

**Univerzitet u Beogradu**  
**Rudarsko-geološki fakultet**



# **Praktikum iz hemije**

Aleksandar Mijatović ▪ Ana Kesić



**Beograd, 2023**

# **Praktikum iz hemije**

I izdanje, 2023. godina

## **Autori:**

Dr Aleksandar M. Mijatović, docent  
Univerzitet u Beogradu-Rudarsko-geološki fakultet

Dr Ana S. Kesić, naučni saradnik  
Univerzitet u Kragujevcu, Institut za informacione tehnologije Kragujevac

## **Recezent:**

Dr Rada Baošić, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu - Hemijski fakultet

## **Izdavač:**

Univerzitet u Beogradu-Rudarsko-geološki fakultet  
Đušina 7, 11120 Beograd

## **Za izdavača:**

Prof. Dr Biljana Abolmasov, dekan  
Univerzitet u Beogradu-Rudarsko-geološki fakultet

Nastavno-naučno veće Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu od 23. februara 2023. godine (br. 8/18) prihvatilo je recenziju ovog teksta i odobrilo štampu kao pomoćnog udžbenika na osnovnim akademskim studijama.

Tiraž:

100

Copyright © 2023 Autor

## **Štampa i korićenje:**

SaTCIP, Vrnjačka Banja

## **Predgovor**

*Ovaj praktikum je namenjen studentima prve godine Rudarsko-geološkog fakulteta a pisan je sa ciljem da studentima koji se prvi put susreću sa praktičnim radom u laboratoriji olakša izvođenje eksperimenata. Pored toga praktikum mogu koristiti studenti svih studijskih programa koji podrazumevaju rad u hemijskoj laboratoriji.*

*Praktikum se sastoji iz 15 poglavlja pri čemu prva dva omogućavaju sticanje osnovnih znanja o radu u hemijskoj laboratoriji. Ostala poglavlja su celine koje daju praktična znanja najznačajnijih delova opšte hemije, a pritom prate i produbljuju teoretska znanja. Pored vežbi obuhvaćenih planom i programom predmeta, Praktikum obuhvata i elemente teorije iz opšte hemije neophodne za razumevanje hemije i realizaciju eksperimentalnih i računskih vežbi.*

*Ovaj praktikum će pomoći studentima da ovladaju osnovnim laboratorijskim veštinama i nauče osnove opšte hemije. Cilj autora je da praktikum olakša savladavanje gradiva iz Opšte hemije, kao i da studenti ovladaju eksperimentalnim veštinama u laboratoriji.*

*Posebnu zahvalnost na korisnim savetima, primedbama i sugestijama dugujemo recenzentu dr Radi Baošić redovnom profesoru Hemijskog fakulteta i dr Mariju Gabričeviću redovnom profesoru Farmaceutsko-biokemijskog fakulteta iz Zagreba. Zahvaljujemo se i dipl. inženjeru Nataši Biočanin tehničkom saradniku na pomoći prilikom pisanja eksperimentalnog dela ovog praktikuma. Saveti i pomoć na tehničkom uređenju prog. dr Marije Živković, dipl. informatičara Željka Savića, dipl. biologa Maje Đeković Novković, i dipl. inž. telekomunikacija Nikole Čarkića doprineli su da praktikum bude jasniji i pristupačniji studentima u cilju lakšeg savladavanja gradiva, na čemu im se autori ovog praktikuma posebno zahvaljuju.*

*Autori*



**Aleksandar Mijatović**



**Ana Kesić**

---

## SADRŽAJ

1. HEMIJSKA LABORATORIJA .....	5
1.1. Ponašanje u laboratoriji .....	6
1.2. Laboratorijske nezgode .....	7
1.3. Laboratorijska pravila .....	7
1.4. Rad u laboratoriji.....	9
2. LABORATORIJSKO POSUĐE I LABORATORIJSKE OPERACIJE .....	11
2.1. Laboratorijsko posuđe .....	12
2.2. Hemikalije i reagensi.....	14
2.3. Međunarodni sistem mernih jedinica .....	19
2.4. Laboratorijske operacije.....	21
MERENJE MASE .....	21
Eksperiment 1. Merenje mase uzorka.....	22
Eksperiment 2. Merenje na elektronskoj (automatskoj) tehničkoj vagi .....	23
MERENJE TEMPERATURE .....	23
Eksperiment 3. Merenje temperature uzorka .....	24
MERENJE ZAPREMINE .....	24
Eksperiment 4. Merenje zapremine uzorka .....	29
MERENJE GUSTINE .....	29
Eksperiment 5. Merenje gustine uzorka.....	30
Eksperiment 6. Određivanje gustine CO <sub>2</sub> (ugljenik(IV)-oksida) prema vazduhu .....	31
RASTVARANJE, MEŠANJE I USITNJAVANJE.....	32
DEKANTOVANJE ili ODLIVANJE.....	33
TALOŽENJE .....	33
CEĐENJE ili FILTRIRANJE.....	34
Eksperiment 7. Filtriranje .....	35
Eksperiment 8. Taloženje i ceđenje .....	36
FILTRIRANJE POD VAKUMOM .....	37
Eksperiment 9. Vakumska filtracija uz pomoć <i>Buchner</i> -ovog levka .....	37
CENTRIFUGIRANJE.....	38
ZAGREVANJE i UPARAVANJE.....	38
UPARAVANJE.....	39
Eksperiment 10. Uparavanje vodenog rastvora natrijum-hlorida .....	40

---

DESTILACIJA.....	41
Eksperiment 11. Razdvajanje dvokomponentne smeše koja sadrži etanol i vodu.....	42
EKSTRAKCIJA .....	44
Eksperiment 12. Ekstrakcija joda iz vodenog rastvora dihlormetanom .....	45
SUBLIMACIJA.....	46
Eksperiment 13. Sublimacija joda .....	46
KRISTALIZACIJA I REKRISTALIZACIJA.....	47
HROMATOGRAFIJA .....	48
Eksperiment 14. Odvajanje olova, arsena i kadmijuma tankoslojnom hromatografijom....	51
3. SMEŠE .....	53
Eksperiment 1. Razdvajanje trokomponentne smeše ( $I_2$ , $K_2CrO_4$ , $SiO_2$ ) kombinacijom više različitih metoda razdvajanja .....	55
4. HEMIJSKE REAKCIJE .....	57
4.1. Osnovna podela hemijskih reakcija .....	58
4.2. Tipovi hemijskih reakcija.....	59
Eksperiment 1. Zakon o održanju mase .....	60
Eksperiment 2. Fizičke i hemijske promene .....	61
Eksperiment 3. Reakcija sjedinjavanja .....	62
Eksperiment 4. Reakcija analize (razlaganja) ( <i>Ogled se izvodi u digestoru</i> ) .....	62
Eksperiment 5. Reakcija proste izmene .....	63
Eksperiment 6. Reakcija dvostruke izmene.....	63
5. OKSIDO-REDUKCIONE REAKCIJE.....	65
5.1. Elektroдни potencijal.....	67
Eksperiment 1. Oksido-redukzione reakcije kalijum-permanganata ( $KMnO_4$ ) u kiseljoj, neutralnoj i baznoj sredini.....	68
Eksperiment 2. Oksido-redukzione reakcije ca kalijum-jodidom (KI).....	69
Eksperiment 3. Elektrohemijski niz elemenata. Istiskivanje vodonika. ....	70
Eksperiment 4. Elektrohemijski niz metala (Zn/Cu) .....	71
Eksperiment 5. Elektrohemijski niz metala (Fe/Sb) .....	71
6. RASTVORI.....	72
6.1. Rastvorljivost (koeficijent rastvorljivosti, R) .....	75
Eksperiment 1. Priprema rastvora NaCl različitih zasićenja .....	75
Eksperiment 2. Rastvorljivost $Ca(CH_3COO)_2$ .....	76
6.2. Maseni udeo (procentna koncentracija, %)... ..	77

---

---

Eksperiment 3. Priprema rastvora NaCl zadate procentne koncentracije .....	77
6.3. Molski udeo (molska frakcija, $x_i$ ) .....	78
6.4. Molaritet (količinska, molarna koncentracija, M) .....	78
Eksperiment 4. Priprema rastvora NaCl zadate količinske koncentracije i priprema razblaženog rastvora od osnovnog koncentrovanijeg rastvora .....	79
6.5. Molalitet (molalna koncentracija, b) .....	80
6.6. Masena koncentracija ( $\gamma$ ) .....	80
6.7. Normalitet (normalna koncentracija, N) .....	80
6.8. Koncentracije ppm, ppb, ppt .....	81
7. KRISTALOHIDRATI .....	82
Eksperiment 1. Rad sa kristalohidratima .....	83
Eksperiment 2. Određivanje količine vode u kristalohidratima .....	83
Eksperiment 3. Rastvaranje kristalohidrata i anhidrovanih soli .....	84
8. ELEKTROLITI, ELEKTROLITIČKA DISOCIJACIJA .....	85
Eksperiment 1. Određivanje elektroprovodljivosti .....	88
Eksperiment 2. Razlike u hemijskoj aktivnosti jakih i slabih elektrolita .....	89
Eksperiment 3. Reakcije elektrolita u kojima nastaju slabo disosovana jedinjenja .....	90
9. HEMIJSKA KINETIKA. BRZINA HEMIJSKE REAKCIJE .....	91
Eksperiment 1. Uticaj prirode reaktanata, katalizatora i veličine čestica (dodirne površine, S) na brzinu hemijske reakcije (V) .....	93
Eksperiment 2. Uticaji koncentracije reaktanata i temperature na brzinu hemijske reakcije (V) .....	94
10. HEMIJSKA RAVNOTEŽA U HOMOGENIM SISTEMIMA .....	97
Eksperiment 1. Uticaj koncentracije reaktanata na hemijsku ravnotežu .....	100
Eksperiment 2. Uticaj temperature na hemijsku ravnotežu .....	101
Eksperiment 3. Uticaj pritiska na hemijsku ravnotežu (teorijski) .....	102
11. HEMIJSKA RAVNOTEŽA U HETEROGENIM SISTEMIMA, PROIZVOD RASTVORLJIVOSTI .....	103
Eksperiment 1. Uticaj zajedničkog jona na pomeranje ravnoteže .....	106
Eksperiment 2. Taloženje teško rastvornog jedinjenja u zavisnosti od proizvoda rastvorljivosti .....	106
Eksperiment 3: Promena koncentracije jona teško rastvornog jedinjenja .....	107
Eksperiment 4: Frakciono taloženje teško rastvornog jedinjenja .....	108
12. HIDROLIZA SOLI .....	109

---

---

Eksperiment 1. Hidroliza različitih tipova soli .....	113
Eksperiment 2. Uticaj temperature na hidrolizu soli .....	113
Eksperiment 3. Uticaj razblaženja na hidrolizu soli i suzbijanje hidrolize.....	114
Eksperiment 4. Nepovratnost hidrolize.....	114
13.    pH VREDNOST I PUFERI .....	116
Eksperiment 1. Uticaj jačine elektrolita i razblaženja na pH vrednost .....	121
Eksperiment 2. Suzbijanje jonizacije .....	121
Eksperiment 3. Određivanje pH vrednosti pomoću indikatora.....	121
Eksperiment 4. Pripremanje acetatnog pufera .....	122
14.    KOMPLEKSNA JEDINJENJA.....	124
Eksperiment 1. Sinteza kompleksnih jedinjenja .....	127
Eksperiment 2. Uticaj spoljašnjih uslova na stabilnost i sintezu kompleksa.....	128
Eksperiment 3. Sličnosti i razlike između prostih, dvojnih i kompleksnih soli u vodenim rastvorima .....	129
Eksperiment 4. Razaranje kompleksa .....	129
15.    OSOBINE RAZBLAŽENIH RASTVORA.....	131
15.1.    Osmotski pritisak.....	132
15.2.    Napon pare, tačka ključanja i tačka mržnjenja .....	133
Eksperiment 1. Morsko dno / Hemijska bašta .....	136
PRILOG .....	138
Prilog 1. Periodni sistem elemenata (IUPAC) .....	139
Prilog 2. Važne fizičke konstante izražene jedinicama SI Sistema .....	140
Prilog 3. Merne jedinice u međunarodnom SI sistemu.....	141
Prilog 4. Standardni elektroodni redukcionni potencijal ( $E^\circ$ ) za odabrane redoks parove...	143
Prilog 5. Konstante disocijacije odabranih kiselina i baza .....	144
Prilog 6. Jonski proizvod vode ( $pK_w$ ) u zavisnosti od temperature.....	145
Prilog 7. Trivijalni nazivi i primena pojedinih jedinjenja u poljoprivredi, tehnici i svakodnevnom životu .....	146
Prilog 8. Proizvod rastvorljivosti (P) nekih jedinjenja na 25 °C .....	147
LITERATURA .....	148

---

## 1. HEMIJSKA LABORATORIJA





Hemijska laboratorija treba da bude jedna od najsigurnijih prostorija u akademskim ili industrijskim objektima. Svaki hemičar je obučan da bude svestan potencijalnih opasnosti u laboratoriji i mora biti oprezan pri rukovanju, skladištenju i odlaganju hemikalija. Bezbednost treba da bude stalna briga i praksa za sve u laboratoriji. Eksperimentator mora poštovati osnovna laboratorijska pravila i biti siguran da ista poznaju i poštuju i njegovi saradnici. Samo odgovornim ponašanjem se ne ugrožava sigurnost u laboratoriji. Uz malo dodatnog napora hemijska laboratorija se može smatrati bezbednim mestom za rad. Nesreće se dešavaju i dešavaće se, ali najčešće su uzrokovane nepažnjom, nepromišljenošću ili zanemarivanjem. Ovaj deo praktikuma sadrži smernice kako laboratorijski rad učiniti sigurnim i smislenim.

## 1.1. Ponašanje u laboratoriji

1. U laboratoriji se moraju nositi **zaštitne naočare ili štitnici za oči**, kako bi se osoba zaštitila od potencijalnih laboratorijskih nezgoda izazvanih sopstvenom nepažnjom ili nepažnjom drugih saradnika. Kontaktne sočiva treba zameniti dioptrijskim naočarima. Osobe koje moraju nositi kontaktne sočiva, takođe moraju zaštititi oči nošenjem zaštitnih naočara. Osoba koja nosi dioptrijske naočare isto mora nositi i zaštitne naočare.

*Razgovarati o ovim pravilima sa asistentom ili profesorom.*

2. U laboratoriji se mora nositi odgovarajuća **obuća**. Poželjno je nositi cipele koje ne propuštaju tečnost. Nije dozvoljeno nošenje cipela sa visokim potpeticama, cipela sa otvorenim prstima, sandala, kao i obuće sa vrhovima od tkanih materijala, platna ili kože.
3. U laboratoriji postoje određena pravila oblačenja. Naime, **odeća** ne bi trebalo da bude od sintetičkih materijala, košulje i bluže ne smeju biti pocepane, naborane ili širokog kroja. Odeća treba da pokriva kožu od vrata do ispod kolena (po mogućnosti do gležnja) ili bar do zgloba. Poželjne su dugačke pantalone koje prekrivaju vrhove cipela. Ukoliko osoba nosi šal ili kravatu, treba ih ili učvrstiti ili skloniti prilikom boravka u laboratoriji.

*Razgovarati o ovim pravilima sa asistentom ili profesorom.*

4. Kako bi se zaštitila odeća, u laboratoriji je obavezno nošenje **laboratorijskog mantila ili bluže** od nezapaljivog i neporoznog materijala.
5. Prilikom prenošenja opasnih, korozivnih tečnosti potrebno je nositi **zaštitne rukavice**. Treba se konsultovati sa asistentom ili profesorom ako postoji bilo kakva mogućnost ili indikacija na alergiju izazvanu rukavicama (u tom slučaju koristiti rukavice od lateksa).
6. Preporuka je da se u laboratoriji **ne nosi nakit**. Neke hemikalije mogu izazvati ozbiljnu iritaciju ispod prstenja, ručnog sata ili narukvica. Zbog laboratorijske sigurnosti poželjno je da se ne nosi nakit u laboratoriji.
7. U laboratoriji je neophodno **prikupiti dugu kosu**, naročito ukoliko se radi sa plamenikom.
8. U laboratoriji se ne smeju koristiti **kozmetika i osveživači**.
9. Nije dozvoljeno unošenje i konzumiranje **hrane i pića** u laboratoriji.
10. Hemijski reagensi se ne smeju **koristiti u ishrani niti dodirivati** golim rukama. Ne mogu se predvideti pojedinačni alergijski ili preosetljivi odgovori na hemikalije. Otrrovne supstance nisu uvek označene.
11. Poželjno je često **pranje ruku** tokom boravka u laboratoriji, a obavezno pri napuštanju laboratorije! Nakon boravka u laboratoriji poželjno je oprati ruke i lice u toaletu. Otrrovne ili na drugi način opasne hemikalije mogu se nenamerno preneti na kožu i sa kože na usta.

## 1.2. Laboratorijske nezgode

1. Sve nesreće ili povrede, čak i ako se smatraju lakšim, treba **odmah prijaviti** profesoru ili asistentu. Nekada je potreban pismeni izveštaj o svim nesrećama koje se dese u laboratoriji. Posavetujte se sa odgovornim osobama koje rade u laboratoriji.
2. Svaka laboratorija treba da sadrži ormarić sa opremom za ukazivanje prve pomoći, sigurnosnu opremu, aparat za gašenje požara kao i česme sa čistom vodom za ispiranje očiju. Obratiti pažnju na mesto gde se nalazi ormarić u laboratoriji.
3. Ako dođe do nesreće, ne sme se paničiti! Najvažnija prva radnja nakon nesreće je briga o pojedincu. Odmah obavestiti profesora!
4. Ako je osoba povređena, odmah joj se pruža prva pomoć ili se ona traži od odgovorne osobe.
5. Preduzimaju se odgovarajuće mere u vezi sa nesrećom: uklanja se hemikalija, koristi aparat za gašenje požara itd.
6. Kad god koža, ruke ili lice eksperimentatora dođu u kontakt sa hemikalijama, neophodno je brzo isprati zahvaćeno područje nekoliko minuta vodom iz slavine, a nakon toga temeljno isprati vodom i sapunom. Koristiti mlaz čiste vode za ispiranje hemikalija iz očiju i sa lica. Rukama ne treba dodirivati zahvaćeno područje, posebno lice ili oči.

### **Odmah potražite pomoć!**

7. Izlivanje hemikalija po velikom delu tela zahteva hitno delovanje. Potrebno je odstraniti svu kontaminiranu odeću. Prilikom spiranja hemikalije sa tela koristiti samo vodu i blagi deterdžent (bez melema, krema, losiona itd.).

### **Potražiti medicinsku pomoć!**

8. U slučaju požara, upotrebiti aparat za gašenje požara. Ako se čini da vatra nije pod kontrolom, odmah napustiti laboratoriju.
9. U slučaju ogrebotina ili posekotina, isprati zahvaćeno područje vodom. Svaki dalji tretman treba sprovesti samo nakon konsultacija sa asistentom ili profesorom. Kada su u pitanju opekotine, zahvaćeno područje treba tretirati ledom, potopiti u ledeno-vodeno kupatilo ili staviti pod hladnu tekuću vodu nekoliko minuta kako bi se toplota povukla iz spaljenog područja.

### **Ozbiljnije opekotine zahtevaju hitnu medicinsku pomoć!**

10. Ukoliko dođe do izlivanja hemikalija u laboratoriji postupiti na sledeći način:
  - Upozoriti kolege i odgovorne osobe.
  - Očistiti prosutu tečnost prema uputstvu o korišćenju hemikalije.
  - Ako je supstanca isparljiva, zapaljiva ili otrovna: zamoliti sve osobe prisutne u laboratoriji da je napuste i o nezgodi obavestiti odgovornu osobu.

## 1.3. Laboratorijska pravila

Pored smernica za samozaštitu, moraju se poštovati i sledeća pravila:

1. **Konzumiranje pića, hrane i cigareta** (uključujući i žvakaće gume) nije dozvoljeno ni u jednom trenutku, jer hemikalije mogu neopaženo ući u usta ili pluća. Ruke mogu biti

kontaminirane „nebezbednom“ hemikalijom. Ne prinositi licu nikakve predmete, uključujući olovke, mobilne telefone i slično, tokom ili nakon rada u laboratoriji. Predmeti koji su se našli u laboratoriji mogu pokupiti zagađujuće supstance sa laboratorijskog stola, pa tako mogu doći u kontakt sa kožom.

2. **Nije poželjno raditi sam u laboratoriji.** Odgovorna osoba mora biti prisutna.
3. Neophodno je nositi **zaštitne naočare** pri izvođenju svih oglada u kojima može da dođe do prskanja supstanci i povrede očiju.
  - Posebno treba voditi računa pri radu sa kalijumom, natrijumom, jakim bazama, koncentrovanim kiselinama, pri destilovanju pod sniženim pritiskom, itd. Pri izvođenju ovakvih oglada mora se voditi računa o bezbednosti osoba prisutnih u laboratoriji.
  - Treba biti jako oprezan prilikom mešanja vrelih rastvora kiselina i baza.
  - Koncentrovani rastvori kiselina se moraju presipati u malim porcijama u laboratorijsko posuđe. Kada se prave razblaženi rastvori, **koncentrovana kiselina se dodaje u posudu sa vodom** (ne voda u kiselinu), jer može da dođe do prskanja tečnosti van suda.
  - Zagrevanje alkalnih rastvora takođe treba izvoditi veoma oprezno.
  - Prilikom zagrevanja tečnosti u epruveti, otvor epruvete se ne sme okrenuti prema sebi ili prema drugoj osobi, već isključivo prema zidu.
  - Pri radu sa otrovnim supstancama neophodno je nositi zaštitne rukavice.
4. Ako se tokom izvođenja eksperimenta neka osoba povredi treba odmah da se obrati odgovornoj osobi radi ukazivanja pomoći. U svakoj laboratoriji mora da postoji vidno obeležen i lako pristupačan komplet za ukazivanje **prve pomoći**, kao i crvenim krstom obeležene boce sa rastvorom natrijum-hidrogenkarbonata i borne kiseline za ispiranje očiju i kože.
5. Najstrože je zabranjeno iznošenje bilo kakvog materijala (hemikalija, posuđa, opreme) iz laboratorija.
6. Laboratorijska oprema treba da bude postavljena dalje od ivice laboratorijskog stola ( $\geq 20$  cm) kako bi se izbegle nezgode.
7. Ne ostavljati eksperiment bez nadzora! Ovo je najčešći razlog dešavanja nesreća.
8. Laboratorija podstiče radoznalost i kreativnost. Međutim, varijacije ili izmene eksperimentalnog postupka su zabranjene bez prethodnog odobrenja odgovorne osobe.

*„Ako vaša hemijska intuicija sugerise dalje eksperimentisanje, prvo se konsultujte sa asistentom ili profesorom.“*
9. Laboratorijski sto mora biti čist i uredan. Po završenom eksperimentu odmah vratiti sve hemikalije, ostatke papira i stakleno posuđe na svoje mesto. Odložiti otpad prema uputstvima odgovorne osobe. Prolazi između stolova moraju biti slobodni, a sve fioke i ormarići zatvoreni.
10. Ne stavljati torbe za knjige, sportsku opremu ili druge predmete na pod u blizini bilo kog laboratorijskog stola.
11. Na kraju svakog eksperimentalnog rada neophodno je potpuno očistiti svu korišćenu laboratorijsku opremu vlažnim sunđerom ili papirnim ubrusima i pravilno je odložiti. Takođe, treba oprati svo stakleno posuđe, korišćeno u toku izvođenja eksperimenta.

12. Svaki eksperimentator je dužan da svoje radno mesto održava čistim i da ga posle rada ostavi u urednom stanju.
13. Eksperimentator koji prospe bilo kakvu tečnost po radnom mestu ili podu, dužan je da je odmah ukloni, a po potrebi i neutrališe u saradnji sa odgovornom osobom.
14. U lavaboe se ne smeju bacati čvrsti otpaci niti zapaljive tečnosti. Čvrsti otpaci se odlažu u korpu za otpatke.
15. Zabranjeno je bacanje otpadaka natopljenih zapaljivim tečnostima u korpe za otpatke.
16. Lavaboe treba dobro isprati mlazom vode, nakon ulivanja dozvoljenih otpadnih tečnosti u njih.
17. Vežbu ne treba počinjati pre nego što se detaljno ne prouče osobine hemikalija koje se tokom izvođenja vežbi koriste (toksičnost, reaktivnost, zapaljivost, eksplozivnost), kao ni pre nego što se proverí ispravnost aparature.
18. Svi električni aparati mogu se upotrebljavati samo ako su u ispravnom stanju i propisno uzemljeni. Svaki uočeni kvar treba odmah prijaviti odgovornoj osobi.
19. Pri radu sa gasovima i parama koje su otrovne, treba obavezno preduzeti sve mere predostrožnosti – raditi isključivo u **digestoru** (kapeli) u kome je uključena ventilacija. Van digestora ne smeju se uparavati tečnosti, niti razvijati otrovni gasovi ( $H_2S$ , HCN,  $Cl_2$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ).
20. Za rad sa naročito otrovnim gasovima ( $H_2S$ , HCN, HF) postoji posebna prostorija sa vrlo efikasnom ventilacijom, takozvana „soba za otrove“. Osoba koja izvodi eksperiment ne sme da rukuje ovakvim supstancama pre nego što dobije detaljna uputstva od odgovorne osobe i pre nego što se proverí ispravnost aparature.
21. Pri izvođenju ogleda sa lako zapaljivim i eksplozivnim supstancama u laboratoriji ne sme biti otvorenog plamena.
22. Eksperimentator naročito mora biti pažljiv pri radu sa **butan-gasom**. Ukoliko slavine za dovod gasa nisu dobro zatvorene (kada je plamenik „ugašen“) postoji opasnost od građenja eksplozivne smeše butan-gasa i vazduha.
23. Treba biti upoznat sa aktivnostima osoba koje izvide eksperimente u blizini da ne bi došlo do nezgoda prilikom njihovih grešaka, odnosno, da bi se pravovremeno odreagovalo. Ako je potrebno, obavestiti odgovornu osobu o uočenim nepravilnostima i nepromišljenosti drugih koji izvide eksperimente.

**Za sva druga pravila, pitati odgovornu osobu!**

#### **1.4. Rad u laboratoriji**

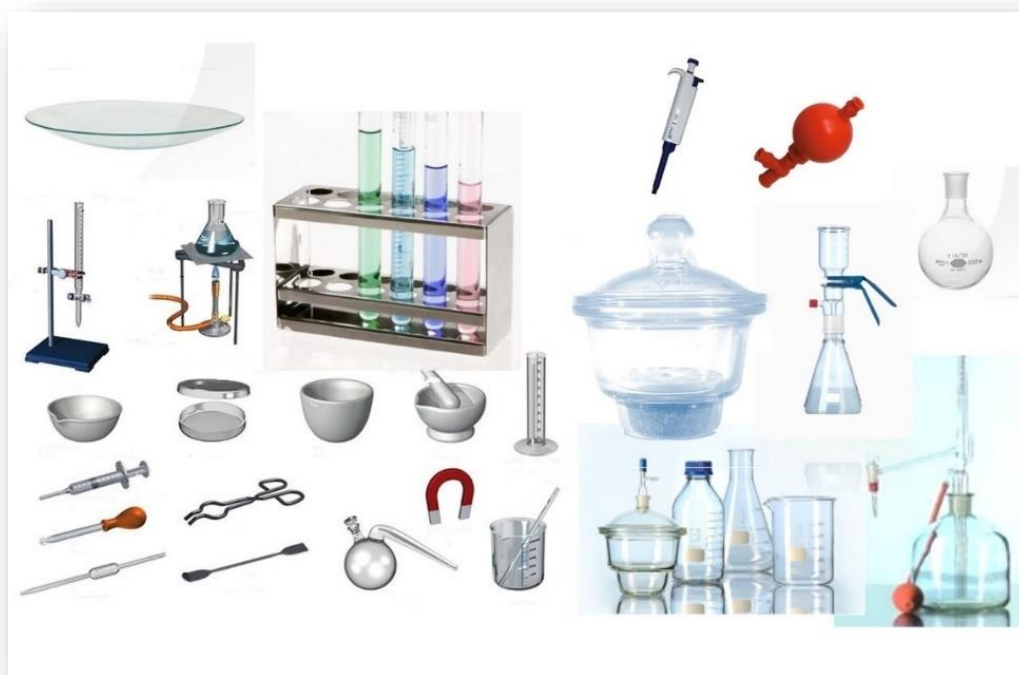
1. Održavati zdrav, profesionalan stav prilikom izvođenja eksperimenata. Laboratorija nije mesto za neozbiljno ponašanje.
2. Strogo je zabranjeno korišćenje mobilnih telefona u toku eksperimentalnog rada kao i drugih elektronskih uređaja za zabavu.
3. Potrebna je potpuna koncentracija na eksperiment, zato gostima nije mesto u laboratoriji.
4. Treba razmenjivati mišljenja i iskustva sa kolegama iz grupe. Na taj način se proširuju znanja, čak i među ljudima koji se ozbiljno bave naukom (na naučnim skupovima).

5. Treba se pripremiti za svaki eksperiment. Pročitati teorijski deo i opis eksperimentalnog postupka da bi se dobro upoznali sa eksperimentom, stehiometrijskom reakcijom i promenom boje koju treba uočiti. Detaljno ispisati proračune koji će biti potrebni i proveriti ih više puta pre početka rada. Temeljno poznavanje eksperimenta učiniće laboratorijski rad naučno značajnijim i vremenski efikasnijim (i rezultirati boljom ocenom!).
6. Kada je u pitanju eksperimentalni postupak:
  - Shvatiti svrhu svakog koraka (razmisliti pre izvođenja eksperimenta).
  - Utvrditi da li je potrebna dodatna oprema.
  - Odrediti koji će se podaci prikupljati i kako će biti analiziran (proračuni, grafikoni itd.).
  - Pregledati laboratorijske tehnike i upozorenja, jer su važni za izvođenje sigurnog i korisnog eksperimenta.
7. Pregledati izveštaj. Dovršiti sve potrebne proračune, pre nego što počne prikupljanje podataka tokom laboratorijskog rada. Odrediti podatke za prikupljanje, broj predloženih ispitivanja i potrebnu analizu podataka (npr. proračune, grafikone).
8. Pre i tokom izvođenja eksperimenta pregledati laboratorijska pitanja na početku poglavlja. Ova pitanja imaju za cilj da poboljšaju razumevanje hemijskih principa na kojima je eksperiment zasnovan.
9. Iznad svega, uživati u svakom novom laboratorijskom iskustvu. Biti spreman na iscrpno posmatranje i razmišljanje u toku eksperimenta.

**Na kraju će eksperimentator uvek biti nagrađen!**

---

## 2. LABORATORIJSKO POSUĐE I LABORATORIJSKE OPERACIJE



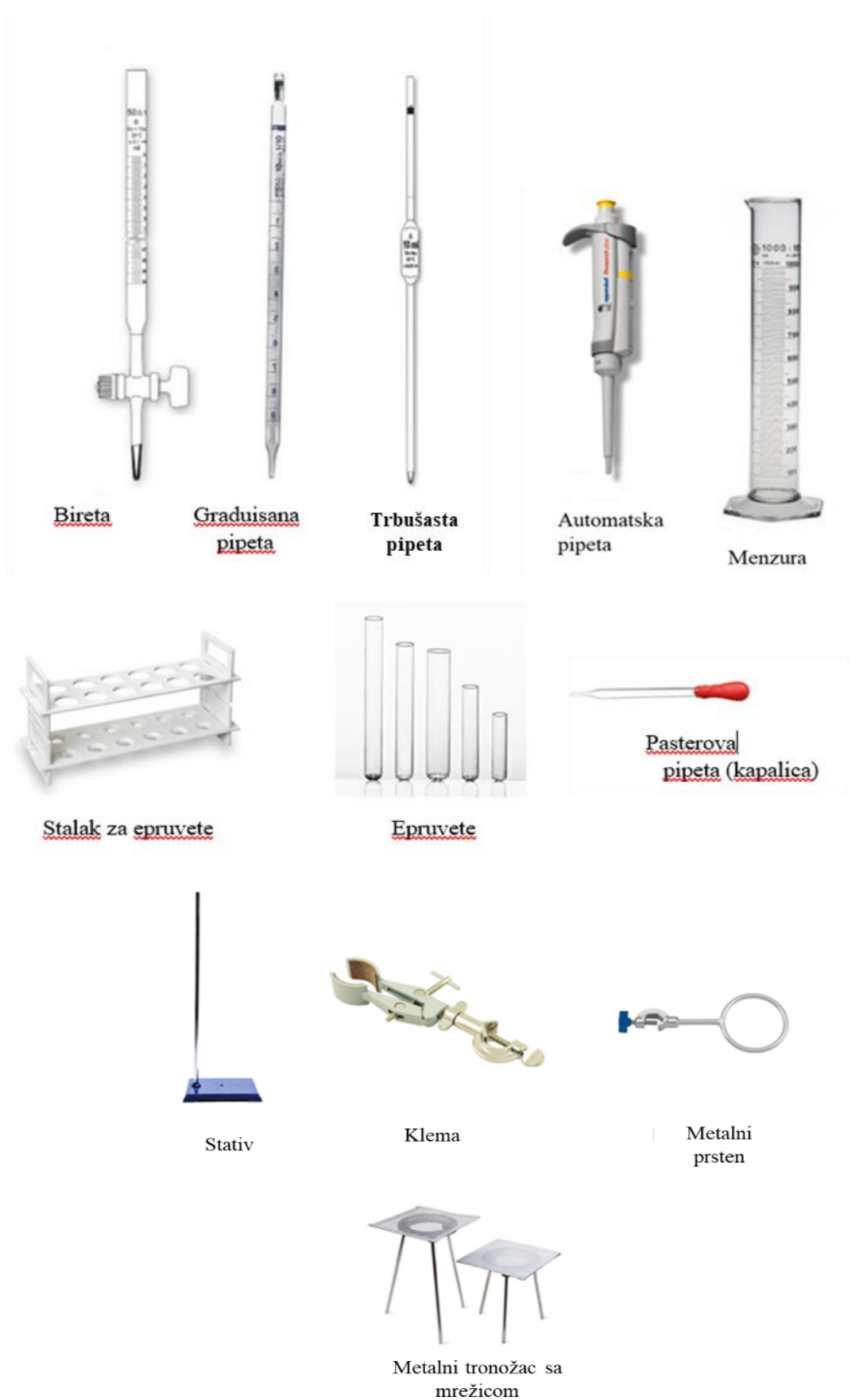
## 2.1. Laboratorijsko posuđe

Svaka hemijska laboratorija sadrži dosta raznovrsnog laboratorijskog posuđa. Zato je neophodno da se svaki eksperimentator prvo upozna sa opremom koju će koristiti u toku izvođenja eksperimenata. Posuđe u laboratoriji je najčešće izgrađeno od stakla ili porcelana, nekih metala, ređe od drveta, a u novije vreme i od plastike (*Slike 1. i 2.*). Danas naučnici vrše istraživanja i eksperimente u moderno opremljenim hemijskim laboratorijama.

