

# 1

## Osnove kemije i fizike

- 10 Tvar, masa i sila
- 10 Rad i energija
- 11 Atomi i elementarne čestice
- 13 Elektricitet
- 14 Kemijске veze
- 17 Mol i koncentracija
- 17 Difuzija
- 19 Kemijске reakcije
- 21 Voda
- 25 Kiseline, lužine i pH skala
- 26 Organska kemija
- 28 Organske molekule u tijelu
- 40 ATP i energetski metabolizam stanice

Živi organizmi sadrže velik broj kemijskih spojeva. Mnogi od njih su male, jednostavne molekule, na primjer dominantna tvar u svim živim organizmima – voda. Druge molekule u tijelu su velike i složene i mogu zajedno tvoriti još složenije strukture. Neprekidan dotok energije je neophodan za održavanje ovakve dobro organizirane složenosti. Osim toga, organizmi rastu i razmnožavaju se, što također zahtijeva energiju.

Najjednostavnija živa stanica je složenija od bilo kojeg neživog sustava u prirodi. Međutim, sve reakcije u živim organizmima odvijaju se prema istim fizikalnim i kemijskim zakonitostima kakve vladaju i u neživom dijelu prirode. Prema tome, nužno je raspolagati osnovnim znanjima iz kemije i fizike da bi se moglo razumjeti kako organizam funkcioniра. Ovo poglavlje daje kratki pregled najbitnijih osnova kemije i fizike.

Tvar ima masu i zauzima prostor

Sila je sposobnost promjene oblika ili brzine tijela

Sile se pojavljuju u parovima akcija-reakcija

Sile su ili kontaktne ili nekontaktne

Rad je sila pomnožena udaljenošću

Snaga je rad u jedinici vremena

Energija je sposobnost obavljanja rada

Energija je ili kinetička ili potencijalna

Atomi i molekule su u termalnom gibanju

Toplina je unutarnja kinetička energija tijela

Potencijalna energija uvijek predstavlja razliku

## Tvar, masa i sila

**Tvar** je sve što ima *masu* i zauzima prostor. Mjerna jedinica za masu je kilogram (kg). Većina tvari u prirodi su *kemijski spojevi*, koji se mogu razložiti na jednostavnije tvari. Najjednostavniji proizvodi koji mogu nastati kemijskom razgradnjom kemijskih spojeva su *atomi*. Atomi s istim brojem protona predstavljaju *element*. Zemlja sadrži 92 prirodna elementa.

Sila je sposobnost mijenjanja oblika nekom tijelu, ili promjene brzine nekog tijela, to jest, sposobnost ubrzavanja (akceleracije) neke mase. Tijelo se ubrzava razmjerno ukupnoj sili koja na njega djeluje i obrnuto razmjerno svojoj masi:

$$\text{Sila} = \text{masa} \times \text{ubrzanje}$$

Ako se tijelu smanjuje brzina, ubrzanje je negativno (deceleracija). Mjerna jedinica za silu je njutn (newton, znak N). 1 N je sila koja masi od 1 kg daje ubrzanje od  $1 \text{ m/s}^2$ . Sila ima iznos i smjer, što znači da je vektorska veličina.

Sile koje djeluju na tijela su uvijek izazvane drugim tijelima, a dva tijela u međudjelovanju djeluju jednakom silom jedno na drugo. Te sile imaju suprotan smjer – predstavljaju parove akcija-reakcija.

Sile se dijele na kontaktne i nekontaktne. Kontaktne se ostvaruju kada dva tijela dodu u izravni dodir. Nekontaktne djeluju na daljinu, čak i kroz vakuum svemira, a uključuju gravitacijsku, električnu i magnetsku силу.

## Rad i energija

Kada sila ubrza masu na nekoj udaljenosti, izvršen je rad. Rad se definira kao sila (mjerenja u njutnima) pomnožena udaljenošću (mjerenju u metrima) i prema tome je jedinica za rad njutnmetar (Nm), koji se naziva i džul (joule, znak J). Snaga je obavljeni rad u jedinici vremena. Jedinica za snagu je prema tome J/s, koja se češće naziva vat (watt, znak W).

Energija nekog tijela definira se kao sposobnost izvođenja rada pa je prema tome jedinica za energiju ista kao i za rad (J). Ranije je energiju bilo uobičajeno izražavati u kalorijama (cal), s time da je  $1 \text{ J} = 0,230 \text{ cal}$ , a 1

cal predstavlja količinu energije potrebnu da se temperatura 1 g vode povisi za  $1^\circ\text{C}$ .

Dva su najvažnija oblika energije:

- kinetička energija
- potencijalna energija

Svako tijelo u pokretu posjeduje *kinetičku energiju*. Uzmimo za primjer čekić kojim se zabija čavao. Kinetička energija omogućava čekiću da izvrši rad na čavlu, koji se udaren čekićem može zabijati u komad drveta.

Atomi i molekule koji čine tvar su u neprestanom gibanju. To gibanje je slučajno i neorganizirano te raste s porastom temperature. Unutarnja kinetička energija tijela naziva se toplina, a kretanje pojedinih čestica *termalno gibanje*. Kada se tijelo zagrije, atomi i molekule se gibaju brže. Time se povećava unutarnja kinetička energija, odnosno toplinska energija tijela.

*Potencijalna energija* je energija koju tijelo posjeduje zbog svojeg položaja. Potencijalna energija se uvijek izražava kao razlika u energiji koju tijelo ima u dva različita položaja. Na primjer, kada se sila koristi za podizanje posude s poda na policu, time posuda dobiva potencijalnu energiju zbog svojeg položaja u odnosu na pod. Ako posuda padne s police, gravitacijska sila pretvara potencijalnu energiju u kinetičku. Kada posuda padne na pod, kinetička energija joj omogućava da izvrši rad potreban da se razbije.

Mnogi su oblici potencijalne (uskladištene) energije. Kemijska energija je potencijalna energija zbog relativnog položaja atoma koji su međusobno vezani. Energija u hranjivim tvarima je potencijalna energija tog tipa (str. 40).



1. Definirajte tvar, masu, element i kemijski spoj.
2. Kakav je odnos između sile, mase i ubrzanja?
3. Definirajte rad, energiju i snagu.
4. Koja su dva glavna oblika energije?
5. Navedite primjere za svaki od dva glavna tipa energije.

