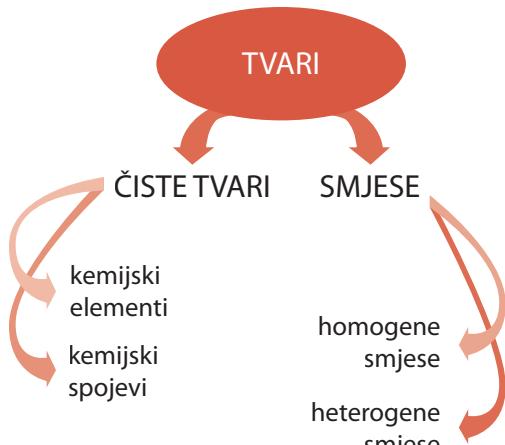
Sve tvari možemo podijeliti na **čiste tvari** i **smjese tvari**, kao što je prikazano na slici 1-1. Čiste tvari sastoje se od samo jedne vrste tvari i razlikujemo kemijske elemente (elementarne tvari) i kemijske spojeve. **Kemijski elementi** su jednostavne čiste tvari koje se nikakvim kemijskim postupcima ne mogu razložiti na nove, jednostavnije tvari (kisik, vodik, magnezij, sumpor i dr.). **Kemijski spojevi** su složene čiste tvari koje su nastale međusobnim spajanjem kemijskih elemenata u nekom, točno određenom omjeru i kemijskim ih postupcima ponovo možemo razložiti na jednostavnije čiste tvari. Primjerice, kuhičku sol, natrijev klorid, možemo rastaviti na elementarni natrij i klor od kojih je ta sol nastala. Bitno je uočiti da kemijski spoj, u našem slučaju kuhička sol, ima potpuno drugačija svojstva od svojstava elemenata od kojih je nastala.

Većina tvari u prirodi dolazi u obliku **smjesa**. Smjese tvari dijelimo na homogene i heterogene. **Homogene smjese** možemo relativno lako prepoznati: u svakom svom dijelu imaju isti sastav i jednaka svojstva, te golin okom, povećalom ili mikroskopom ne možemo razlikovati sastojke. Primjer je sok koji dobijemo miješanjem sirupa i vode (slika 1-2), zrak koji udišemo ili zlatni nakit koji u sebi zapravo ima relativno malo zlata. Kod **heterogenih smjesa** možemo razlikovati sastojke, ponekad već i golin okom (granit, zemlja, pijesak u vodi), a svaki sastojak te smjese zadržava svoja svojstva.

Homogene i heterogene smjese možemo određenim postupcima rastaviti na čiste tvari od kojih su sastavljene. Na taj način dobivamo sol koju svakodnevno koristimo ili ulje iz sjemena raznih biljaka.

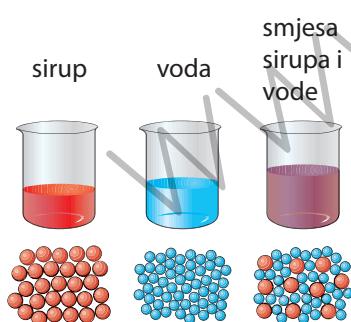
Neke od tih postupaka odjeljivanja spomenut ćemo ovdje:

- **taloženje i dekantiranje:** taloženjem (slika 1-3) se čvrste tvari skupljaju na dnu posude, a iznad njih ostaje bistra tekućina koja se odlijeva, odnosno dekantira.



Slika 1-1

Podjela tvari



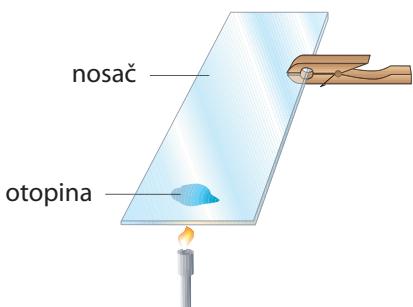
Slika 1-2

Dolje su prikazane čestice sirupa, vode i smjesa sirupa i vode



Slika 1-3

Taloženje



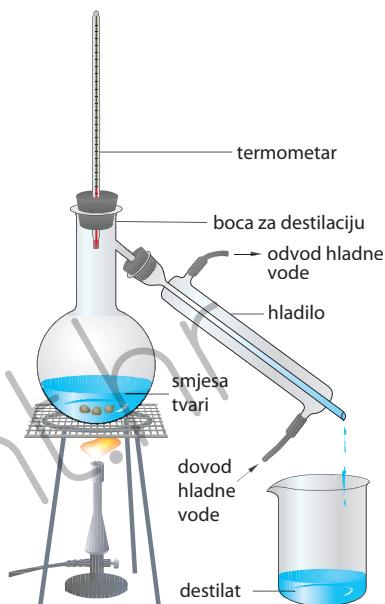
Slika 1-4

Isparavanje otopine

• **filtriranje:** obavlja se propuštanjem smjese kroz filter-papir koji ima sitne pore. Tekućina prolazi kroz filter-papir, a čvrsta tvar ostaje na njemu.

• **isparavanje i ishlapljivanje:** koristi se za odvajanje čvrstih tvari iz njihovih otopina prema načelu isparavanja tekućine iz otvorene posude. Nakon što tekućina ispari, ostaje čvrsta tvar i to često u obliku kristala. Proces možemo ubrzati zagrijavanjem, kako je prikazano na slici 1-4.

• **destilacija:** odjeljivanje tekućina od otopljenih čvrstih tvari zagrijavanjem do temperature vrenja. Para se rashlađuje i kondenzira u tekućinu – **destilat**, a odvojene čvrste (krute) tvari ostanu. Uredaj za destilaciju prikazan je na slici 1-5.



Slika 1-5

Uređaj za destilaciju

Pokus: Filtriranje

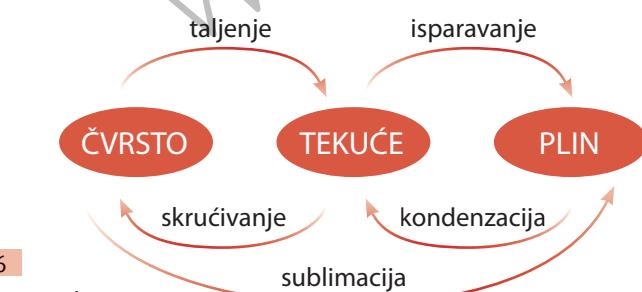
Pripremite okrugli filter-papir prema slici.