**Stakleno posuđe** u obliku čaša, epruveta, Petrijevih šolja, bočica, bireta i menzura, oduvek je bilo deo čak i najmanjih laboratorija. Razlog tome je inertnost staklenih posuda. Međutim, nisu sve staklene posude jednake. Za izradu laboratorijskog stakla koriste se različiti materijali, poput kvarca, borosilikata i drugih vrsta stakala.



Slika 1. Laboratorijska oprema i posuđe



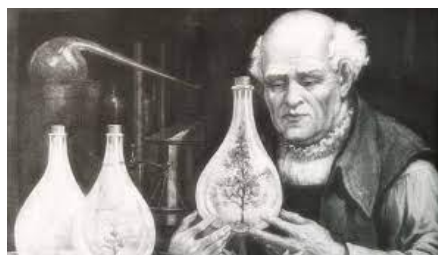
Slika 2. Laboratorijska oprema i posuđe



## 2.2. Hemikalije i reagensi

„Sve supstance su otrovne, nema ni jedne koja to nije. Jedino prava doza razlikuje otrov od leka.“

T. Paracelsus



Hemikalija je supstanca koju proizvodi hemijska industrija u obliku hemijskih elemenata ili hemijskih jedinjenja (jednom rečju supstance). Supstance koje se koriste za izvođenje ogleđa su **reagensi**. Sve supstance (Slika 3.) su u određenom stepenu toksične, i zato nije preporučljivo njihovo unošenje u ljudski organizam. Toksične supstance mogu se uneti preko organa za disanje, kože ili organa za varenje. Najveća količina toksičnih supstanci unosi se u organizam udisanjem gasova, para ili aerosola. Posebnu opasnost predstavlja duže udisanje malih koncentracija toksičnih supstanci, što dovodi do hroničnog trovanja organizma. Najbolja zaštita od udisanja toksičnih supstanci jeste da se sa gasovitim i lako isparljivim toksičnim supstancama radi u digestoru sa uključenom ventilacijom. Međutim, najveću opasnost predstavljaju toksične supstance koje nemaju miris pa čovek nije svestan da je izložen trovanju, ako ne primenjuje odgovarajuće mere zaštite. Toksične supstance mogu da se unesu



Slika 3. Ormar za hemikalije



Slika 4. Etiketa na boci hemikalije

u organizam i preko kože, preko ogrebotina ili posekotina. Međutim, neke supstance lako prodiru u organizam apsorpcijom kroz kožu. Toksične supstance unete u organizam preko kože, brzo dospevaju do krvi i izazivaju trovanje ili se deponuju u organizmu. Prilikom pipetiranja može doći do gutanja hemikalija, pa se zbog toga pipetiranju mora posvetiti posebna pažnja. Otrovnne supstance ne smeju se pipetirati ustima, već isključivo propipetama odnosno automatskim pipetama.

Svaka hemikalija koja se upotrebljava prilikom izvođenja vežbi u hemijskim laboratorijama na svom originalnom pakovanju mora imati **etiketu** koja nas obaveštava o kakvoj je hemikaliji reč i kako sa njom treba postupati. Na etiketi se mora nalaziti: hemijsko ime, formula i komercijalni naziv hemikalije, oznake rizika (Tabela 1.), oznake opasnosti (Tabela 2.), način skladištenja i rukovanja, rok upotrebe, naziv proizvođača i dr. (Slika 4.)

Tabela 1. Oznake rizika, **R**

oznaka	opis
<b>R1</b>	Eksplozivno kada je na suvom
<b>R2</b>	Rizik od eksplozije pri udaru, trenju, plamenu ili izvoru vatre
<b>R3</b>	Veliki rizik od eksplozije pri udaru, trenju, plamenu ili izvoru vatre
<b>R4</b>	Gradi eksplozivna jedinjenja sa metalima
<b>R5</b>	Zagrevanje može izazvati eksploziju

Tabela 2. Oznake bezbednosti, **S**

oznaka	opis
<b>S1</b>	Čuvati pod ključem
<b>S2</b>	Čuvati van domašaja dece
<b>S3</b>	Čuvati na hladnom mestu
<b>S4</b>	Čuvati dalje od prostora u kome se boravi
<b>S5</b>	Sadržaj čuvati u ____ (odgovarajućoj tečnosti, određuje proizvođač)

Sudovi u kojima se čuvaju reagensi nazivaju se **reagens boce** (Slika 5.). Prave se od različitog materijala, ali najviše od hemijski otpornog stakla i plastičnih masa. Tečni reagensi čuvaju se u reagens bocama sa uskim grlom, a čvrsti u bocama sa širokim grlom. Za hemikalije osetljive na svetlost, reagens boce su od tamnog stakla (Slika 5.). Reagens boce moraju biti zatvorene staklenim, plutanim ili gumenim čepovima. Na reagens bocama mora biti nalepnica koja sadrži podatke o supstancama koje se u njima nalaze. Na nalepnice treba čitko i uočljivo napisati naziv ili formulu hemikalije koja je u reagens boci. Nikada se ne koriste hemikalije čija nalepnica nije jasno označena. Na nalepticama boca u kojima su rastvori mora biti i navedena koncentracija rastvora, a kod nekih i datum njihove pripreme. Kada se zalepi, nalepnicu treba premazati parafinom ili lakom radi zaštite. Reagens boce se čuvaju u posebnim ormarima. Drže se u određenom redu kako bi se brzo moglo naći ono što se traži. Tečne reagense treba odvojiti od čvrstih, i poređati i jedne i druge po azbučnom redu. Reagensi sa kojima se češće radi se nalaze na radnom stolu u laboratoriji. Dok se uzima reagens iz reagens boce, njen čep odlaže se na sto tako da njegova ravna (spoljašnja) površina leži na stolu, a unutrašnja (vlažna) bude okrenuta nagore. Višak uzetog reagensa nikad se ne vraća nazad u reagens bocu. Posle upotrebe reagens bocu odmah zatvoriti i vratiti na mesto.



Slika 5. Reagens boce

Čuvanju hemikalija treba pristupiti sa velikom pažnjom i odgovornošću. Hemikalije se čuvaju u posebnoj prostoriji – magacinu. Magacin mora da ima više odvojenih prostorija u zavisnosti od toga koja se grupa hemikalija skladišti. Hemikalije imaju specifična fizička i hemijska svojstva, na osnovu kojih se mogu svrstati u određene grupe (npr. isparljive, eksplozivne, korozivne i dr.). Skladištenje hemikalija se izvodi u zavisnosti od toga kojoj grupi data hemikalija pripada (*Tabela 3.*).

*Tabela 3. Grupe hemikalija*

GRUPA	OPIS
GRUPA 1	zapaljive supstance
GRUPA 2	isparljive toksične tečnosti
GRUPA 3	jake kiseline (jaki oksidansi)
GRUPA 4	organske i neorganske kiseline
GRUPA 5	tečne baze
GRUPA 6	tečni oksidansi
GRUPA 7	neisparljivi otrovi
GRUPA 8	hidridi metala
GRUPA 9	čvrste suve supstance (težina pakovanja, oznake upozorenja (oznake R))

U zavisnosti od grupe kojoj pripadaju, hemikalije se skladište u posebnim prostorijama ili u specijalnim ormarima i ormarima za samozapaljive hemikalije (*Slika 6.*).



*Slika 6. Načini skladištenja hemikalija*











Pravilnikom o klasifikaciji, pakovanju i označavanju **opasnih hemikalija**, definisano je kako se opasne hemikalije označavaju. Opasne hemikalije označavaju se određenim znakovima:

- znakovi opasnosti – **piktogrami** (simbolom i bojom)
- oznakama upozorenja ili rizika – **R (risk)** (*Tabela 1.*) i
- oznakama obaveštenja o merama predostrožnosti ili oznakama bezbednosti – **S (safe)** (*Tabela 2.*).

Grafički prikazi opasnosti (piktogrami) kvadratnog su oblika, a slikovni simboli na njima su crne boje na narandžastoj podlozi (*Tabela 4.*). Ovako izgledaju stari piktogrami.

Pisana upozorenja koja ukazuju na opasnost obavezna su i nalaze se ispod slikovnog simbola radi objašnjenja piktograma.

Tabela 4. Stari piktogrami










KLASE	PIKTOGRAM	ZNAČENJE	OZNAKA
Vrlo otrovna hemikalija		„Vrlo otrovno“	T <sup>+</sup>
Otrovna hemikalija		„Otrovno“	T
Štetna hemikalija		„Štetno“	Xn
Nagrizajuća hemikalija		„Nagrizajuće“	C
Nadražujuća hemikalija		„Nadražujuće“	Xi
Eksplzivna hemikalija		„Eksplzivno“	E
Oksidirajuća hemikalija		„Oksidirajuće“	O
Vrlo lako zapaljiva hemikalija		„Vrlo lako zapaljivo“	F <sup>+</sup>
Lako zapaljiva hemikalija		„Lako zapaljivo“	F
Hemikalija opasna po životnu sredinu		„Opasno po životnu sredinu“	N

Novi sistem za klasifikaciju i obeležavanje opasnih hemikalija u Evropskoj uniji u skladu je s Globalno harmonizovanim sistemom (GHS) Ujedinjenih nacija za označavanje opasnih hemikalija. **Novi piktogrami** su u obliku crvenog dijamanta s belom pozadinom (Tabela 5.), i oni će u potpunosti zameniti stare narandžaste kvadratne simbole koji su bili određeni u prethodnim propisima. Piktogrami se vidno označavaju na etiketi (Slika 7.).



Slika 7. Etiketa sa jasno istaknutim piktogramima

Tabela 5. Piktogrami opasnosti (GHS)

KLASE	PIKTOGRAM	ZNAČENJE	KATEGORIJE OPASNOSTI
Eksplozivna hemikalija <b>GHS01</b>		bomba koja eksplodira	<ul style="list-style-type: none"> <li>• eksplozivne</li> <li>• samoreagujuće</li> <li>• organski peroksidi</li> </ul>
Zapaljiva hemikalija <b>GHS02</b>		crn plamen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zipline</li> <li>• samoreagujuće</li> <li>• samozagravajuće</li> </ul>
Oksidirajuća hemikalija <b>GHS03</b>		plamen oko kruga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• oksidirajuće</li> </ul>
Gas pod pritiskom <b>GHS04</b>		položena crna boca	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gas pod pritiskom</li> </ul>
Korozivna hemikalija <b>GHS05</b>		epruvete s tečnošću koja se izliva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nagrizajuće za metale</li> <li>• nagrizajuće za kožu</li> <li>• teške povrede oka</li> </ul>
Akutna otrovnost <b>GHS06</b>		lobanja i ukrštene kosti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• akutna otrovnost 1–3</li> </ul>
Štetna hemikalija <b>GHS07</b>		crni znak uzvika	<ul style="list-style-type: none"> <li>• akutna otrovnost 4</li> <li>• iritirajuće za kožu i oči</li> <li>• toksičnost (otrovnost) za određeni organ</li> </ul>
Otrovna i štetna hemikalija <b>GHS08</b>		silueta ljudskog poprsja	<ul style="list-style-type: none"> <li>• senzibilizacija udisanjem</li> <li>• kancerogenost</li> <li>• mutagenost</li> <li>• teratogenost</li> <li>• toksičnost (otrovnost) za određeni organ</li> </ul>
Opasnost po životnu sredinu <b>GHS09</b>		mrtva riba uz drvo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• opasnost po životnu sredinu</li> </ul>

Prema zakonu o hemikalijama, **bezbednosni list** je dokument koji prati hemikaliju od proizvođača do krajnjeg potrošača (korisnika). Bezbednosni list sadrži podatke o hemikaliji, i to:



- identifikaciju hemikalije
- sastav
- opis štetnosti
- mere prve pomoći
- protivpožarne mere
- bezbednosne mere
- rukovanje i skladištenje
- zaštitne mere
- fizičke i hemijske osobine
- stabilnost i reaktivnost
- toksikološke podatke
- ekološke informacije
- bezbednosne mere pri odlaganju i pakovanju otpada
- informacije o transportu
- informacije o propisima
- i ostale podatke.



Slika 8. Pravilno pakovanje, obeležavanje i skladištenje hemijskog otpada

Pri izvođenju hemijskih ispitivanja javlja se **otpad**, kojim je neophodno pravilno rukovati i vršiti njegovo adekvatno skladištenje. Sa razvojem civilizacije otpad postaje sve veći problem. Sve hemikalije moraju da se odlažu u skladu sa zakonima i propisima (Slika 8.). Pri odlaganju hemijskog otpada, na posude u kojima se odlaže hemijski otpad, obavezno je napisati:

- datum odlaganja
- količinu otpada
- vrstu otpada i dr.

Iskorišćene hemikalije ne bacaju se u kantu za otpatke. Prazne kutije od hemikalija, kao i druge predmete, treba očistiti što je bolje moguće pre njihovog odlaganja, tako da više ne predstavljaju opasnost. Hemikalije koje više nisu potrebne (ostaci u čašama) odmah treba odlagati u posude za tu kategoriju supstanci. U suprotnom, može se desiti da se više ne zna sadržaj u posudama. U odvodne kanale i slivnike zabranjeno je bacanje hartije, vate, šibica, peska i drugih čvrstih predmeta, kao i izlivanje ostataka zapaljivih rastvarača reakcionih smeša, kiselina, baza, otrovnih i štetnih supstanci, viskoznih i lepljivih materija, kao i tečnosti neprijatnog mirisa. Pravilno razvrstavanje i odstranjivanje otpadnih hemikalija veoma je važno, kako sa stanovišta opšte bezbednosti, tako i zbog zaštite okoline od zagađivanja.

### 2.3. Međunarodni sistem mernih jedinica

Hemija je eksperimentalna nauka. Hemijski eksperiment zavisi od pažljivog odabira i upotrebe odgovarajućih laboratorijskih tehnika. Uspeh, kao i sigurnost u eksperimentalnom radu zavisiće od savladavanja osnovnih operacija. Budući da je svako merenje izvršeno u laboratoriji približna vrednost stvarnoj vrednosti, važno je da brojevi koji se beleže sadrže i tačnost uređaja koji se koristi za merenje.

Sistem težina i mera, metrički sistem, prvobitno se zasnivao uglavnom na osnovnim svojstvima jedne od najzastupljenijih supstanci na svetu, vode. Sistem je sažet u *Tabeli 6*. Konverzije unutar metričkog sistema su prilično jednostavne i nalaze se u *Tabeli 7*. Poređenje nekih uobičajenih SI, metričkih i engleskih jedinica prikazano je u *Tabeli 7*. Prevođenje jedinica u metričkom sistemu prilično je jednostavno ako se obrati pažnja na definiciju prefiksa.

*Tabela 6. Merne jedinice u metričkom sistemu*

Merenje	Jedinica i definicija
<b>masa ili težina</b>	gram (g) = masa jednog kubnog centimetra (cm <sup>3</sup> ) vode na 4°C i 101325 Pa masa = količina materijala težina = masa · gravitaciona sila
<b>dužina</b>	metar (m) = 100 cm = 1000 milimetara (mm)
<b>zapremina</b>	Litar (l) = zapremina jednog kilograma (kg) H <sub>2</sub> O na 4° C
<b>temperatura</b>	°C, merenje intenziteta toplote
<b>energija</b>	1 kalorija (cal), količina toplote potrebna za podizanje temperature 1 g vode za 1°C 1 cal = 4,184 džula (J)
<b>gustina</b>	d ili ρ, obično g/cm <sup>3</sup> , za tečnosti i g/l za gasove: d = masa/jedinica zapremine

*Tabela 7. Poređenje SI, metričkih i engleskih jedinica*

Fizička veličina	SI jedinica	Neke merne jedinice	Faktor konverzije
<b>dužina</b>	metar (m)	m, cm, mm, nm	1 m = 10 <sup>2</sup> cm 1 m = 39,37 in. 1 in. = 2,54 cm
<b>zapremina</b>	kubni metar (m <sup>3</sup> )	l, ml*, dl, μl	1 l = 10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> 1 l = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> 1 l = 10 <sup>6</sup> μl
<b>masa</b>	kilogram (kg)	g, mg, kg, t	1 kg = 10 <sup>3</sup> g 1 kg = 2,205 lb 1 lb = 453,6 g
<b>energija</b>	Džul (J)	cal	1 cal = 4,184 J
<b>temperatura</b>	Kelvin (K)	°C	0 K = - 273,15 °C

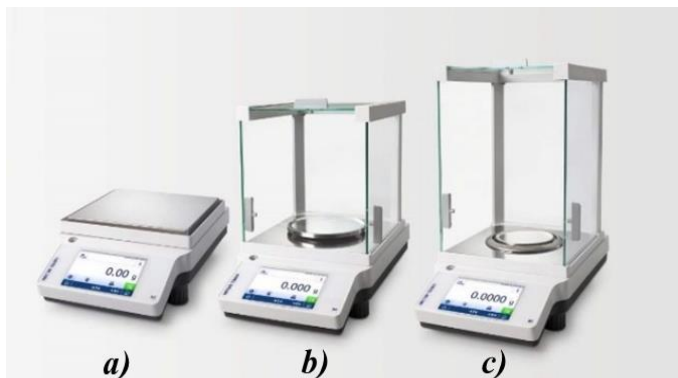
\*ml je iste zapremine kao kubni centimetar: 1 ml = 1 cm<sup>3</sup>

Od nedavno su naučnici počeli da koriste kraću verziju metričkog sistema jedinica u kojima su osnovne jedinice za dužinu, masu i vreme: metar, kilogram, sekunda (redom). Ovaj sistem jedinica, poznat kao **Međunarodni sistem jedinica**, obično se naziva **SI sistem** (*Prilog 3.*).

## 2.4. Laboratorijske operacije

### MERENJE MASE

Vaga je instrument za merenje mase i to je najčešće korišćen instrument u laboratoriji. Kod merenja mase, na bilo kom tipu vage, jako je važno da ona stoji na elektrostatički stabilnoj osnovi. U većim laboratorijama postoje posebne prostorije u kojima se nalaze samo vage (nema drugih instrumenata), a odgovarajućim uređajima se održavaju konstantnim: temperatura, pritisak i



Slika 9. Laboratorijske vage različite osetljivosti; a) tehnička, b) i c) analitičke

vlažnost vazduha. Postoje vage različitih tipova i modela i mogu se klasifikovati na više načina. Najvažnija podela je na osnovu tačnosti merenja (Slika 9.). Starije analitičke vage su imale dva tase (Slika 10.), dok su današnje vage uglavnom elektronske i sadrže samo jedan tas. Tačnost merenja (preciznost) je uvek naznačena na svakoj vagi. U laboratoriji su dostupne različite elektronske vage sa različitim stepenom osetljivosti. Važno je znati (čitajući eksperimentalni postupak) preciznost koja je potrebna za merenje mase, a zatim odabrati odgovarajuću vagu, jer to može uštedeti vreme tokom analize podataka. Pravila kojih se treba pridržavati prilikom merenja:

- Svaka vaga ima libelu, pa je neophodno proveriti pre početka merenja da li je vaga u horizontalnom položaju. Ako nije, podešava se zavrtanjem nožica.
- Tasovi se uvek ostavljaju prazni, ali pre podešavanja nule treba proveriti da li je zaista tako.
- Supstance se mere na sahatnom staklu, u nekoj laboratorijskoj posudi, ali nikada direktno na tasu. Pored toga, strogo se mora voditi računa o tome da supstance ne prskaju okolo po površini vage. Posude koje se koriste za merenje moraju biti potpuno čiste, hladne i suve.
- Svaka vaga ima svoj kapacitet koji može da meri, pa je jako važno da se na osnovu toga donese odluka o izboru vage, koja najviše odgovara za merenje. Ne sme da se prekorači maksimalni kapacitet vage.
- Ako se u okviru istog eksperimenta meri više puta, važno je da se uvek koristi jedna ista vaga. Poželjno je da ista osoba svaki put meri u toku jednog eksperimenta. Na taj način greška merenja se svodi na minimum.
- Ako se koriste tegovi za odmeravanje, oni se isključivo uzimaju i vraćaju pincetom.



Slika 10. Stariji tip analitičke vage



- U prostoriji za merenje, u toku samog merenja, poželjno je da se nalazi samo osoba koja meri.
- Supstanca koja se odmerava, dodaje se u posudu za odmeravanje, tek onda kada smo proverili da su tasovi zakočeni.
- Poželjno je da se supstanca presipa, ako je to moguće, da bi se izbeglo onečišćenje unošenjem posuđa (kašičica, špatula i sl.) u reagens bocu.

Merenje mase uzorka može se izvršiti na dva načina. Odmerena masa će biti ista bez obzira na odabranu metodu.

- I.** Po **tradicionalnoj metodi**, prvo se meri i beleži masa papira za merenje, sahatnog stakla ili čiste suve posude. Uzorak se zatim stavlja na papir za vaganje ili u posudu i meri se ukupna masa. Masa papira ili posude za vaganje se zatim oduzima od ukupne mase da bi se dobila masa uzorka.
- II.** Na **savremenim** elektronskim vagama, masa papira za vaganje ili posude se može oduzeti direktno u toku merenja, tj. vaga se može nulirati (tarirati) nakon postavljanja papira za vaganje ili posude na vagu, čime se njegova masa odmah oduzima (automatski). Uzorak se zatim stavlja na papir za vaganje ili u posudu, a očitavanje na vagi predstavlja masu uzorka.

### **Eksperiment 1. Merenje mase uzorka**

#### Pribor:

- analitička ili tehnička vaga
- laboratorijski predmet

#### Eksperimentalni postupak:

Izmeriti i zabeležiti masu laboratorijske čaše ili nekog drugog laboratorijskog predmeta koji je dostupan na radnoj površini.

- Zapisati masu izmerenog predmeta. \_\_\_\_\_
- Opisati način merenja mase. \_\_\_\_\_
- Koji je tip korišćene vage? \_\_\_\_\_
- Napisati kolika je nosivost korišćene vage? \_\_\_\_\_
- Napisati kolika je greška merenja? \_\_\_\_\_
- Skicirati izmereni predmet.

**Eksperiment 2. Merenje na elektronskoj (automatskoj) tehničkoj vagi**Pribor:

- sahatno staklo,
- kašičica ili špatula

Hemikalije:

- čvrsta supstanca NaCl

Eksperimentalni postupak:

Na vagi izmeriti masu praznog i suvog sahatnog stakla,  $m_1$ . Zadatak je izmeriti \_\_\_\_\_ g NaCl. Sabiranjem mase NaCl i praznog sahatnog stakla dobija se masa  $m_2$  ( $m_2 = m_1 +$  \_\_\_\_\_ g). Suvom špatulom ili kašičicom uzimati iz reagens boce male porcije NaCl i prenositi na sahatno staklo na vagi dok se ne postigne masa  $m_2$ . Prilikom merenja, uzimati male količine supstance jer nije poželjno supstancu vraćati u bocu (ako je moguće presipati supstancu iz reagens bočice). Izmeriti istu masu NaCl savremenom metodom anuliranja.

- Kolika je tačnost korišćene vage? \_\_\_\_\_
- Koliki je kapacitet korišćene vage? \_\_\_\_\_

**MERENJE TEMPERATURE**

U laboratoriji se za merenje temperature koristi **termometar**. U upotrebi su živini termometri koji su u novije vreme zamenjeni alkoholnim termometrima. Proizvode se u više oblika (*Slika 11.*) običan termometar (2,3), pored njega koristi se i termometar sa pločastom skalom (3,4). Skala kod većine termometara je u Celzijusovim stepenima (mada se mogu naći i oni sa Kelvinovim stepenima). Veza između ove dve skale data je jednačinom:  $T = 273,15 + t$ , gde  $t$  predstavlja temperaturu u  $^{\circ}\text{C}$ , a  $T$  temperaturu u K stepenima.



*Slika 11. Tipovi termometara*

Za merenje malih temperaturnih razlika sa velikom tačnošću koristi se Bekmanov termometar (1) koji ima živin rezervoar sa uzanom kapilarnom. Termometri sa živom se koriste u temperaturnom intervalu od  $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $357\text{ }^{\circ}\text{C}$  (tačke mržnjenja i ključanja žive). Za više temperature koriste se optički piknometri i bimetalni termometri (4).

### Eksperiment 3. Merenje temperature uzorka

Pribor:

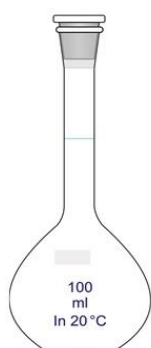
- termometar
- laboratorijska čaša sa rastvorom.

Eksperimentalni postupak:

Uranjanjem termometra u ispitivani rastvor izmeriti i zabeležiti temperaturu rastvora koji se nalazi u laboratorijskoj čaši, a koji je dostupan na radnoj površini.

- Napisati izmerenu temperaturu izraženu u Celzijusovim i Kelvinovim stepenima (t i T). \_\_\_\_\_
- Koji je tip korišćenog termometra? \_\_\_\_\_
- Skicirati korišćenu aparaturu.

### MERENJE ZAPREMINE



ODMERNI  
SUD

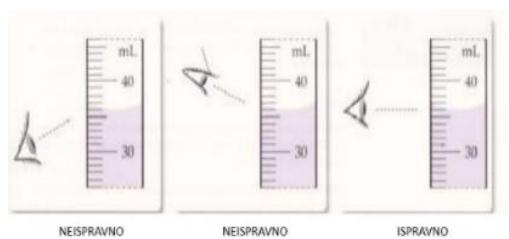


MENZURE

U hemijskoj laboratoriji se za tačna merenja zapremine upotrebljavaju; menzure, odmerni sudovi, birete, pipete sa propipetom i automatske pipete. Staklene pipete mogu biti različitih zapremina, mogu biti graduisane i trbušaste. Sav stakleni pribor izrađuje se od stabilnog i hemijski otpornog stakla. Po međunarodnom dogovoru svo analitičko posuđe se baždari na 20 °C. Na svakoj laboratorijskoj posudi je označena zapremina i temperatura pri kojoj je posuda baždarena (kalibrisana).

Slika 12. Laboratorijsko posuđe za merenje zapremine

**Odmerni sud** (tikvica ili normalni sud) (Slika 12.) je graduisan sud sa uskim grlom i koristi se za pripremanje rastvora određene molarne koncentracije. Supstanca čvrstog agregatnog stanja se prvo rastvara u

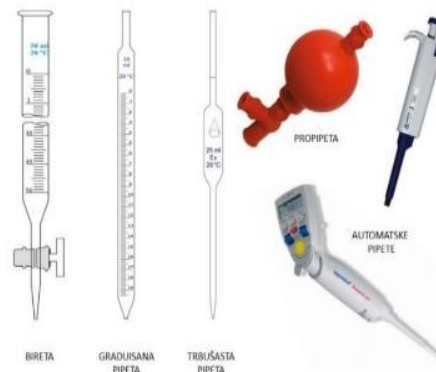


Slika 13. Pravilno merenje zapremine

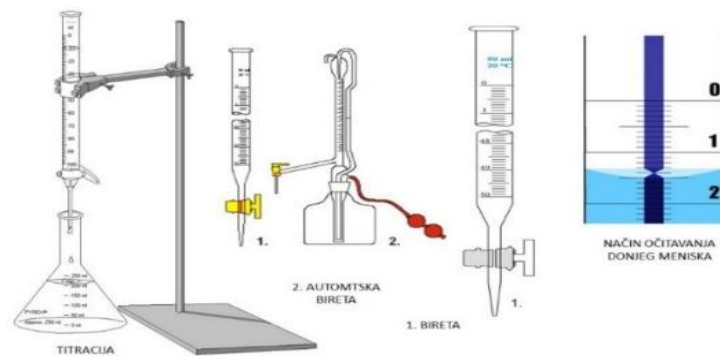
reakcija.

**Menzure** su cilindrični uglavnom stakleni sudovi različite zapremine (od 1 do 1000 cm<sup>3</sup>). Služe za odmeravanje zapremine tečnosti. Zapremina se očitava tako što donji menisk tečnosti treba da bude u nivou oka (Slika 13.).

**Pipeta** je baždarena cev kojom se odmerava tačno određena zapremina tečnosti (Slika 14.). Sa graduisanom pipetom mogu se odmeravati različite zapremine, dok se sa trbušastom odmerava tačno određena zapremina. Prilikom pipetiranja tečnost se uvlači u pipetu uz pomoć propipete. Toksične i isparljive supstance se najčešće pipetiraju klipnom pipetom ili automatskom pipetom.



Slika 14. Različite vrste pipeta

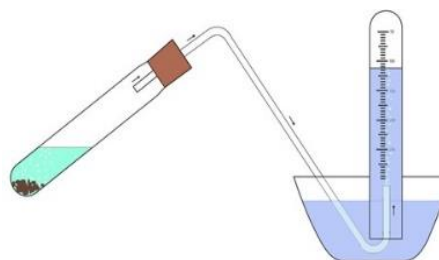


Slika 15. Birete

), kao i automatske birete (Slika 15.). One su graduisane odozgo (0) na dole (5, 10, 25, 50 cm<sup>3</sup>) radi lakšeg očitavanja zapremine (jer se iz njih ispušta tečnost).

Merenje zapremine gasova vrši se u eudiometru. **Eudiometar** se prethodno ispuni tečnošću koja je inertna prema gasu čija se zapremina meri (Slika 16.). Uvođenjem, gas istiskuje tečnost i direktno se može očitati njegova zapremina.

Merenje tečnosti je rutinska operacija u laboratoriji. Stoga su volumetrijski instrumenti, kao što su normalni sudovi, trbušaste pipete, graduisane pipete, graduisane menzure i birete standardna oprema za precizna (tačna) merenja, napravljena od stakla ili plastike. Dobavljači nude volumetrijske instrumente različitog kvaliteta. Merne čaše, laboratorijske čaše,



Slika 16. Eudiometar

Erlenmajerove tikvice, levkovi za odvajanje i slično posuđe nisu volumetrijski instrument i mogu se koristiti samo za gruba merenja, jer nisu precizno kalibrisani.

Kako bi se zadovoljili sve veći zahtevi za volumetrijskim merenjima u laboratoriji, kao što je serijsko testiranje, stalno se razvijaju novi uređaji za doziranje, pipetiranje i titrovanje. Proizvođači su dizajnirali različite instrumente za određene svrhe merenja i svi rade po sličnom funkcionalnom principu.