Električna energija je potencijalna energija zbog razdvajanja suprotnih električnih naboja. Prema tome, energija se oslobođa kada se spoje suprotni električni naboji (str. 13).

## Izmjene energije

Područje fizike koje se bavi izmjenom i pretvorbom energije naziva se termodinamika. Energiju je prikladno razmatrati unutar definiranog sustava koji može biti ili otvoren ili zatvoren. Svi svjet izvan sustava koji promatrajmo nazivamo okolinom. Otvoreni sustav može izmjenjivati energiju s okolinom, dok zatvoreni ne može. Međutim, energija se može izmjenjivati *unutar* zatvorenog sustava. Sustavi mogu biti različitih veličina, ovisno o uvjetima koji se proučavaju. Tijelo životinje je primjer otvorenog sustava koji izmjenjuje energiju s okolinom. Još jedan primjer je planet Zemlja, koji prima energiju iz okoline, u konkretnom slučaju od Sunca i energiju prenosi okolini (svemiru) u obliku elektromagnetskog zračenja (svjetlost i toplinsko zračenje). *Svemir* je najveći zamislivi zatvoren sustav. Budući da svemir nema vanjsku okolinu, sve moguće izmjene energije moraju se odvijati unutar tog sustava. Prvi zakon termodinamike govori da je ukupna energija zatvorenog sustava stalna. To znači da energija ne može biti niti stvorena niti uništena. Energija se samo može premještati s jednog mesta na drugo, ili pretvarati iz jednog oblika u drugi.

U zelenih biljaka, primjerice, svjetlosna energija (oblik kinetičke energije) pretvara se u kemijsku energiju (potencijalna energija) koja je pohranjena u organskim spojevima. Kemijska energija koju primamo putem hrane može se prenijeti na nove molekule u tijelu. Kemijska energija se također može pretvoriti u druge oblike energije. Na primjer, u mišićima se kemijska energija pretvara u kinetičku kada se obavlja rad. Kako smo već naglasili, ukupna energija prije i nakon raznih prijenosa energije uvijek ostaje ista. Barem jedan dio energije kod prijenosa ili pretvorbe postaje toplinska energija. Kada se čavao udara čekićem, sva se kinetička energija čekića na kraju pretvara u toplinsku energiju. Veliki čavao koji se zabija u komad tvrdog drveta toliko se ugrije da ga se bez boli ne može dotaknuti.

Razni oblici energije nisu jednak prikladni za obavljanje rada. Toplinska se energija može iskoristiti za rad samo kada se prenosi s jednog mesta na drugo, za što je neophodna razlika u temperaturi. U sustavima koji održavaju stalnu temperaturu, kao što je tijelo životinje, toplinska energija se ne može koristiti za obavljanje rada. Najveći mogući dio energije koji se u idealnim uvjetima može iskoristiti za obavljanje rada je *slobodna energija*. Drugi zakon termodinamike govori da sve pretvorbe energije u zatvorenom sustavu dovode do smanjenja slobodne energije. To u praksi znači da će sve više ukupne energije postojati kao toplinska energija i da će se temperaturne razlike unutar zatvorenog sustava s vremenom izjednačiti.

Količina slobodne energije u organizmu se može održavati stalnom ili čak povećavati bez obzira na stalne pretvorbe. Međutim, time se ne krši drugi zakon termodinamike. Organizam je, kao što je već rečeno, otvoren sustav koji komunicira s okolinom. Svako povećanje slobodne energije u organizmu uvijek se odvija uz odgovarajuće smanjenje slobodne energije u okolini.

Količina energije u zatvorenom sustavu je stalna

Dio slobodne energije uvijek se gubi u pretvorbama



6. Definirajte otvorene i zatvorene energetske sustave.
7. Kako glasi prvi zakon termodinamike?
8. Kako glasi drugi zakon termodinamike?
9. Navedite primjere pretvorbe energije u stanici.

## Atomi i elementarne čestice

Atomi se sastoje od različitih elementarnih čestica, od kojih su najbitnije (Slika 1.1):

- protoni, koji nose pozitivni električni naboј
- neutroni, koji nemaju električni naboј
- elektroni, koji nose negativni električni naboј

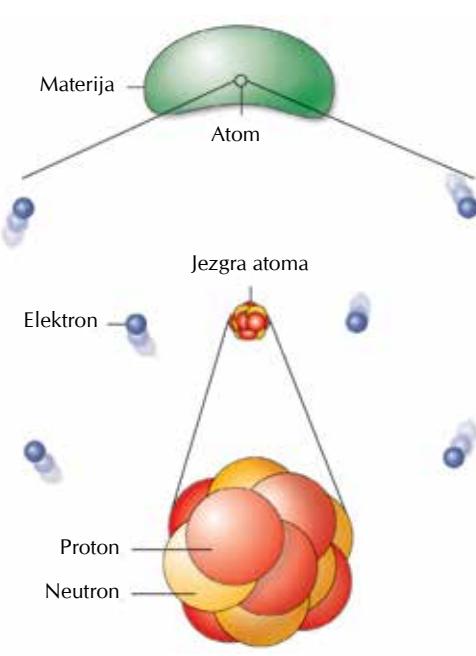
Atomi se sastoje od protona, neutrona i elektrona

Protoni i elektroni nose suprotne električne naboje jednakog iznosa

Suprotni električni naboji elektrona i protona su jednakog iznosa, koji se naziva *ele-*

**Slika 1.1** Najvažnije elementarne čestice u sastavu atoma.

Elektroni nose negativni električni naboј, protoni pozitivni, dok neutroni nemaju naboјa. Elektroni se gibaju oko jezgre atoma, koja sadrži ostale elementarne čestice.



Suprotni električni naboјi se privlače

Isti električni naboјi se odbijaju

Atomi s jednakim brojem protona čine kemijski element

**Slika 1.2** Električne sile među česticama s električnim naboјem. Suprotni naboјi se privlače, dok se isti naboјi odbijaju.



mentarni naboј. Protoni i neutroni se nalaze u jezgri, dok se elektroni gibaju velikom brzinom u ograničenom prostoru oko jezgre. Čestice suprotnog električnog naboјa se međusobno privlače, dok se čestice s istovrsnim naboјem odbijaju (Slika 1.2). Privlačna sila između negativno nabijenog elektrona i pozitivno nabijenog protona sprečava elektrone da pobegnu iz atoma.