Pribor: filter-papir, lijevak, staklena čaša, stakleni štapić, stalak, željezni prsten

Kemikalije: ugljena prašina, voda

Postupak: U staklenoj čaši pomiješajte ugljenu prašinu s vodom. Navlažite filter-papir i tekućinu polagano ulijevajte u lijevak niz stakleni štapić.

Zapišite svoja zapažanja. Što je ostalo na filter-papiru? Kakva je boja odlivenе tekućine?



Slika 1-6

Aggregatna stanja

Jeste li znali?

Najjednostavniji postupak odjeljivanja smjese tvari je prosijavanje. Kroz sita različito velikih rupica tvari se mogu odijeliti prema veličini. Tako su, primjerice, peraći zlata od riječnog šljunka i pjeska odvajali grumenje zlata, što se i danas radi na rijeci Dravi kod Donje Dubrave (Međimurje), no u turističke svrhe.



Prosijavanje

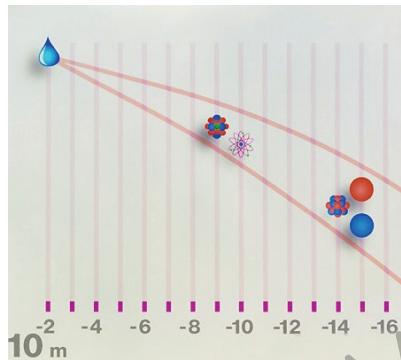


Napomena

- **g** (engl. *gas*) – plinovito stanje
- **l** (engl. *liquid*) – tekuće stanje
- **s** (engl. *solid*) – čvrsto stanje
- **aq** (lat. *aqua*) – vodena otopina



John Dalton (1766. - 1844.) je bio prvi kemičar koji je izložio atomsku teoriju tvari. Potekao je iz obitelji kvekera, iz Cumberlanda u Engleskoj. Već je sa 12 godina napustio školu kako bi postao učitelj. Njegova 'prva ljubav' je bila meteorologija te je pomoću instrumenata koje je sam napravio punih 57 godina vodio dnevne bilješke o vremenskim prilikama. Također je opisao pojavu nemogućnosti razlikovanja boja, koja je njemu u čast nazvana daltonizam. 1801. godine postavio je zakon o parcijalnim tlakovima plinova, a 1803. je objavio svoju teoriju o tome kako se sva tvar sastoji od nevidljivih 'atoma'.

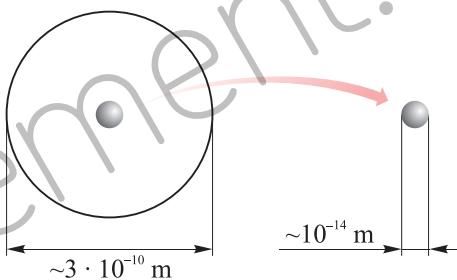


Slika 1-8

Usporedba veličine kišne kapi i atoma

1.2. Struktura atoma

Na temelju Daltonove atomističke teorije atom možemo definirati kao osnovnu jedinicu nekog elementa koja može sudjelovati u kemijskoj reakciji. Dalton je atom zamišljao kao malu i nedjeljivu česticu. Međutim, istraživanja krajem 19. stoljeća i u 20. stoljeću pokazala su da atom ima unutarnju strukturu. Atom se sastoji od još manjih čestica, koje se jednim imenom nazivaju **subatomske čestice**. Tri osnovne subatomske čestice su **proton**, **neutron** i **elektron**. Protoni i neutroni se nalaze u atomskoj jezgri, dok su elektroni izvan jezgre u elektronskom omotaču. Atomska jezgra zauzima vrlo mali dio volumena atoma i promjera je oko 10^{-14} m, a elektroni su od jezgre udaljeni približno 10^{-10} m. Dakle, promjer jezgre je približno 10 000 puta manji od promjera cijelog atoma (slika 1-7).



Slika 1-7

Primjer za odnos veličine atoma i jezgre

Broj elektrona u elektronskom omotaču jednak je broju protona. Atomi različitih elemenata razlikuju se po broju protona u jezgri, odnosno broju elektrona u omotaču. Tako svi atomi vodika imaju jedan proton u jezgri i jedan elektron u omotaču.

Protoni (p^+) su elementarne čestice pozitivnog elementarnog naboja, dok su neutroni (n^0) bez naboja, pa je atomska jezgra pozitivno nabijena. Elektroni (e^-) su elementarne čestice negativnog elementarnog naboja, pa je elektronski omotač negativno nabijen. Zbog jednakog broja pozitivno i negativno nabijenih čestica atom je kao cjelina električki neutralan.

$$N(e^-) = N(p^+)$$

Atom je električki neutralna čestica građena od atomske jezgre u kojoj su smješteni protoni i neutroni, te elektronskog omotača u kojem su elektroni.

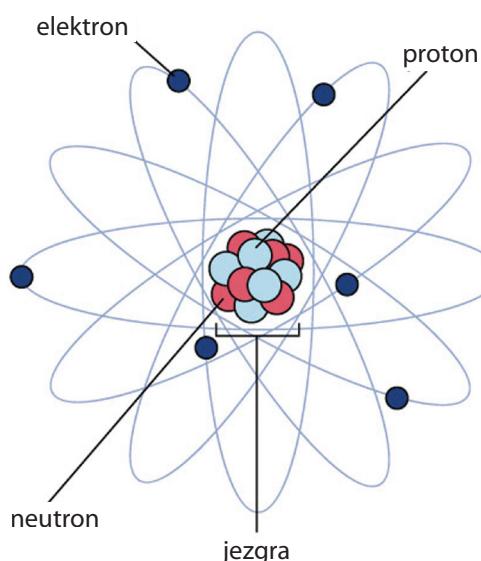
Iako su sve elementarne čestice izrazito male mase, ipak je masa elektrona zanemariva u odnosu na masu protona ili neutrona. Naime, masa protona je 1 837 puta veća od mase elektrona. Zato možemo reći da je gotovo sva masa atoma koncentrirana u njegovoj jezgri.