**Automatske pipete (mikropipete)**, prikazane na Slikama 17 i 18, komercijalno su dostupne u različitim veličinama; neke mogu da mere samo fiksnu zapreminu dok su druge podesive u datom opsegu. Uobičajene zapremine automatskih pipeta u analitičkoj laboratoriji su 5  $\mu$ l do 2000  $\mu$ l. One koriste plastične nastavke za jednokratnu upotrebu. Da bi se sprečilo zagađenje ovih nastavaka, unosi se čista pipeta (ne rukom) u kesu u kojoj se nalaze vrhovi, a rukom sa spoljne strane kese se pričvrsti vrh na odgovarajuće mesto. Kada je vrh za jednokratnu upotrebu pričvršćen, automatska pipeta je spremna za upotrebu. Odmeravanje se vrši na sledeći način: pritisnuti dugme na vrhu pipete do prvog položaja za zaustavljanje i uroniti vrh plastičnog nastavka u rastvor koji se odmerava; otpustiti dugme da klip pipete



Slika 17. Automatska pipeta za bocom

povuče rastvor, a zatim ukloniti pipetu; staviti vrh plastičnog nastavka u prijemnu posudu, a zatim pritisnuti dugme na vrhu pipete do drugog položaja; pritiskom na prvo zaustavljanje izbacuje se većina odmerenog rastvora,



Slika 18. Tipovi automatskih pipeta

dok drugi graničnik „izbacuje“ preostali rastvor. Neke pipete imaju treći položaj zaustavljanja koji izbacuje vrh (plastični nastavak). Fiksne automatske pipete su preciznije od podesivih. Tipične vrednosti za tačnost i preciznost date su za automatske pipete marke Eppendorf™ u Tabeli 8.

Tabela 8. Korisni opseg radne zapremine za različite pipete

Maksimalna zapremina [cm <sup>3</sup> ]	Opseg [cm <sup>3</sup> ]
1000	200 - 1000
200	20 - 200
100	10 - 100
20	2 - 20
10	0,5 - 10



Slika 19. Pravilno sipanje tečnosti

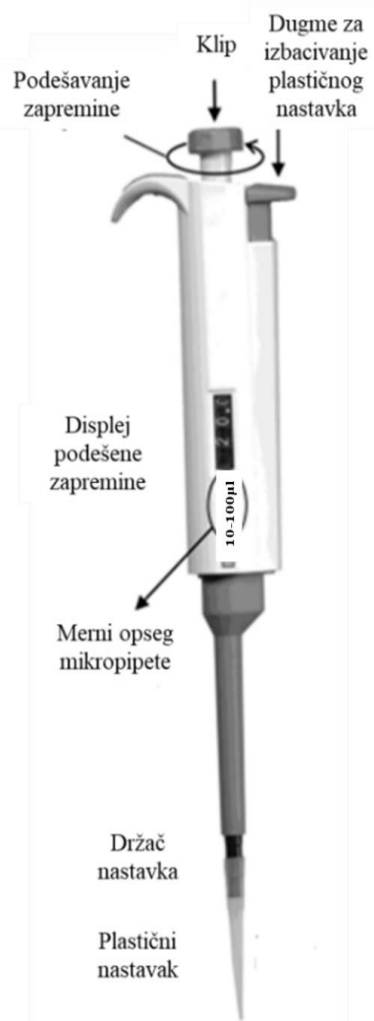
**Prenošenje tečnosti i pipetiranje** su najčešće korišćene laboratorijske operacije i vrlo je značajno sprovesti ih pravilno (Slika 19.). Pre nego što se počne sa prenošenjem tečnosti neophodno je i obavezno pročitati etiketu na sudu u kome se ona nalazi. Kada se želi preneti tečnost iz reagens boce, skine se stakleni čep i drži se između prstiju ruke koja se koristi za hvatanje bočice. Nikada se ne stavlja stakleni čep na laboratorijski sto, jer mogu nečistoće vraćanjem čepa kontaminirati tečnost. Ako boca sa tečnošću ima navojni

zatvarač, postavi se gornja strana nadole na laboratorijski sto. Za prenošenje tečnosti iz jedne posude u drugu koristiti se stakleni štapić na način koji je prikazan na slici. Ne prenositi više tečnosti nego što je potrebno za eksperiment.

**Ne vraćati višak ili neiskorišćenu tečnost u bočicu sa reagensom.**

**Automatske mikropipete** („pipete“) služe za jednostavno i precizno pipetiranje malih količina vodenih rastvora (od 1  $\mu$ l do 1 ml). Iako se i rutinski koriste u svakodnevnom radu u raznim laboratorijama (biohemijским, biološkim, medicinskim, dijagnostičkim, forenzičkim), mogu se lako pokvariti nestručnim rukovanjem, pa je potrebno biti pažljiv prilikom njihove upotrebe. Nekoliko jednostavnih **pravila** za rukovanje pipetom (Slika 20.):

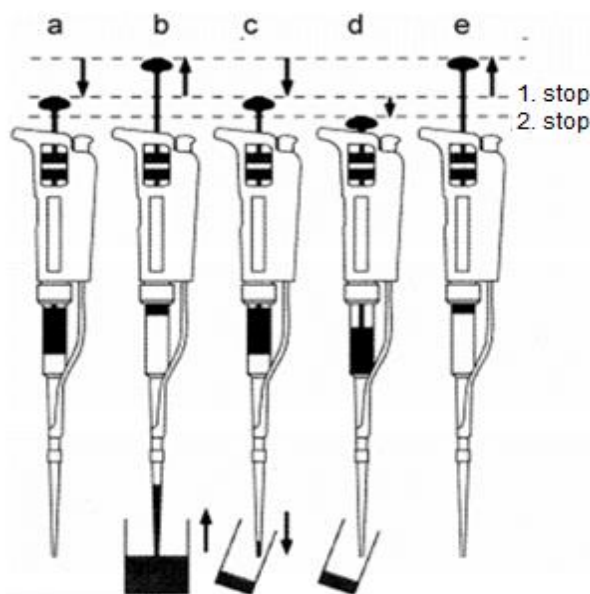
- 1) Utvrditi da li zapremina rastvora koja se namerava pipetirati odgovara radnom opsegu automatske pipete (Tabela 8.).
- 2) Proučiti podelu na skali automatske pipete, odnosno šta pokazuju pojedini delovi skale.
- 3) Podesiti željenu zapreminu okretanjem klipa (Slika 20). Nikada se ne sme zadati veća vrednost od maksimalne zapremine koju može da meri automatska pipeta. Takođe, ne pokušavati „odvrtanje“ pipete do nule.
- 4) Pre pipetiranja staviti odgovarajući plastični nastavak na pipetu (Slika 21.). Pri tome ne koristiti prekomernu silu jer se tako može slomiti pipeta.
- 5) Lagano pritisnuti klip da se ukloni vazduh iz cevi sve dok se ne oseti blagi otpor („stop“) - to znači da je pritisnut klip na podešenu zapreminu. Vazduh se izbacuje sve dok se pipeta ne uroni u rastvor (Slika 21.).



Slika 20. Automatska pipeta



- 6) Uroniti plastični vrh u rastvor i polako otpustiti klip da bi se uvukao uzorak u nastavak.



Slika 21. Postupak pipetiranja. Pritisnuti klip do prvog graničnika (a), uroniti nastavak u uzorak (b) i malo otpustiti klip. Nasloniti nastavak na zid druge posude (c) i stisnuti klip do kraja (d). Otpustiti klip kada je nastavak van uzorka (e).

Pipetirati u visini očiju, držeći pipetu uspravno i paziti da uzorak ravnomerno uđe u nastavak tokom pipetiranja.

7) Prilikom ispuštanja uzorka, nasloniti vrh plastičnog nastavka na zid posude i polako potisnuti klip do kraja, preko „graničnika“, da potpuno istisne pipetiranu zapreminu. Ukloniti plastični nastavak iz uzorka pre nego što se ponovo otpusti klip.

8) Nakon pipetiranja skinuti upotrebljeni nastavak i odložiti ga na za to predviđeno mesto u laboratoriji.

9) Automatske pipete se po pravilu čuvaju u uspravnom položaju, na odgovarajućim stalcima.

### Važne napomene:

- Tečnost nikada ne sme da prodre u telo automatske pipete. To bi dovelo do kontaminiranja pipete, narušavanja preciznosti, otežavanja pipetiranja, izazvanja korozije i na kraju potpunog uništenja automatske pipete. Paziti da se ne uvuče tečnost u pipetu nepravilnim pipetiranjem. **Ako se kojim slučajem uvuče tečnost u automatsku pipetu, odmah obavestiti odgovornu osobu!**
- Automatska pipeta uvek je okrenuta na dole, posebno tokom pipetiranja, odnosno dok u plastičnom nastavku ima tečnosti. **Ne ostavljati pipetu u vodoravnom položaju dok u plastičnom vrhu ima tečnosti!**
- Ne smeju se pipetirati različite tečnosti istim vrhom! **Zaprljaće se uzorak!**
- Automatske pipete su krhke! Mora se voditi računa da se ne ispuste i nikada se ne ostavljaju na ivici stola! Nakon upotrebe ne ostavljaju se na radnim površinama ili ispod drugih stvari, već se vraćaju na svoje mesto!

## Eksperiment 4. Merenje zapremine uzorka

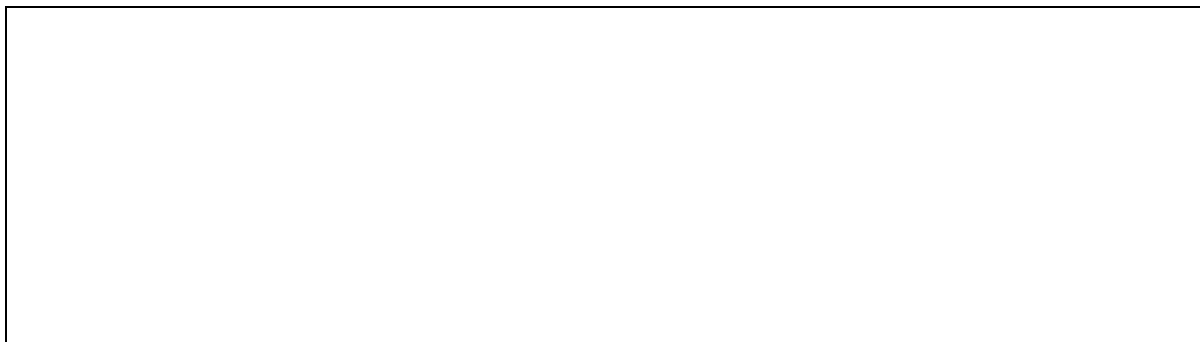
### Pribor:

- menzura
- pipeta
- automatska pipeta
- laboratorijska čaša sa ispitivanom supstancom

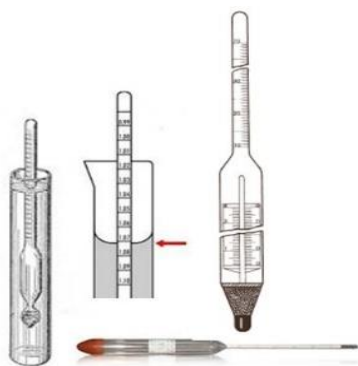
### Eksperimentalni postupak:

Izmeriti i zabeležiti zapreminu zadate analizirane supstance koja se nalazi u laboratorijskoj čaši koja je dostupna na radnoj površini.

- Zapisati zapreminu izmerene tečnosti. \_\_\_\_\_
- Opisati način merenja zapremine? \_\_\_\_\_
- Pomoću kog laboratorijskog suda je merena zapremina? \_\_\_\_\_
- Skicirati korišćenu aparaturu.



## MERENJE GUSTINE



Slika 22. Aerometar

Merenje gustine tečnosti određuje se najčešće **areometrom** (Slika 22.). To je tanka staklena cev sa proširenim i opterećenim donjim krajem (olovnim kuglicama), da bi se obezbedio vertikalni položaj. Kalibriše se uranjanjem u tečnost poznate gustine. Pored toga, neophodno je da tečnost čija se gustina određuje bude na istoj temperaturi na kojoj je baždaren areometar. Poželjno je znati približnu gustinu tečnosti (Tabela 9.), kako bi se odabrao najpogodniji areometar.

Tabela 9. Zavisnost gustine vode od temperature

T/ °C	30	20	10	0	-10	-20	-30
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	0,9957	0,9982	0,9997	0,9998	0,9982	0,9935	0,9830

Vrednosti ispod 0 °C odnose se na rashlađenu vodu (ne na led).



Kada se određuje gustina neke nepoznate tečnosti, tada se areometar uroni u tečnost. Jako je važno da se areometar oprezno spusti u tečnost i da u njoj pliva. Zato je najpogodnije nepoznate tečnosti sipati u menzure od 500 - 1000 cm<sup>3</sup>. U zavisnosti od gustine ispitivane tečnosti, areometar tone više ili manje, dok se masa istisnute tečnosti ne izjednači sa masom areometra (*Slika 22,*). Kada se stabilizuje, očita se gustina na mestu gde se površina tečnosti seče sa skalom areometra.

Gustina čvrstih supstanci se meri tako što se najpre izmeri masa supstance, a nakon toga odredi njena zapremina nekom od metoda. Količnik ove dve vrednosti je gustina nepoznate čvrste supstance. Za merenje zapremine se koristi **piknometar** koji je napunjen tečnošću koja ima manju gustinu od čvrste supstance (*Slika 23.*). Tako napunjenom piknometru se izmeri masa, a zatim se u njega sipa sprášena čvrsta supstanca. Zapremina tečnosti koja je istisnuta je upravo jednaka zapremini ispitivane supstance.



*Slika 23. Piknometar*

### **Eksperiment 5. Merenje gustine uzorka**

#### Pribor:

- areometar
- menzura sa rastvorom ispitivane supstance

#### Eksperimentalni postupak:

Izmeriti i zabeležiti gustinu zadate analizirane supstance koja se nalazi u menzuri koja je dostupna na radnoj površini.

- Zapisati gustinu supstance. \_\_\_\_\_
- Opisati postupak merenja gustine. \_\_\_\_\_
- Skicirati korišćenu aparaturu.

**Eksperiment 6. Određivanje gustine CO<sub>2</sub> (ugljenik(IV)-oksida) prema vazduhu**Pribor:

- Kipov aparat
- plastična ili staklena posuda sa zapušačem
- tehnička vaga
- šibica

Eksperimentalni postupak:

Na tehničkoj vagi odmeriti masu suve posude sa zapušačem,  $m_1$ . Nakon merenja, otvoriti posudu i u nju uvesti gas iz **Kipovog aparata** koji je prečišćen provođenjem kroz ispiralice sa destilovanom vodom i sumpornom kiselinom. Gas se uvodi 5 minuta cevčicom koja dopire do dna posude. Paljenjem drvceta šibice povremeno proveravati da li je gas ispunio posudu. Ako se na vrhu posude gasi plamen sa drvceta, posuda je napunjena gasom i može se zatvoriti zapušačem, u protivnom se nastavlja sa uvođenjem gasa. Ako je posuda napunjena, izmeriti masu napunjene i zatvorene posude na tehničkoj vagi,  $m_2$ . Nakon merenja mase posude sa gasom, u istu posudu treba uliti vodu kako bi se odredila zapremina korišćene posude. Kada se posuda napuni vodom, celokupna količina se presipa u menzuru i na taj način dobija podatak o zapremini,  $V$ . U laboratoriji se nalazi barometar sa koga se očitava atmosferski pritisak,  $p$ , a sa termometra podatak o temperaturi na kojoj je vršeno merenje,  $t$ . Kada se završe sva neophodna merenja, korišćenjem jednačine idealnog gasnog stanja može se odrediti gustina gasa.

- Izračunati gustinu CO<sub>2</sub> prema vazduhu. \_\_\_\_\_
- Objasniti princip rada Kipovog aparata. \_\_\_\_\_
- Skicirati korišćenu aparaturu.

Proračun:

$m_1$  (masa zatvorene posude sa vazduhom) = \_\_\_\_\_

$m_2$  (masa zatvorene posude sa CO<sub>2</sub>) = \_\_\_\_\_

$V$  (zapremina boce) = \_\_\_\_\_

$p$  (atmosferski pritisak u laboratoriji) = \_\_\_\_\_

$t$  (temperatura u laboratoriji) = \_\_\_\_\_

$$pV = nRT$$

Ako uzmemo da je  $n_1 = n_2$ , i da je vrednost relativne gasne konstante  $R = 8,314 \text{ J/K}\cdot\text{mol}$  dobijamo sledeći izraz:

$$p_1 V_1 / T_1 = p_2 V_2 / T_2$$

ako se normalni uslovi označe sa indeksom 0, može se izračunati zapremina vazduha u boci:

$$p_0 V_0 / T_0 = pV / T$$

$$V_0 = pVT_0 / T = \underline{\hspace{2cm}}$$

Masa vazduha koji se nalazi u korišćenju boci:

$$m_3 = 29 \cdot V_0 / 22,4 = \underline{\hspace{2cm}}$$

Masa ispitivanog gasa:

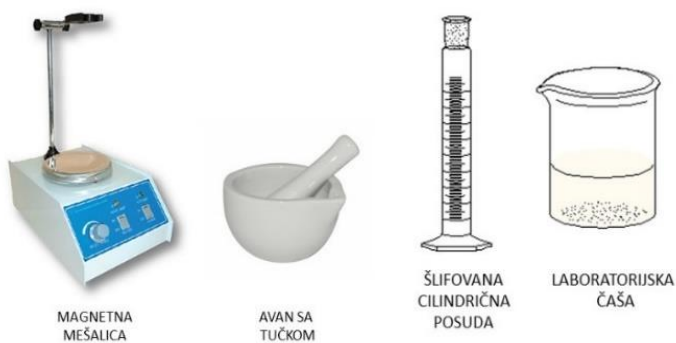
$$m_4 = m_2 - m_1 - m_3 = \underline{\hspace{2cm}}$$

Gustina gasa:

$$D_{(\text{vazduh})} = m_4 / m_3 = \underline{\hspace{2cm}}$$

## RASTVARANJE, MEŠANJE I USITNJAVANJE

**Rastvaranje** je proces koji se odvija na dodirnoj površini između rastvarača i rastvorene supstance. Što je ta površina veća, rastvaranje se odvija brže. U ove svrhe se u



Slika 24. Oprema za mešanje tečnih i čvrstih supstanci

laboratoriji najčešće koristi laboratorijska čaša i stakleni štapić. Ako smesu treba duže mućkati da bi se postiglo bolje rastvaranje koriste se šlifovane cilindrične posude. Tokom mućkanja posudu treba povremeno otvarati da bi se izjednačio pritisak u posudi sa atmosferskim.

Kontinualno mešanje tečnosti se u laboratoriji najlakše postiže

**magnetnim mešalicama** koje najčešće mogu i da greju rastvor prilikom mešanja (Slika 24.). Čvrste supstance se najčešće mešaju u avanu koji se koristi i za usitnjavanje supstanci (sprašivanje). U te svrhe se još koriste i mlinovi sa kuglama.

## DEKANTOVANJE ili ODLIVANJE

Dekantovanje ili odlivanje je grubo odvajanje tečnosti od čvrste supstance. Rastvor se ostavi da stoji neko vreme dok se ne formiraju dva sloja: talog i bistar rastvor iznad taloga. Odlivanjem tečnosti se postiže odvajanje tečne od čvrste faze (*Slika 25.*). Obično dekantovanje prethodi ceđenju.

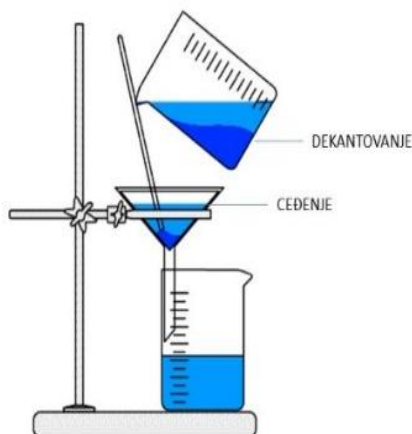
## TALOŽENJE

Postupak izdvajanja nove faze iz homogenog rastvora (najčešće čvrste) je proces koji se naziva **taloženje**. Takav proces se može nazvati i **precipitacija**, a nekada se koristi i termin **sedimentacija**. Sedimentacija je mehaničko taloženje čvrstih supstanci raspršenih u suspenziji delovanjem gravitacije, centrifugalne ili elektromagnetne sile. Taloženje se može izazvati na više načina:

- promenom koncentracije rastvorene supstance (njenim povećanjem),
- promenom temperature,
- promenom pH-vrednosti rastvora,
- dodatkom drugih supstanci (zajednički jon, hemijska reakcija).

Do taloženja dolazi u momentu kada dođe do prekoračenja vrednosti proizvoda rastvorljivosti. Dodatkom čvrste supstance u zasićen rastvor izazvaće se taloženje prekoračenjem rastvorljivosti. Rastvorljivost zavisi od temperature i kod većine supstanci (vodeni rastvori) ona se povećava sa porastom temperature. Promena pH vrednosti nekih rastvora takođe može dovesti do taloženja. Najčešće se talog stvara hemijskom reakcijom u rastvoru u kojem od dve ili više rastvornih supstanci nastaje minimum jedna koja je u rastvoru nerastvorna, koja se taloži. Ako se npr. pomeša rastvor barijum-hlorida sa rastvorom natrijum-sulfata, taloži se nerastvorljiv barijum-sulfat, a u rastvoru ostaje rastvorljiv natrijum-hlorid. Taložne reakcije se često primenjuju u hemijskoj tehnici za razdvajanje supstanci različite rastvorljivosti, u pripremi pitke vode i prečišćavanju otpadnih voda, dok je u kvantitativnoj hemijskoj analizi temelj gravimetrije i taložnih titracija. Najjednostavniji način za odvajanje taloga od tečne faze je **dekantovanje ili odlivanje**. Ukoliko je potrebno preciznije odvajanje taloga koristi se **ceđenje** ili **centrifugiranje**. Rastvor gde su čestice rastvorene supstance vidljive u rastvoru naziva se koloidni rastvor. Kod takvih rastvora odvajanje čvrste supstance od rastvora može se postići centrifugiranjem.

## CEĐENJE ili FILTRIRANJE

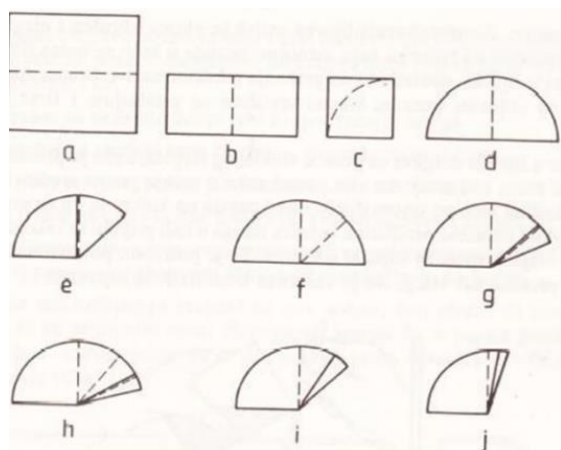


Slika 25. Aparatura za ceđenje

**Filtriranje** je jedan od uobičajenih postupaka u hemijskim laboratorijama (Slika 25.), industriji, pa čak i u domaćinstvu. Koristi se za odvajanje komponenti heterogenih smeša koje se sastoje od čvrste i tečne faze (suspenzija). To je proces odvajanja čvrste supstance od tečnosti pomoću filtera koji mogu biti napravljeni od papira, stakla, porcelana, staklene vune, peska. U hemijskoj laboratoriji najčešće se koriste filter papiri, koji mogu biti različite veličine pora (gustine, poroznosti). Kako bi se lakše razlikovao po veličini pora, filter papir se označava sledećim oznakama:

- I. **Crna traka:** visoka transparentnost, za želatinozne taloge.
- II. **Bela traka:** srednje poroznosti, za kristalne taloge i veće čestice sedimenata.
- III. **Plava traka:** niska transparentnost, za kristalne taloge i vrlo male čestice.
- IV. **Zelena traka:** niska poroznost, kristali vrlo sitnog zrna.

Za uspešno filtriranje, čestice taloga moraju biti veće od pora na filter papiru. Ako su čvrste čestice približno jednake veličini pora filter-papira, filtriranje će biti teško jer će čestice ući u pore i začepiti ih ili proći kroz njih, pa će filtrat biti zamućen.



Slika 26 Redosled presavijanja filter papira za levak za filtriranje

Papir za filtriranje se koristi savijen na dva načina:

- kao običan ili ravan filter papir
- kao naborani filter papir.

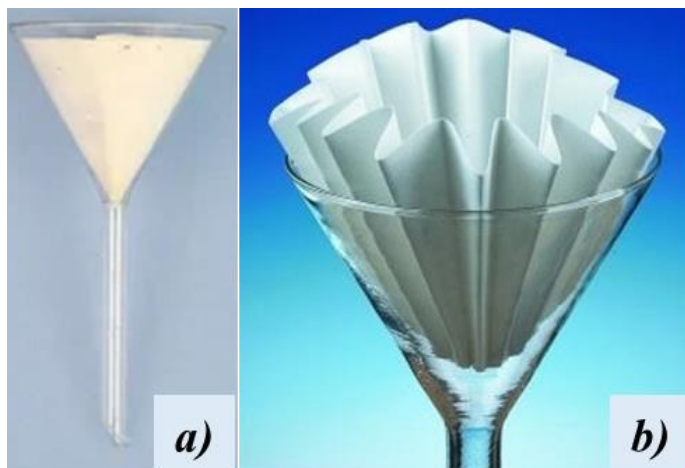
Običan ili ravan filter papir se koristi na način kako je prikazano na Slici 26. Presavijeni filter papir u obliku fišeka se stavlja u levak, navlaži destilovanom vodom i lagano zalepi za zid levka.

Veličina levka i filter papira bira se u zavisnosti od količine rastvora i taloga koji se filtrira. Talog ne sme da dosegne više od  $1/3$  visine filter papira. Visina filter papira treba da bude 3 do 5 mm ispod ivice levka. Ravno

postavljen filter papir koristi se kada je potreban talog nakon filtriranja. U slučajevima kada je potreban samo filtrat, koristi se naborani filter papir. Prilikom pripreme ovog filter papira treba voditi računa da se svi nabori ne završavaju strogo u sredini papira i da se nabori ne savijaju previše oštro. Kompozitni filter papir se širi u levak za filtriranje. Najčešće se koristi za toplu filtraciju. Ivica naboranog filter papira mora uvek biti nekoliko mm viša od ivice levka (Slika 27.).

Dostupne su različite vrste filter papira. Generalno, papirni filteri se dele na kvalitativne i kvantitativne. Unutar obe ove vrste postoji niz poroznosti što ih čini primenjivim za upotrebu sa talozima u rasponu od finih do grubih filter papira. Jednom kada se na papiru formira talog, uticaće na efikasnost veličine pora, obično usporavajući brzinu filtriranja. **Kvalitativni filter papir** se obično koristi za brzo filtriranje radi zadržavanja taloga ili uklanjanja čvrstih nečistoća iz rastvora. Kada je potrebno zadržati talog, papir sa talogom se osuši, a zatim skida talog sa papira. Pri tome se javlja izvesna greška i to se mora uzeti u obzir prilikom računanja prinosa.

**Kvantitativni filter papiri** se koriste za zadržavanje taloga koji se moraju precizno izmeriti, uglavnom u analitičkim uslovima. Kvantitativni filtrirani papiri su sitnije poroznosti kako bi zadržali maksimalnu količinu taloga. Ovaj filter papir se uklanja iz taloga spaljivanjem pre vaganja taloga. Proizvedeni su tako da prilikom paljenja izgore ostavljajući manje od 0,1 mg ostataka ili pepela. Prosečna masa pepela koja ostane nakon sagorevanja navodi se na pakovanju filter papira.



Slika 27. Položaj a) običnog i b) naboranog filter papira u odnosu na levak.

## Eksperiment 7. Filtriranje

### Pribor:

- vodeno kupatilo
- levak sa filter papirom
- stakleni štapić
- špric boca
- stalak sa epruvetama

### Hemikalije:

- razblažen rastvor KI
- razblažen rastvor  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

### Eksperimentalni postupak:

Sipati 1 - 2  $\text{cm}^3$  rastvora olovo(II)-nitrata u epruvetu i dodati približno jednaku zapreminu kalijum-jodida. Promućkati epruvetu i staviti je na stalak za epruvete. Obratiti pažnju na uočene promene. Epruvetu zatim zagrejati na vodenom kupatilu dok se jasno ne odvoji talog. Pripremiti aparaturu za filtriranje (Slika 25), a zatim filter papir u levku nakvasiti destilovanom vodom. Promešati sadržaj epruvete i sipati ga polako niz stakleni štapić na filter papir, pazeći pritom da se ne ošteti filter papir.

- Nabrojati sve laboratorijske operacije koje su korišćene u ovom eksperimentu.

- Skicirati korišćenu aparaturu.

---

### **Eksperiment 8. Taloženje i ceđenje**

#### Pribor:

- laboratorijska čaša od 50 cm<sup>3</sup>
- menzura od 10 cm<sup>3</sup>
- graduisana pipeta od 5 cm<sup>3</sup>
- stakleni štapić
- kašičica ili špatula

#### Hemikalije:

- razblažen rastvor AgNO<sub>3</sub>
- čvrsta supstanca NaCl

#### Eksperimentalni postupak:

U laboratorijsku čašu preneti prethodno odmerenu zadatu masu natrijum-hlorida sa sahatnog stakla ( $m = \underline{\hspace{2cm}}$ ). Menzutom odmeriti 10 cm<sup>3</sup> destilovane vode i njom isprati eventualne ostatke soli sa sahatnog stakla i presuti u čašu. Staklenim štapićem mešati sadržaj u čaši dok se NaCl potpuno ne rastvori. Nakon toga izmeriti pipetom 3,5 cm<sup>3</sup> srebro-nitrata i sipati u čašu. Uočiti izdvajanje belog taloga srebro-hlorida, AgCl. Talog procediti kroz dostupnu filter-hartiju.

- Da li je veća greška pri merenju iste zapremine menzutom ili pipetom?  

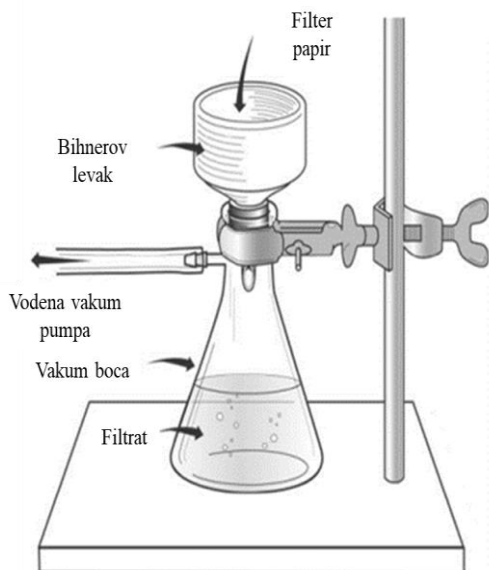
---
- Napisati jednačinu reakcije do koje dolazi u ovom ogledu?  

---
- Imenovati procese koje se odigravaju dodatkom vode čvrstom natrijum-hloridu i dodatkom rastvora srebro-nitrata rastvoru u čaši. \_\_\_\_\_ i  

---

## FILTRIRANJE POD VAKUMOM

Da bi se ubrzao proces filtriranja u laboratoriji, koristi se filtriranje pod vakumom. Za izvođenje vakumskog filtriranja koristi se vakumska tikvica (Guč boca, Bihnerova boca) na



Slika 28. Aparatura za vakumsko filtriranje

koju je stavljen **Bihnerov levak** (*Buchner*) i koja je povezana sa izvorom vakuma. Filter papir se stavlja u levak tako da prekrije celo dno, ali ne i zidove. Nakon postavljanja filter papir se navlaži vodom ili odgovarajućim rastvaračem. Zatim se uključi vakum i rastvor se sipa u levak. Zbog razlike u pritiscima, ovo filtriranje će se odvijati znatno brže od običnog. Talog će ostati na papiru, a filtrat će se nalaziti u vakum boci.

Aparatura za vakumsko filtriranje je sastavljena na način prikazan na *Slici 28*. Vakum boca mora biti pričvršćena na neku vrstu nosača (stativ) kako ne bi došlo do pomeranja i eventualnog lomljenja boce. Crevo sa bočne strane suda je pričvršćeno za izvor vakuma, obično na vodenu pumpu.

### Ekspiriment 9. Vakumska filtracija uz pomoć *Buchner*-ovog levka

#### Pribor:

- *Buchner*-ov levak
- vakum pumpa
- guč boca

#### Hemikalije:

- razblaženi rastvor  $\text{NH}_3$
- razblaženi rastvor  $\text{AlCl}_3$

#### Ekspirimentalni postupak:

Prvo treba pripremiti rastvor za filtriranje mešanjem 1 - 2  $\text{cm}^3$  rastvora amonijaka i aluminijum-hlorida. Staviti filter papir u *Buchner*-ov levak tako da leži vodoravno i prekrije dno levka. Papir prvo treba nakvasiti malom količinom vode (oko 1 do 2  $\text{cm}^3$ ), a zatim uključiti vakum pumpu. Voda iz levka će prolaziti kroz filter papir i papir će time dobro prionuti na dno levka. Polako sipati smešu koja se filtrira u levak. Rastvor će prilično brzo proći kroz filter papir.

- Talog na filter papiru se može ispirati po potrebi nekim rastvaračem. Voditi računa da se talog ne rastvara u tom rastvaraču.

- Ako je cilj dobiti suvi talog, može se ostaviti neko vreme uključena vakum pumpa i nakon prolaska rastvora kroz filter papir, kako bi se brže sušio talog na vazduhu.