Masa protona je gotovo identična s masom neutrona, a veća je od mase elektrona otprilike 2 000 puta. Prema tome, gotovo sva masa atoma je koncentrirana u jezgri, a masa elektrona se najčešće zanemaruje kod računanja mase atoma. Budući da je masa protona i neutrona također vrlo mala, samo  $1,7 \times 10^{-27}$  kg, nije ju praktično izražavati u kilogramima kada uspoređujemo mase atoma i molekula. Iz tog razloga je uvedena mjerna jedinica pod nazivom *atomska jedinica mase*, također zvana *dalton*. Masa od 1 daltona približno je jednaka masi jednog protona, odnosno neutrona. Ukupan broj protona i neutrona u jezgri atoma nazivamo *maseni broj*.

## Elementi i izotopi

U kemijskim reakcijama između atoma sudjeluju samo njihovi elektroni (str. 14). U neutralnom atomu broj protona jednak je broju elektrona. Prema tome, atomi s jednakim

**Tablica 1.1** Elementi od kojih su izgrađeni živi organizmi

Element	Simbol	Atomski broj	Postotak u masi tijela*
<b>Makroelementi</b>			
Kisik	O	8	65,0
Ugljik	C	6	18,5
Vodik	H	1	9,5
Dušik	N	7	3,3
<b>Minerali</b>			
Kalcij	Ca	20	1,5
Fosfor	P	15	1,0
Kalij	K	19	0,4
Sumpor	S	16	0,3
Natrij	Na	11	0,2
Klor	Cl	17	0,2
Magnezij	Mg	12	0,1
<b>Elementi u tragovima</b>			
Željezo	Fe	26	<0,01
Jod	I	53	
Bakar	Cu	29	
Cink	Zn	30	
Mangan	Mn	25	
Kobalt	Co	27	
Krom	Cr	24	
Selen	Se	34	
Molibden	Mo	42	
Fluor	F	9	
Kositar	Sn	50	
Silicij	Si	14	
Vanadij	V	23	

\*Svaki element u tragovima sudjeluje u ukupnoj tjelesnoj masi s manje od 0,01%

brojem protona imaju ista kemijska svojstva pa se smatraju istim kemijskim elementom.

Na Zemlji u prirodi nalazimo 92 kemijska elementa, za koje postoji međunarodno prihvaćeni simboli. Od njih, 25 se smatra neophodnima za život. Četiri elementa – kisik, ugljik, vodik i dušik – čine više od 96% mase tijela (Tablica 1.1). Mnogi metali su također neophodni za život. Na primjer, u

kralježnjaka je željezo neophodno za sposobnost krvi da prenosi kisik (str. 314). Elementi neophodni za život koji čine manje od 0,01% ukupne mase tijela nazivaju se *elementi u tragovima*.

Većina elemenata postoji u više varijanti s obzirom na broj neutrona u jezgri, koji se može mijenjati bez promjene u broju elektrona i bez posljedične promjene kemijskih svojstava. Prema tome, element se može sastojati od jezgara istog elementa različite mase, koje nazivamo izotopi elementa. Kada se označavaju broj protona u atomu i atomska masa, pišu se s lijeve strane simbola elementa. Brojevi se tada pišu jedan iznad drugoga, s time da je atomska masa gore. Broj protona se obično izostavlja budući da je jednak za sve izotope istog elementa. Atomski broj elementa jednak je broju protona.

Većina elemenata se u prirodi pojavljuje kao mješavina dva ili više izotopa. Na primjer, element ugljik je mješavina izotopa  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  i  $^{14}\text{C}$ , koji se uobičajeno pišu  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  i  $^{14}\text{C}$ . Atomska masa elementa obično se izražava kao srednja atomska masa, određena na temelju relativne zastupljenosti različitih izotopa u prirodi. Mnogi elementi sastoje se od stabilnih izotopa i od izotopa koji se spontano raspadaju uz emisiju radioaktivnog zračenja. Radioaktivni izotopi mogu se naći u prirodi ili se mogu dobiti nuklearnim reakcijama.

## Elektronska konfiguracija atoma

Elektroni se gibaju oko jezgre atoma, no to gibanje se ne odvija po jasno definiranim, predvidivim putanjama. Međutim, moguće je predvidjeti trodimenzionalni prostor oko jezgre u kojem se elektroni najvjerojatnije nalaze (elektronski oblak). Dok je većina mase atoma sadržana u jezgri, volumen atoma je određen prostorom koji zauzimaju elektroni. Promjer tog prostora je oko 100 000 puta veći od promjera jezgre. Prema tome, atom se pretežno sastoji od "praznog prostora".

Zbog privlačnih sila između suprotnih naboja elektrona i protona, elektroni u atomu imaju potencijalnu energiju. Potencijalna energija elektrona povećava se s povećanjem udaljenosti od jezgre. Elektroni u atomu zauzimaju različite energetske nivoje, ovisno o njihovoj udaljenosti od jezgre. Energetski

nivo elektrona se povećava u diskretnim koracima kako se povećava udaljenost od jezgre, a ti energetski nivoi se uobičajeno nazivaju *elektronske ljeske*. Elektronska ljeska najbliža jezgri ne može sadržavati više od dva elektrona, dok u ostalim ljkusama može biti određeni veći broj elektrona. Elementi s osam elektrona u vanjskoj ljesci su osobito stabilni te se nazivaju plemeniti plinovi. Plemeniti plinovi ne ulaze u kemijske reakcije s ostatim tvarima. Helij, koji sadrži dva elektrona u svojoj jedinoj elektronskoj ljesci, također je plemeniti plin.

Izotopi elementa imaju jezgre s različitim brojem neutrona

Volumen atoma određen je prostorom koji zauzimaju elektroni

Potencijalna energija elektrona raste s porastom udaljenosti od jezgre



10. Nabrojite osnovne elementarne čestice koje grade atome.
11. Koliku masu predstavlja jedan dalton?
12. Definirajte izotop.
13. Što je elektronska ljeska?
14. Koliko elektrona sadrži vanjska ljeska plemenitih plinova?