Tablica 1-1

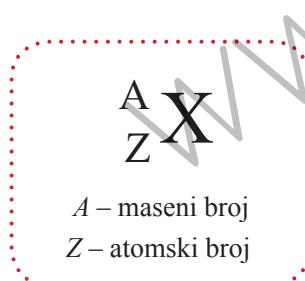
Masa i naboј subatomskih čestica

Čestica	Oznaka	Masa (g)	Relativna masa	Naboj (C)	Relativni naboj
elektron	e^-	$9.109 \cdot 10^{-31}$	1	$-1.6022 \cdot 10^{-19}$	-1
proton	p^+	$1.672 \cdot 10^{-27}$	1 836	$+1.6022 \cdot 10^{-19}$	+1
neutron	n^0	$1.674 \cdot 10^{-27}$	1 837	0	0

Napomena: relativna masa je određena u odnosu na masu elektrona



Slika 1-9
Model atoma



Primjer 1

Odredite broj pojedinih elementarnih čestica za atom klora, $^{35}_{17}\text{Cl}$.

$$A = 35$$

$$Z = 17$$

Rješenje:

$$Z = N(p^+)$$

$$N(p^+) = 17$$

$$A = N(p^+) + N(n^0)$$

$$N(n^0) = A - N(p^+)$$

$$N(n^0) = 35 - 17$$

$$N(n^0) = 18$$

$$N(e^-) = N(p^+) = 17$$

Čestice koje čine jezgru atoma, protoni i neutroni, jednim se imenom nazivaju **nukleoni** (grč. *nukleus* – jezgra). Kemijski element kojim će pripadati neki atom određen je brojem protona u jezgri. Taj broj protona u jezgri naziva se **atomski ili protonski broj** i označava se slovom Z :

$$Z = N(p^+).$$

Ukupan broj protona i neutrona u jezgri, odnosno zbroj svih nukleona naziva se **nukleonski ili maseni broj** i označava se slovom A :

$$A = N(p^+) + N(n^0).$$

Znamo li atomski broj nekog atoma, možemo sa sigurnošću utvrditi o kojem se elementu radi. Atom kisika ima atomski broj $Z = 8$ i svi atomi s atomskim brojem $Z = 8$ pripadaju kemijskom elementu kisika. S obzirom na to da je atom neutralna čestica, iz broja protona možemo odrediti i broj elektrona. Znači, atom kisika ima osam protona i osam elektrona. Nadalje, iz masenog broja kisika $A = 16$ možemo izračunati koliko neutrona ima kisik:

$$N(n^0) = A - N(p^+),$$

odnosno:

$$N(n^0) = A - Z$$

$$N(n^0) = 16 - 8$$

$$N(n^0) = 8.$$

Uobičajen način pisanja je: ${}^A_Z X$

$$A = N(p^+) + N(n^0)$$

$$Z = N(p^+)$$

$$N(p^+) = N(e^-)$$

Primjer 2

Rješenje:

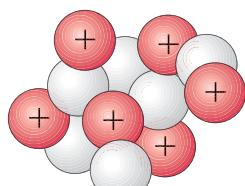
- Iz periodnog sustava elemenata atom s jedanaest protona je atom natrija.
- Atomski broj je broj protona $Z = 11$.
- Maseni broj A jednak je zbroju protona i neutrona:

$$A = N(p^+) + N(n^0) = 11 + 12 = 23.$$
- Broj elektrona jednak je broju protona:

$$N(e^-) = N(p^+) = 11.$$

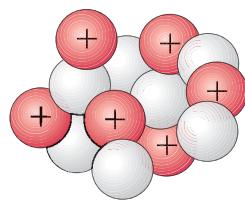
1.3. Izotopi

atom ugljika C – 12



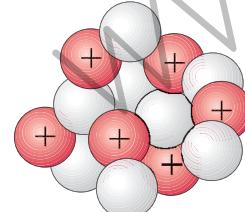
broj protona: 6
broj neutrona: 6

atom ugljika C – 13



broj protona: 6
broj neutrona: 7

atom ugljika C – 14



broj protona: 6
broj neutrona: 8

Slika 1-10

Izotopi ugljika: atomske jezgre

Naučili smo da neki atom možemo u potpunosti odrediti znamo li njegov protonski i maseni broj. No, u većini slučajeva atomi određenih elemenata nemaju jednaku masu. Znači, radi li se o atomima istog elementa, svi imaju isti protonski (atomski) broj, ali razlikuju se u masenom broju. Iz toga slijedi da se atomi istog elementa mogu razlikovati samo po broju neutrona. Takve atome nazivamo **izotopima** (grč. *isos* – isto + *topos* – mjesto).

Izotopi su atomi istog kemijskog elementa koji imaju jednak broj protona, a različit maseni broj, odnosno broj neutrona.

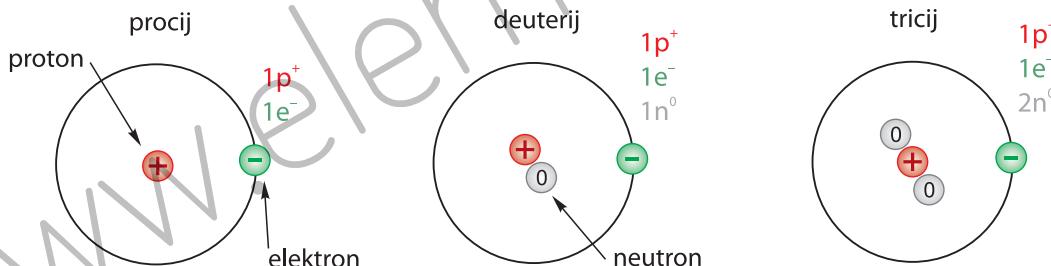
Vodik se u prirodi javlja kao smjesa dvaju izotopa, procija ^1H i deuterija ^2H , dok je treći vodikov izotop tricij ^3H proizведен umjetno u laboratoriju. Procija ^1H ima po jedan proton i elektron, ali nema neutrona. Deuterij ima proton, elektron i neutron, dok tricij uz proton i elektron ima dva neutrona, kao što je prikazano na slici 1-11.

Vidljivo je da sva tri izotopa vodika imaju jednake atomske brojeve i da se razlikuju samo po broju neutrona.

Ugljik se u prirodi javlja isto kao smjesa dvaju izotopa, ^{12}C i ^{13}C . Udio ugljika ^{13}C je vrlo mali, dok se izotop ^{14}C može naći i u gornjim slojevima atmosfere. Atomske jezgre izotopa ugljika prikazane su na slici 1-10.

Većina kemijskih elemenata u prirodi dolazi kao smjesa izotopa. Elementi s većim atomskim brojem imaju sve više izotopa. Zapravo, ima relativno malo kemijskih elemenata koji se u prirodi javljaju kao jedan jedini izotop (npr. fluor ili fosfor).

Kemijska svojstva elemenata određena su brojem protona i elektrona u atomu, dok neutroni ne sudjeluju u kemijskim vezama, pa izotopi istog elementa imaju ista kemijska svojstva i u kemijskim se reakcijama ponašaju isto.