- Opisati ovakav način filtracije i uporediti ga sa običnim filtriranjem.
- 

- Skicirati korišćenu aparaturu.
- 
- 

## CENTRIFUGIRANJE

Proces razdvajanja dve supstance zasnovan na centrifugalnoj sili naziva se **centrifugiranje**. Obično se koristi za razdvajanje čvrste od tečne faze. Postiže se okretanjem rastvora velikom brzinom unutar posude u kojoj se nalazi. Time se supstance veće gustine kreću ka spoljašnjem zidu posude (radijalno ka spolja), a one manje gustine ka unutrašnjem delu posude. Centrifugiranje se u laboratorijskim uslovima izvodi u epruvetama za centrifugiranje (kivetama). U njima se supstance veće gustine kreću ka dole (talože se).

Ova metoda je jako korisna za razdvajanje komponenata smeše u kojima je jedna supstanca sitno dispergovana u drugoj (obično rastvaraču). Odvajanje centrifugiranjem ima široku primenu u:

- laboratorijskim uslovima (hemija, biologija, medicina)
- industriji (procesi proizvodnje i prerade sirovina)
- vazduhoplovstvu (ubrzanje mlaznih motora i nosača vasionkih brodova)
- domaćinstvu (veš mašina).

## ZAGREVANJE i UPARAVANJE

Zagrevanje se u laboratoriji može vršiti na više načina. Kada se želi lagano i postupno zagrevanje rastvora koriste se špiritne lampe. **Bunzenov plamenik** sa butan bocom se koristi za energičnija i brža zagrevanja. Mora se voditi računa da se ne zagreva direktno posuda, već se zagrevanje vrši preko azbestne mrežice ili nekim indirektnim putem, da bi se izbeglo pucanje

stakla usled pregrevanja (Slika 29.). Zagrevanje se može vršiti i preko vodenog, peščanog ili uljanog kupatila. Izbor kupatila zavisi od potrebne temperature zagrevanja rastvora. Za niže temperature do 100 °C koriste se vodena kupatila, a za više temperature koriste se peščana i uljana kupatila.



Slika 29. Laboratorijska oprema za zagrevanje i uparavanje

## UPARAVANJE

**Uparavanje ili koncentrovanje** je postupak kojim se može odstraniti rastvarač iz nekog rastvora u manjoj ili većoj meri ili čak u potpunosti. Uparavanje (isparavanje) je prelazak supstance iz tečnog u gasovito agregatno stanje. Prema kinetičko-molekularnoj teoriji toplote, tečnost isparava kada njeni molekuli apsorbuju dovoljno energije (zagrevanjem) da savladaju kohezivne sile unutar tečnosti i pritisak iznad njene površine. Postoji razlika između isparavanja ključanjem i isparavanja. Tečnost isparava **ključanjem** kada je pritisak pare u tečnosti jednak ukupnom pritisku iznad tečnosti. Temperatura na kojoj tečnost ključa naziva se tačka ključanja. Sa povećanjem pritiska iznad tečnosti, tačka ključanja se povećava, a kako se pritisak smanjuje, ona opada. Tečnost isparava **isparavanjem** kada je pritisak pare u tečnosti veći od parcijalnog pritiska te pare iznad tečnosti i manji od ukupnog pritiska iznad tečnosti. Tečnost, dakle, isparava na temperaturi ispod tačke ključanja.



Slika 30. Rotacioni vakuum uparivač

Da bi se uklonila tečnost iz posude isparavanjem, mora se uzeti u obzir zapaljivost tečnosti. **Ovo je mera predostrožnosti.** Treba koristiti digestor za uklanjanje nadražujućih ili toksičnih para, ako su prisutne. Zapaljive ili nezapaljive tečnosti mogu se isparavati korišćenjem grejne ploče kao izvora toplote. Na primer, staviti vodu u posudu za isparavanje na dno čaše. Za isparavanje tečnosti blago ključanje vode u čaši je efikasnije od brzog ključanja. Izbegavati udisanje isparenja. Preporučuje se upotreba digestora, ako se velike količine tečnosti isparavaju u laboratoriji. Za uklanjanje vlage iz čvrste supstance koja je nastala kao rezultat isparavanja, najčešće se primenjuje sušnica. Zagrevanje smeše ili povećava



Slika 31. Eksikator

brzinu hemijske reakcije ili uzrokuje stvaranje većih kristala taloga. Vruće tečnosti i rastvori se mogu ohladiti stavljanjem staklene posude pod tekuću vodu iz slavine ili u ledeno kupatilo. Toksične, zapaljive i jako osetljive supstance se uparavaju na **rotacionom vakum uparivaču** (Slika 30.). U tu svrhu se koriste šolje za uparavanje ili laboratorijske čaše, a manji uzorci se mogu uparavati i na sahatnim staklima. Obično se uparavanje izvodi na sobnoj temperaturi. Ovaj proces se može ubrzati strujanjem vazduha iznad rastvora ili kroz njega pa u tome mogu pomoći vakum pumpe. Bitno je da vazduh bude suv i čist.

Rastvor se može uparavati na sobnoj temperaturi i u **eksikatoru** (Slika 31.) uz pomoć nekog apsorbenta (dehidratacionog sredstva). Za uparavanja na povišenoj temperaturi se koriste vodena kupatila.

**Volatilizacija** je prelazak supstance iz tečnog u gasovito stanje bez ključanja, na temperaturi ispod tačke ključanja. Iako na temperaturama ispod tačke ključanja prosečna kinetička energija molekula tečnosti nije dovoljna da molekuli napuste tečnost, neki, najbrži molekuli imaju dovoljno kinetičke energije da se mogu odvojiti od površine tečnosti i nastaviti slobodno kretanje. Isparavanjem se smanjuje prosečna kinetička energija molekula u tečnosti i smanjuje se temperatura tečnosti. Brzina isparavanja je veća što je veća temperatura tečnosti i manji pritisak izvan tečnosti.

## Eksperiment 10. Uparavanje vodenog rastvora natrijum-hlorida

### Pribor:

- tehnička vaga
- pipeta
- porculanska posuda za uparavanje
- rešo ili plamenik sa tronošcem i azbestnom mrežicom

### Hemikalije:

- čvrsta supstanca NaCl

### Eksperimentalni postupak:

Pripremiti rastvor natrijum-hlorida rastvaranjem (2 male kašike) ove soli u 20/30/40 ili 50 cm<sup>3</sup> vode. Izmeriti masu prazne porculanske posude, **m<sub>1</sub>**. U porculansku posudu odmeriti 3,5

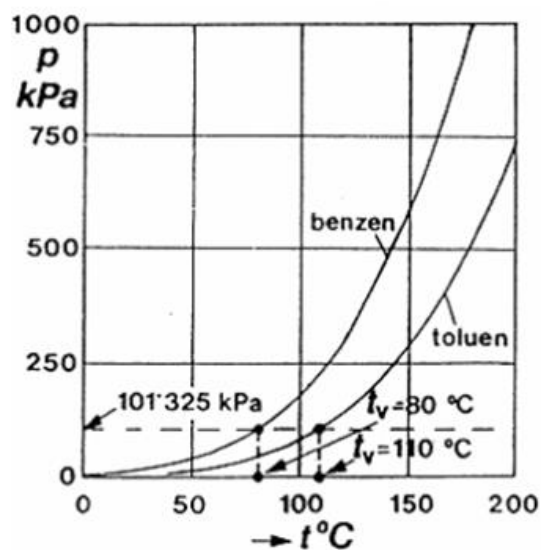
cm<sup>3</sup> pripremljenog rastvora natrijum-hlorida i izmeriti masu posude sa rastvorom,  $m_2$ . Zagrevati smešu dok u posudi ne zaostane beli talog, a sva tečnost upari. Posudu ohladiti, a nakon toga izmeriti njenu masu sa talogom,  $m_3$ .

- Odrediti masu natrijum-hlorida koji je korišćen za prvobitnu pripremu rastvora.  
 $m(\text{NaCl}) = m_3 - m_1 = \underline{\hspace{2cm}}$

## DESTILACIJA

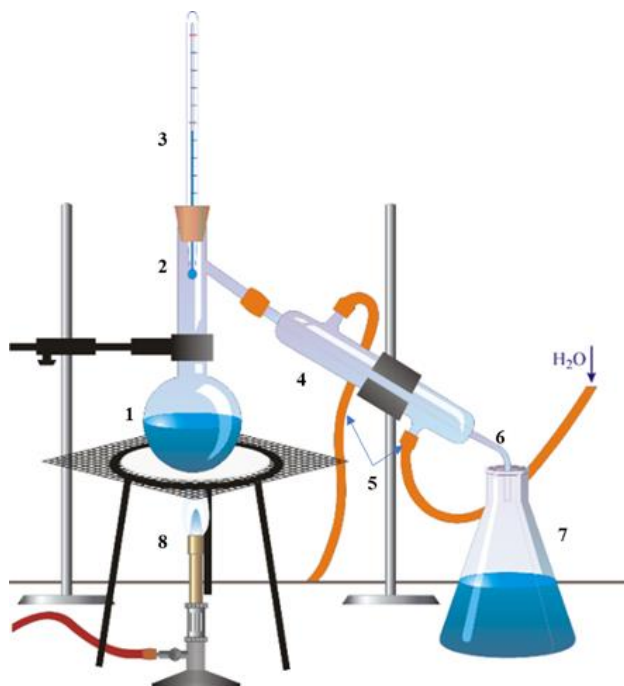
Svaka tečnost je u ravnoteži sa parom iznad tečnosti. Pritisak pare tečnosti zavisi od vrste supstance i temperature. Sa povećanjem temperature, pritisak pare tečnosti raste. Kada je pritisak pare tečnosti jednak atmosferskom pritisku, tečnost počne da ključa, a dalje snabdevanje toplotom se troši na isparavanje supstance, a ne na porast temperature. Temperatura na kojoj se uspostavlja ravnoteža između gasne i tečne faze je tačka ključanja. Tačka ključanja je u funkciji od pritiska i stoga treba naznačiti pritisak pri kome se određuje tačka ključanja. Ako je pritisak u sistemu manji od atmosferskog, tačka ključanja tečnosti se smanjuje (Slika 32). Zagrevanjem tečnosti temperatura naglo raste do tačke ključanja, a onda do konstantne temperature. Ova konstantna vrednost temperature je tačka ključanja ispitivane tečnosti.

**Destilacija** je proces razdvajanje smeše dve ili više tečnosti različitih tačaka ključanja na pojedinačne komponente. Ona se zasniva na svojstvu tečnosti da isparavaju na povišenim temperaturama sve dok supstance u potpunosti ne ispare. U zavisnosti od vrste uređaja za destilaciju i znanja osobe koja vrši destilaciju, moguće je odvojiti nepoželjne od željenih komponenti, odnosno moguće je razdvojiti dve ili više komponenta smeše na osnovu različitih tačaka ključanja. Zagrevanjem smeše do ključanja nastaje para bogatija komponentom niže tačke ključanja, koja je u dinamičkoj ravnoteži sa tečnom fazom (rastvorom). Kondenzovanjem para odvaja se komponenta sa nižom tačkom ključanja iz smeše. Daljim zagrevanjem preostalih komponenta u tečnoj fazi postupak se ponavlja i opet nastaje para bogata komponentom niže tačke ključanja, čijom kondenzacijom se i ona izdvaja iz smeše. Ovakav postupak se ponavlja više puta u zavisnosti od broja komponenta smeše i od razlike između njihovih tačaka ključanja.



Slika 32. Zavisnost pritiska pare od temperature tečnosti

Za prečišćavanje tečnosti čija je tačka ključanja do 200 °C, kao i za odvajanje iz smeše, tečnosti čije se tačke ključanja razlikuju za 80 - 100 °C, koristi se **jednostavna destilacija pri normalnom (atmosferskom) pritisku**. Aparatura se sastoji od balona sa okruglim dnom (1),



Slika 33. Aparat za destilaciju pri atmosferskom pritisku

T-nastavka (2), termometra (3), Libig-ovog kondenzatora (4) i gumenih creva (5) za dovod i odvod hladne vode, staklene lule (6), posude za sakupljanje destilata (erlenmajer) (7), kao i izvora toplote (8) (npr. magnetna mešalica sa grejačem ili plamenik). Pomoćni pribor koji se koristi pri sastavljanju aparature čine stativi, kleme, mufovi i druge spojnice koje obezbeđuju čvrstinu i stabilnost aparature (Slika 33.). Balon sa okruglim dnom puni se kroz levak, do najviše 1/2 svoje zapremine. Za ravnomerno ključanje obavezno se dodaju kuglice za ključanje. T nastavak se stavlja na balon sa okruglim dnom, a u njega termometar tako da rezervoar sa živom bude oko 0,5 cm niži od otvora bočne cevi na vrhu balona.

Rashladna tečnost se bira prema tački

ključanja tečnosti:

- za tečnosti sa tačkom ključanja < 120 °C, koristi se voda kao rashladna tečnost,
- za tečnosti sa tačkom ključanja > 150 °C, koristi se vazduh za rashlađivanje.

**Zbog velike razlike u temperaturi pare i vode iz slavine, rashladna tečnost bi izazvala pucanje staklenih posuda!** Kondenzator je povezan sa slavinom preko creva tako da voda teče prema gore, u suprotnom smeru od kondenzata. Destilat se zahvata na donjem otvoru kondenzatora pomoću staklene lule.

Kada je aparatura za destilaciju potpuno sastavljena i kada se pusti voda da prođe kroz kondenzator (ako se koristi voda za rashlađivanje), može se početi sa zagrevanjem balona. Grejanje se vrši direktno plamenikom preko rešetke ili korišćenjem vodenog, uljnog ili peščanog kupatila. Magnetna mešalica sa grejačem takođe može poslužiti kao izvor toplote. **Početak destilacije** označava prvu kap destilata koja padne u čašu. Brzina destilacije ne bi trebalo da prelazi **1 - 2 kapi** u sekundi. Balon se nikada ne zagreva do suva i destilacija se zaustavlja kada 2 - 3 cm<sup>3</sup> tečnosti zaostane u balonu. Potrebno je zapisati **temperaturni interval** u kome se destiluju različite frakcije neke smeše.

### Eksperiment 11. Razdvajanje dvokomponentne smeše koja sadrži etanol i vodu

#### Pribor:

- aparatura za destilaciju
- univerzalni indikatorski papir

- magnetna mešalica sa grejanjem i magnet
- levak sa dugim vratom

Hemikalije:

- $C_2H_5OH$

Eksperimentalni postupak:

Sastaviti aparaturu za destilaciju na atmosferskom pritisku (*Slika 33.*). Pripremiti rastvor za destilaciju mešanjem istih zapremina etanola i vode (po  $10\text{ cm}^3$ ). Zabeležiti boju rastvora. Odrediti pH vrednost rastvora univerzalnim indikatorskim papirom. Staviti magnet u balon sa ravnim dnom. Sipati pripremljen rastvor za destilaciju uz pomoć levka sa dugim vratom. U balon sa ravnim dnom uključiti mešanje. Zagrejati rastvor do  $80\text{ }^\circ\text{C}$  na magnetnoj mešalici. Sakupiti nekoliko kapi destilata u čašu. U momentu kada prva kap destilata padne u čašu, očitati temperaturu na termometru. Ta temperatura je tačka ključanja destilata. Odrediti pH vrednost destilata univerzalnim indikatorskim papirom.

- Zašto se stavlja magnet u bocu za destilaciju? \_\_\_\_\_
- Kolika je tačka ključanja destilata? \_\_\_\_\_
- Šta se može zaključiti koji je hemijski sastav destilata. Objasni odgovor.  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- Skicirati aparaturu za destilaciju i obeležiti sve njene delove.

## EKSTRAKCIJA

**Ekstrakcija** je metoda za prečišćavanje i izdvajanje supstance iz rastvora, emulzije ili čvrste smeše pomoću drugog rastvarača koji se ne meša sa rastvorom. U hemijskoj laboratoriji se za ekstrakciju koristi **levak za odvajanje** (Slika 34.). Bilo da se radi o ekstrakciji tečnošću (ekstrakcija tečnost-tečnost) ili ekstrakciji u čvrstoj fazi (ekstrakcija čvrsta supstanca-tečnost), organski rastvarač koji se koristi za ekstrakciju mora da ispuni sledeće uslove:

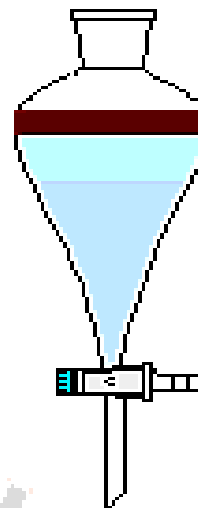
- Rastvarač mora biti hemijski inertan prema prisutnim supstancama.
- Supstanca koja se ekstrahuje mora imati najveću moguću rastvorljivost u tom rastvaraču.
- Rastvor iz koga se ekstrahuje željena supstanca i rastvarač moraju se razlikovati što je više moguće po gustini.
- Rastvarač ne sme biti pregrejan da bi se mogao lako ukloniti nakon ekstrakcije.
- Rastvarač treba da bude što manje zapaljiv i otrovan i što jeftiniji.

Ekstrakcije se zasniva na različitoj rastvorljivosti supstanci koje želimo da odvojimo, u dva rastvarača koji se ne mešaju. To dovodi do raspodele supstance između dva rastvarača. Najčešće primenjivani rastvarači su voda (ili vodeni rastvor supstance) i organski rastvarači koji se ne mešaju sa vodom (dihlormetan, dietil-etar, hloroform, etil-acetat itd.). Izdvajanje je opisano Nernstovim zakonom podele.

$$K = \frac{c_1}{c_2}$$

gde je **K** koeficijent raspodele, dok  $c_1$  i  $c_2$  označavaju ravnotežne koncentracije (molarne ili masene) supstance u dva rastvarača.

**Koeficijent raspodele, K**, jednak je odnosu rastvorljivosti supstance u oba rastvarača, konstantan je na datoj temperaturi i zavisi od prirode supstanci. Efekat ekstrakcije je veći ako se postupak ponovi nekoliko puta, odnosno ako se ekstrakcija izvede nekoliko puta sa manjom zapreminom rastvarača, nego jednom upotrebom celokupne zapremine rastvarača. Po pravilu, ekstrakciju treba ponoviti tri puta. Proces ekstrakcije se vrši tako da se levak za odvajanje napuni najviše do 2/3 svoje zapremine. Začepljeni levak se snažno promućka uz povremeno odvijanje slavine kako bi se pritisak koji se stvara u levku izjednačio sa spoljnim pritiskom, i taj postupak ponovi više puta. (Slika 35). Levak se zatim postavlja na stalak sa metalnim prstenom u vertikalni položaj, kako bi se razdvojili slojevi (**ukloniti šlifovani zapušač!**). Tečnost veće gustine nalazi se na dnu levka i ona se prva ispušta kroz slavinu.



Slika 34. Levak za odvajanje



Slika 35. Pravilno korišćenje levka za odvajanje

Tehnika razdvajanja tečnosti levkom za odvajanje:

- Uverite se da je zatvorena slavina (u horizontalnom položaju) pre dodavanja tečnosti.
- Pre početka mućkanja proverite da li čep dobro zaptiva.
- Uvek držite jedan prst na čepu u toku mućkanja (*Slika 35.*).

### **Eksperiment 12. Ekstrakcija joda iz vodenog rastvora dihlormetanom**

Pribor:

- levak za odvajanje
- stalak sa prstenom,
- laboratorijska čaša

Hemikalije:

- $\text{CH}_2\text{Cl}_2$
- rastvor  $\text{I}_2$

Eksperimentalni postupak:

Sastaviti aparaturu opisanu u teorijskom delu o ekstrakciji. Sipati oko  $5 \text{ cm}^3$  vodenog rastvora joda u levak za odvajanje. Obratiti pažnju na boju vodenog rastvora joda. Dodati oko  $5 \text{ cm}^3$  rastvora dihlormetana u digestoru. Nakon dodatka rastvarača zatvoriti levak čepom i dobro promućkati sadržaj, držeći jednom rukom vrh levka u blizini ventila, a drugom čep levka. Tokom mućkanja (ekstrakcija), povremeno otvarati ventil na levku kako bi se izjednačio pritisak u levku sa atmosferskim pritiskom. Postaviti levak za odvajanje na postolje (metalni prsten na stativu) i ukloniti čep. Obratiti pažnju na dva sloja različite boje koji se ne mešaju. Kad su odvojeni slojevi jasno vidljivi, otvoriti slavinu levka i ispustiti donji sloj u laboratorijsku čašu. Nakon toga ispustiti gornji sloj u drugu čašu. Vratiti rastvor koji sadrži već ekstrahovani jod u dihlormetanu u levak i ponoviti postupak sve dok vodeni sloj ne postane bezbojan.

- Zašto se ova dva rastvora ne mešaju? \_\_\_\_\_
- Zašto je neophodno otvoriti čep kada se levak stavi na stalak?  
\_\_\_\_\_
- Skicirati aparaturu korišćenu u ovom eksperimentu.



## SUBLIMACIJA

**Sublimacija** je fenomen isparavanja čvrste supstance bez prethodnog topljenja. Koristi se za odvajanje čvrstih supstanci iz heterogenih smeša koje pokazuju veliku razliku u pritiscima (naponima) pare. Ravnotežni pritisak pare (od kojeg zavisi koliko će supstanca biti u gasovitom stanju u ravnoteži sa čvrstom materijom) može se odrediti iz faznog dijagrama. Povezan je sa privlačnim silama između čestica supstance (atoma, molekula, jona). Što su jače privlačne sile, manja je potencijalna energija sistema, stabilnija je čvrsta supstanca i niži je pritisak pare. Za slične molekule, odnosno molekule sličnog oblika i istog broja atoma, važi pravilo da su privlačne sile između molekula proporcionalne veličini molekula, odnosno broju elektrona. Molekuli fluora ( $F_2$ ) i hlora ( $Cl_2$ ) su malo prečnika da bi ih privlačne sile držale zajedno, pa su ove elementarne supstance u gasovitom agregatnom stanju na sobnoj temperaturi. Brom, koji ima teže molekule većeg prečnika, nalazi se u tečnom agregatnom stanju i isparljiv je. Jod se nalazi u čvrstom agregatnom stanju jer su njegovi molekuli najteži i najvećeg prečnika, ali ipak, nisu tako čvrsto povezani (Slika 36.). Prelazak u gasovitu fazu je toliko lak da kristal joda može potpuno ispariti pre nego što se zagrevanjem dostigne temperatura topljenja ( $113\text{ }^\circ\text{C}$ ).



Slika 36. Sublimacija joda

Niske i približne vrednosti tačaka topljenja i ključanja su takođe karakteristika plemenitih gasova. Veliki deo snega koji padne tokom zime ne nestaje kao tekuća voda u tlu, već se direktno pretvara u vodenu paru. U polarnim i planinskim predelima gde živa u termometru nikada ne prelazi nulu, sublimacija je jedini način gubitka leda. Ponekad su ova područja čak i potpuno suva, bez kapi vode ili kristala leda.

### Eksperiment 13. Sublimacija joda

#### Pribor:

- tronožac sa azbestnom mrežicom
- plamenik
- laboratorijska čaša

#### Hemikalije:

- čvrsta supstanca  $I_2$

#### Eksperimentalni postupak:

U laboratorijsku čašu se prenese nekoliko granula joda. Čaša se postavi na tronožac i prekrije sahatnim staklom. Poželjno je da se na sahatno staklo sipa malo hladne vode (pogotovu ako se eksperiment izvodi u toplim prostorijama). Kada se pripremi aparatura, špiritusnom lampom ili Bunzenovim plamenikom se pažljivo zagreva čaša, kružnim pokretima, da bi se

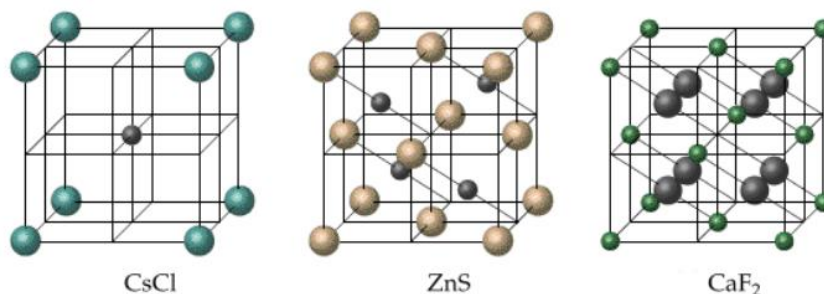
izbeglo pregrevanje i pucanje. Nakon kratkog vremena, mogu se opaziti ljubičaste pare koje se podižu sa dna čaše i kreću ka sahatnom staklu. Kontrolisano zagrevanje vršiti dokle god se izdvajaju pare joda. Kada se proces sublimacije završi ostaviti aparaturu da se ohladi. Obratiti pažnju na deo sahatnog stakla koji je bio okrenut prema unutrašnjosti čaše.

- Kako se definiše sublimacija? \_\_\_\_\_
- Šta opažate tokom zagrevanja, a šta nakon hlađenja aparature? \_\_\_\_\_
- Skicirati aparaturu korišćenu u ovom eksperimentu.



## KRISTALIZACIJA I REKRISTALIZACIJA

**Kristalizacija** je proces u kome se supstanca izdvajanjem iz rastvora pravilno raspoređuje u prostoru i gradi pravilnu geometrijsku strukturu (kristal). Kristalnu strukturu mogu graditi atomi, joni ili molekuli, pa treba razlikovati atomske od jonskih i molekulskih kristalnih struktura (*Slika 37.*). Veza u kristalima može biti jonska (NaCl), metalna (atomi ili joni u metalima) i kovalentna (SiO<sub>2</sub>, grafit).



*Slika 37. Primeri kristalnih struktura*

Jedinična struktura (monokristal) može biti različitog geometrijskog oblika (kubna, tetragonalna, rombična, trigonalna, monoklincična, triklinična i heksagonalna). Pravilnim beskonačnim ponavljanjem (translacija) jedinične strukture u sva tri koordinantna pravca u prostoru nastaje idealna kristalna rešetka (*Tabela 10.*).

Tabela 10. Kristalni sistemi

Kristalni sistem	Odnos ivica	Odnos uglova	Primeri
kubni	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$	Cu, Al, Au, NaCl
tetragonalni	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$	TiO <sub>2</sub> , SnO <sub>2</sub>
rombični	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$	Ga, Fe <sub>3</sub> C, PbCO <sub>3</sub>
trigonalni	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^0$	As, Sb, Bi, NaNO <sub>3</sub>
monoklinični	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^0 \neq \beta$	CuSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O
triklinični	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^0$	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O
heksagonalni	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^0, \gamma = 120^0$	HgS, Zn, grafit, jod

**Kristalizacija** je proces koji započinje kada koncentracija rastvorene supstance veća od ravnotežne (prezasićen rastvor). Proces se najčešće postiže hlađenjem rastvora ili smanjenjem količine rastvarača u rastvoru. Kristalizacija zavisi od fizičkih i hemijskih svojstava supstance, od temperature i od sredine u kojoj se odvija, ali i od primesa. Osnovni preduslov za formiranje pravilnih geometrijskih oblika kristala jeste da kristalizacija teče sporo sa dovoljno prostora za formiranje kristala.

Ponovljeni proces kristalizacije naziva se **rekristalizacija**. Ponavljanje kristalizacije se radi sa ciljem dobijanja čistijih kristala koji će time imati i pravilniji oblik.

## HROMATOGRAFIJA

Hromatografija predstavlja posebnu vrstu separacionih metoda i koristi se za razdvajanje i identifikaciju komponenata koje se nalaze u smeši. Odvajanje komponenti smeše vrši se na osnovu različitih adsorpcionih tendencija i različite rastvorljivosti. To je relativno jednostavna tehnika razdvajanja, veoma korisna u organskoj i neorganskoj analizi, naročito u analizi metalnih jona. Tehnika se podjednako primenjuje za komponente prisutne u tragovima i u većim količinama. Osnovni faktor koji određuje raspodelu između dve faze su polarnost analita i polarnost svake od faza. Step en jonizacije, vodonične veze i druge međumolekulske interakcije takođe imaju uticaj.

Hromatografsko razdvajanje se zasniva na različitoj raspodeli komponenata smeše između dve faze, od kojih je jedna faza **pokretna** ili **mobilna**, a druga **nepokretna** ili **stacionarna**. Nepokretna faza može biti čvrsta ili tečna. U slučaju kada je stacionarna faza tečna, najčešće je, u obliku tankog filma, nanosena na čvrsti nosač. Pokretna faza može biti gas ili tečnost. Tečna pokretna faza naziva se još i rastvarač i može se sastojati od jedne ili više komponenata. Prema agregatnom stanju mobilne faze, razlikujemo:

- **gasnu** (mobilna faza je gas) hromatografiju i
- **tečnu** (mobilna faza je tečnost) hromatografiju.

Hromatografski proces sastoji se u tome što se mobina faza, koja sa sobom nosi i rastvor smeše koja se ispituje, propušta kroz stacionarnu fazu, pri čemu dolazi do raspodele komponenata smeše između mobilne i stacionarne faze. Ovaj prelazak komponenti iz jedne u drugu fazu dešavaće se sve dok odnos koncentracija komponente u stacionarnoj ( $C_S$ ) i mobilnoj ( $C_M$ ) fazi ne dostigne konstantnu vrednost, koja se naziva koeficijent raspodele, a izražen je Nerstovim zakonom raspodele:

$$K = \frac{C_S}{C_M}$$

Koeficijent raspodele zavisi od osobina faza, afiniteta komponente prema fazama i temperature. U zavisnosti od afiniteta komponenata smeše prema stacionarnoj i mobilnoj fazi, komponente provode različito vreme u pokretnoj i nepokretnoj fazi, odnosno kroz sistem putuju različitom brzinom, pa ga napuštaju u različitim vremenskim intervalima.

Komponente sa malim afinitetom prema stacionarnoj fazi, i/ili velikim afinitetom prema mobilnoj fazi, brže putuju kroz kolonu i kraće se u njoj zadržavaju, odnosno brže putuje kroz kolonu. Vreme zadržavanja određene komponente u sistemu predstavlja **retenciono vreme**.

Hromatografsko razdvajanje komponenata smeše uzrokovano je fizičko-hemijskim procesima koji se dešavaju na granici dve faze koje se ne mešaju. Na osnovu prirode interakcija između komponentata smeše i stacionarne faze, razlikuje se:

- adsorpciona,
- jonska ili jono-izmenjivačka
- hromatografija razdvajanja po veličini (size exclusion)
- podeona hromatografija.

Koji od ovih vidova će biti izabran zavisi od zahteva analize i karakteristika analita koji treba razdvojiti.

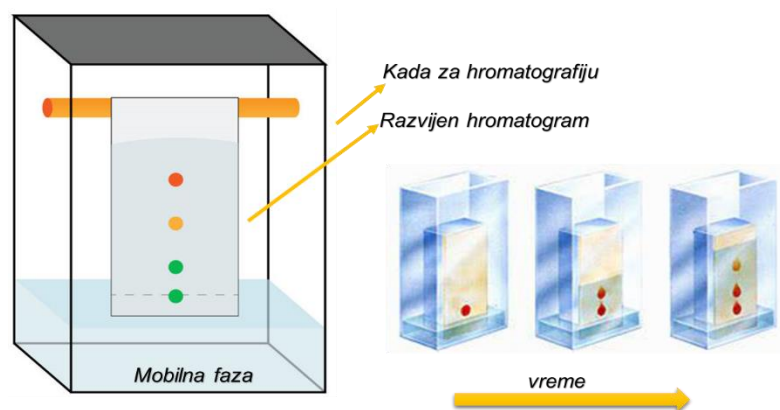
**Adsorpciona hromatografija** se zasniva na procesima adsorpcije komponenata smeše na granici faza čvrsto/tečno, odnosno čvrsto/gas. Kao stacionarna faza koriste se čvrste supstance velike aktivne površine koje predstavljaju dobar adsorbens za komponente smeše koja se analizira. Najčešće se koriste aluminijum-oksidi, silikagel, magnezijum-oksidi, magnezijum-silikat, molekulska sita ili aktivni ugljen. Adsorpciona hromatografija se uglavnom koristi za analizu gasova ili lako isparljivih tečnosti, kao i analizu komponenata rastvornih u nepolarnim rastvaračima. Analit se fizički adsorbuje na stacionarnoj fazi a do razdvajanja dolazi usled razlike u jačini adsorpcije između pojedinih komponenti smeše i stacionarne faze.

**Jonoizmenjivačka ili jonska hromatografija** je vrsta tečne hromatografije, koja se zasniva na afinitetu jonskih vrsta u rastvoru prema izmeni sa jonima aktivnih grupa koje poseduje adsorbens, odnosno stacionarna faza. U zavisnosti da li aktivne grupa sadrže katjone ili anjone razlikujemo katjonske i anjonske izmenjivače. Materijal stacionarne faze na svojoj površini ima naelektrisanje jone koji su suprotnog naelektrisanja od jona ispitivanog uzorka. Joni sa većim naelektrisanjem jače interaguju sa stacionarnom fazom, što za rezultat ima povećano vreme eluiranja. Da bi se kontrolisalo vreme eluiranja obično se koristi pufer u vodi. Jonska hromatografija je moćna tehnika za određivanje niskih koncentracija jona, uglavnom anjona ali i katjona. Primenjuje se u analizi i kontroli kvaliteta voda, kao i u analizi otpadnih voda, u analizi jonskih vrsta istog elementa (Cr(III), Cr(VI), Fe(II), Fe(III)), analizi stabilnih metalnih kompleksa itd.