## Elektricitet

Privlačna sila između suprotnih naboja raste s povećanjem iznosa naboja i sa smanjenjem udaljenosti između naboja. Razdvajanje suprotnih električnih naboja znači da mora biti izvršen rad, za što je potrebna energija. Shodno tome, energija se oslobođa kada se razdvojeni suprotni električni nabori ponovo spoje. Dakle, razdvojeni električni nabori imaju određeni potencijal za obavljanje rada, a napon odražava *potencijalnu energiju* tih nabora. Jedinica mjere za napon je volt (V). Napon se uvijek mjeri između dvije točke, pa prema tome predstavlja razliku. Za dani napon između dvije točke, jakost električnog polja se povećava sa smanjenjem udaljenosti između točaka. Jakost električnog polja izražava se u V/m.

Kretanje električnog nabora u električnom polju naziva se *električna struja*. Mjerna jedinica za struju (nabor u jedinici vremena) je amper (A). Kretanju nabora suprotstavlja se

Napon odražava potencijalnu energiju razdvojenih suprotnih nabora

Električna struja je kretanje nabora u električnom polju

Električni otpor je trenje između naboja koji se giba i materijala koji ga provodi

Električno polje odražava električnu silu koja djeluje na nabijene čestice

Jake kemijske veze obično rezultiraju s 8 elektrona u vanjskoj elektronskoj ljusci

Elektroni se kod kovalentne veze dijele između dva atoma

Molekule se sastoje od atoma povezanih kovalentnim vezama

Atomi dijele jedan elektronski par u jednostrukoj vezi

U dvostrukoj vezi atomi dijele dva elektronska para

trenje između naboja i tvari kroz koju se naboј kreće. To trenje se izražava kao električni otpor. Mjerna jedinica za otpor je ohm ( $\Omega$ ). Odnos između električne struje (I), napona (U) i otpora (R) sadržan je u Ohmovu zakonu:

$$I = \frac{U}{R}$$

Iz toga vidimo da što je veći otpor, to je manja struja uz jednak napon. Vodiči električne struje, kao što su metali, imaju malen otpor, dok izolatori, kao što je porculan, guma ili plastika, imaju osobito velik otpor.

Mjerna jedinica za naboј je kulon (C), a napon (V) je, kako je već rečeno, odraz energije po jedinici naboja:  $V = J / C = N \text{ m} / C$ . Prema tome, jakost električnog polja ( $V/m$ ) možemo izraziti i kao  $N/C$ , iz čega se vidi električna sila koja djeluje na naboј u električnom polju. Kada razmatramo kako električna sila uvjetuje gibanje nabijenih molekula, kao na primjer pri elektroforezi, ili im mijenja oblik, kao kod ionskih kanala nadziranih naponom kakve nalazimo u staničnoj membrani (str. 77), najvažniji električni pokazatelj je jakost električnog polja.



15. Definirajte napon, električnu struju i električni otpor.
16. U kojem su odnosu napon, električna struja i električni otpor (Ohmov zakon)?
17. Definirajte električno polje.
18. Objasnite zašto jakost električnog polja odražava električnu силу koja djeluje na naboјe u električnom polju.

atoma. Jake kemijske veze stvaraju se kada se elektroni, ili razmjenjuju, ili dijele između atoma. Do toga najčešće dolazi na način da vanjske ljuske na kraju sadrže po 8 elektrona. Najvažnija iznimka od tog pravila je vodikov atom, koji ne može imati više od dva elektrona u svojoj jedinoj elektronskoj ljusci.

## Kovalentna veza

Kod kovalentne veze, elektroni u vanjskoj ljusci *podijeljeni* su između dva atoma. Na primjer, ako se dva atoma vodika dovoljno međusobno približe, svaki od ta dva atoma dobije dva elektrona u svojoj jedinoj elektronskoj ljusci tako da ta dva elektrona dijele. To je stabilnije stanje u odnosu na dva slobodna atoma. Podijeljeni elektroni koji sudjeluju u stvaranju kovalentne veze nazivaju se *vezni elektroni*.

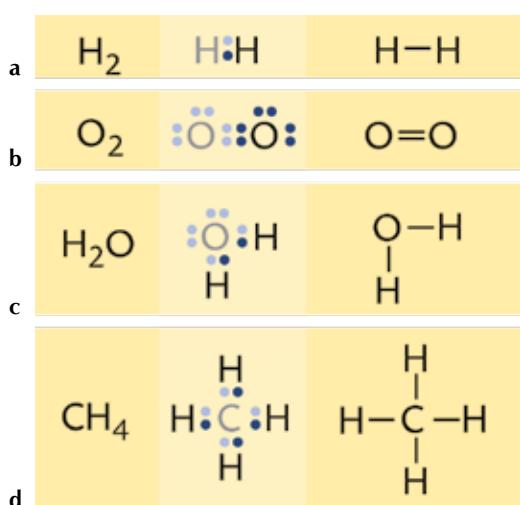
Atomi povezani kovalentnim vezama tvore *molekule*. Plinoviti vodik sadrži molekule koje se sastoje od dva atoma vodika, pa je njegova molekulska formula  $H_2$ . Elektronska konfiguracija molekule se može prikazati modelom u kojem su elektroni vanjske atome označeni točkama (Slika 1.3). Međutim, jednostavnije je opisati veze među atomima u molekuli *struktturnom formulom*, kod koje je podijeljeni elektronski par prikazan crtom. Struktorna formula molekule vodika je H-H. U ovom slučaju, kada atomi dijele samo jedan elektronski par, govorimo o *jednostrukoj vezi*.

Atom kisika sadrži šest elektrona u vanjskoj ljusci, pa mu nedostaju dva elektrona kako bi postigao stabilnu konfiguraciju s osam elektrona u toj ljusci. Prema tome, atomi u molekuli kisika su u stabilnijem stanju nego kada su slobodni. Struktorna formula molekule kisika je O=O, pri čemu dvostruka linija označava da atomi u molekuli dijele dva elektronska para. Ovaj tip kovalentne veze nazivamo *dvostrukom vezom*.