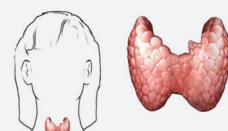


Slika 1-11

Izotopi vodika: procij, deuterij i tricij

Jeste li znali?

Za određivanje starosti predmeta koristi se radioaktivni ugljikov izotop C–14. Njegovo vrijeme poluraspada je 5730 godina i na temelju usporedbe prisutne količine ugljika C–14 u ispitivanom predmetu i referentnog materijala određuje se starost fosilnih ostataka. Radioaktivni se izotopi koriste i u medicini, npr. radioaktivni jod kod liječenja bolesti štitnjaka.



Štitnjaka

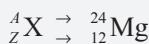


Primjer 1

Odredite broj protona i neutrona u izotopima magnezija $^{24}_{12}\text{Mg}$ i $^{25}_{12}\text{Mg}$.

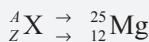
Rješenje:

Atomski broj je broj protona. Iz razlike masenog i atomskog broja određuje se broj neutrona:



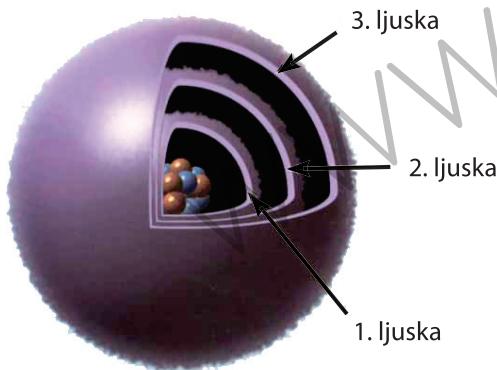
$Z = 12 \rightarrow$ broj protona

$A = 24 \rightarrow$ broj neutrona: $A - Z = 24 - 12 = 12$



$Z = 12 \rightarrow$ broj protona

$A = 25 \rightarrow$ broj neutrona: $A - Z = 25 - 12 = 13$



Slika 1-12

Elektronski omotač

1.4. Elektronski omotač atoma

U prethodnom smo poglavlju naučili da su elektroni smješteni u područje oko jezgre atoma, u **elektronskom omotaču** (slika 1-12). Broj elektrona u elektronskom omotaču odgovara broju protona u jezgri. Ne može se s točnošću utvrditi gdje se pojedini elektron nalazi u određenom trenutku pa govorimo o vjerojatnosti nalaženja elektrona u prostoru oko jezgre. U modelima građe elektronska stanja opisujemo pomoću orbitala koje nam govore o gustoći elektronskog oblaka.

Elektroni u atomu nemaju jednaku energiju. Energija koju pojedini elektron ima ovisi o njegovoj udaljenosti od atomske jezgre. Što su elektroni bliže jezgri, to imaju manju energiju. Zato će elektroni prvo popuniti područja najmanje energije, a zatim ona područja s većom energijom, koja su udaljenija od jezgre atoma.

Ta područja različitih energija nazivamo **ljuskama** i ukupno ih u atomu može biti sedam. Ljuske, prema njihovom redoslijedu označavamo brojevima od 1 do 7 ili slovima K, L, M, N, O, P i Q (tablica 1-2). Atomi različitih elemenata imaju različit broj elektrona u pojedinim ljuskama. Redni broj ljuske općenito označavamo malim slovom n . Tako, primjerice $n = 3$ označava treću ili M ljusku.

Ukupan broj elektrona unutar jedne ljuske izračunava se pomoću formule $2n^2$. Zato u trećoj ili M ljusci može biti smješteno najviše $2 \cdot 3^2 = 18$ elektrona.

Međutim, i elektroni unutar pojedine ljuske se razlikuju po energiji. Zato unutar svake ljuske razlikujemo još i **podljuske** koje označavamo slovima s, p, d i f (tablica 1-2).

Prva ljuska (K) sadrži samo jednu podljusku (s), druga ljuska (L) sadrži dvije podljuske (s i p), treća ljuska (M) sadrži tri podljuske (s, p i d) i tako dalje. Podljuska s sadrži samo jednu orbitalu. **Orbitalu** možemo zamisliti kao prostor u kojem se mogu smjestiti elektroni.

Svaka orbitala može primiti dva elektrona različitog spina. Podljuska p sadrži tri orbitale i može primiti šest elektrona. Podljuska d sadrži pet orbitala i prima najviše deset elektrona. Podljuska f sadrži sedam orbitala i prima najviše četrnaest elektrona.

Tablica 1-2

Označavanje ljuskaka u atomu

Redni broj ljuske	Simbol ljuske	Simbol podljuske
$n = 1$	K	s
$n = 2$	L	s p
$n = 3$	M	s p d
$n = 4$	N	s p d f
$n = 5$	O	s p d f
$n = 6$	P	s p
$n = 7$	Q	sp

Vodikov atom je najmanji i najjednostavniji pa ćemo prvo na njegovom primjeru pokazati način označavanja ljudski, podljudski i orbitala.

Napomena



$1\ s^1$ - čitaj 'jedan es jedan'



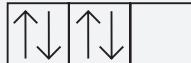
Slika 1-13

Skulptura koja predstavlja kruženje elektrona po ljudskama. Kuglica predstavlja elektron, a 'šiljci' ljudske.

Napomena



neispravno popunjavanje p podljudske



ispravno popunjavanje p podljudske



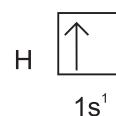
Friedrich Hund (1896. - 1997.), njemački fizičar

Slika 1-12

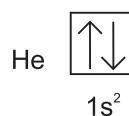
Podljudske

Elektronska konfiguracija je raspored popunjavanja elektrona po ljudskama.