**Hromatografija na molekulskom situ** (*Size-exclusion chromatography, SEC*) se koristi za razdvajanje komponenti kao što su polimeri ili proteini, velikih molekulskih masa. Komponente smeše se razdvajaju na osnovu fizičke veličine tako što se u porama na površini stacionarne faze zadržavaju mali molekuli koji mogu da difunduju unutar pora, dok veliki molekuli prolaze kroz kolonu.

**Podeona hromatografija** predstavlja najčešće korišćeni tip hromatografije. Zasniva se na raspodeli (različitoj rastvorljivosti) komponenata ispitivane smeše između stacionarne i mobilne faze. Stacionarna faza je tečnost koja je u vidu tankog filma nanešena na čvrst, inertan, porozan nosač. Prema agregatnom stanju mobilne faze podeona hromatografija može biti:

- gasna – mobilna faza je gas i
- tečna – mobilna faza je tečnost.



Slika 38. Postupak razvijanja hromatograma

Ovde će biti opisana tehnika razdvajanja primenom **tankoslojne hromatografije**. Ploča za tankoslojnu hromatografiju (TLC ploča) na sebi sadrži tanak sloj sorbenta (silika gel) i predstavlja stacionarnu fazu. U primeru koji će ovde biti opisan mobilna faza je mešavina etanola i rastvora hlorovodonične kiseline, HCl. Uzorci se sastoje od jednog ili više katjona prelaznih metala:  $\text{As}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ . Na TLC ploču se prvo nanose tri poznata rastvora (svaki sa po jednim od katjona), a na četvrtom mestu i rastvor sa mešom katjona. Ploču treba ostaviti da se malo osuši. Dok se ploča suši u hromatografsku kadu se dodaje rastvarač (etanol i HCl) da bi se zasitila parama rastvarača. Tada se TLC ploča stavlja u hromatografsku kadu. Stacionarna faza sa uzorcima dolazi u kontakt sa mobilnom fazom, pri čemu dolazi do raspodele komponenata smeše između mobilne i stacionarne faze (Slika 38.). Metalni joni se transportuju duž ploče. Svaki katjon metala ima svoj (jedinstven) adsorptivni afinitet za polarni silika gel gde su neki katjoni jače adsorbovani od drugih. Kao rezultat toga, neki metalni joni se kreću dalje duž hromatograma od drugih i formiraju trake na određenoj udaljenosti od početne tačke nanošenja uzorka, što ukazuje na to da se joni razdvajaju.

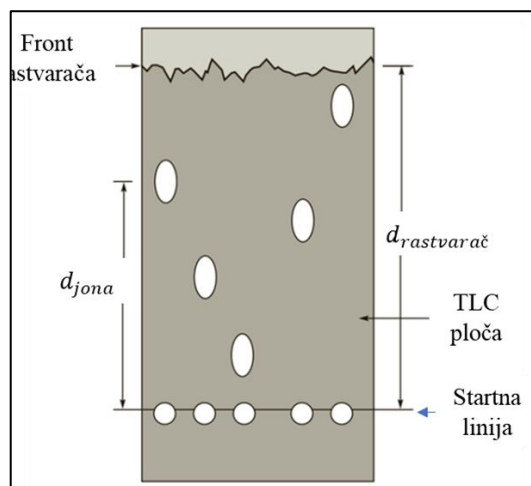
Za dati rastvor za eluiranje, stacionarnu fazu i temperaturu svaki jon karakteriše određena  $R_f$  vrednost (retencioni factor):

$$R_f = \frac{d_{\text{jona}}}{d_{\text{rastvarača}}}$$

$R_f$  je odnos pređenog puta  $d_{\text{jona}}$  i  $d_{\text{rastvarača}}$ . Dužina  $d_{\text{jona}}$  je rastojanje koja predstavlja put mobilne faze od startne linije do krajnjeg položaja kretanja posmatranog jona, a  $d_{\text{rastvarača}}$  je rastojanje koje pređe mobilna faza od početka (startne linije) do fronta eluenta.

**Startna linija** je linija koja označava mesto na koje je nanesena ispitivana supstanca.

**Eluentni front (front rastvarača)** je definisan kao najnaprednija tačka kretanja mobilne faze duž stacionarne faze. U tom opsegu se nalaze trake koje potiču od svih ispitivanih supstanci. (Slika 39.). Poslednji korak je analiza hromatograma. Potrebno je odrediti tačna rastojanja  $d_{\text{jona}}$  za svaki ispitivani jon, odrediti  $R_f$  vrednosti, a iz toga zaključiti o kojim se jonima radi. Nekada je potrebno izazivanje hromatograma nekom supstancom koja će pomoći pri lakšem uočavanju mrlja, a nekada je rešenje posmatrati hromatogram pod UV svetlošću.



Slika 39. Određivanje  $R_f$  vrednosti za jone metala sa hromatograma

#### Eksperiment 14. Odvajanje olova, arsena i kadmijuma tankoslojnom hromatografijom

##### Pribor:

- TLC ploča
- hromatografska kada

##### Hemikalije:

- $C_2H_5OH$
- rastvor HCl
- rastvor soli  $As^{3+}$ ,  $Pb^{2+}$  i  $Cd^{2+}$

##### Eksperimentalni postupak:

##### **A.** Priprema kade za razvijanje:

Pripremiti mobilnu fazu pipetiranjem  $13,5 \text{ cm}^3$  rastvora etanola i  $1,5 \text{ cm}^3$  rastvora hlorovodonične kiseline u hromatografsku kadu i pokriti je sahatnim staklom. Prilikom pipetiranja paziti da se ne okvase stranice hromatografske kade.

##### **B.** Priprema stacionarne faze:

Označiti početnu liniju na TLC pločici grafitnom olovkom i lenjirom. Početna linija mora biti locirana na udaljenosti od 1 cm od ivice pločice. Na početnoj liniji označiti mesto na koje će biti nanošen uzorak. Uzorci moraju biti udaljeni 1 cm jedan od drugog. Na vrhu pločice označiti položaj svakog uzorka grafitnom olovkom (na primer koristiti oznaku „As“ za rastvor arsena, „Pb“ za rastvor olova, „Cd“ za rastvor jona kadmijuma i „M“ za smešu). Uzorci se nanose na pločicu pomoću kapilarnih cevčica (**različita kapilarna cev za svaki uzorak**) i to kratkim unošenjem kapilare u rastvor uzorka i prenošenjem na označeno mesto na TLC pločici. Nakon dodira vrha kapilare na TLC pločicu, vrh bi trebalo da ispušta mikrokapljicu rastvora (kratko zadržavanje kapilare u

kontakta sa TLC pločicom). Nakon što su naneti svi uzorci na pločicu, sačekati da se pločica osuši.

**C. Razvijanje hromatograma:**

Kad se pločica sa nanešenim uzorcima osuši, unosi se u hromatografsku kadu sa prethodno pripremljenom mobilnom fazom i ponovo pokrije, kako bi bilo moguće da se hromatografski sistem zasiti parom pokretne faze. Posmatrati neko vreme kretanje mobilne faze. Zaustaviti razvijanje (kretanje mobilne faze) uklonjenjem pločice iz kade za razvijanje, kada mobilna faza dosegne rastojanje od 1 - 2 cm od gornje ivice pločice (označeni front rastvarača, mobilne faze). Dok je pločica još vlažna, lenjirom i olovkom označiti gornji deo rastvarača (najudaljenije mesto koje je rastvarač dosegnuo) i ostaviti pločicu da se osuši.

**D. Izazivanje hromatograma:**

Nakon što se pločica osušila, poprskati je rastvorom natrijum-sulfida **u digestoru** kako bi bile jasno vidljive trake i ponovo sačekati da se pločica osuši (za vreme sušenja pločica je u digestoru). Označiti **centar trake (zone)** i izmeriti i zabeležiti rastojanje između **početne i krajnje tačke** za svaki jon. Izračunati i zabeležiti vrednosti  $R_f$  za svaki jon metala.

Rezultati:

$$d_{\text{eluent}} = \text{_____}; d_{\text{Pb}^{2+}} = \text{_____};$$

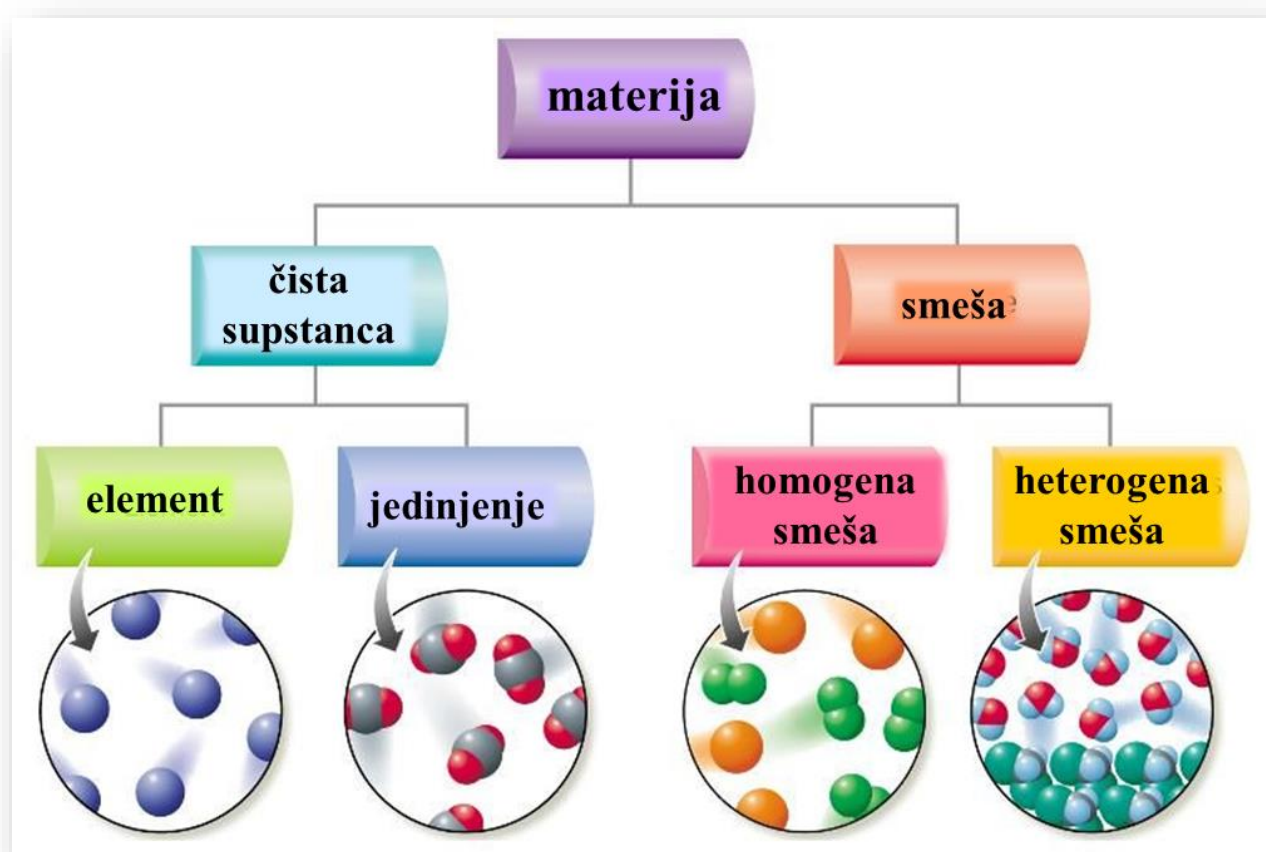
$$d_{\text{As}^{3+}} = \text{_____}; d_{\text{Cd}^{2+}} = \text{_____}.$$

$$R_f (\text{Pb}^{2+}) = \text{_____}; R_f (\text{As}^{3+}) = \text{_____}; R_f (\text{Cd}^{2+}) = \text{_____}$$

- Odrediti sva rastojanja  $d$  za sve uzorke nanete na pločicu, a zatim odrediti  $R_f$  vrednosti. \_\_\_\_\_
- Šta je front rastvarača?  
\_\_\_\_\_
- Sačuvati i u praktikum zalepiti TLC pločicu (hromatogram).

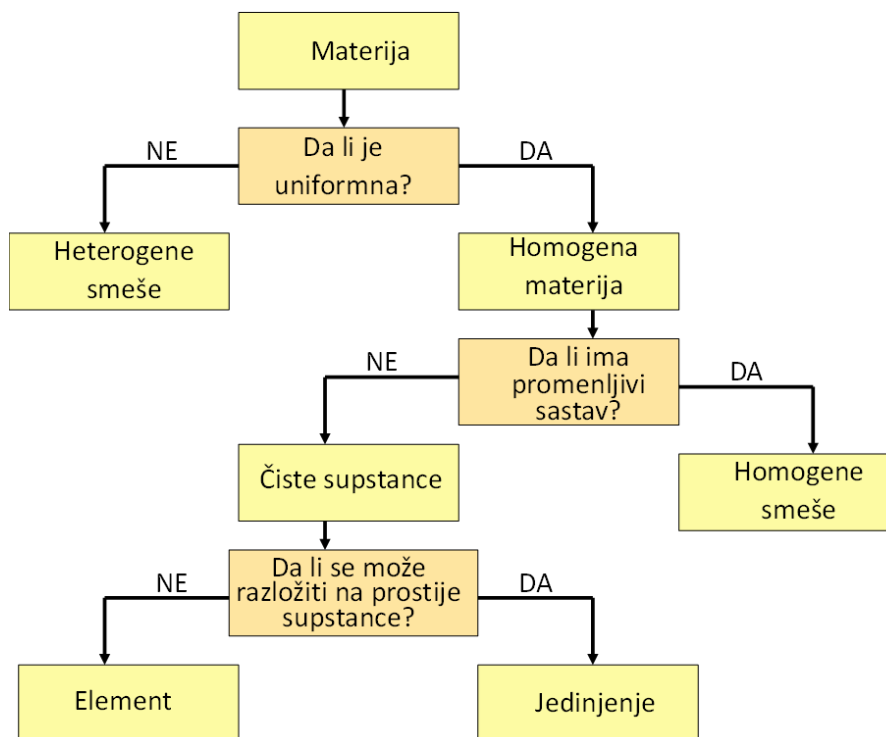


## 3. SMEŠE





U hemiji se najčešće govori o čistim supstancama. Zadatak hemičara jeste da iz materije, hemijskim ili fizičkim postupcima, izdvoji hemijski čiste supstance (Slika 40.). Materije koje čine univerzum razlikuju se po hemijskom sastavu, fizičkim i hemijskim svojstvima. Fizička svojstva se ogledaju u fizičkim promenama materije (gustina, tvrdoća, tačka topljenja, tačka ključanja, električna provodljivost itd.). Hemijska svojstva se ogledaju u hemijskim promenama, odnosno u hemijskim reakcijama.



Slika 40. Šematski prikaz vrsta materije

Prema postojanosti hemijskog sastava (uniformnosti), odnosno fizičkim i hemijskim svojstvima u uzorku posmatranog sistema, sve materije se dele na homogene i heterogene. Homogene materije se u zavisnosti od promenljivosti sastava dele na čiste supstance i homogene smeše. Kod čistih supstanci sastav je nepromenljiv, isti u svim svojim delovima. Ako se čista supstanca ne može razložiti na prostije supstance onda govorimo o elementima, a u suprotnom su u pitanju jedinjenja. Materija koja se sastoji od dve ili više čistih supstanci naziva se smešom. Ona može biti homogena i heterogena, a takođe može biti u istom ili različitom fizičkom stanju. **Homogene smeše** sastoje se od dve ili više različitih supstanci koje se ne mogu videti golim okom, pod lupom ili mikroskopom, ali se mogu razdvojiti različitim postupcima. U svakom svom delu imaju isti sastav i svojstva. Mogu se razdvojiti u čiste supstance odgovarajućim fizičkim procesima. Primeri homogenih smeša u svakodnevnom životu: sirće, vodeni rastvor soli ili šećera, vazduh, more, legure. **Heterogene smeše** su smeše u kojima se vrste čestica u smeši mogu razlikovati golim okom, lupom ili mikroskopom. Imaju promenljiv sastav i svojstva. Primeri heterogenih smeša u svakodnevnom životu: zemljište, suspenzija peska u vodi, prašina u vazduhu, zagađena voda.

Kvalitativna razlika pojedinih fizičkih svojstava utvrđuje se eksperimentalnim posmatranjem, dok se pojedina fizička svojstva kvantitativno određuju merenjem. Merljivo fizičko svojstvo naziva se i fizička veličina. Svaka fizička veličina takođe ima svoju mernu jedinicu. Intenzivna svojstva ne zavise od količine supstance (gustina, tačka topljenja, tačka ključanja itd.). Ekstenzivna svojstva zavise od količine supstance (mase, zapremine, ukupne energije itd.).

Glavni postupci koji se koriste za razdvajanje smeše na čiste supstance (prečišćavanje):

- Rastvaranje, mešanje i usitnjavanje
- Dekantovanje ili odlivanje
- Taloženje ili precipitacija
- Ceđenje ili filtriranje
- Centrifugiranje
- Zagrevanje, uparavanje i voltizacija
- Destilacija
- Ekstrakcija
- Sublimacija
- Kristalizacija i rekristalizacija
- Hromatografija (papirna, tankoslojna, gasna, tečna, afinitetna, jonska izmena, molekulska sita, superkritična, tečna hromatografija pod visokim pritiskom (HPLC), brza proteinska tečna hromatografija (FPLC) itd.)

### **Eksperiment 1. Razdvajanje trokomponentne smeše ( $I_2$ , $K_2CrO_4$ i $SiO_2$ ) kombinacijom više različitih metoda razdvajanja**

#### Pribor:

- laboratorijske čaše
- sahatno staklo
- tronožac sa mrežicom
- špiritusna lampa ili Buncenov plamenik
- vodeno kupatilo
- sušnica
- levak
- filter papir
- stalak sa prstenom

#### Hemikalije:

- granula  $I_2$
- čvrsta supstanca  $K_2CrO_4$
- čvrsta supstanca  $SiO_2$ .

#### Eksperimentalni postupak:

U staklenu čašu dodati nekoliko granula joda, na vrh kašičice kalijum-hromata i 3 - 4 kašičice kvarcnog peska. Čašu postaviti na tronožac sa mrežicom, opremljen grejnim telom.

Poklopiti čašu sahatnim staklom na koje treba sipati malo hladnije destilovane vode. Zagrevati smešu i zapaziti promene. Kada se čaša ohladi, skinuti sahatno staklo i opaziti i opisati promene na unutrašnjem delu sahatnog stakla. U čašu zatim dodati  $10\text{ cm}^3$  destilovane vode i promešati staklenim štapićem. Opaziti boju rastvora. Ostaviti da se talog spusti na dno čaše, a za to vreme spremiti stalak sa prstenom i levkom. Postaviti filter papir i pokvasiti ga destilovanom vodom, tako da potpuno prijanja uz zid levka. Kada se jasno odvoje faze u čaši, polako dekantovati rastvor iznad taloga. Rastvor sipati u levak tako da polako klizi niz stakleni štapić. Levak nikada ne puniti više od  $2/3$  njegove visine. Postupak ponoviti više puta, dodavanjem malih količina destilovane vode, dokle god rastvor iznad taloga ne bude obezbojen. Kompletan rastvor spojiti u jednu čašu i staviti na vodeno kupatilo da kontrolisano uparava. Zaostali silicijum(IV)-oksid u čaši staviti u sušnicu sat vremena, da ispari sva voda iz čaše.

- Koja se pojava dešava prilikom početnog zagrevanja smeše? \_\_\_\_\_
- Šta se dešava kada se doda voda u smešu nakon sublimacije? \_\_\_\_\_
- Napišite sve laboratorijske operacije koje su korišćene u ovom eksperimentu.  
\_\_\_\_\_
- Na koji način bi mogao da se izračuna procentualni sastav ove smeše (koristeći podatke dobijene od laboranta)?

Proračun:

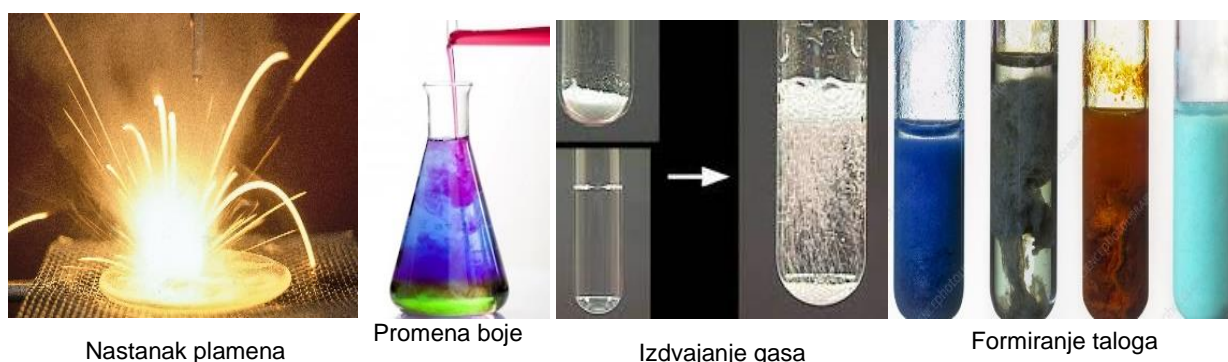
\_\_\_\_\_

## 4. HEMIJSKE REAKCIJE



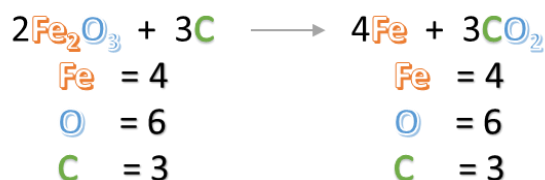
**Hemijske reakcije** predstavljaju trajne promene u strukturi polaznih supstanci (**reaktanata ili reagujućih supstanci**) i nastajanje novih supstanci (**proizvoda**) koje se po sastavu i svojstvima razlikuju od polaznih supstanci. Reakcije se često sastoje od niza pojedinačnih podkoraka, takozvanih elementarnih reakcija, a informacije o tačnom toku odigravanja hemijske reakcije deo su **mehanizma reakcije**.

Nekada nije lako napraviti razliku između **fizičke i hemijske promene**. Tokom fizičke promene supstanca menja svoj fizički izgled, ali ne i svoj sastav (supstanca je ista pre i posle promene). Fizičke promene su npr. topljenje leda, isparavanje vode, rastvaranje čvrstih supstanci itd. Da je zaista došlo do hemijske reakcije između reaktanata najčešće se može uočiti promenom boje rastvora, stvaranjem taloga, izdvajanjem gasa ili promenom boje plamena (Slika 41.).



Slika 41. Hemijske promene

Hemijske reakcije su opisane **hemijskim jednačinama** koje simbolično predstavljaju početne supstance, krajnje proizvode, a ponekad i međuproizvode, kao i reakcione uslove. Svaka jednačina hemijske reakcije mora biti **izjednačena** (izbalansirana), odnosno, broj atoma svakog elementa mora biti jednak kada se porede reaktanti sa proizvodima hemijske reakcije (Zakon o održanju mase). Izjednačavanje se vrši tako što se pišu **koeficijenti (indeksi se ne smeju menjati!)**, pri čemu se koeficijent 1 nikada ne piše.



#### 4.1. Osnovna podela hemijskih reakcija

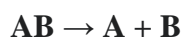
- I. Hemijske reakcije u kojima dolazi do **disocijacije i asocijacije** molekula, atoma i jona.
- II. **Oksido-redukcione reakcije**
- III. **Kompozitne reakcije** (koordinacioni broj se menja), koje su podeljene u tri podgrupe

## 4.2. Tipovi hemijskih reakcija

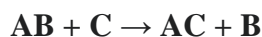
1. **Reakcije sinteze (sjedinjavanja)** su hemijske reakcije pri kojima iz atoma i molekula različitih supstanci nastaju molekuli novih supstanci:



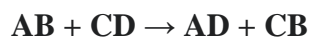
2. **Reakcije analize (razgradnje)** su hemijske reakcije pri kojima se molekuli jedne supstance razlažu na atome ili molekule drugih supstanci:



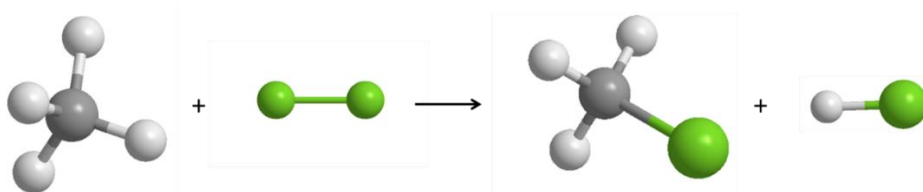
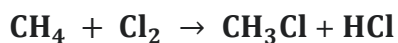
3. **Reakcije proste izmene** su proste hemijske reakcije u kojima atomi proste supstance zamenjuju atome elemenata u molekulima složene supstance:



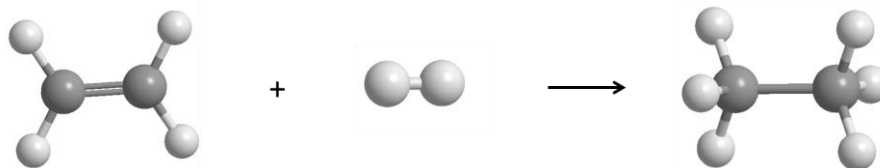
4. **Reakcije dvostrukih izmena** su hemijske reakcije u kojima molekuli različitih složenih supstanci reaguju, a kao proizvodi reakcije dobijaju se nove složene supstance.



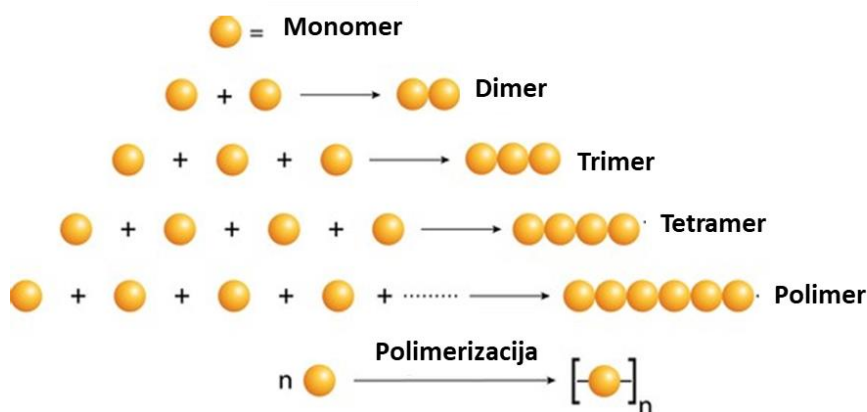
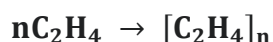
5. **Reakcije supstitucije** su hemijske reakcije u kojima se jedan atom u molekulu menja drugim atomom.



6. **Reakcije adicije** su hemijske reakcije kod kojih se vrši vezivanje molekula jedne supstance na molekul druge supstance.



7. **Reakcije polimerizacije** su hemijske reakcije karakteristične za nezasićena jedinjenja, pri kojima dolazi do izgradnje velikih molekula koji se sastoje iz nekoliko polaznih molekula.



### Eksperiment 1. Zakon o održanju mase

#### Pribor:

- erlenmajer sa čepom
- pinceta
- mala epruveta

#### Hemikalije:

- rastvor  $\text{BaCl}_2$ , 2 %
- rastvor  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 0,01M

#### Eksperimentalni postupak:

U erlenmajer sipati oko  $10 \text{ cm}^3$  rastvora barijum-hlorida. U malu laboratorijsku čašu sipati oko  $5 \text{ cm}^3$  razblaženog rastvora sumporne kiseline i staviti oba suda istovremeno na tas vage. Izmeriti na analitičkoj vagi masu supstanci koje se nalaze odvojene u laboratorijskom posuđu. Nakon što se zapiše izmerena masa  $m_1$ , ukloniti posuđe sa tasa. Na laboratorijskom stolu presuti rastvor sumporne kiseline u erlenmajer sa barijum-hloridom i vratiti isto posuđe

na tas vage. Zapisati izmerenu masu  $m_2$ . Obratiti pažnju na boju rastvora u erlenmajeru u kom dolazi do hemijske reakcije i formiranja taloga.

- Šta se može zaključiti kada se uporede mase pre i posle sjedinjavanja?

\_\_\_\_\_

- Kako glasi zakon o održanju mase? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

- Napisati jednačinu hemijske reakcije nastajanja taloga?

\_\_\_\_\_

- Koji je tip ove hemijske reakcije? \_\_\_\_\_

## **Eksperiment 2. Fizičke i hemijske promene**

### Pribor:

- dve čaše od 150 cm<sup>3</sup>
- epruveta
- plamenik
- magnet
- komad lima
- šibice

### Hemikalije:

- prah Fe
- prah S
- rastvor HCl (v:v = 1 : 1)

### Eksperimentalni postupak:

U laboratorijsku čašu pripremiti smešu spršenog gvožđa i sumpora u masenom odnosu 7 : 4 i podeliti je na tri jednaka dela u tri laboratorijske čaše.

**A.** Prineti magnet do prve čaše i posmatrati koja je od ove dve supstance ima magnetne osobine.

**B.** U drugu čašu sipati 10 cm<sup>3</sup> destilovane vode i opaziti promene.

**C.** Prebaciti treći deo smeše (iz treće čaše) u epruvetu i zagrevati na otvorenom plamenu do crvenog usijanja (**ogled izvoditi u digestoru**). Posmatrati vidljive promene u smeši.

- Pretpostaviti moguću hemijsku reakciju koja može opisati promene koje se dešavaju u toku izvođenja poslednjeg eksperimenta.

\_\_\_\_\_

- Koji je tip ove hemijske reakcije? \_\_\_\_\_
- U ovom eksperimentu navesti šta su fizičke, a šta hemijske promene?

\_\_\_\_\_

- Objasniti opažanja koja se dešavaju prilikom dodatka vode u smešu? Koja supstance pluta, a koja tone? Zašto?

\_\_\_\_\_



### **Eksperiment 3. Reakcija sjedinjavanja**

Pribor:

- pinceta
- plamenik
- epruveta

Hemikalije:

- traka Mg
- destilovana voda

Eksperimentalni postupak:

Uzeti deo magnezijumove trake (oko 1 cm), uhvatiti ga pincetom i prineti plamenu. Nastalu supstancu bele boje staviti u epruvetu i dodati malo destilovane vode. Ako se jasno ne uočavaju promene u vodenom rastvoru, dodati dve kapi fenolftaleina.

- Koja boja plamena nastaje prilikom sagorevanja magnezijuma? \_\_\_\_\_
- Napisati jednačinu hemijske reakcije sagorevanja magnezijuma i navesti koji je to tip hemijske reakcije?  
\_\_\_\_\_
- Napisati jednačinu hemijske reakcije između nastalog magnezijum oksida i vode? Navesti kom tipu hemijskih reakcija pripada?  
\_\_\_\_\_
- Obrazložiti promenu boje rastvora nakon dodatka indikatora?  
\_\_\_\_\_
- Šta bi nastalo, ako bi se u takav rastvor dodala neka kiselina (npr. Sumporna kiselina,  $H_2SO_4$ ). Napisati jednačinu hemijske reakcije i klasifikovati je prema tipu hemijskih reakcija?  
\_\_\_\_\_

### **Eksperiment 4. Reakcija analize (razlaganja) (*Ogled se izvodi u digestoru*)**

Pribor:

- špatula
- suva, čista epruveta
- drvena štipaljka za držanje epruvete
- plamenik
- drvce

Hemikalije:

- koncentrovani rastvor,  $H_2O_2$
- čvrsta supstanca,  $MnO_2$

Eksperimentalni postupak:

U epruvetu dodati 3 cm<sup>3</sup> koncentrovanog rastvora vodonik-peroksida. Uzeti nekoliko granula (na vrh špatule) mangan(IV)-oksida i preneti u istu epruvetu.

**Obratiti pažnju pošto je reakcija trenutna!**

Nakon opažanja reakcije, otvoru epruvete približiti drvce koje tinja i opaziti promene u vidu rasplamsavanja (plamen se pojačava).

- Zašto se pojačava intenzitet gorenja drvceta kada se ono prinese epruveti?
- 
- Napisati jednačinu ove reakcije i navesti kom tipu navedena reakcija pripada?
- 

**Eksperiment 5. Reakcija proste izmene**

Pribor:

- stalak sa epruvetama
- pipeta

Hemikalije:

- opiljci Fe
- zasićen rastvor  $\text{CuSO}_4$
- rastvor HCl, 2 M

Eksperimentalni postupak:

U dve epruvete staviti po malo opiljaka gvožđa. U prvu dodati  $2 \text{ cm}^3$  rastvora hlorovodonične kiseline, a u drugu  $2 \text{ cm}^3$  zasićenog rastvora bakar(II)-sulfata.