Kisik i vodik mogu međusobno reagirati tvoreći vodu. U molekuli vode ( $H_2O$ ), jedan atom kisika dijeli po jedan elektronski par sa svakim od dva atoma vodika. Time sva tri atoma postižu najstabilniju elektronsku konfiguraciju, odnosno vanjsku ljusku s osam elektrona kod kisika, odnosno po dva elektrona kod vodikovih atoma. Molekule sastavljene od više od dva atoma često imaju nelinearnu

## Kemijske veze

Prijavačne sile između elektrona i jezgre djeluju najslabije na elektrone koji se nalaze najdalje od jezgre, odnosno na elektrone vanjske elektronske ljuske. Drugi atomi najlakše utječu na kretanje upravo tih elektrona. Posljedica toga je da elektroni vanjske ljuske u najvećoj mjeri određuju kemijska svojstva



**Slika 1.3** Primjeri jednostavnih molekula. **a** Molekula vodika sastoji se od dva atoma vodika. **b** Molekula kisika sastoji se od dva atoma kisika. **c** Molekula vode sastoji se od dva atoma vodika i jednog atoma kisika. **d** Molekula metana sastoji se od jednog ugljikova i četiri vodikova atoma. Molekulske formule (s lijeve strane) prikazuju brojčane odnose atoma u molekulama. Model u kojem su elektroni prikazani točkama (u sredini) prikazuje kako su elektroni vanjske ljske podijeljeni između atoma. Kod strukturalnih formula (s desne strane), svaka crta predstavlja elektronski par podijeljen između dva atoma.

hovo nastajanje i razgradnju naziva se organska kemija (str. 27).

### Nepolarne i polarne kovalentne veze

Atom uvijek privlači elektrone drugih atoma s kojima ostvaruje kemijsku vezu. To svojstvo se naziva *elektronegativnost*. Ako dva atoma povezana kovalentnom vezom imaju jednaku elektronegativnost, par zajedničkih elektrona je jednoliko podijeljen između atoma. Takva veza se naziva *nepolarna kovalentna veza*. Veze između atoma istog elementa su uvijek nepolarne, kao na primjer u molekulama vodika ili molekulama kisika. Ugljik i vodik imaju približno jednaku elektronegativnost. Veze između ovih atoma, kao na primjer u molekulama metana ( $\text{CH}_4$ ), također su nepolarne.

Suprotno tome, kod kovalentne veze između atoma različite elektronegativnosti naboј je nejednakoraspodijeljen. Takve veze nazivamo *polarnim kovalentnim vezama*. Na primjer, atom kisika ima veću elektronegativnost od atoma vodika, tako da u molekulama vode elektroni koji tvore kovalentnu vezu prođu nešto više vremena krećući se oko atoma kisika nego oko atoma vodika. Time atom kisika dobiva mali višak negativnog naboјa, dok atomi vodika ostaju s odgovarajućim manjkom (Slika 1.4).

Atomi ugljika imaju osobito izraženu sposobnost stvaranja kovalentnih veza

Veze među atomima slične elektronegativnosti su nepolarne

Veze između atoma različite elektronegativnosti su polarne

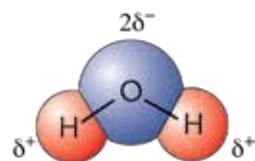
strukturu. Na primjer, kod molekule vode dvije jednostrukе veze zatvaraju kut od oko 105 stupnjeva (Slika 1.4).

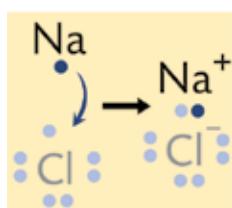
Atom ugljika ima četiri elektrona u vanjskoj ljsuci. Zbog toga atom ugljika postiže stabilnu elektronsku konfiguraciju s osam elektrona u vanjskoj ljsuci dijeljenjem četiri para elektrona s drugim atomima. Na primjer, kod plina metana ( $\text{CH}_4$ ) ugljikov atom tvori četiri jednostrukе kovalentne veze s četiri atoma vodika (Slika 1.3d). Prostorni raspored vodikovih atoma odgovara vrhovima jednakostranične piramide kojoj je atom ugljika u centru. Ugljik je važan gradivni element velikih, složenih molekula koje nalazimo u živim organizmima. Sposobnost atoma ugljika da stvara kovalentne veze s drugim atomima, uključujući druge atome ugljika, omogućava stvaranje velikih molekula. Grana kemije koja proučava svojstva takvih molekula, nji-



19. Kako se stvaraju kemijske veze?
20. Što je kovalentna veza?
21. Koja je razlika između jednostrukе i dvostrukе kovalentne veze?

**Slika 1.4** Polarne kovalentne veze u molekuli vode. Elektroni nisu jednoliko razdijeljeni između atoma kisika i vodika. Atom kisika jače privlači elektrone, čime dobiva slabi negativni naboј ( $2\delta^-$ ), dok atomu vodika ostaje slabi pozitivni naboј ( $\delta^+$ ). Kut između kovalentnih veza u molekuli vode je oko 105 stupnjeva.





**Slika 1.5** Ionska veza između natrija i klorova atomova. Dolazi do potpunog prijenosa elektrona između atoma tih elemenata. Atom natrija predaje jedan elektron, čime dobiva pozitivan naboј iznosa jednog elementarnog naboјa. Atom klorova prima jedan elektron i poprima negativan naboј iznosa jednog elementarnog naboјa. Nabijeni atomi, zvani ionicim, vežu se međusobno privlačnim elektrostatskim silama.

### Ionske veze

Ako je razlika u elektronegativnosti između dva atoma dovoljno velika, jedan ili više elektrona mogu potpuno prijeći s jednog atoma na drugi. To je slučaj kod reakcije natrija ( $\text{Na}$ ) s klorom ( $\text{Cl}$ ) (Slika 1.5). Atom natrija ima jedan elektron u vanjskoj ljudsci, dok klorova ispod nje ima osam elektrona. Tako atom natrija može postići stabilnu elektronsku konfiguraciju otpuštanjem jedinog elektrona u vanjskoj ljudsci. Atom klorova ima sedam elektrona u vanjskoj ljudsci, tako da može postići stabilnu elektronsku konfiguraciju primanjem jednog elektrona. Kada ta dva elementa kemijski reagiraju, jedan elektron prelazi s  $\text{Na}$  na  $\text{Cl}$ , stvarajući tako pozitivno nabijeni atom natrija i negativno nabijeni atom klorova.