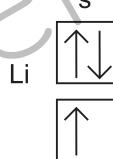
Elektronsku konfiguraciju možemo prikazati i pomoću dijagrama orbitala:



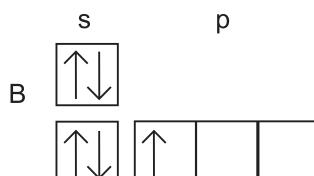
Sljedeći element u periodnom sustavu elemenata, helij, ima jedan elektron više od vodika – He $1s^2$, odnosno:



S obzirom da s podljudska može primiti samo dva elektrona, a prva ljudska sadrži samo jednu s podljudskom, sa atomom helija je popunjena prva ljudska. Sljedeći po redu, atom litija, ima dvije ljudske – u prvoj se ljudsci nalaze dva elektrona, a u drugoj jedan Li $1s^2 2s^1$, odnosno:

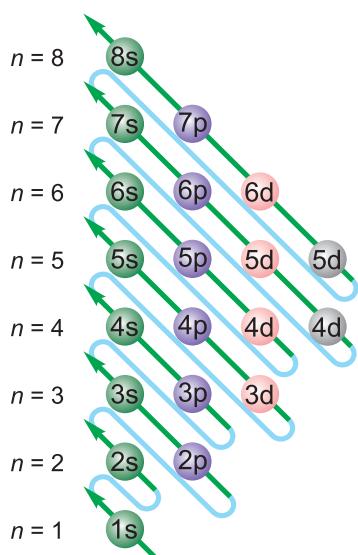


Kod atoma bora ($Z = 5$) počinje se popunjavati p podljudska B $1s^2 2s^2 2p^1$, odnosno:



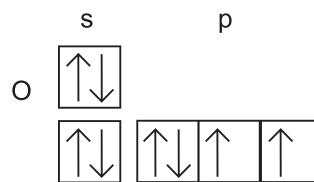
Kod elektrona koji se smještaju u p, d i f orbitale u obzir treba uzeti Hundovo pravilo:

Elektroni popunjavaju orbitale tako da bude maksimalan broj nesparenih elektrona.

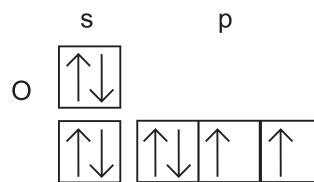


Slika 1-14

Shematski prikaz popunjavanja orbitala (pravilo dijagonala)

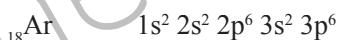


Demonstrirat ćeemo Hundovo pravilo na primjeru kisika ($Z = 8$) $O\ 1s^2\ 2s^2\ 2p^4$, odnosno:

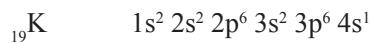


Četiri elektrona u $2p$ podljusci smještaju se na način da prvo popune sve orbitale sa po jednim elektronom, a zatim dolazi drugi elektron iz orbitale.

Sve do 18. elementa u periodnom sustavu elemenata pisanje elektronskih konfiguracija ide normalnim redoslijedom. Pogledajmo elektronsku konfiguraciju tog 18. elementa, argona:



Sljedeća je prazna d podljuska u trećoj, odnosno M ljusci. Za očekivati bi bilo da kod sljedećeg elementa u periodnom sustavu elemenata, odnosno kalija, nastavimo popunjavati baš tu podljusku. No, ispravno je, prije nego što se popune sve orbitale u $3d$ podljusci, popuniti $4s$ orbitale. U tome nam pomaže pravilo dijagonala (slika 1-14). Iz pravila dijagonala vidljiv je redoslijed popunjavanja orbitala. Pogledajmo sada elektronsku konfiguraciju atoma kalija:



Umjesto $3d^1$ pišemo $4s^1$. Tome u prilog ide i činjenica da su svojstva kalija slična svojstvima natrija, odnosno oba imaju po jedan elektron u zadnjoj ljusci, kao, uostalom, i svi elementi 1. skupine.

Nakon što je popunjena $4s$ orbitala, na red dolazi $3d$ orbitala. Napisat ćemo elektronsku konfiguraciju titana, koja je prikazana na slici 1-15:



1.5. Unificirana atomska jedinica mase

Kad pričamo o atomima i molekulama, nalazimo se u svijetu malih, nama skoro nepojmljivih veličina i masa. Dimenzije atoma su vrlo male (vidi poglavlje 1.2.), pa se dugo godina nisu mogle izravno mjeriti, niti se atomima mogla određivati masa. Iz tih je razloga 1971. godine uvedena standardna jedinica za određivanje relativne atomske i relativne molekulske mase. Ona se naziva **unificirana atomska jedinica mase** i označava se slovom u . Unificirana atomska jedinica mase iznosi $1/12$ mase ugljikova izotopa ${}^{12}\text{C}$:

$$u = \frac{1}{12} m_a({}^{12}\text{C})$$

$$u = 1.6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1.6605 \cdot 10^{-24} \text{ g.}$$

Napomena

Uz unificiranu atomsku jedinicu mase, u kemiji i fizici se koristi i mjerna jedinica dalton (Da), nazvana u čast u Johnu Daltonu.

Pomoću unificirane atomske jedinice mase definirane su relativna atomska i relativna molekulska masa.

Primjer 1

Izračunajte relativne molekulske mase molekula:

$$\text{a) kisika } M_r(O_2) = 2A_r(O) \\ = 2 \cdot 16 \\ = 32$$

$$\text{b) vode: } M_r(H_2O) = 2A_r(H) + A_r(O) \\ = 2 \cdot 1 + 16 \\ = 18$$

$$\text{c) modre galice: } M_r(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \\ = A_r(\text{Cu}) + A_r(\text{S}) + 4A_r(\text{O}) + 5M_r(\text{H}_2\text{O}) \\ = 63.55 + 32 + 4 \cdot 16 + 5 \cdot 18 \\ = 249.55$$

Relativna atomska masa A_r je broj koji kazuje koliko je puta masa nekog atoma veća od unificirane atomske jedinice mase:

$$A_r(x) = \frac{m_a(x)}{u},$$

gdje se x odnosi na atom.

Na sličan način definiramo i relativnu molekulsku masu M_r . **Relativna molekulska masa M_r** je broj koji kazuje koliko je puta masa neke molekule veća od unificirane atomske jedinice mase:

$$M_r(y) = \frac{m_f(y)}{u},$$

gdje se y odnosi na molekulu, a m_f je masa formulske jedinice.

No, relativnu molekulsku masu možemo izračunati i bez poznavanja mase molekule. Možemo je izračunati zbrajanjem pojedinih relativnih atomske masa svih atoma u molekuli.

Primjer 2

Izračunajte masu jednog atoma zlata, Au.

Rješenje:

Iz tablice periodnog sustava elemenata očitamo relativnu atomsku masu zlata: $A_r(\text{Au}) = 197$.

Iz izraza $A_r(x) = \frac{m_a(x)}{u}$ izračunamo masu atoma zlata:

$$M_a(\text{Au}) = A_r(\text{Au}) \cdot u = 197 \cdot 1.6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 3.27 \cdot 10^{-25} \text{ kg}.$$



Slika 1-16

Različite mase tvari koje sadrže količinu od 1 mol

$$1 \text{ mol tvari} = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ jedinici}$$

1.6. Množina tvari i molarna masa

Pomoću unificirane atomske jedinice mase dobili smo relativne atomske mase i na taj način izbjegli rad s jako malim vrijednostima kakve su stvarne mase atoma.