- Kakve promene se mogu zapaziti u prvoj, a kakve u drugoj epruveti?
- 
- Napisati jednačine hemijskih reakcija i navesti kom tipu hemijskih reakcija pripadaju?
- 
- Koji gas se izdvaja u prvoj epruveti? \_\_\_\_\_

**Eksperiment 6. Reakcija dvostruke izmene.**

Pribor:

- stalak sa epruvetama
- pipeta
- špatula

Hemikalije:

- rastvor  $\text{NiSO}_4$ , 2%
- rastvor  $\text{CuSO}_4$ , 2%
- rastvor  $\text{ZnSO}_4$ , 2%
- rastvor NaOH, 2%

Eksperimentalni postupak:

Pripremiti tri epruvete. U prvu sipati  $1 \text{ cm}^3$  rastvora nikal(II)-sulfata, u drugu  $1 \text{ cm}^3$  bakar(II)-sulfata i u treću  $1 \text{ cm}^3$  zink(II)-sulfata. U sve tri epruvete dodati po  $1 \text{ cm}^3$  rastvora natrijum-hidroksida.

- Kakve promene se mogu zapaziti u sve tri epruvete?

---

- Napisati jednačine za sve tri reakcije i navesti kom tipu hemijskih reakcija pripadaju?

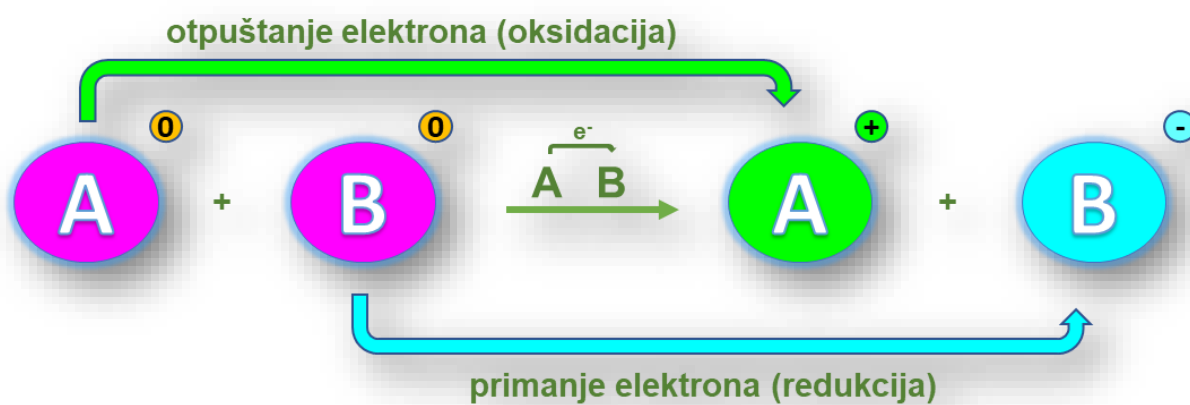
---

---

---

---

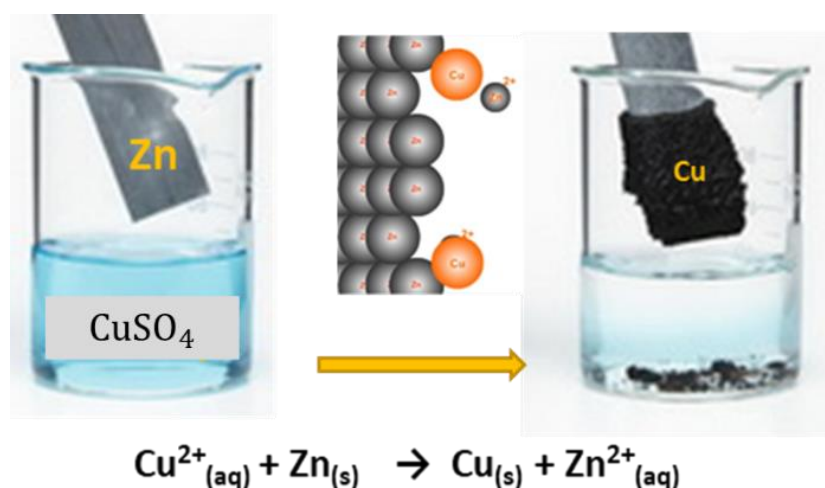
## 5. OKSIDO-REDUKCIONE REAKCIJE



Oksido-redukционе reakcije (ili redoks reakcije) su reakcije pri kojima se vrši promena oksidacionog broja atoma elemenata koji ulaze u sastav reagujućih supstanci. Redoks reakcije su elektronski proces, odnosno proces premeštanja valentnih elektrona sa jednog atoma (molekula ili jona) na drugi atom (molekul ili jon), pri čemu dolazi do promene njihovog oksidacionog broja. Reakcija oksido-redukcije sastoji se iz:

- **reakcije oksidacije** koja predstavlja proces otpuštanja elektrona sa nekog atoma (molekula ili jona) (npr.  $\text{Zn}^0 \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ ) i
- **reakcije redukcije** koja predstavlja proces primanja elektrona od strane nekog atoma (molekula ili jona) (npr.  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^0$ ).

Reakcija oksidacije se ne može odvijati, a da se istovremeno ne odvija reakcija redukcije. Svaka reakcija se zove „**polu-reakcija**“, a oksido-redukциони proces se uvek sastoji od minimum dve polu-reakcije (Slika 42.).



Slika 42. Primer oksido-redukcione reakcije

**Za atom koji otpušta elektrone kaže se da se oksidovao - povećao svoj oksidacioni broj (predstavlja donor elektrona), a sam je redukciono sredstvo. Atom (molekul ili jon) koji prima elektrone se redukovao – smanjio je svoj oksidacioni broj (predstavlja akceptor elektrona), a sam je oksidaciono sredstvo.**

Oksidacija se definiše i kao povećanje, a redukcija kao smanjenje oksidacionog stanja. Oksido-redukcija može da bude jednostavna, kao što je oksidacija ugljenika do ugljen-dioksida ( $\text{CO}_2$ ), ili redukcija ugljenika vodonikom do metana ( $\text{CH}_4$ ). Ona može da bude i kompleksan proces, kao što je oksidacija glukoze ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) putem serije kompleksnih procesa elektronskog transfera.

**Elektrohemijski niz metala (naponski niz ili Voltin niz)** sastavljen od strane Alesandara Volte (*Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Gerolamo Umberto Volta*), naučnika koji je predstavio niz metala poređanih na osnovu opadanja redukcionne moći metala, odnosno sposobnosti oksidacije (otpuštanja elektrona). Naponski niz omogućava predviđanja o tome koji element lakše daje odnosno prima elektrone. Niz počinje atomima elemenata koji predstavljaju najjača redukcionna sredstva (alkalni metali), a završava sa najmanje reaktivnim atomima elemenata, tj. najslabijim redukcionim sredstvima (plemenitim metalima):

---

**Li, K, Na, Ca, Mg, Al, Mn, Zn, Cr, Fe, Sn, Pb, H, Cu, Hg, Ag, Pt, Au**

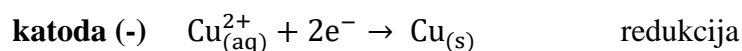
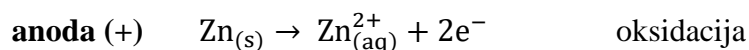
- Svaki metal u ovom nizu može da "istisne" sve one metale iz njihovih soli koji se nalaze desno od njega, predajući im svoje elektrone.
- Svi metali koji se u nizu nalaze sa leve strane od vodonika mogu da ga "istisnu" iz rastvora kiselina u obliku vodonika, dok metali sa desne strane to ne mogu.
- Ukoliko se metali nalaze više na levoj strani ovog niza, utoliko su hemijski reaktivniji (najreaktivniji su kalijum i natrijum), i ponašaju se kao izrazito jaka redukciona sredstva, zbog čega se vrlo lako oksiduju. Obratno, metali koji se nalaze na desnom kraju niza vrlo se teško oksiduju i slabo su reaktivni pa se zato srebro, zlato i platina nazivaju "plemeniti metali" .

Primeri:

- $\text{Cu} + \text{FeSO}_4 \rightarrow$  nema reakcije
- $\text{Fe} + \text{CuSO}_4 \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{Cu}$
- $\text{Zn} + \text{SnCl}_2 \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{Sn}$
- $\text{Ag} + \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow$  nema reakcije
- $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2$
- $\text{Ag} + \text{HNO}_3 \rightarrow$  nema reakcije

## 5.1. Elektroдни potencijal

**Elektrode**, anoda i katoda, se međusobno razlikuju po vrsti reakcija koje se na njima odigravaju. **Anoda** je elektroda na kojoj se uvek odvija proces oksidacije, a **katoda** elektroda na kojoj se uvek odvija proces redukcije.



Merenje električnog napona se uvek vrši između dve tačke, u ovom slučaju dve elektrode. Napon između dva polu je definisan kao elektrostatička energija koja je potrebna da se određena količina naelektrisanja prenese sa jednog pola na drugi.

**Elektroдни potencijal**,  $E$  je napon elektrode koji se može meriti u odnosu na referentnu elektrodu sa poznatim potencijalom, tj. sa poznatim elektrohemijским stanjem. Naponi se u tom slučaju mogu izračunati. Tada važi da je napon  $U$  jednak razlici potencijala ( $\Delta E$ ) anode ( $E_1$ ) i katode ( $E_2$ ):

$$U = \Delta E = E_2 - E_1$$

Elektroдни potencijali katode i anode se mogu izračunati pomoću **Nernstove jednačine** (*Walther Hermann Nernst*):

$$E = E_0 + \frac{RT}{Z_e F} \ln \frac{a_{\text{ox}}}{a_{\text{red}}}$$

E - elektrodni potencijal

$E_0$  – standardni elektrodni potencijal

R – univerzalna gasna konstanta,  $R = 8,31447 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$

T – termodinamička temperatura (K)

$Z_e$  – broj razmenjenih elektrona

F – Faradejeva konstanta,  $F = 96485,34 \text{ C/mol}$

$a_{\text{ox}}$  i  $a_{\text{red}}$  -aktiviteti oksidacionog i redukcionog sredstva jednog redoks para

Prelaskom sa prirodnog logaritma na dekadni logaritam i uvođenjem vrednosti konstanti na 20 °C dobija se uprošćena Nernstova jednačina:

$$E = E_0 + \frac{0,059}{n} \log \frac{C_{\text{ox}}}{C_{\text{red}}}$$

n - broj elektrona koji učestvuju u reakciji (broj razmenjenih elektrona)

$C_{\text{ox}}$ ,  $C_{\text{red}}$  - koncentracije supstance u oksidovanom i redukovanom obliku.

Što je standardni elektrodni potencijal,  $E_0$  **negativniji**, to je metal **jače redukciono sredstvo** (lakše se oksiduje), odnosno, što je standardni elektrodni potencijal **pozitivniji**, to je **jače oksidaciono sredstvo** (lakše se redukuje).

### **Eksperiment 1. Oksido-redukcione reakcije kalijum-permanganata ( $\text{KMnO}_4$ ) u kiseloj, neutralnoj i baznoj sredini.**

#### Pribor:

- stalak sa epruvetama

#### Hemikalije:

- rastvor  $\text{KMnO}_4$ , 0,001 M
- rastvor KOH, 0,1 M
- koncentrovan rastvor  $\text{H}_2\text{O}_2$
- rastvor  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 2 %
- rastvor  $\text{MnSO}_4$ , 2 %
- rastvor  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ , 2 %

#### Eksperimentalni postupak:

Uzeti tri epruvete i u svaku sipati po  $1 \text{ cm}^3$  0,001 M rastvora kalijum-permanganata.

**A.** U prvu epruvetu dodati  $0,5 \text{ cm}^3$  sumporne kiseline i nekoliko kapi vodonik-peroksida.

- Objasniti promenu boje rastvora. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- Napisati i izjednačiti jednačinu hemijske reakcije koja se odigrava u rastvoru.  
\_\_\_\_\_

- 
- Napisati šta je u ovoj reakciji oksidaciono, a šta redukciono sredstvo.
- 
- B.** U drugu epruvetu dodati 0,5 cm<sup>3</sup> 2 % rastvora mangan(II)-sulfata.
- Uočiti i objasniti pojavu taloga mangan(IV)-oksida, MnO<sub>2</sub>.
- 
- Napisati i izjednačiti jednačinu hemijske reakcije koja se odigrava u rastvoru.
- 
- Napisati šta je u ovoj reakciji oksidaciono, a šta redukciono sredstvo.
- 
- C.** U treću epruvetu dodati nekoliko kapi 0,1 M kalijum-hidroksida i 3 - 5 cm<sup>3</sup> 2 % hrom(III)-sulfata, Cr<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (do promene boje).
- Obratiti pažnju na promenu boje rastvora . Objasniti. \_\_\_\_\_
- 
- Napisati i izjednačiti jednačinu hemijske reakcije koja se odigrava u rastvoru.
- 
- Napisati šta je u ovoj reakciji oksidaciono, a šta redukciono sredstvo.
- 

### **Eksperiment 2. Oksido-redukcione reakcije ca kalijum-jodidom (KI)**

#### Pribor:

- stalak sa epruvetama

#### Hemikalije:

- rastvor KI, 2 %
- rastvor Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2 %
- rastvor K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, 2 %
- rastvor HCl, 2 %
- rastvor KOH, 2 %
- koncentrovan rastvor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
- rastvor skroba

#### Eksperimentalni postupak:

Uzeti tri epruvete i u svaku sipati po 0,5 cm<sup>3</sup> 2 % rastvora kalijum-jodida.

- A.** U prvu epruvetu dodati 0,5 cm<sup>3</sup> bakar(II)-sulfata.
- Obratiti pažnju na promenu boje rastvora. Formira se beli talog bakar(I)-jodida, Cu<sub>2</sub>I<sub>2</sub> i izdvaja se elementarni jod koji je tamno crvene boje. Kako bi se videla bela boja taloga Cu<sub>2</sub>I<sub>2</sub> u ovaj rastvor dodati 0,5 cm<sup>3</sup> rastvora natrijum-tiosulfata, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pri čemu se jod, I<sub>2</sub> prevodi u bezbojni jodid, I<sup>-</sup>, a bela boja taloga postaje vidljiva.
  - Napisati i izjednačiti jednačinu hemijske reakcije koja se odigrava u rastvoru.
- 
- Napisati šta je u ovoj reakciji oksidaciono, a šta redukciono sredstvo.
-



**B.** U drugu epruvetu dodati  $0,5 \text{ cm}^3$   $0,001 \text{ M}$  rastvor kalijum-permanganata i  $0,5 \text{ cm}^3$  rastvora hlorovodonične kiseline.

- U dobijeni rastvor dodati par kapi rastvora skroba i uočiti promene. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- Napisati i izjednačiti jednačinu hemijske reakcije koja se odigrava u rastvoru.  
\_\_\_\_\_
- Napisati šta je u ovoj reakciji oksidaciono, a šta redukciono sredstvo.  
\_\_\_\_\_

**C.** U treću epruvetu dodati  $0,5 \text{ cm}^3$   $2 \%$  kalijum-dihromata,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  i malo rastvora sumporne kiseline.

- Prisustvo joda potvrditi dodatkom par kapi rastvora skroba.
- Napisati i izjednačiti jednačinu hemijske reakcije koja se odigrava u rastvoru.  
\_\_\_\_\_
- Napisati šta je u ovoj reakciji oksidaciono, a šta redukciono sredstvo.  
\_\_\_\_\_

**D.** U četvrtu epruvetu dodati  $0,5 \text{ cm}^3$  koncentrovanog rastvora hidrogena (vodonik-peroksida) i  $0,5 \text{ cm}^3$  rastvora sumporne kiseline.

- U dobijeni rastvor dodati par kapi rastvora skroba i uočiti promene. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- Napisati i izjednačiti jednačinu hemijske reakcije koja se odigrava u rastvoru.  
\_\_\_\_\_
- Napisati šta je u ovoj reakciji oksidaciono, a šta redukciono sredstvo.  
\_\_\_\_\_

### **Eksperiment 3. Elektrohemijski niz elemenata. Istiskivanje vodonika.**

#### Pribor:

- stalak sa epruvetama

#### Hemikalije:

- granula cinka
- komadić bakra
- rastvor  $\text{HCl}$ ,  $2 \text{ M}$

#### Eksperimentalni postupak:

Uzeti dve epruvete i u jednu staviti granulu cinka, a u drugu komadić bakra. U obe epruvete dodati po  $1 \text{ cm}^3$   $2 \text{ M}$  hlorovodonične kiseline.

- Uočiti i objasniti promene u epruvetama. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- Napisati i izjednačiti jednačinu hemijske reakcije koja se odigrava u rastvoru.  
\_\_\_\_\_

- Zašto se u jednoj epruveti izdvajaju mehurići, a u drugoj ne?
- 

#### **Eksperiment 4. Elektrohemijski niz metala (Zn/Cu)**

##### Pribor:

- stalak sa epruvetama

##### Hemikalije:

- zasićen rastvor  $\text{CuSO}_4$
- zasićen rastvor  $\text{ZnSO}_4$
- granula cinka
- komadić bakra

##### Eksperimentalni postupak:

Uzeti dve epruvete, u jednu odmeriti  $1 \text{ cm}^3$  rastvora bakar(II)-sulfata, a u drugu  $1 \text{ cm}^3$  rastvora cink(II)-sulfata. U epruvetu sa rastvorom bakar(II)-sulfata dodati granulu cinka, a u drugu komadić bakra.

- Posmatrati tok reakcija u obe epruvete i uočiti razlike.
- 
- Napisati i izjednačiti jednačinu hemijske reakcije koja se odigrava u rastvoru.
- 

#### **Eksperiment 5. Elektrohemijski niz metala (Fe/Sb)**

##### Pribor:

- stalak sa epruvetama

##### Hemikalije:

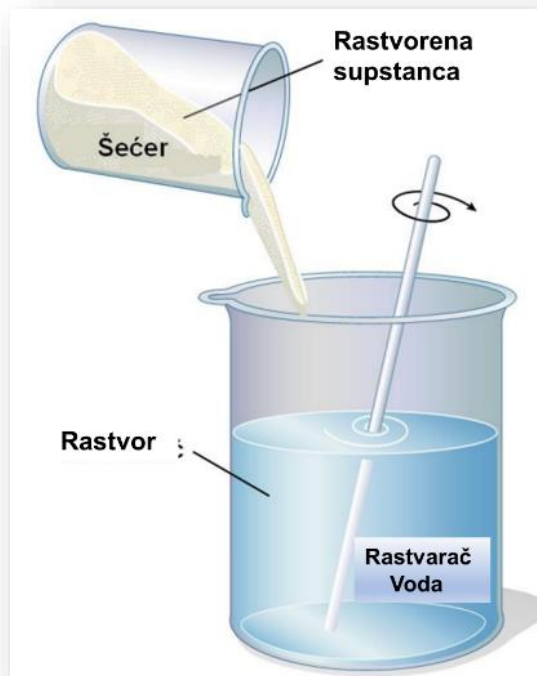
- rastvor  $\text{CuSO}_4$ , 0,1M
- komadić gvožđa
- komadić kalaja

##### Eksperimentalni postupak:

U dve epruvete odmeriti po  $1 \text{ cm}^3$  rastvora bakar(II)-sulfata. U jednu epruvetu ubaciti komadić kalaja, a u drugu komadić gvožđa.

- Posmatrati tok reakcija u obe epruvete i uočiti razlike. \_\_\_\_\_
- 
- Napisati i izjednačiti jednačinu hemijske reakcije koja se odigrava u rastvoru.
-

## 6. RASTVORI



Proces rastvaranja (disperzije) je proces koji podrazumeva raspoređivanje **rastvorene supstance** (dispergovane supstance) u **rastvaraču** (disperzionom sredstvu). Disperzni sistemi se razlikuju prema veličinama čestica koje su rastvorene i dele se na:

- **Heterogene** (grube) disperzne sisteme (čestice veće od 100 nm)
- **Koloidne** rastvore (čestice od 1 - 100 nm)
- **Prave** rastvore (čestice manje od 1 nm)

Kod heterogenih disperznih sistema i koloidnih rastvora razlikujemo suspenzije od emulzija. **Emulzije** su heterogene smeše dve tečne supstance koje se ne mešaju i ne mogu se odvojiti filtriranjem. Stabilnost emulzija se može poboljšati dodatkom emulgatora. **Suspenzije** su takođe heterogene smeše čije komponente mogu biti u različitim fazama i mogu se razdvojiti filtriranjem.

**Pravi rastvori** su homogene smeše koje se sastoje iz rastvorene supstance (rastvorka) i rastvarača. Ako su rastvorena supstanca i rastvarač istog agregatnog stanja, rastvarač je ona supstanca koje ima više, a ako su različitog agregatnog stanja, rastvarač je ona supstanca koja je istog agregatnog stanja kao nastali rastvor. Rastvori mogu biti u sva tri agregatna stanja (*Tabela 11.*).

*Tabela 11. Agregatna stanja rastvora sa primerima*

Rastvor	Rastvarač	Rastvorena supstanca	Primer
Čvrsto	Čvrsto	Čvrsto	C u Fe
Čvrsto	Čvrsto	Tečno	Hg u Ag
Čvrsto	Čvrsto	Gasovito	H u Pd
Tečno	Tečno	Čvrsto	NaCl u H <sub>2</sub> O
Tečno	Tečno	Tečno	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH u H <sub>2</sub> O
Tečno	Tečno	Gasovito	O <sub>2</sub> u H <sub>2</sub> O
Gasovito	Gasovito	Čvrsto	Naftalen u vazduhu
Gasovito	Gasovito	Tečno	Vodena para u vazduhu
Gasovito	Gasovito	Gasovito	CO <sub>2</sub> u N <sub>2</sub> (vazduh)

Osobine rastvarača zavise od polarosti molekula (**dipolni momenat**,  $\mu$ ), odnosno vrednosti **dielektrične konstante** (D). Na osnovu vrednosti dielektrične konstante rastvarači se dele na **polarne** (visoke vrednosti za D) i **nepolarne** (niske vrednosti za D) (*Tabela 12.*).

Tabela 12. Karakteristike rastvarača u pogledu polarnosti

Rastvarač	Molekulska formula	Dielektrična konstanta, D	Tačka ključanja $T_k$ (°C)	Gustina $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Polarni rastvarači</b>				
Voda	H <sub>2</sub> O	80	100	1,000
Dimetilsulfoksid	CH <sub>3</sub> SOCH <sub>3</sub>	47	189	1,092
Dimetilformamid	CH <sub>3</sub> NCHO	38	153	0,944
Metanol	CH <sub>3</sub> OH	33	65	0,791
Etanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	24	79	0,789
Aceton	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	21	56	0,786
Izopropanol	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	18	82	0,785
Sirćetna kiselina	CH <sub>3</sub> COOH	6,2	118	1,049
<b>Nepolarni rastvarači</b>				
Dihlormetan	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	9,10	40	1,327
Hloroform	CHCl <sub>3</sub>	4,80	61	1,498
Dietiletar	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> O	4,30	35	0,713
Toluen	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	2,38	111	0,867
Benzen	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	2,30	80	0,879
Cikloheksan	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	2,02	81	0,779
Heksan	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	2,00	69	0,655

**Rastvaranje** je proces koji se sastoji iz više pojedinačnih procesa. Počinje raskidanjem veze u česticama rastvorene supstance. To je proces za koji se troši toplotna energija. Proces rastvaranja obuhvata i raskidanje međumolekulskih sila u samom rastvaraču, na šta se takođe troši toplotna energija. Kada su u pitanju polarni rastvarači, može doći do jon-dipol interakcija (**hidratacija**, kada je u pitanju voda kao rastvarač, odnosno **solvatacija** u ostalim slučajevima kada je u pitanju neki drugi rastvarač) u toku kojih se oslobađa toplotna energija. Ukupan toplotni efekat zavisi od svih ovih procesa. On može biti **endoterman i egzoterman**. Kod supstanci kod kojih je toplotni efekat endoterman, proces rastvaranja se pospešuje zagrevanjem i obrnuto.

Rastvaranje se dešava u oba slučaja i kada je toplotni efekat egzoterman i endoterman. Razlog tome je povećanje neuređenosti sistema,  $\Delta S$ , što je često vodeća sila kada se razmatra proces rastvaranja. Kada se opisuje dobijeni rastvor, pored fizičkih karakteristika kakve su boja, miris,  $T_k$ ,  $T_t$ , agregatno stanje, najbitnije je znati u kom odnosu se nalaze rastvorena supstanca i rastvarač, odnosno rastvor. Taj odnos definisan je koncentracijom, koja se može izražavati na različite načine, i to kao:

- Rastvorljivost
- Maseni udeo (procentna koncentracija)
- Molski udeo (molska frakcija)
- Količinska koncentracija (molaritet)
- Molalna koncentracija (molalitet)
- Masena koncentracija
- Normalna koncentracija (normalitet)
- ppt, ppm i ppb

## 6.1. Rastvorljivost (koeficijent rastvorljivosti, R)

**Rastvorljivost** se može definisati kao broj grama rastvorene supstance koji se može rastvoriti u 100 grama rastvarača na određenoj temperaturi. Rastvaranjem maksimalne količine supstance koju je moguće rastvoriti na određenoj temperaturi u 100 g rastvarača dobija se **zasićen rastvor**. Rastvor koji sadrži manju količinu rastvorene supstance od one koju sadrži zasićen rastvor predstavlja **nezasićen**, a veću **prezasićen** rastvor (*Tabela 13.*).

$$R = \text{br. g}_{(\text{rastvorena supstanca})} / 100 \text{g}_{(\text{rastvarača})} \quad \text{na} \quad t [^{\circ}\text{C}]$$

*Tabela 13. Rastvorljivost nekih supstanci u vodi predstavljena brojem grama rastvorene supstance na 100 g vode, na različitim temperaturama.*

Formula	Temperatura °C											
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
AlCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	43,8	44,9	45,9	46,6	47,3	-	48,1	-	48,6	-	49,0	
Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,57	0,69	0,79	0,88	0,98	1,08	1,15	1,23	1,30	1,36	1,41	
AgNO <sub>3</sub>	122	170	222	300	376	455	525	-	669	-	952	
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	5,0	7,0	9,2	11,6	14,2	17,1	20,3	23,6	27,0	30,6	34,2	
Br <sub>2</sub>	4,22	3,40	3,2	3,13	-	-	-	-	-	-	-	
Ca(OH) <sub>2</sub>	0,185	0,176	0,165	0,153	0,141	0,128	0,116	0,106	0,094	0,085	0,077	
CaSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	24,7	29,4	34,4	40,3	46,0	51,1	56,0	61,8	67,8	75,4	76,1	
Ca(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	-	36,0	34,7	33,8	33,2	32,8	32,7	33,0	33,5	31,1	27,7	
CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	14,3	17,4	20,7	25,0	28,5	33,3	40,0	47,1	55	64,2	75,4	
CuSO <sub>4</sub> · (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	11,5	15,1	19,4	24,4	30,5	37,6	46,3	56,8	69,7	86,0	107,1	
HgCl <sub>2</sub>	4,3	5,6	6,6	8,3	9,9	11,1	14,9	17,2	24,2	37,2	63,6	
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2,66	3,57	5,04	6,72	8,72	11,54	14,81	18,62	23,62	30,38	40,3	
I <sub>2</sub>	0,01	0,02	0,028	0,038	0,052	0,071	0,10	-	0,22	-	0,45	
KI	127,5	136	144	152	160	168	176	184	192	200	208	
KClO <sub>4</sub>	0,75	1,05	1,8	2,6	4,4	6,5	9,0	11,8	14,8	18,0	21,8	
KNO <sub>3</sub>	13,3	20,9	31,6	45,8	63,9	85,5	110,0	138	169	202	246	
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	58,2	60,0	61,7	63,4	65,2	66,8	68,6	70,4	72,1	73,9	75,6	
K <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] · 3H <sub>2</sub> O	14,9	21,2	28,9	36,8	42,7	-	55,9	57,5	68,4	74,8	77,8	
KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 12H <sub>2</sub> O	3	4	5,9	8,4	11,7	17,0	24,8	40,0	71,0	109,0	-	
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> · 2H <sub>2</sub> O	105,3	108,3	110,5	113,7	116,9	121,3	126,8	133,5	139,8	147,5	155,7	
NaCl	35,5	35,7	35,9	36,1	36,4	36,8	37,2	37,5	38,1	38,7	39,4	
NH <sub>4</sub> Cl	29,4	33,3	37,2	41,4	45,8	50,4	55,2	60,2	65,6	71,3	77,3	
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	118,3	-	192,0	241,8	297,0	344,0	421,0	499,0	580,0	740,0	871,0	
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	70,6	73,0	75,4	78,0	81,0	84,3	88,0	90,6	94,1	97,8	102	
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 10 H <sub>2</sub> O	4,5	9,6	19,2	40,8	48,4	46,6	45,3	44,1	43,3	42,7	42,3	

### Eksperiment 1. Priprema rastvora NaCl različitih zasićenja

Pribor:

- stalak sa epruvetama
- špiritusna lampa
- drvena štipaljka za epruvete

Hemikalije:

- čvrsta supstanca NaCl

Eksperimentalni postupak:

**A.** U epruvetu sipati 3 cm<sup>3</sup> destilovane vode i kašičicom dodati malo čvrstog natrijum-hlorida. Promućkati nastali rastvor do potpunog rastvaranja i zapisati zapažanja. Nakon toga postupak ponoviti 2 - 3 puta dodavajući male količine čvrstog natrijum-hlorida.

- Napisati zapažanja koja se mogu uočiti tokom pripreme rastvora.

\_\_\_\_\_

- Okarakterisati nastali rastvor? \_\_\_\_\_

**B.** Postupak dodavanja natrijum-hlorida ponavljati sve dok na dnu epruvete ne ostane deo nerastvorene supstance.

- Napisati zapažanja koja se mogu uočiti tokom pripreme rastvora.

\_\_\_\_\_

- Okarakterisati nastali rastvor? \_\_\_\_\_

**C.** Drvenom štipaljkom uneti epruvetu iz oglada **B** u plamen špiritusne lampe . Voditi računa da se epruveta ne pregreje, jer može doći do pucanja i prskanja rastvora (kružnim pokretima zagrevati je sa svih strana i povremeno je iznositi iz plamena). Postupak zagrevanja ponoviti u kratkim intervalima više puta.

- Šta se može zapaziti tokom zagrevanja zasićenog rastvora? \_\_\_\_\_
- Objasniti zašto se menja količina nerastvorene supstance na dnu epruvete, pre, tokom i nakon zagrevanja. \_\_\_\_\_
- Okarakterisati nastali rastvor? \_\_\_\_\_

**D.** Zagrejan rastvor ostaviti na stalku za epruvete da se polako ohladi.

- Objasniti kakav se rastvor nalazi u epruveti odmah nakon zagrevanja na temperaturi ključanja, a kakav rastvor se dobija hlađenjem do sobne temperature?

\_\_\_\_\_

**E.** Istu epruvetu nakon hlađenja staviti pod mlaz vode i tako je energičnije hladiti.

- Šta se dešava u toku hlađenja? \_\_\_\_\_

## **Eksperiment 2. Rastvorljivost Ca(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>**

Pribor:

- stalak sa epruvetama
- špiritusna lampa
- drvena štipaljka za epruvete

Hemikalije:

- zasićen rastvor Ca(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>

Eksperimentalni postupak:

U epruvetu sipati 2 cm<sup>3</sup> prethodno pripremljenog zasićenog rastvora kalcijum-acetata, Ca(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>. Sadržaj epruvete zagrevati pomoću špiritusne lampe i opažati promene koje se dešavaju u rastvoru.