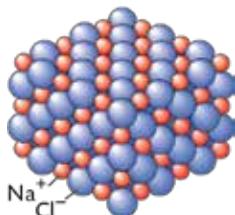
Atomi koji nose električni naboј koji je posljedica takvog prijenosa nazivaju se *ioni*. Ako je naboј pozitivan, ion se zove *kation*, a ako je naboј negativan – *anion*. Naboј iona se bilježi desno gore u odnosu na kemijski simbol, na primjer  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$ . Skupina atoma povezanih kovalentnom vezom također može davati, ili primati elektrone stvarajući ione, kao kod amonijeva ( $\text{NH}_4^+$ ), ili sulfatnog iona ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

U tvarima koje se sastoje od iona, privlačne sile između suprotnih električnih naboјa drže anione i katione zajedno. To nazivamo *ionskom vezom*. Kod ionicnih spojeva, ukupan naboј kationa je uvijek jednak ukupnom naboјu aniona, zbog čega ti spojevi izvana ne izgledaju električki nabijeni. Ionicni spojevi koji sadrže ione metala uobičajeno se nazivaju soli.

Ioni se stvaraju potpunim prijenosom elektrona između atoma

Ionska veza je posljedica električnog privlačenja između aniona i kationa

Molekule s polarnim vezama između vodika i kisika ili dušika mogu stvarati vodikove veze



**Slika 1.6** Trodimenzionalna kristalna rešetka natrijevih ( $\text{Na}^+$ ) i kloridnih ( $\text{Cl}^-$ ) iona u kristalu soli.

Ioni u ionicim spojevima koji su krutine zauzimaju određeni prostorni raspored koji je posljedica ravnoteže između privlačnih i odbojnih električnih sila. Takve organizirane nakupine iona čine *kristale* (Slika 1.6). Neutralne molekule također mogu tvoriti kristale, za što su primjer kristali šećera. Međutim, ionicni spojevi ne sadrže molekule, pa formula ionicnog spoja, kao na primjer kuhijske soli  $\text{NaCl}$  (natrijev klorid) označava samo omjer iona. Za ionicke spojeve koristimo izraz *formulska jedinka* umjesto molekulske formule.

Nema jasnog razgraničenja između kovalentne i ionicke veze. Ionicna veza i nepolarna kovalentna veza predstavljaju ekstreme između kojih nalazimo čitav spektar polarnih kovalentnih veza.

### Vodikove veze

Osim kemijskih veza koje drže na okupu atome u molekulama, ili ionicim spojevima, slabije kemijske veze mogu nastati i između molekula, ili različitim dijelova velikih molekula. Od takvih veza najčešće susrećemo vodikove veze.

Brojni kemijski spojevi u tijelu sadrže polarne kovalentne veze između atoma vodika i od njega elektronegativnijih atoma kisika, ili dušika. Nejednaka raspodjela veznih elektrona u tim vezama daje vodikovu atomu mali višak pozitivnog naboјa, dok kisik i dušik dobivaju odgovarajući višak negativnog naboјa. Molekule s takvim polarnim kovalentnim vezama mogu se vezati jedna za drugu elektrostatskim privlačenjem slabo pozitivno nabijenih atoma vodika u jednoj molekuli i slabo negativno nabijenog atoma kisika ili dušika u drugoj (Slika 1.7). Ovakve veze su znatno slabije od ionicnih ili kovalentnih veza, a nazivaju se *vodikove veze*. Mnoga osobita svojstva vode su posljedica upravo vodikovih veza između molekula vode. Vodikove veze imaju ključnu ulogu u mnogim reakcijama koje se odvijaju u organizmu. Na primjer, vodikove veze su uključene u interakcije između enzima i supstrata, odnosno signalnih molekula i njihovih receptora. Vodikove se veze također mogu stvarati između dijelova velikih molekula, kao što su proteini, stabilizirajući na taj način njihovu konfiguraciju (str. 35). U mole-



22. Koja je razlika između polarne i nepolarne veze?  
 23. Što je ionska veza?  
 24. Što je vodikova veza?



25. Koliko molekula čini jedan mol kemijskog spoja?  
 26. Koja je osnovna mjeru jedinica za koncentraciju?

kulama deoksiribonukleinske kiseline (DNK), komplementarne dušikove baze su povezane vodikovim vezama.

## Mol i koncentracija

Molekulska masa kemijskog spoja jednaka je zbroju masa atoma u molekuli. Jedan mol kemijskog spoja ima masu izraženu u gramima istog iznosa kao molarna masa izražena u daltonima. Za sve kemijske spojeve, masa koja odgovara jednom molu sadrži isti broj molekula ( $6,02 \times 10^{23}$ ). Na primjer, molekulska masa plinovitog vodika ( $H_2$ ) je 2,0 daltona, a ugljikohidrata glukoze

( $C_6H_{12}O_6$ ) 180,2 daltona. Prema tome, 2,0 g vodika sadrži točno isti broj molekula kao 180,2 g glukoze. Simbol za mol, mjeru jedinicu za količinu tvari je – mol. Koncept mola se također koristi za izražavanje broja atoma, iona i formulskih jedinki. Na primjer, kada 1 mol NaCl, obične kuhinjske soli, otopimo u vodi, nastala otopina sadrži 1 mol  $Na^+$  i 1 mol  $Cl^-$ .

Koncentracija otopljene tvari se uobičajeno izražava kao broj molova otopljene tvari u litri otopine. Mjeru jedinica je tada mol/L, što se označava i kao M. Umjesto pisanja da se radi o koncentraciji, uobičajeno je korištenje uglatih zagrada. Na primjer,  $[Na^+]$  označava koncentraciju  $Na^+$ .

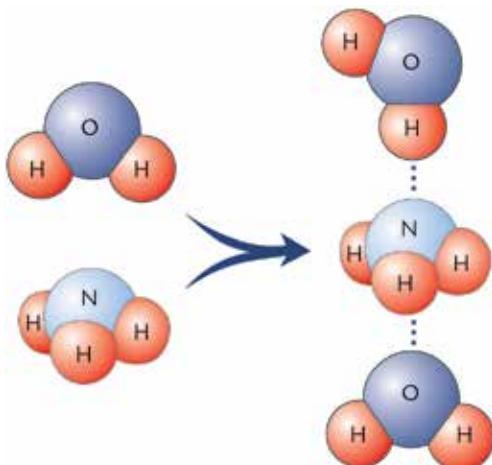
Jedan mol sadrži jednak broj čestica (atoma, molekula, formulskih jedinki) bilo koje tvari

## Difuzija

U smjesama plinova i u otopinama kod kojih su tvari nejednolikom raspoređene, sve razlike u koncentraciji s vremenom postupno isčezavaju. Takav transport tvari iz područja veće koncentracije u područja manje koncentracije odvija se procesom zvanim difuzija, koja je posljedica nasumičnog termičkog gibanja molekula, atoma i iona (str. 10). Brzina čestica je obrnuto razmijerna njihovoj veličini. U vodi pri normalnoj tjelesnoj temperaturi, molekula vode giba se prosječnom brzinom od 2 500 km/h, dok je prosječna brzina molekule glukoze, koja je deset puta teža od vode, oko 850 km/h. Molekule se neprestano sudađaju s drugim molekulama. Kao posljedica tih sudađa, molekule neprestano nasumično mijenjaju smjer (Slika 1.8).