U realnim situacijama kemičari rade s uzorcima koji sadrže veliki broj jedinici, pa je zato bilo prikladno uvesti novu veličinu za **množinu (količinu) tvari, n**. U SI sustavu je mjerna jedinica za množinu tvari **mol**.

Mol je definiran kao ona množina (količina) tvari koja sadrži toliko jedinici (atoma, molekula ili drugih čestica) koliko ima atoma u 0.012 kg izotopa ugljika ^{12}C .

Broj atoma ugljika u 0.012 kg izotopa ugljika ^{12}C određen je eksperimentalno i taj se broj naziva **Avogadrovo broj**.

Jedan mol bilo koje tvari sadrži **$6.022 \cdot 10^{23}$ jedinici** (atoma, molekula).

Kao što jedan par uvijek sadrži dvije jedinice, tako i jedan mol uvijek sadrži $6.022 \cdot 10^{23}$ jedinici. Bitno je razlikovati da jedan mol tvari sadrži uvijek isti broj jedinici (Avogadrovo broj), što ne znači da ćemo odvagati istu masu tih tvari.

Masa jednog mola elementa je molarna masa tvari M . **Molarnu masu, M** , nekog elementa ili kemijskog spoja definiramo kao omjer mase i množine tvari:

$$M(x) = \frac{m(x)}{n(x)}.$$

Mjerna jedinica molarne mase je $\frac{\text{g}}{\text{mol}}$ ili gmol^{-1} .

Za određenu tvar molarna masa brojčano odgovara relativnoj atomskoj masi A_r i relativnoj molekulskoj masi M_p uz pripadajuću jedinicu gmol^{-1} .

$M(x) = A_r(x) \text{ gmol}^{-1}$ - za kemijski element.

$M(y) = M_r(y) \text{ gmol}^{-1}$ - za kemijski spoj i za kemijski element u molekulskom obliku.

Primjer 1

Izračunajte molarnu masu vode.

Rješenje:

$$M(\text{H}_2\text{O}) = M_r(\text{H}_2\text{O}) \text{ gmol}^{-1}$$

$$M_r(\text{H}_2\text{O}) = 2A_r(\text{H}) + A_r(\text{O}) = 2 \cdot 1 + 16 = 18$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ gmol}^{-1}$$

Iz rezultata možemo zaključiti da 18 g vode sadrži 1 mol tvari u kojem ima $6,022 \cdot 10^{23}$ molekula vode.

Primjer 2

Izračunajte množinu 16 g bezvodnog bakrovog (II) sulfata, CuSO_4 .

Rješenje:

$$m(\text{CuSO}_4) = 16 \text{ g}$$

$$n(\text{CuSO}_4) = ?$$

$$n(\text{CuSO}_4) = \frac{m(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4)}$$

$$n(\text{CuSO}_4) = \frac{16 \text{ g}}{159.55 \text{ gmol}^{-1}}$$

$$n(\text{CuSO}_4) = 0.1 \text{ mol.}$$

$$\begin{aligned} M(\text{CuSO}_4) &= M_r(\text{CuSO}_4) \text{ gmol}^{-1} = \\ &= A_r(\text{Cu}) + A_r(\text{S}) + 4A_r(\text{O}) = \\ &= 63.55 + 32 + 4 \cdot 16 = \\ &= 159.55 \text{ gmol}^{-1}. \end{aligned}$$

Primjer 3

Odredite brojnost jedinki u uzorku koji sadrži 2 mola NaCl .

Rješenje:

$$n(\text{NaCl}) = 2 \text{ mol}$$

$$N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$N = ?$$

$$N(\text{NaCl}) = n(\text{NaCl}) \cdot N_A$$

$$= 2 \text{ mol} \cdot 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$= 1.2 \cdot 10^{24}.$$

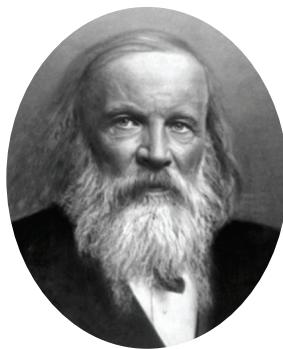
Dosad smo naučili da 1 mol bilo koje tvari sadrži točno $6.022 \cdot 10^{23}$ jedinki. Ako odvažemo masu neke tvari koja je jednakoj molarnoj masi, odvagali smo 1 mol, odnosno $6.022 \cdot 10^{23}$ jedinki. Možemo definirati bezdimenzionalnu veličinu brojnost ili broj jedinki (N):

Brojnost jedinki, N , jednaka je umnošku množine tvari i Avogadrove konstante (N_A ili L):

$$N = N_A \cdot n.$$

Avogadrovu konstantu definiramo kao Avogadrovo broj s mernom jedinicom (mol^{-1}):