- Objasniti šta se dešava u epruveti. \_\_\_\_\_
- Koje su razlike u odnosu na eksperiment rađen sa natrijum-hloridom. \_\_\_\_\_

## 6.2. Maseni udeo (procentna koncentracija, %)

**Procentna koncentracija** se izražava u težinskim i zapreminskim procentima. Procentna koncentracija se može definisati kao broj grama rastvorene supstance (težinski delovi) koji se nalazi rastvoren u 100 g rastvora (težinska), ili kao broj mililitara rastvorene supstance (zapreminski delovi) u 100 cm<sup>3</sup> rastvora (zapreminska) (*Tabela 14.*).

$$\omega = \text{br. g}_{(\text{rastvorena supstanca})} / 100 \text{ g}_{(\text{rastvpra})}$$

$$\varphi = \text{br. cm}^3_{(\text{rastvorena supstanca})} / 100 \text{ cm}^3_{(\text{rastvpra})}$$

**Maseni udeo** ( $\omega$ ) se definiše kao odnos mase rastvorene supstance i mase rastvora ili kao odnos zapremine rastvorene supstance i zapremine rastvora tada govorimo o zapreminskom udelu ( $\varphi$ ).

$$\omega = m_{(\text{rastvorena supstanca})} / m_{(\text{rastvpr})}$$

$$\varphi = V_{(\text{rastvorena supstanca})} / V_{(\text{rastvpr})}$$

$$\% = \omega \cdot 100 \quad \text{odnosno} \quad \% = \varphi \cdot 100$$

	<b>m<sub>rastvor</sub></b>	<b>m<sub>ras. supstanca</sub></b>	<b>m<sub>rastvarač</sub></b>
<b>100 g 2 % rastvora</b>	100 g	2 g	98 g
<b>100 cm<sup>3</sup> 2 % rastvora</b>	100 cm <sup>3</sup>	2 cm <sup>3</sup>	98 cm <sup>3</sup>
<b>100 g 4,5 % rastvora</b>			
<b>30 g 2 % rastvora</b>			
<b>150 cm<sup>3</sup> 20 % rastvora</b>			

### Eksperiment 3. Priprema rastvora NaCl zadate procentne koncentracije

#### Pribor:

- sahatno staklo
- laboratorijska čaša
- stakleni štapić

#### Hemikalije:

- čvrsta supstanca NaCl



Eksperimentalni postupak:

Prvo je potrebno izračunati masu natrijum-hlorida potrebnog za pripremanje rastvora zadate koncentracije (asistent će dati podatke o koncentraciji i zapremini rastvora koju treba pripremiti). Nakon izračunate mase natrijum-hlorida i vode, na tehničkoj vagi odmeriti masu rastvorene supstance na sahatnom staklu, a rastvarač u menzuri (gustina vode je  $\rho = 1,00 \text{ kg/m}^3$ ). U laboratorijskoj čaši pripremiti rastvor vodeći računa da rastvorenu supstancu kvantitativno prenesete sa sahatnog stakla. Staklenim štapićem mešati rastvor do potpunog rastvaranja.

- Postupno izračunati masu natrijum-hlorida i vode za pripremu rastvora zadate koncentracije.

**Proračun:**

	<b>Zadati rastvori</b>	<b>m<sub>rastvor</sub></b>	<b>m<sub>ras. supstanc</sub></b>	<b>m<sub>rastvarač</sub></b>
<b>I</b>	30 g 2 % rastvor			
<b>II</b>	40 g 3,5 % rastvor			
<b>III</b>	30 g 4 % rastvor			
<b>IV</b>	25 g 2 % rastvor			
<b>V</b>	50 g 1 % rastvor			
<b>VI</b>	60 g 2 % rastvor			
<b>VII</b>	50 g 2,5 % rastvor			
<b>VIII</b>	40 g 1,6 % rastvor			
<b>IX</b>	50g 3,2% rastvor			
<b>X</b>	35g 1,45% rastvor			

### 6.3. Molski udeo (molska frakcija, $x_i$ )

**Molska frakcija** se definiše kao odnos broja molova jedne komponente u odnosu na ukupan broj molova svih komponenata u datoj smeši.

$$x_i = \frac{n_i}{n_{uk}}$$

### 6.4. Molaritet (količinska, molarna koncentracija, M)

**Količinska koncentracija** predstavlja broj molova rastvorene supstance u  $1 \text{ dm}^3$  rastvora.

$$c = \frac{n}{V} \quad \left[ \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \right]$$

Kada se u  $1 \text{ dm}^3$  rastvori 2 mol rastvorene supstance dobija se dvomolaran rastvor, a to možemo zapisati na sledeći način:

$$2 \text{ M} = 2 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} = \frac{2 \text{ mol}}{1000 \text{ cm}^3}$$

### Eksperiment 4. Priprema rastvora NaCl zadate količinske koncentracije i priprema razblaženog rastvora od osnovnog koncentrovanijeg rastvora

Pribor:

- sahatno staklo
- laboratorijska čaša
- normalni sudovi zapremine  $100\text{ cm}^3$  i  $250\text{ cm}^3$

Hemikalije:

- čvrsta supstanca NaCl

Eksperimentalni postupak:

A. Izračunati masu natrijum-hlorida potrebnu za pripremanje rastvora zadate koncentracije (jednog od rastvora iz tabele date ispod). Na tehničkoj vagi odmeriti masu rastvorene supstance na sahatnom staklu. U laboratorijsku čašu rastvoriti odmereni natrijum-hlorid sa malom količinom vode vodeći računa da se rastvorena supstanca kvantitativno prenese sa sahatnog stakla. Staklenim štapićem mešati rastvor do potpunog rastvaranja i preneti ga u normalni sud. Zidove čaše i stakleni štapić isprati destilovanom vodom i preneti sve u normalni sud. Ispiranje vršiti više puta u malim porcijama. Kada se rastvorena supstanca iz čaše prenese u normalni sud, špic bocom dopuniti normalni sud do oznake (crte).

- Postupno izračunati masu natrijum-hlorida potrebnu za pripremu rastvora zadate koncentracije.

Proračun:

	Početni rastvor	$m_{\text{ras.}}$ supstanca	Razblaženi rastvor	$V_{\text{konc. rastvora}}$
<b>I</b>	$100\text{ cm}^3$ 0,1 M rastvor		$250\text{ cm}^3$ _____ M rastvor	
<b>II</b>	$100\text{ cm}^3$ 0,14 M rastvor		$250\text{ cm}^3$ _____ M rastvor	
<b>III</b>	$100\text{ cm}^3$ 0,16 M rastvor		$250\text{ cm}^3$ _____ M rastvor	
<b>IV</b>	$100\text{ cm}^3$ 0,18 M rastvor		$250\text{ cm}^3$ _____ M rastvor	
<b>V</b>	$100\text{ cm}^3$ 0,2 M rastvor		$250\text{ cm}^3$ _____ M rastvor	
<b>VI</b>	$100\text{ cm}^3$ 0,22 M rastvor		$250\text{ cm}^3$ _____ M rastvor	
<b>VII</b>	$100\text{ cm}^3$ 0,24 M rastvor		$250\text{ cm}^3$ _____ M rastvor	
<b>VIII</b>	$100\text{ cm}^3$ 0,26 M rastvor		$250\text{ cm}^3$ _____ M rastvor	
<b>IX</b>	$100\text{ cm}^3$ 0,28 M rastvor		$250\text{ cm}^3$ _____ M rastvor	
<b>X</b>	$100\text{ cm}^3$ 0,3 M rastvor		$250\text{ cm}^3$ _____ M rastvor	

**B.** Za pripremanje razblaženijeg rastvoranatrijum-hlorida koristiti prethodno pripremljen rastvor iste soli. Izračunati zapreminu koncentrovanog rastvora koju je neophodno odmeriti i preneti kvantitativno u pripremljen normalni sud zapremine 250 cm<sup>3</sup>. Zidove menzure i ostale korišćene sudove isprati destilovanom vodom i preneti u normalni sud u kome se priprema razblaženi rastvor. Ispiranje vršiti više puta u malim porcijama. Kada se odmereni rastvor prenese, špric bocom dopuniti normalni sud do oznake (crte).

- Postupno izračunati zapreminu vode potrebnu za pripremu rastvora nove zadate koncentracije.

Proračun:

---

### 6.5. Molalitet (molalna koncentracija, $b$ )

**Molalna koncentracija** predstavlja broj molova rastvorene supstance koji se nalazi u 1 kg rastvarača. Kada se u 1 kg rastvarača rastvori 2 mol rastvorene supstance dobija se dvomolalan rastvor.

$$b = \frac{n}{m_{(\text{rastvarač})}} \quad \left[ \frac{\text{mol}}{\text{kg}} \right]$$

### 6.6. Masena koncentracija ( $\gamma$ )

**Masena koncentracija** predstavlja broj grama rastvorene supstance koja se nalazi u 1 dm<sup>3</sup> rastvora.

$$\gamma = \frac{m_{(\text{rastvorena supstanca})}}{V_{(\text{rastvor})}} \quad \left[ \frac{\text{g}}{\text{dm}^3} \right]$$

### 6.7. Normalitet (normalna koncentracija, $N$ )

**Normalitet** predstavlja broj grama ekvivalenta rastvorene supstance koji se nalazi u 1 dm<sup>3</sup> rastvora. Ekvivalent se izračunava na sledeći način:

- Jedan gram ekvivalent **kiseline** predstavlja odnos molekulske mase kiseline i njene baznosti, npr. za H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:

$$1 \text{ g. e.} = M(\text{H}_2\text{SO}_4)/\text{baznost} = 98/2 = 49$$

- Jedan gram ekvivalent **baze** predstavlja odnos molekulske mase baze i valence metala. Npr. za Ca(OH)<sub>2</sub>:

$$1 \text{ g. e.} = M(\text{Ca}(\text{OH})_2)/\text{valenca metala} = 74/2 = 37$$

Jedan gram ekvivalent **sol**i predstavlja odnos molekulske mase soli i proizvoda valence metala i broja atoma metala koji grade so. Npr. za  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ :  
 $1 \text{ g. e.} = M(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)/\text{valenca metala} \cdot \text{br. atoma metala} = 400/3 \cdot 2 = 66,7$

## 6.8. Koncentracije ppm, ppb, ppt

Ako je poznato da je procenat (%) stoti deo neke celine, a promil (‰) hiljaditi deo celine, onda se lako ppm, ppb i ppt mogu definisati i razumeti. Koncentracija **ppm** (*parts per million*) predstavlja milioniti deo jedne celine, **ppb** (*parts per billion*) predstavlja bilioniti deo, a **ppt** (*parts per trillion*) trilioniti deo jedne celine. Taj odnos može biti maseni ili zapreminski.

$$1\% = 1/100 = 1 \cdot 10^{-2}$$

$$1\text{‰} = 1/1000 = 1 \cdot 10^{-3}$$

$$1\text{ppm} = 1/1000\ 000 = 1 \cdot 10^{-6}$$

$$1\text{ppb} = 1/1000\ 000\ 000 = 1 \cdot 10^{-9}$$

$$1\text{ppt} = 1/1000\ 000\ 000\ 000 = 1 \cdot 10^{-12}$$

Ove jedinice lako možemo porediti:

$$1\% = 10\ \text{‰} = 10^4 \text{ppm} = 10^7 \text{ppb} = 10^{10} \text{ppt}$$

Ako uzmemo da je maseni udeo nekog rastvora 0,12, možemo ga jednostavno izraziti na različite načine:

$$\omega (A) = 0,12 = 12\ \% = 120\ \text{‰} = 1,2 \cdot 10^5 \text{ppm}$$

U hemiji predstavljene veličine se najčešće koriste kada treba izraziti maseni ili zapreminski odnos rastvorene supstance u ispitivanom rastvoru.

- $1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/kg} = 1 \text{ }\mu\text{g/g}$   
 $1 \text{ ppm} = 1 \text{ }\mu\text{l/L}$
- $1 \text{ ppb} = 1 \text{ }\mu\text{g/kg} = 1 \text{ ng/g}$   
 $1 \text{ ppb} = 1 \text{ nl/L}$

Ove veličine se ponekad koriste kada je potrebno izraziti masenu koncentraciju rastvora.

- $1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/dm}^3$
- $1 \text{ ppb} = 1 \text{ }\mu\text{g/dm}^3$

## 7. KRISTALOHIDRATI



Mnoge čvrste supstance mogu da vežu vodu koja je prisutna u zemlji ili atmosferi, ili u vodenim rastvorima. Voda se može vezati na više različitih načina i takva voda se može ukloniti iz molekula na različite načine.

Izdvajanjem (**kristalisanjem**) rastvorene supstance iz vodenih rastvora, molekuli vode mogu da se ugrade u kristalnu rešetku. Kristali, koji u svom sastavu sadrže takvu vodu jednom rečju se nazivaju **kristalohidrati**, a kada ne sadrže molekule vode nazivaju se **anhidrovanim** supstancama. U zavisnosti od broja vezanih molekula vode razlikujemo mono-, di-, tri-dekahidrate. Tako vezana voda je higroskopna i ona se uklanja zagrevanjem na različitim temperaturama, zavisno od tipa kristalohidrata. Mnogi kristalohidrati mogu deo vode da oslobode na niskim temperaturama, približno sobnoj t (oko 22 °C) i ta pojava se naziva **eflorescencija**. Sa druge strane, postoje i supstance sa ogromnim afinitetom ka vodi, pa na sobnoj temperaturi se rasplinjavaju i ta pojava se naziva **delikvescencija**.

Voda se i koordinativno može vezati za mnoge atome ili jone, pa se tako vezana naziva **koordinacionom** vodom. Takođe se može vezati za različite atome i u obliku OH<sup>-</sup> grupe, pa se takva voda naziva **konstitucionalna**. Zagrevanjem takvih supstanci može se odstraniti voda, ali takvi molekuli, u tom slučaju, trajno menjaju svoj sastav.

### **Eksperiment 1. Rad sa kristalohidratima**

#### Pribor:

- stalak sa epruvetama
- špiritusna lampa
- drvena štipaljka za epruvete

#### Hemikalije:

- čvrsta supstanca CuSO<sub>4</sub> · 5 H<sub>2</sub>O.

#### Eksperimentalni postupak:

A. U suhu epruvetu sipati kašičicu plavog kamena, bakar(II)-sulfata pentahidrata, CuSO<sub>4</sub> · 5 H<sub>2</sub>O. Epruvetu pomoću drvene štipaljke unositi u plamen špiritusne lampe. Voditi računa da se ne zagreva samo sa jedne strane, već je kruženjem oko plamena ujednačeno zagrevati.

- Uočiti promenu boje supstance u epruveti. Zašto se menja boja?
- 

B. Nakon završetka eksperimenta epruvetu ostaviti da se ohladi.

- Da li se dešavaju promene u epruveti tokom hlađenja? \_\_\_\_\_
  - Pasterovom pipetom dodati nekoliko kapi vode i uočite promene. Objasnite.
- 

### **Eksperiment 2. Određivanje količine vode u kristalohidratima**

#### Pribor:

- stativ za epruvetu
  - špiritusna lampa ili Bunsenov plamenik
  - tehnička vaga
-

Hemikalije:

- čvrsta supstanca  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$

Eksperimentalni postupak:

U prethodno izmerenu epruvetu ( $m_1$ ) sipati dve kašičice plavog kamena i odmeriti epruvetu sa supstancom na tehničkoj laboratorijskoj vagi ( $m_2$ ). Nakon merenja, epruvetu pričvrstiti za stativ pod uglom od  $45^\circ\text{C}$ . Pre početka zagrevanja obratiti pažnju na boju soli! Kontrolisano zagrevati epruvetu uz pomoć špiritusne lampe ili Bunsenovog plamenika. Kada se boja soli promeni, nastaviti zagrevanje još 5 minuta i ostaviti epruvetu da se ohladi. Nakon toga, izmeriti masu epruvete sa anhidrovanom soli ( $m_3$ ).

- Iz razlike u masama izračunati broj molekula vode koju sadrži posmatrani kristalohidrat.

**Proračun:**

### **Eksperiment 3. Rastvaranje kristalohidrata i anhidrovanih soli**

Pribor:

- stalak sa epruvetama
- termometar
- stakleni štapić

Hemikalije:

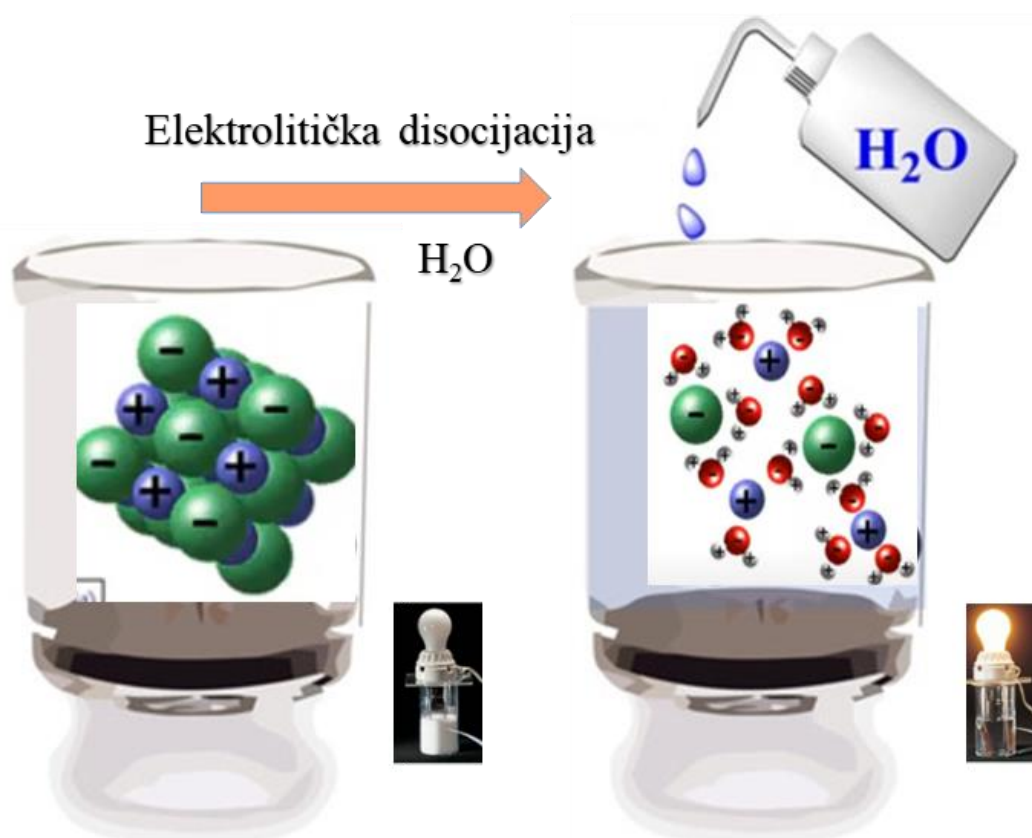
- čvrsta supstanca  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$
- čvrsta supstanca  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Eksperimentalni postupak:

U dve epruvete sipati destilovanu vodu do 1/3 njihove visine. Termometrom izmeriti temperaturu destilovane vode,  $t_1$ . U jednu epruvetu dodati kašičicu kristalohidrata natrijum(I)-sulfata dekahidrata ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ), a u drugu istu količinu anhidrovane soli natrijum(I)-sulfata. Staklenim štapićima kratko promešati sadržaj u epruvetama i ponovo termometrom izmeriti temperature u obe epruvete. Temperaturu rastvora kristalohidrata obeležiti sa  $t_2$ , a temperaturu rastvora anhidrovane soli sa  $t_3$ .

- Objasniti toplotni efekat rastvaranja dve soli.
  - Izračunati kolika je promena temperature u epruveti sa rastvorom kristalohidrata  $\Delta t_k$ , a kolika u epruveti sa rastvorom anhidrovane supstance  $\Delta t_a$ .
-

## 8. ELEKTROLITI, ELEKTROLITIČKA DISOCIJACIJA





Supstance čiji vodeni rastvori ili rastopi provode struju se nazivaju **elektroliti**, a one koje ne provode struju se nazivaju **neelektroliti**. Kiseline, baze i soli predstavljaju elektrolite, dok su neelektroliti najčešće organska ugljovodonična jedinjenja. Disocijacija je proces razlaganja elektrolita u vodenim rastvorima na katjone i anjone usled fizičko-hemijskog dejstva rastvorene supstance i rastvarača. Elektroliti ne disosuju u istom stepenu, a stepen disocijacije zavisi od:

- Prirode elektrolita
- Prirode rastvarača
- Koncentracije rastvorene supstance i
- Temperature.

**Stepen disocijacije,  $\alpha$**  je merilo jačine elektrolita. Predstavlja odnos broja disosovanih molekula ( $N_{\text{dis}}$ ) i ukupnog broja molekula rastvorene supstance koji su rastvoreni u rastvaraču ( $N_{\text{uk}}$ ).

$$\alpha = \frac{N_{\text{dis}}}{N_{\text{uk}}}$$

Stepen disocijacije,  $\alpha$  se izražava u skali od **0 – 1**, odnosno od **0 – 100 %**. Kod jakih elektrolita vrednost za  $\alpha$  je veća od **30 %**, kod slabih manja od 30 %, dok kod neelektrolita  $\alpha$  ima vrednost 0.

**Konstanta jonizacije elektrolita** je veličina kojom se mogu porediti dva elektrolita jer ne zavisi od koncentracije rastvorene supstance.



Prema vrednosti za K, elektroliti se svrstavaju u tri kategorije:

- **Jaki elektroliti,  $K > 1$**
- **Elektroliti srednje jačine,  $10^{-3} < K < 1$**
- **Slabi elektroliti,  $K < 10^{-3}$**

Pored  $\alpha$  i K, jačinu elektrolita definiše i **provodljivost** njihovih rastvora i hemijska aktivnosti u hemijskim reakcijama. Kada je reč o provodljivosti struje kroz rastvore elektrolita, ona će biti veća ukoliko u rastvoru imamo veći broj jona (koji provode struju), odnosno ako je elektrolit disosovao u većem stepenu. Na osnovu tih podataka govorimo o jakim i slabim provodnicima električne struje.

Kada posmatramo hemijske reakcije, opšte je poznato da su sve reakcije brže pri višim koncentracijama reaktanata. Posmatrajući taloženje  $\text{Ca}^{2+}$  jona sa KOH ili sa  $\text{NH}_4\text{OH}$ , jasno možemo zaključiti koji je elektrolit jači na osnovu brzine taložne reakcije, a u direktnoj vezi je sa koncentracijom  $\text{OH}^-$  jona u rastvoru, odnosno sa stepenom disocijacije navedenih baza. Rastvaranjem elektrolita (kiselina, baza i soli) u rastvoru se uspostavlja dinamička ravnoteža između procesa disocijacije i sjedinjavanja jona. Od jačine elektrolita (prirode) zavisi u kom će pravcu ova ravnoteža biti pomeren. Obzirom da su jaki elektroliti skoro potpuno ili potpuno

disosovani, njihov proces disocijacije se predstavlja strelicom u jednom smeru ( $\rightarrow$ ), dok kod slabih elektrolita deo molekula ostaje nedisosovan, pa se proces disocijacije predstavlja strelicama suprotnog smera ( $\rightleftharpoons$ , povratna hemijska reakcija).

U **jake** elektrolite ubrajamo:

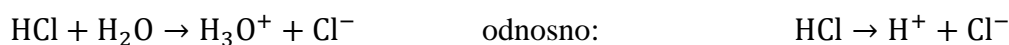
- Jake kiseline: HCl, HBr, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HClO<sub>4</sub>.
- Jake baze: baze alkalnih i zemoalkalnih metala (osim Be).
- Normalne (neutralne) soli: NaCl, LiNO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, itd.

U **slabe** elektrolite ubrajamo:

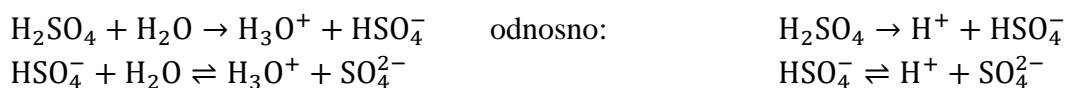
- Slabe kiseline: HCN, HI, HNO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, itd.
- Slabe baze: NH<sub>4</sub>OH, Al(OH)<sub>3</sub>, Zn(OH)<sub>2</sub>, Cu(OH)<sub>2</sub>, Fe(OH)<sub>3</sub>, itd.
- Ostali tipovi soli: NaHCO<sub>3</sub>, Co(OH)NO<sub>3</sub>, K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>], itd.

### Disocijacija jakih kiselina:

- **Monobazne**



- **Polibazne**

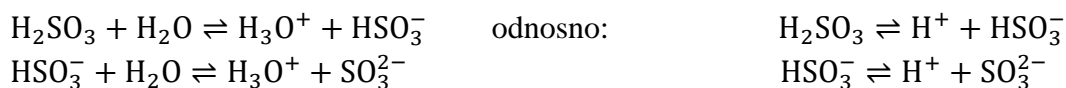


### Disocijacija slabih kiselina:

- **Monobazne**

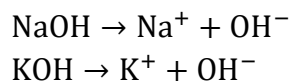


- **Polibazne**

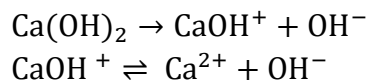


### Disocijacija jakih baza:

- **Monokisele**

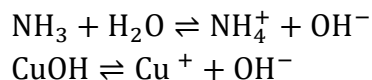


- **Polikisele**

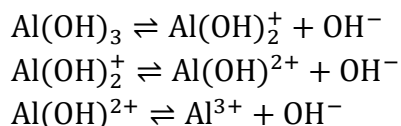


### Disocijacija slabih baza:

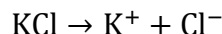
- **Monokisele**



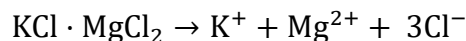
- **Polikisele**

**Potpuna disocijacija soli:**

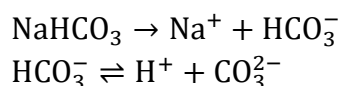
- **Normalne soli:**



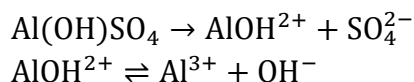
- **Dvogube soli:**

**Nepotpuna disocijacija soli:**

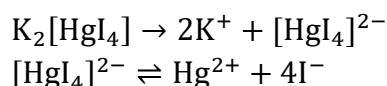
- **Kisele soli:**



- **Bazne soli:**



- **Kompleksne soli:**

**Ekspiriment 1. Određivanje elektroprovodljivosti**Pribor:

- laboratorijske čaše
- špric boca
- konduktometar

Hemikalije:

- supstance iz dole navedene tabele

Ekspirimentalni postupak:

U laboratorijske čaše pripremiti po 30 cm<sup>3</sup> 0,01 M rastvora svake od zadatih supstanci iz tabele. Pre početka merenja elektrodu isprati destilovanom vodom i osušiti. U prvi pripremljen rastvor uroniti elektrodu i izmeriti provodljivost. Postupak ponoviti za sve rastvore i rezultate upisati u tabelu. Između svakog merenja isprati elektrodu.

- Zašto je neophodno isprati elektrodu između svakog merenja?
- 
- Da li bi se povećala preciznost merenja ako bi se provodljivost istog rastvora merila tri puta? Koja bi onda vrednost bila „najtačnija“ i kako bi se do nje došlo?
-

	supstanca	Provodljivost [ $\mu\text{S}$ ]	Jačina elektrolita	Jačina struje [mA]
1.	H <sub>2</sub> O			
2.	HCl			
3.	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			
4.	NaOH			
5.	NH <sub>4</sub> OH			
6.	CH <sub>3</sub> COOH			
7.	NaCl			
8.	CH <sub>3</sub> COONa			
9.	NH <sub>4</sub> Cl			
10.	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH			

## Eksperiment 2. Razlike u hemijskoj aktivnosti jakih i slabih elektrolita

### Pribor:

- stalak sa epruvetama

### Hemikalije:

- rastvor CaCl<sub>2</sub>, 0,1M
- rastvor NaOH, 1M
- rastvor NH<sub>4</sub>OH, 1M
- rastvor HCl, 1M
- rastvor CH<sub>3</sub>COOH, 1M
- granule cinka

### Eksperimentalni postupak:

**A.** U dve epruvete sipati do 1/3 visine epruvete rastvor kalcijum-hlorida. U prvu epruvetu dodati 3 cm<sup>3</sup> 1M natrijum/hidroksida, a u drugu 3 cm<sup>3</sup> 1 M amonijum-hidroksida.

- Napisati hemijske jednačine reakcija izdvajanja kalcijum-hidroksida, Ca(OH)<sub>2</sub> u obe epruvete.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

- Izvesti zaključak na osnovu brzine formiranja hidroksida?

\_\_\_\_\_

**B.** U jednu epruvetu sipati do 1/3 visine epruvete rastvor hlorovodonične kiseline, a u drugu istu zapreminu sirćetne kiseline. U obe epruvete dodati po granulu cinka.

- Uočiti razlike u hemijskim reakcijama. \_\_\_\_\_
- Napisati hemijske jednačine reakcija za procese u obe epruvete.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### **Eksperiment 3. Reakcije elektrolita u kojima nastaju slabo disosovana jedinjenja**

Pribor:

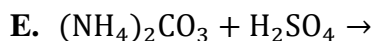
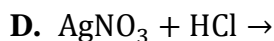
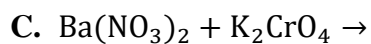
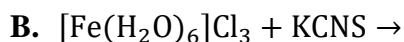
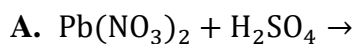
- stalak sa epruvetama

Hemikalije:

- supstance iz dole navedenih reakcija

Eksperimentalni postupak:

U epruvetu pomešati male zapremine elektrolita (oko 1 - 2 cm<sup>3</sup>) redom kao što je navedeno u jednačinama:

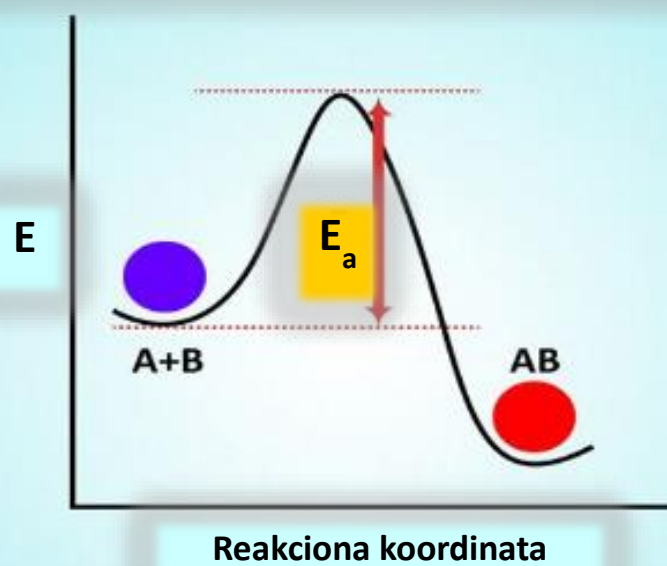


- Hemijskom jednačinom opisati nastale promene.
  - Naznačiti slabo disosovane čestice, nastale taloge, gasove.
  - Napisati proizvode hemijskih reakcija.
  - Napisati jednačine istih reakcija i u jonskom obliku.
-

---

## 9. HEMIJSKA KINETIKA. BRZINA HEMIJSKE REAKCIJE

### Hemijska kinetika



**Hemijska kinetika** je deo hemije koji se bavi proučavanjem brzine hemijske reakcije kao i mehanizmom kojim se izučavana reakcija odvija. Hemijske reakcije se odvijaju različitim brzinama. Pojedine hemijske reakcije su jako brze (delovi sekunde), dok su neke jako spore (više godina). Brzina kojom se neka reakcija odvija zavisi od više faktora, i to od:

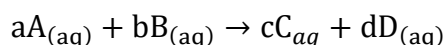
- Prirode reaktanata
- Koncentracije reaktanata
- Temperature
- Pritiska
- Veličine dodirne površine
- Prisustva katalizatora
- Zračenja.

Brzina kojom se odigrava neki hemijski proces meri se promenom koncentracije nekog od reaktanata u toku vremena.

$$V = \pm \frac{\Delta C}{\Delta t}$$

Da bi došlo do hemijske reakcije, neophodno je da čestice koje reaguju dođu u kontakt (sudare se). Samo **uspešni sudari** dovode do hemijske reakcije, a broj tih sudara zavisi od koncentracije reaktanata (broj čestica u jedinici zapremine) i brzine kretanja samih čestica. Uspešni sudari su oni koji nastaju među česticama koje poseduju dovoljnu kinetičku energiju, istu ili veću od **energije aktivacije** (minimum energije potrebne da dođe do hemijske reakcije). Samo takvi sudari dovode do stvaranja aktiviranog kompleksa čijim razlaganjem dolazi do formiranja proizvoda.

**Guldberg i Wag-e** (*Cato Maximilian Guldberg, Petar Vague*) su definisali **Zakon o dejstvu masa**, po kome je brzina hemijske reakcije na konstantnoj temperaturi proporcionalna proizvodu molarnih koncentracija reaktanata.



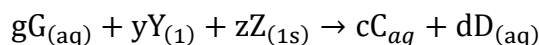
$$V = k \cdot [A]^a \cdot [B]^b$$

gde je **k** konstanta brzine hemijske reakcije. Ona zavisi od:

- Prirode reaktanata i
- Temperature

[A], [B] su molarne koncentracije reaktanta A i B, Aa, b su stehiometrijski koeficijenti.

Supstance koje su u tečnom i čvrstom agregatnom stanju ne ulaze u izraz za brzinu hemijske reakcije, jer je promena njihove koncentracije toliko mala pa se može smatrati konstantnom.



$$V = k \cdot [G]^g$$

### **Eksperiment 1. Uticaj prirode reaktanata, katalizatora i veličine čestica (dodirne površine, S) na brzinu hemijske reakcije (V)**

#### Pribor:

- stalak sa epruветama
- laboratorijske čaše od 10 cm<sup>3</sup>

#### Hemikalije:

- rastvor HCl, 2 %
- rastvor AgNO<sub>3</sub>, 2 %
- rastvor Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 2 %
- rastvor FeCl<sub>3</sub>, 0,1M
- rastvor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 3 %
- čvrsta supstanca, u prahu i rastvor HgCl<sub>2</sub>, 0,1M
- čvrsta supstanca, u prahu i rastvor KI, 0,1M

#### Eksperimentalni postupak:

**A.** U dve epruvete sipati po 2 - 3 cm<sup>3</sup> hlorovodonične i sirćetne kiseline istih koncentracija. Nakon toga dodati istu zapreminu 2 % rastvora srebro-nitrata u prvu epruветu i istu zapreminu 2 % rastvora olovo(II)-nitrata, u drugu epruветu. Blago protresti epruветe i staviti ih na stalak. Posmatrati promene koje se dešavaju i opisati zapažanja. Napisati obe hemijske reakcije.