Difuzija je transport niz koncentracijski gradijent kao posljedica termičkog gibanja

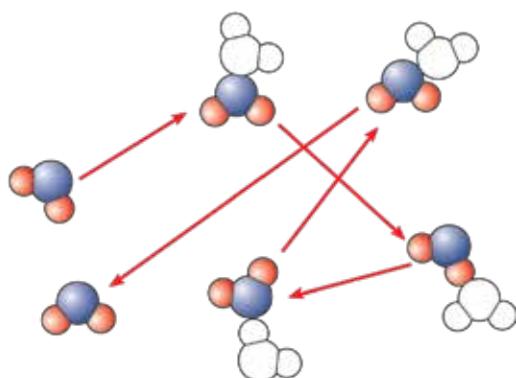
**Slika 1.7** Vodikove veze između vode i amonijaka. Atomi kisika i dušika stvaraju polarne kovalentne veze s atomima vodika. Molekule amonijaka i vode međusobno se povezuju elektrostatskim privlačenjem između slabo pozitivno nabijenih atoma vodika jedne molekule i slabo negativno nabijenog atoma dušika ili kisika druge molekule.



Difuzija je kao mehanizam transporta tvari od velike važnosti za žive organizme. Naime, iako je sustav krvnih žila odgovoran za prijenos svih sastojaka krvi između organa u tijelu, prijenos tvari i plinova preko one zadnje, ključne udaljenosti – preko međustanične tekućine do stanica – odvija se difuzijom (str. 407). Na isti se način difuzijom otpadne tvari prenose iz stanica u krv. Većina unutarstaničnog transporta također se odvija difuzijom.

U zamišljenom eksperimentu, posuda s vodom je podijeljena u dva odjeljka pregradom (Slika 1.9). U lijevom odjeljku je otopljena određena količina tvari, nakon čega je pregrada uklonjena (a). Zbog nasumičnog

**Slika 1.8** Termičko gibanje molekula dovodi do njihova sudaranja i neprestane promjene smjera gibanja



Brzina difuzije raste s porastom kontaktne površine i koncentracijskog gradijenta

Prijenos difuzijom je učinkovit samo na malim udaljenostima

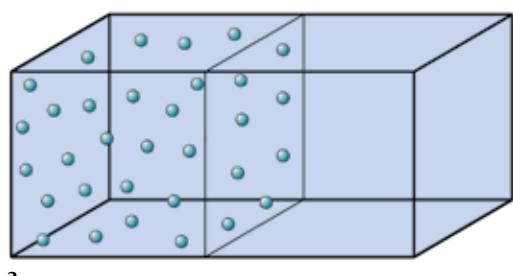
termičkog gibanja, neke od otopljenih molekula s vremenom će prijeći na desnu stranu (b). U danom trenutku, vjerojatnost za svaku pojedinu molekulu da se nađe na lijevoj strani jednaka je vjerojatnosti da se nađe na desnoj strani. Budući da je u početku više otopljenih tvari u lijevom odjeljku, više će čestica prelaziti slijeva nadesno nego u suprotnom smjeru. Kada se broj otopljenih molekula u oba odjeljka izjednači, broj molekula koje prelaze zamisljenu granicu između odjeljaka bit će isti u oba smjera (c). Fickov zakon određuje brzinu transporta ( $Q$ ) tvari difuzijom:

$$Q = DA \frac{(C_1 - C_2)}{L}$$

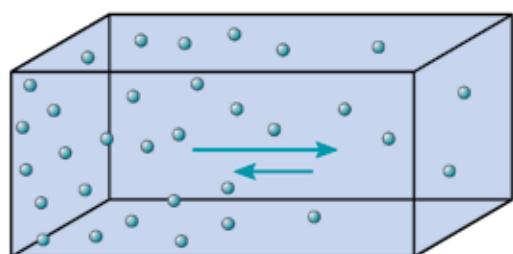
$D$  je koeficijent difuzije, karakterističan za određenu tvar u određenom mediju pri definiranoj temperaturi.  $A$  predstavlja površinu preko koje tvari difundiraju (kontaktna površina).  $C_1$  i  $C_2$  su koncentracije tvari na dva mesta razdvojena udaljenosću  $L$ , što za tu tvar daje koncentracijski gradijent  $(C_1 - C_2)/L$ .

Fickov zakon govori da se brzina prijenosa difuzijom povećava s povećanjem kontaktne površine i koncentracijskog gradijenta. Za danu razliku između koncentracija, brzina difuzije je obrnuto razmjerana udaljenosti preko koje tvari difundiraju. U biološkim sustavima je brzina difuzije u pravilu što je moguće veća, što je postignuto povećanjem kontaktne površine i smanjenjem udaljenosti preko koje tvari difundiraju.