$$N_A = 6.022 \cdot 10^{23} (\text{mol}^{-1}).$$

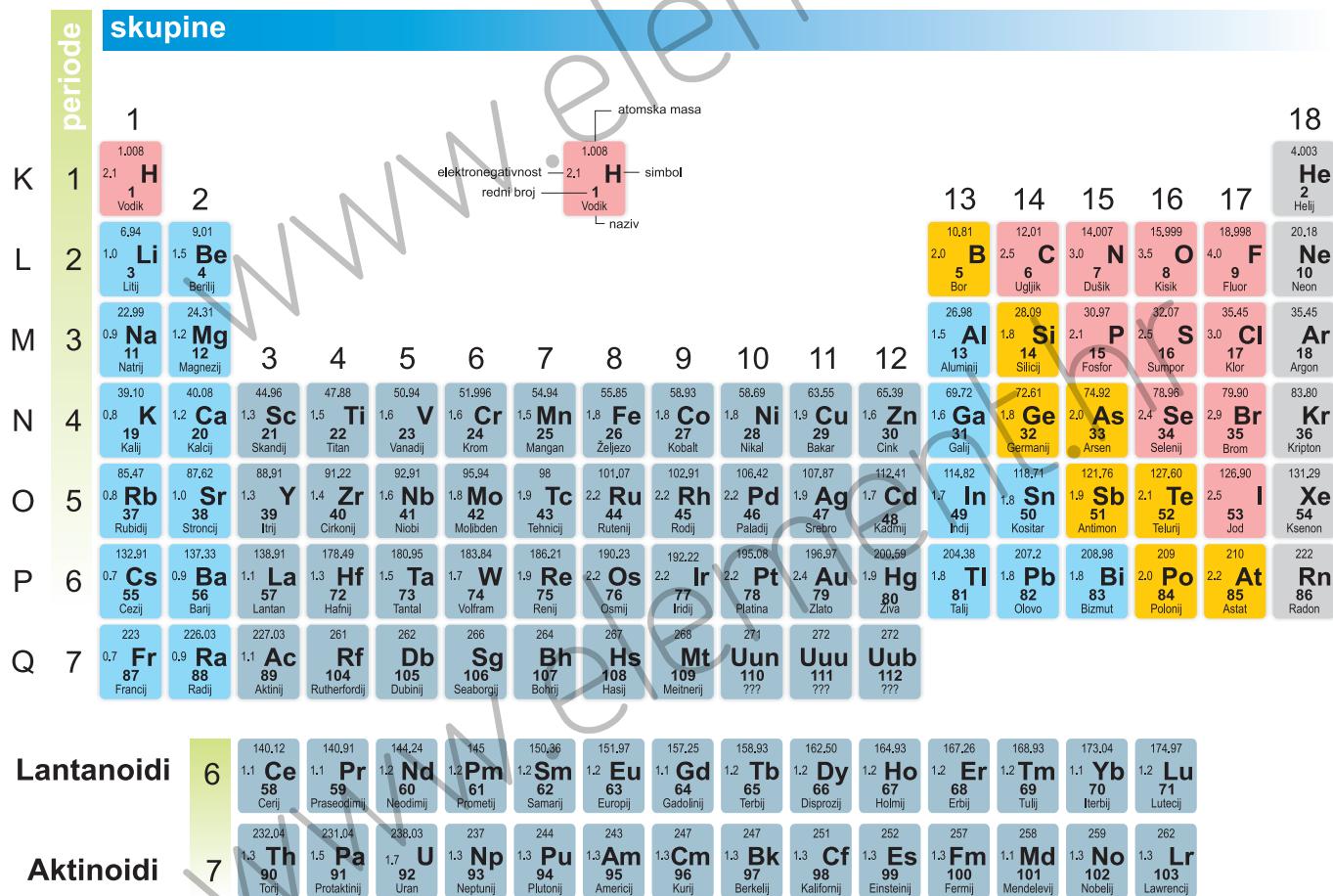


Dimitrij Ivanovič Mendeljejev (1834. - 1907.), ruski kemičar koji je osmislio prvi pravi periodni sustav elemenata, čija je konačna verzija tiskana 1871. Iako taj periodni sustav nije sadržavao sve kemijske elemente, ipak je predvidio svojstva onih elemenata koji su naknadno otkriveni.

1.7. Periodni sustav elemenata

Tijekom 18. stoljeća kemičari su otkrili više od polovice danas poznatih kemijskih elemenata. Tad se javila potreba za svrstavanjem elemenata u tablicu po određenoj zakonitosti. Najviše je uspjeha u tome imao Dimitrij Ivanovič Mendeljejev koji je tada poznate elemente poredao po rastućim atomskim masama, stavljajući elemente sličnih kemijskih svojstava jedne ispod drugih. Tako je dobio tablicu koja je sadržavala retke – **periode** i stupce – **skupine**. Tablica je objavljena 1869. godine i sadržavala je mnoga prazna mesta: za te, još neotkrivene elemente Mendeljejev je ispravno predvidio njihova svojstva.

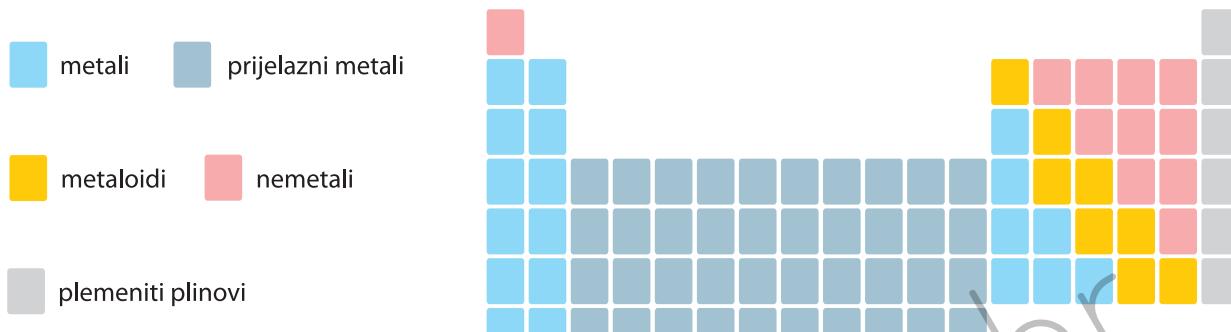
Moderni periodni sustav sastoji se od 18 skupina i 7 perioda, gdje su elementi poredani po rastućem atomskom broju, odnosno broju protona.



Slika 1-17

Periodni sustav elemenata

Osnovna podjela elemenata u periodnom sustavu temelji se na fizičkim i kemijskim svojstvima elemenata. Na lijevoj strani se nalaze metali, na desnoj nemetali, a između njih metaloidi, kao što je prikazano na slici 1-18. Svojstvo koje najbolje pokazuje razliku između metala i nemetala je dobra električna provodljivost metala.



Slika 1-18

Podjela periodnog sustava elemenata s obzirom na metale, prijelazne metale, metaloide, nemetale i plemenite plinove

Skupine u periodnom sustavu sadrže elemente sličnih kemijskih svojstava. Pojedine skupine imaju i posebne nazive:

Skupina	Naziv
1.	alkalijski metali
2.	zemnoalkalijski metali
13.	borova skupina
14.	ugljikova skupina
15.	dušikova skupina
16.	halkogeni elementi
17.	halogeni elementi
18.	plemeniti plinovi

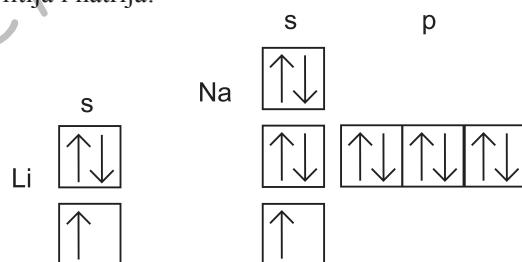
Elemente od 3. do 12. skupine nazivamo prijelaznim elementima.