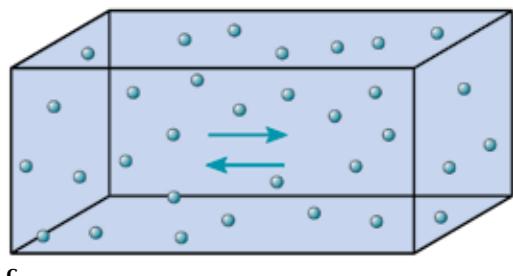
Difuzija je učinkovit mehanizam za prijenos otopljene tvari na vrlo malim udaljenostima. Neuroni komuniciraju kemijskim glasnicima (neurotransmiterima) koji difundiraju od jedne stanice do druge u posebnim kontaktnim područjima koje se nazivaju sinapsе (str. 113). Udaljenost između membra-



a



b



c

**Slika 1.9** Difuzija otopljene tvari. a Posuda s vodom je podijeljena središnjom pregradom. Otopljena tvar je jednoliko raspodijeljena na lijevoj strani. b Središnja pregrada je uklonjena i otopljene molekule termičkim gibanjem prelaze na desnou stranu. Kretanje je nasumično i neke molekule prelaze natrag na lijevu stranu. Budući da je na lijevoj strani više molekula otopljene tvari, u početku više molekula prelazi na desnu stranu nego u suprotnom smjeru. Posljedica toga je ukupan transport difuzijom slijeva nadesno. c Difuzija je dovela do jednolike raspodjele otopljene tvari u čitavom volumenu. U takvoj situaciji jednak broj molekula prelazi na svaku stranu u danom vremenskom periodu, zbog čega nema ukupnog transporta iz jednog odjeljka u drugi.

na stanica koje su povezane sinapsom je oko 20 nm (0,00002 mm). U vremenu manjem od 100  $\mu$ s (0,0001 s), difuzija omogućava neurotransmiterima da se jednoliko raspodijele u prostoru između stanica. Transport raznih tvari između stanica i najmanjih krvnih žila (kapilara) odvija se na udaljenosti od 10-30  $\mu$ m (0,01-0,03 mm) (str. 406). Za prijenos malih molekula, kao što je glukoza, preko takvih udaljenosti, dovoljne su sekunde.

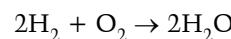
Prijenos difuzijom je vrlo spor preko velikih udaljenosti. Na primjer, ako se šećer uspe u punu čašu vode koja se onda zatvori poklopcom i drži na stalnoj temperaturi, trebat će godine da se svuda u čaši izjednači koncentracija šećera. Zbog toga većina višestaničnih životinja ovisi o optjecajnom sustavu za prijenos tvari preko velikih udaljenosti između različitih dijelova tijela. Kao što je već spomenuto, prijenos tvari unutar stanice odvija se prvenstveno difuzijom, što je vjerojatno razlog zašto je debljina većine stanica znatno manja od 0,1 mm (100  $\mu$ m). Dimenzije presjeka stanica istog tipa približno su jednake kod različitih vrsta životinja bez obzira na razliku u ukupnoj veličini tijela, na primjer kod miša i slona.

## Kemijske reakcije

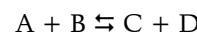
Kemijska reakcija je proces kojim atomi ili molekule međusobno reagiraju i tvore nove kemijske spojeve. U tom procesu dolazi do stvaranja i kidanja kemijskih veza. Molekule se moraju sudariti kako bi međusobno reagirale. Kod tvari koje se pojavljuju kao plinovi, ili otopine, do sudara neprestano dolazi zbog termičkog gibanja. Međutim, samo mali broj sudara rezultira kemijskom reakcijom zbog nedovoljne brzine molekula, koja nije dostatna za odgovarajuće preklapanje elektronskih oblaka pri sudaru. Da bi došlo do reakcije, brzina molekula mora biti dovoljno velika. Osim toga, molekule se moraju sudariti u odgovarajućoj orientaciji.

Kemijske se reakcije mogu opisati jednadžbom u kojoj je pretvorba *reaktanata u produkte* označena strelicom. Masa se ne može stvoriti niti izgubiti kemijskom reakcijom, a ukupan broj svake vrste atoma mora biti isti kod reaktanata i produkata. Na primjer, reak-

cija između molekula vodiča i kisika kojom nastaje voda može se opisati kako slijedi:



Ova jednadžba pokazuje da dvije molekule vodiča reagiraju s jednom molekulom kisika dajući dvije molekule vode. To je ujedno primjer reakcije gdje se reaktanti potpuno prevode u produkte – takva reakcija je *ireverzibilna*. Međutim, sve se kemijske reakcije u načelu odvijaju u oba smjera, što znači da produkti mogu reagirati dajući reaktante. Na primjer, ako molekule A i B reagiraju dajući spojeve C i D, onda C i D isto tako mogu reagirati i dati A i B. Takva *reverzibilna* reakcija označava se dvostrukom strelicom:



*Brzina reakcije*, koja pokazuje koliko se brzo mijenjaju koncentracije reaktanata i produkata, raste s porastom temperature. Brzina kojom se molekule kreću povećava se s temperaturom, što rezultira s više sudara dovoljno snažnih da dođe do reakcije. Veća koncentracija reaktanata također povećava brzinu reakcije jer dovodi do učestalijih sudara. Isto vrijedi i za produkte. S porastom njihove koncentracije, veći broj sudara dovodi do regeneracije reaktanata. Na kraju se uspostavlja *kemijska ravnoteža*, pri kojoj je brzina reakcije oba smjera jednaka. Kada je ravnoteža dosegnuta, koncentracije tvari se ne mijenjaju iako se reakcija nastavlja u oba smjera. Koncentracije tvari koje sudjeluju u reakciji rijetko su jednake u ravnoteži. Tako govorimo o pomaku ravnoteže uljevo (više A i B, manje C i D) ili udesno (više C i D, manje A i B).

Ako se u reakcijsku smjesu u ravnoteži doda više reaktanata, više reaktanata će reagirati stvarajući produkte. S druge strane, ako se reaktanti uklone iz smjese, više produkata će reagirati i regenerirati reaktante, dijelom zamjenjujući reaktante koji su uklonjeni. Ako se uklanjanju produkti, više će reaktanata reagirati stvarajući više produkata. Ovaj odnos između koncentracija reaktanata i produkata nazivamo *zakon djelovanja mase*. Većina kemijskih reakcija u tijelu nikada ne dosegne



27. Objasnite mehanizam difuzije.

28. Koristeći Fickov zakon zaključite koji su optimalni uvjeti za transport difuzijom između dva odjeljka.

29. Navedite primjere iz kojih se vidi kako učinkovitost transporta difuzijom ovisi o udaljenosti.

Kemijske reakcije uključuju kidanje i stvaranje kemijskih veza

Kemijskim se reakcijama reaktanti prevode u produkte

Kod reverzibilnih reakcija produkti reagiraju dajući reaktante

U kemijskoj ravnoteži reverzibilna se reakcija odvija jednakom brzinom u oba smjera

Zakon o djelovanju mase opisuje odnos između koncentracija reaktanata i produkata