Postavlja se pitanje zašto elementi unutar skupina imaju slična kemijska svojstva. Kako bismo saznali odgovor, moramo se prisjetiti elektronske konfiguracije litija i natrija:



Slika 1-19

Spomenik periodnom sustavu elemenata u čast Mendegejevu, ispred Sveučilišta u Bratislavi, Slovačka



Kao što vidimo, oba elementa imaju jednak broj elektrona u zadnjoj ljesuci. Isto ćemo dobiti ako promatramo bilo koje elemente unutar pojedine skupine. Sličnost svojstava elemenata unutar skupine proizlazi iz jednakih elektronskih konfiguracija zadnje ljeske.

Atomi svih elemenata u periodi imaju jednak broj ljesaka. Ujedno je broj periodi jednak broju ljeski (od 1 do 7 ili K, L, M, N, O, P i Q).

Svojstva elemenata unutar periodi mijenjaju se od metala do nemetala. Svaka perioda završava plemenitim plinom.



SAŽETAK

TVARI	Svi predmeti izgrađeni su od tvari.								
PODJELA TVARI	ČISTE TVARI <ul style="list-style-type: none"> • sastoje se od jedne vrste tvari • ne mogu se odijeliti • kemijski elementi ili kemijski spojevi (molekule ili ioni) 	SMJESE TVARI <ul style="list-style-type: none"> • sastoje se od najmanje dviju čistih tvari • mogu se odijeliti na čiste tvari • homogene smjese ili heterogene smjese 							
GRAĐA ATOMA	ATOMSKA JEZGRA <ul style="list-style-type: none"> - osnovne čestice: nukleoni <ul style="list-style-type: none"> protoni neutroni <pre> graph TD A[osnovne čestice: nukleoni] --- B[protoni] A --- C[neutroni] B --- D[p+] B --- E[n0] D --- F[električki pozitivno nabijeni] D --- G[naboj: +1] E --- H[neutralne čestice] E --- I[bez naboja] </pre>	ELEKTRONSKI OMOTAČ <ul style="list-style-type: none"> - elektroni <ul style="list-style-type: none"> e^- električki negativno nabijeni naboj: -1 							
A Z X	Z – atomski (protonski broj elementa) A – maseni (nukleonski) broj elementa $Z = N(p^+) = N(e^-)$ $A = N(p^+) + N(n^0)$								
IZOTOPI ELEMENTA	atomi koji imaju jednak atomski broj (isti broj protona) i različit maseni broj (broj neutrona).								
ELEKTRONSKI OMOTAČ ELEKTRONA	<ul style="list-style-type: none"> • vjerojatnost nalaženja elektrona u području jezgre • ljsuske: K, L, M, N, O, P, Q • podljsuske: s, p, d, f • orbitale: <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td></td> <td>prazna</td> </tr> <tr> <td></td> <td>polupopunjena</td> </tr> <tr> <td></td> <td>popunjena</td> </tr> </table>				prazna		polupopunjena		popunjena
	prazna								
	polupopunjena								
	popunjena								



SAŽETAK

IZRAŽAVANJE MASE ATOMA	m_a – masa atoma
	u – unificirana atomska jedinica mase: $u = \frac{1}{12} m_a(^{12}\text{C}) = 1.6605 \cdot 10^{-24} \text{ g}$
A _r – relativna atomska masa → M _r – relativna molekulska masa	
	\downarrow
	$A_r(x) = \frac{m_a(x)}{u}$
	\downarrow
	$M_r(y) = \frac{m_a(y)}{u}$
MNOŽINA TVARI n	MOL – množina tvari koja sadrži toliko jedinki koliko ima atoma u 0.012 kg izotopa ugljika ^{12}C • u 1 mol tvari → $6.022 \cdot 10^{23}$ JEDINKI → AVOGADROV BROJ
MOLARNA MASA M	relativna atomska i molekulska masa s pripadajućom mjernom jedinicom gmol^{-1} . $M = A_r(x) \text{ (gmol}^{-1}\text{)}$ $M = M_r(y) \text{ (gmol}^{-1}\text{)}$
BROJNOST N	računamo preko Avogadrove konstante N_A : $\left. \begin{array}{l} N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ (mol}^{-1}\text{)} \\ N = N_A \cdot n \end{array} \right\} n = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$
PERIODNI SUSTAV ELEMENATA	<p>PERIODE</p> <ul style="list-style-type: none"> • 7 perioda • elementi iste periode imaju isti broj ljesaka • raste broj valentnih elektrona • opadaju metalna, a rastu nemetalna svojstva <p>SKUPINE</p> <ul style="list-style-type: none"> • 18 skupina • broj valentnih elektrona je jednak unutar iste skupine • slična kemijska svojstva

Pitanja i zadaci za ponavljanje

1. Navedite nekoliko homogenih smjesa i nekoliko heterogenih smjesa.
2. Koje podatke o nekom atomu možemo saznati iz:
 - a) atomskog broja
 - b) nukleonskog broja.
 Pojasnite na primjeru.
3. Po čemu se razlikuju izotopi vodika ${}_1^1\text{H}$ i ${}_1^2\text{H}$?
4. Odredite broj pojedinih elementarnih čestica u atomu ${}_{15}^{15}\text{X}$. O kojem se atomu radi?
(Rješenje: $N(\text{p}^+) = 7, N(\text{e}^-) = 7, N(\text{n}^0) = 8$; dušik)
5. Izračunajte masu jedne molekule vode.
(Rješenje: $2.99 \cdot 10^{-23}$ g)
6. Sljedeće tvrdnje odnose se na periodni sustav elemenata. Zaokružite i obrazložite one koje su netočne.
 - a) Atomi u periodnom sustavu elemenata poredani su po rastućem atomskom broju.
 - b) Unutar iste periode atomi imaju slična svojstva.
 - c) S lijeve strane periodnog sustava elemenata su smješteni nemetali.
 - d) Broj periode odgovara broju ljudske.
 - e) Masu atoma čitamo izravno iz periodnog sustava elemenata.
7. Zašto izotopi nekog kemijskog elementa imaju ista kemijska, a različita fizikalna svojstva?
8. Napišite elektronske konfiguracije za elemente:
 - a) fosfor
 - b) željezo.
 (Rješenje: ${}_{15}^1\text{P}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3; {}_{26}^1\text{Fe}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$)
9. Koliko ima atoma u 2 mola neke tvari?
(Rješenje: $1.2 \cdot 10^{24}$ atoma)
10. Izaberite koji će od navedenih elemenata imati slična kemijska svojstva: Na, K, Ca, Au, Li, Fe. Obrazložite odgovor.