- Objasniti promene koje su nastale. \_\_\_\_\_
  - Napisati hemijske reakcije za procese iz obe epruветe.
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

**B.** U tri epruветe sipati redom različite zapremine istog rastvora gvožđe(III)-hlorida, FeCl<sub>3</sub>:

1. u prvu: 4 cm<sup>3</sup> gvožđe(III)-hlorida,
2. u drugu: 1 cm<sup>3</sup> gvožđe(III)-hlorida i 3 cm<sup>3</sup> vode
3. u treću: 4 cm<sup>3</sup> vode

U sve tri epruветe dodati po 3 cm<sup>3</sup> 3 % rastvora vodonik-peroksida i dobro promućkati.

- Objasniti uticaj katalizatora na brzinu hemijske reakcije razlaganja vodonik-peroksida u prisustvu različitih koncentracija gvožđe(III)-hlorida.
- \_\_\_\_\_

- Napisati jednačine hemijske reakcije razlaganja vodonik-peroksida u prisustvu katalizatora i bez prisustva katalizatora.
- \_\_\_\_\_

**C.** U tri male laboratorijske čaše ili u avane pomešati živa(II)-hlorid i kalijum-jodid različitim veličina čestica:

1. u prvu: čvrsta supstanca živa(II)-hlorid i čvrsta supstanca kalijum-jodida,
  2. u drugu: sprašeni živa(II)-hlorid i čvrsta supstanca kalijum-jodida,
  3. u treću: vodeni rastvor živa(II)-hlorid i vodeni rastvor kalijum-jodida.
-



- Posmatrati reakcione smeše i objasniti uticaj dodirne površine na brzinu pojave narandžastog taloga živa(II)-hlorid.
- 
- Napisati jednačinu hemijske reakcije.
- 

## Eksperiment 2. Uticaji koncentracije reaktanata i temperature na brzinu hemijske reakcije (V)

### Pribor:

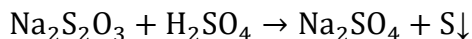
- stalak sa epruvetama
- štoperica (hronometar)
- termometar

### Hemikalije:

- rastvor  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , 2 %
- rastvor  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 2 %

### Eksperimentalni postupak:

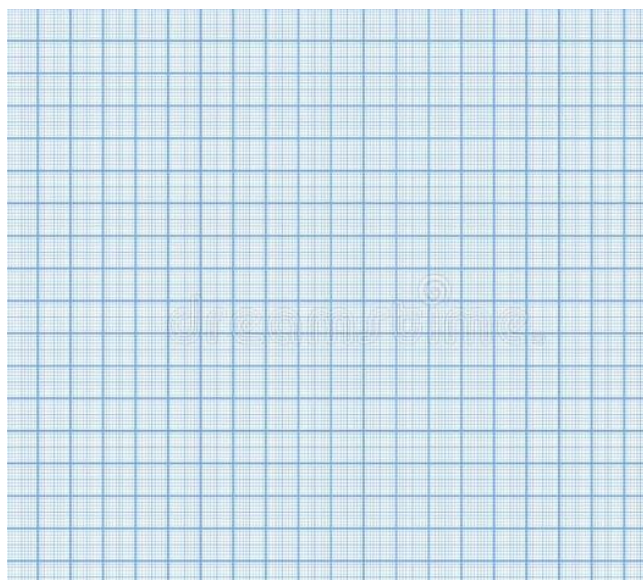
U demonstraciji uticaja koncentracije reaktanata i temperature možemo se poslužiti reakcijom natrijum-tiosulfata i sumporne kiseline:



A. U tri epruvete odmeriti redom:  $2,5 \text{ cm}^3$ ,  $5 \text{ cm}^3$  i  $7,5 \text{ cm}^3$  natrijum-tiosulfata. Istim redom u iste epruvete dodati:  $5 \text{ cm}^3$ ,  $2,5 \text{ cm}^3$  i  $0 \text{ cm}^3$   $\text{H}_2\text{O}$  (zapremina u svim epruvetama bi nakon dodavanja trebalo da bude ista). U nove tri epruvete odmeriti po  $2,5 \text{ cm}^3$  sumporne kiseline. Pripremiti hronometar (štopericu) kojim će se meriti vreme koje je potrebno da se pojavi belo zamućenje koje potiče od izdvajanja elementarnog sumpora. U momentu dodatka sumporne kiseline u rastvor natrijum-tiosulfata uključiti hronometar. Posmatrati epruvetu sve vreme i zaustaviti hronometar pri pojavi belog zamućenja. Vrednosti izmerenog vremena upisati u tabelu. Postupak ponoviti u sva tri slučaja na isti način.

- Na osnovu podataka iz tabele nacrtati grafik zavisnosti brzine hemijske reakcije od koncentracije natrijum-tiosulfata.
- Kakav zaključak se može izvesti?

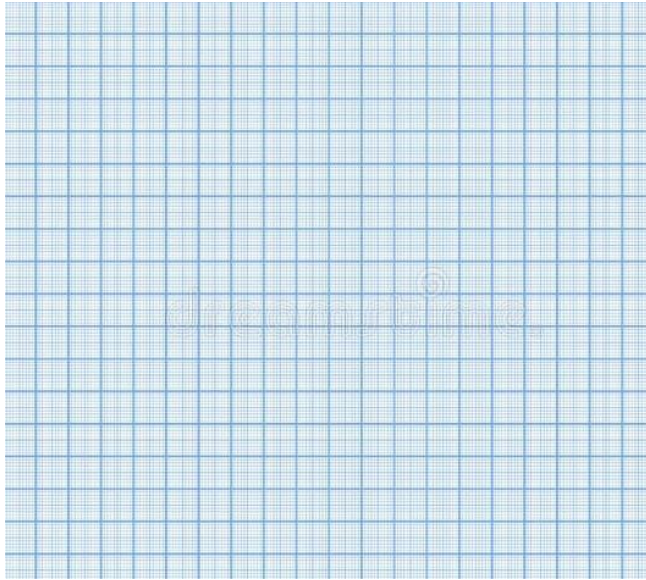
Br.	Zapremina $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	Zapremina $\text{H}_2\text{O}$	Zapremina $\text{H}_2\text{SO}_4$	Koncentracija $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	Vreme u sekundama, t	1/t
1.						
2.						
3.						



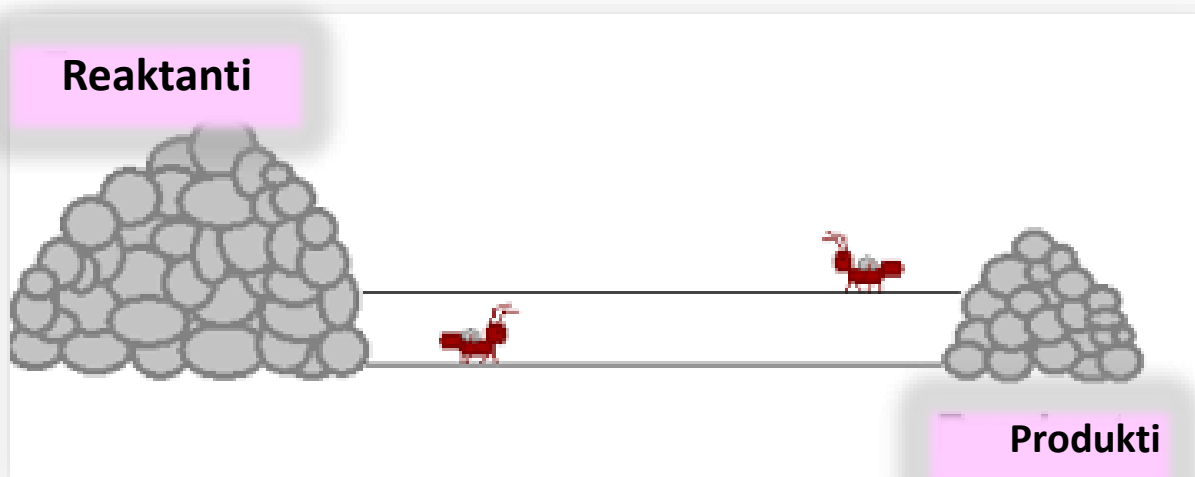
**B.** U prvi red na stalku postaviti tri epruvete i u njih odmeriti redom po  $5 \text{ cm}^3$  natrijum-tiosulfata. Nove tri epruvete postaviti u drugi red na stalku i u njih odmeriti takođe po  $5 \text{ cm}^3$  sumporne kiseline. Pre spajanja rastvora potrebno je termostatirati epruvete (po jednu iz prvog i drugog reda) u velikoj laboratorijskoj **čāši sa toplom vodom** (pola minuta). U čāšu staviti i termometar. U toku termostatiranja pripremiti hronometar (štopericu) kojim će se meriti vreme koje je potrebno da se pojavi belo zamućenje koje potiče od izdvojenog elementarnog sumpora. Za to vreme termometrom izmeriti temperaturu vode u čāši. Nakon termostatiranja presuti rastvor kiseline u rastvor soli (epruvetu sa rastvorom ne vaditi iz čāše sa toplom vodom) i uključiti hronometar. Posmatrati epruvetu sve vreme i zaustaviti hronometar pri pojavi belog zamućenja. Vrednosti izmerenog vremena upisati u tabelu. Postupak ponoviti tri puta na isti način za:

1. **čāšu sa toplom vodom,**
  2. **čāšu sa mlakom vodom** (pola tople vode prosuti i dodati toliku količinu hladne vode)
  3. **čāšu sa hladnom vodom (dodati par kockica leda)**
- Na osnovu podataka iz tabele nacrtati grafik zavisnosti brzine hemijske reakcije od temperature.
  - Kakav zaključak se može izvesti \_\_\_\_\_

Br.	Zapremina $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	Zapremina $\text{H}_2\text{SO}_4$	Temperatura [°C]	Vreme u sekundama, t	1/t
1.					
2.					
3.					



## 10. HEMIJSKA RAVNOTEŽA U HOMOGENIM SISTEMIMA



Hemijske reakcije se mogu klasifikovati na više načina. Ako se posmatra smer u kom se odvijaju možemo ih podeliti na:

- **nepovratne (ireverzibilne) i**
- **povratne (reverzibilne).**

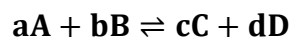
**Ireverzibilne reakcije** su one koje teku samo u jednom smeru, a **reverzibilne reakcije** istovremeno teku u oba smera. U opštem slučaju to bi se moglo opisati sledećim hemijskim reakcijama:



Primenom **zakona o dejstvu masa** može se definisati brzina hemijske reakcije. Kod ireverzibilne hemijske reakcije postoji samo jedan proces koji teče s leva na desno i on se može opisati brzinom  $V_1$ .



Kod reverzibilnih hemijskih reakcija postoje dva procesa. Jedan proces teče ulevo ( $\leftarrow$ ) i to je **direktna hemijska reakcija**, a drugi proces teče udesno ( $\rightarrow$ ) i to je **povratna hemijska reakcija**.

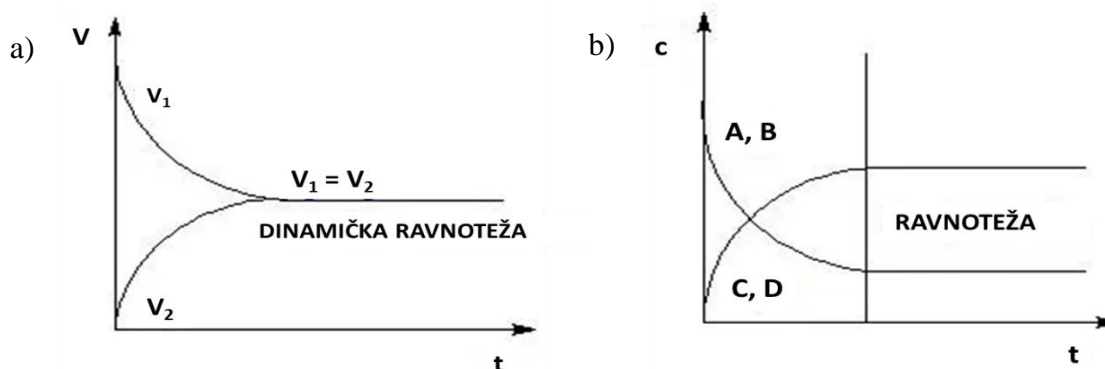


Ako odvojeno napišemo direktnu i povratnu hemijsku reakcije i primenimo zakon o dejstvu masa, dobijamo:



gde su  $[A]$  i  $[B]$  molarne koncentracije reaktanata, a  $[C]$  i  $[D]$  molarne koncentracije proizvoda hemijske reakcije, dok su malim slovima  $a$ ,  $b$ ,  $c$  i  $d$  označeni stehiometrijski koeficijenti.

U toku hemijske reakcije reaktanti ( $A$  i  $B$ ) se troše, pa se brzina  $V_1$  sa vremenom smanjuje, dok se u isto vreme stvaraju proizvodi i njihova koncentracija raste ( $C$  i  $D$ ), pa se brzina  $V_2$  povećava u toku vremena (Slika 43.)



Slika 43. Zavisnost brzine hemijske reakcije (a) i koncentracije (b) reaktanata od vremena

Posle nekog vremena brzine direktne i povratne hemijske reakcije se izjednačavaju (**dinamička ravnoteža**) i na dalje obe reakcije teku istim brzinama, suprotnih smerova, pa se stiče utisak da se ništa ne menja (prividan utisak). Stanje dinamičke ravnoteže se može opisati na sledeći način:

Uslov:

$$V_1 = V_2$$

$$k_1 \cdot [A]^a \cdot [B]^b = k_2 \cdot [C]^c \cdot [D]^d$$

odnosno:

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

Konstanta hemijske ravnoteže, K, je definisana odnosom konstanti brzina hemijskih reakcija  $k_1$  i  $k_2$ , tj. odnosom proizvoda molarnih koncentracija proizvoda i reaktanata podignutih na stepen stehiometrijskih koeficijenata. Konstanta K može imati vrednosti od  $10^{-50}$  do  $10^{50}$  i ona definiše položaj hemijske ravnoteže. Ako je njena vrednost veća od 1, onda je ravnoteža pomerenjena udesno i obrnuto.

Kada se posmatraju reakcije čiji su reaktanti u gasovitom agregatnom stanju (**gasovi**), onda K može imati drugačiji oblik. Kod gasova su molarne koncentracije učesnika hemijskih reakcija proporcionalne parcijalnim pritiscima gasova, pa se oni mogu naći u izrazu za konstantu hemijske ravnoteže.

$$K_p = \frac{p^c \cdot p^d}{p^a \cdot p^b}$$

Vrednost konstante ravnoteže izračunata preko molarnih koncentracija i preko parcijalnih pritisaka je ista kada nema promene broja molova u hemijskoj reakciji ( $K_c = K_p$ ), a kada se taj broj menja ove vrednosti nisu identične i izračunavaju se po jednačini  $((c+d) - (a+b))$ .

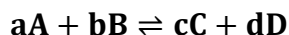
Konstante K,  $k_1$  i  $k_2$  ne zavise od koncentracije reaktanata već od njihove prirode i temperature. Hemijska ravnoteža K zavisi od:

- **koncentracije reaktanata i produkata**
- **temperature**
- **pritiska (ako učestvuju gasovi).**

Hemijski proces koji se nalazi u stanju ravnoteže je stabilan i teži da u takvom stanju ostane. Svaka promena pomenutih parametara koji mogu uticati na ravnotežu, nakon njenog uspostavljanja, prouzrokuje njeno pomeranje. Pravac pomeranja ravnoteže (ulevo ili udesno) je pravac suzbijanja spoljašnjeg uticaja. Posledica pomeranja ravnoteže je promena koncentracije učesnika hemijske reakcije. Ova promena se dešava sve dok se ponovo ne uspostavi hemijska ravnoteža.

### A. Uticaj koncentracije učesnika reakcije na brzinu hemijske reakcije

Ako se poveća koncentracija reaktanata (oba ili samo jednog) ravnoteža se pomera udesno. To je pravac u kom se reaktanti troše gradeći proizvode. Ako se smanji koncentracija reaktanata ravnoteža se pomera ulevo (pogledati šemu ispod).



↗ [A] ravnoteža se pomera →

↗ [B] ravnoteža se pomera →

↗ [A] i [B] ravnoteža se pomera → (u većoj meri se pomera udesno)

↘ [A] ravnoteža se pomera ←

↘ [B] ravnoteža se pomera ←

↘ [A] i [B] ravnoteža se pomera ← (u većoj meri se pomera ulevo)

Ako se poveća koncentracija proizvoda ravnoteža se pomera ulevo. To je pravac u kom se proizvodi troše gradeći reaktante. Ako se smanji koncentracija proizvoda ravnoteža se pomera udesno (pogledati šemu ispod).

↗ [C] ravnoteža se pomera ←

↗ [D] ravnoteža se pomera ←

↗ [C] i [D] ravnoteža se pomera ← (u većoj meri se pomera ulevo)

↘ [C] ravnoteža se pomera →

↘ [D] ravnoteža se pomera →

↘ [C] i [D] ravnoteža se pomera → (u većoj meri se pomera udesno)

### **Eksperiment 1. Uticaj koncentracije reaktanata na hemijsku ravnotežu**

#### Pribor:

- stalak sa epruветama

#### Hemikalije:

- čvrsta supstanca i rastvor  $\text{FeCl}_3$ ,  $10^{-3}$  M
- zasićen i razblažen rastvor KNCS,  $10^{-3}$  M
- čvrsta supstanca KCl
- čvrsta supstanca  $\text{Na}_2\text{SO}_4$
- zasićen rastvor  $\text{FeCl}_3$

#### Eksperimentalni postupak:

U epruветi sintetisati kompleks kalijum-heksatiocijanidoferrat(III),  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{NCS})_6]$  dodatkom  $5 \text{ cm}^3 10^{-3} \text{ M}$  rastvora kalijum-tiocijanida, KNCS i  $5 \text{ cm}^3 10^{-3} \text{ M}$  rastvora gvožđe(III)-hlorida. Obratiti pažnju na boju rastvora reaktanata, kao i na boju nastalog proizvoda. Rastvor iz epruветe podeliti u 6 epruветa, tako da zapremine u svim epruветama budu približno iste. U

svaku od epruveta dodati sledeće reagense redom:  $\text{KNCS}_{(s)}$ ,  $\text{KNCS}_{(zasićen)}$ ,  $\text{KCl}_{(s)}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4_{(s)}$ ,  $\text{FeCl}_3_{(zasićen)}$ .

- Objasniti uočene promene i izvesti zaključak o uticaju reaktanata na ravnotežu hemijske reakcije.
- 

## B. Uticaj temperature na brzinu hemijske reakcije

Povećanje temperature uslovljava pomeranje ravnoteže u pravcu endotermne hemijske reakcije i obrnuto. Već je rečeno da se sistem u stanju ravnoteže suprotstavlja spoljašnjem uticaju, želeći da ga umanjí. U toku endotermne hemijske reakcije troši se energija, pa se na taj način smanjuje spoljašnji uticaj povećanja energije sistema na stanje ravnoteže. Zato je neophodno da se poznaje toplotni bilans reakcija da bi se mogao razmatrati uticaj temperature na hemijsku ravnotežu (egzoterman/endoterman proces).

### Eksperiment 2. Uticaj temperature na hemijsku ravnotežu

#### Pribor:

- stalak sa epruvetama
- špiritusna lampa

#### Hemikalije:

- koncentrovani rastvor HCl
- rastvor  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ , 2 %

#### Eksperimentalni postupak:

U epruveti sintetisati kompleksno jedinjenje dodatkom  $3 \text{ cm}^3$  2 % rastvora kobalt(II)-nitrata i  $3 \text{ cm}^3$  koncentrovane hlorovodonične kiseline. Obratiti pažnju na boju rastvora reaktanata, kao i na boju nastalog proizvoda. Rastvor iz epruvete podeliti u tri epruvete, tako da zapremine u svim epruvetama budu približno iste. Jednu epruvetu ostaviti kao referentnu za poređenje, drugu hladiti u čaši sa ledom, a treću zagrevati uz pomoć špiritusne lampe.

- Objasniti uočene promene i izvesti zaključak o uticaju temperature na ravnotežu ove hemijske reakcije.
- 

## C. Uticaj pritiska na brzinu hemijske reakcije

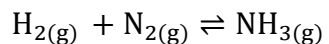
Kada se razmatra uticaj pritiska na hemijsku ravnotežu, treba obratiti pažnju na agregatna stanja učesnika reakcije. **Pritisak ima uticaja samo na gasovite supstance.** Ako vršimo kompresiju reakcione smeše povećavaćemo pritisak u samom sistemu, pa ćemo time pomerati ravnotežu u pravcu manje zapremine (pravac manjeg broja čestica, N) i obrnuto.



---

### **Eksperiment 3. Uticaj pritiska na hemijsku ravnotežu (teorijski)**

Posmatrati reakciju sinteze amonijaka iz elementarnog vodonika i azota. Definirati konstantu hemijske ravnoteže i obrazložiti kako će povećanje i smanjenje pritiska uticati na pomeranje ravnoteže?

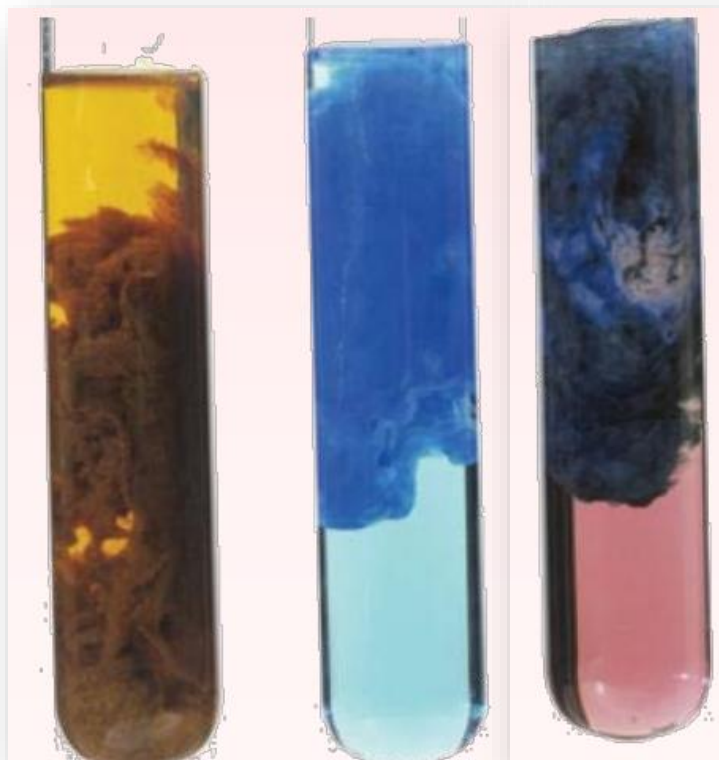


$$K = \underline{\hspace{5em}}$$

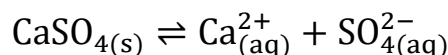
- 1. Povećanje pritiska \_\_\_\_\_.
- 2. Smanjenje pritiska \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_

## 11. HEMIJSKA RAVNOTEŽA U HETEROGENIM SISTEMIMA, PROIZVOD RASTVORLJIVOSTI



**Heterogena ravnoteža** se može posmatrati prilikom rastvaranja slabo rastvornih jedinjenja u vodi. To je najčešći slučaj, pa se zato uzima za primer, jer se u hemijskoj laboratoriji puno puta rastvaraju teško rastvorna jedinjenja u vodi. To je samo jedan od slučajeva heterogene ravnoteže koja se sastoji iz dve faze (čvrsto-tečno, u navedenom primeru). Heterogenu ravnotežu predstavljaju i sledeći sistemi: čvrsto-gasovito, tečno-gasovito, čvrsto-tečno-gasovito i dr. Sulfati zemnoalkalnih metala su teško rastvorna jedinjenja ( $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{SrSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$ ). U zasićenom rastvoru  $\text{CaSO}_4$  koji je u kontaktu sa čvrstom fazom (talog) postoji sledeća ravnoteža:



Ovako prikazana ravnoteža može da se izrazi kvantitativno i naziva se **proizvod rastvorljivosti, P** (često se obeležava i sa  $K_{sp}$ ,  $K_s$ ,  $L_p$ ,  $S_p$ ). Kada se izjednače brzine procesa rastvaranja (ulevo) i procesa taloženja (udesno) uspostavlja se **heterogena ravnoteža**.

$$V_{\text{rastvaranja}} = k_1 \cdot S$$

$$V_{\text{taloženja}} = k_2 \cdot S \cdot [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}]$$

Gde je **S** površina taloga, a  $k_1$  i  $k_2$  konstante brzina ova dva procesa (konstante proporcionalnosti).

Uslov za ravnotežu:

$$V_{\text{rast.}} = V_{\text{tal.}}$$

$$k_1 \cdot S = k_2 \cdot S \cdot [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}]$$

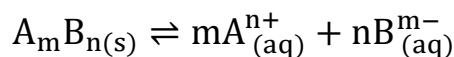
je konstantna vrednost na datoj temperaturi. Može se izraziti kao odnos konstanti brzina ova dva prikazana procesa:

$$P = \frac{k_1}{k_2} = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}]$$

češće se izražava kao proizvod koncentracija jona (na koje disosuje teško rastvorno jedinjenje) podignutih na stepen stehiometrijskih koeficijenata.

$$P = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}]$$

U opštem slučaju, koji se može primeniti na sva teško rastvorna jedinjenja:



$$P = \frac{k_1}{k_2} = [A^{n+}]^m \cdot [B^{m-}]^n$$

Poznavanjem vrednosti proizvoda rastvorljivosti može se zaključiti da li će doći do izdvajanja taloga prilikom mešanja rastvora koji sadrže jone teško rastvornog jedinjenja (Tabela 14). Ako je proizvod koncentracija tih jona u rastvoru veći ili jednak vrednosti proizvoda rastvorljivosti doći će do izdvajanja taloga.

Tabela 1. Opšti izraz za proizvod rastvorljivosti

Tip jedinjenja	Disocijacija	Izraz za P	Izraz za R
$AB$	$AB \rightleftharpoons A^+ + B^-$	$R = R \cdot R = R^2$	$R = \sqrt{P}$
$A_2B$	$A_2B \rightleftharpoons 2A^+ + B^{2-}$	$R = (2R)^2 \cdot R = 4R^3$	$R = \sqrt[3]{\frac{P}{4}}$
$AB_2$	$AB_2 \rightleftharpoons A^{2+} + 2B^-$	$R = R \cdot (2R)^2 = 4R^3$	$R = \sqrt[3]{\frac{P}{4}}$
$A_2B_3$	$A_2B_3 \rightleftharpoons 2A^{3+} + 3B^{2-}$	$R = (2R)^2 \cdot (3R)^3 = 108R^5$	$R = \sqrt[5]{\frac{P}{108}}$
$A_3B_2$	$A_3B_2 \rightleftharpoons 3A^{2+} + 2B^{3-}$	$R = (3R)^3 \cdot (2R)^2 = 108R^5$	$R = \sqrt[5]{\frac{P}{108}}$
$AB_3$	$AB_3 \rightleftharpoons A^{3+} + 3B^-$	$R = R \cdot (3R)^3 = 27R^4$	$R = \sqrt[4]{\frac{P}{27}}$
$A_3B$	$A_3B \rightleftharpoons 3A^+ + B^{3-}$	$R = (3R)^3 \cdot R = 27R^4$	$R = \sqrt[4]{\frac{P}{27}}$
$ABC$	$ABC \rightleftharpoons A^+ + B^+ + C^{2-}$	$R = R \cdot R \cdot R = R^3$	$R = \sqrt[3]{P}$

**Uslov za taloženje:**

$$[A^{n+}]^m \cdot [B^{m-}]^n \geq P_{A_mB_n}$$

Ako su u jednom istom rastvoru prisutni joni više različitih metala koji sa anjonom daju teško rastvorna jedinjenja, koja se razlikuju po rastvorljivosti, doći će do njihovog **frakcionog taloženja**. Prvo će početi taloženje najmanje rastvornog jedinjenja, dok će se najrastvorljivije jedinjenje taložiti poslednje. Na primer, ako se u rastvoru nalaze joni  $Ba^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$  i  $Ca^{2+}$  u prisustvu  $SO_4^{2-}$  jona, doći će do taloženja prvo  $BaSO_4$ , pa kada se on u potpunosti staloži, počće taloženje  $SrSO_4$ , dok će se  $CaSO_4$  taložiti poslednji. ( $P(BaSO_4) = 1,1 \cdot 10^{-10}$ ;  $P(SrSO_4) = 2,8 \cdot 10^{-7}$ ;  $P(CaSO_4) = 6,3 \cdot 10^{-5}$ ). Proizvodi rastvorljivosti teško rastvornih jedinjenja koji se najčešće koriste u hemijskim laboratorijama dati su u Tabeli 15. Kada su u pitanju jedinjenja koja se lako rastvaraju u vodi, za njih ova pravila proizvoda rastvorljivosti ne važe.

Tabela 2. Proizvod rastvorljivosti nekih teško rastvornih jedinjenja na 25 °C.

Formula jedinjenja	Proizvod rastvorljivosti	P
AgI	$P = [Ag^+] \cdot [I^-]$	$9,7 \cdot 10^{-15}$
AgBr	$P = [Ag^+] \cdot [Br^-]$	$5,3 \cdot 10^{-13}$
Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$P = [Ag^+]^2 \cdot [CO_3^{2-}]$	$8,2 \cdot 10^{-12}$
Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	$P = [Ag^+]^2 \cdot [CrO_4^{2-}]$	$1,1 \cdot 10^{-12}$
AgCl	$P = [Ag^+] \cdot [Cl^-]$	$1,6 \cdot 10^{-10}$
AgOH	$P = [Ag^+] \cdot [OH^-]$	$1,5 \cdot 10^{-8}$
Ag <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	$P = [Ag^+]^2 \cdot [Cr_2O_7^{2-}]$	$2,0 \cdot 10^{-7}$
Al(OH) <sub>3</sub>	$P = [Al^{3+}] \cdot [OH^-]^3$	$1,0 \cdot 10^{-32}$
BaCrO <sub>4</sub>	$P = [Ba^{2+}] \cdot [CrO_4^{2-}]$	$1,6 \cdot 10^{-10}$
BaSO <sub>4</sub>	$P = [Ba^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}]$	$1,1 \cdot 10^{-10}$
BaCO <sub>3</sub>	$P = [Ba^{2+}] \cdot [CO_3^{2-}]$	$7,0 \cdot 10^{-9}$
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$P = [Ca^{2+}]^3 \cdot [PO_4^{3-}]^2$	$2,0 \cdot 10^{-29}$
CaCO <sub>3</sub>	$P = [Ca^{2+}] \cdot [CO_3^{2-}]$	$4,8 \cdot 10^{-9}$
CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$P = [Ca^{2+}] \cdot [C_2O_4^{2-}]$	$2,6 \cdot 10^{-9}$
CaSO <sub>4</sub>	$P = [Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}]$	$6,3 \cdot 10^{-5}$
Ca(OH) <sub>2</sub>	$P = [Ca^{2+}] \cdot [OH^-]^2$	$3,1 \cdot 10^{-5}$
Fe(OH) <sub>3</sub>	$P = [Fe^{3+}] \cdot [OH^-]^3$	$3,2 \cdot 10^{-38}$
Mg(OH) <sub>2</sub>	$P = [Mg^{2+}] \cdot [OH^-]^2$	$3,1 \cdot 10^{-11}$
MgCO <sub>3</sub>	$P = [Mg^{2+}] \cdot [CO_3^{2-}]$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
PbSO <sub>4</sub>	$P = [Pb^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}]$	$1,6 \cdot 10^{-8}$
PbI <sub>2</sub>	$P = [Pb^{2+}] \cdot [I^-]^2$	$1,3 \cdot 10^{-8}$
PbCl <sub>2</sub>	$P = [Pb^{2+}] \cdot [Cl^-]^2$	$2,1 \cdot 10^{-5}$

### Ekspiriment 1. Uticaj zajedničkog jona na pomeranje ravnoteže

#### Pribor:

- stalak sa epruветama

#### Hemikalije:

- rastvori HCl, 0,001 M i 0,5 M
- rastvor PbCl<sub>2</sub>, 0,001 M

#### Ekspirimentalni postupak:

U dve epruветe odmeriti po 3 cm<sup>3</sup> olovo(II)-hlorida koncentracije 1 · 10<sup>-3</sup> M. U prvu dodati 3 cm<sup>3</sup> rastvora hlorovodonične kiseline iste koncentracije, a u drugu dodati istu zapreminu 0,5M hlorovodonične kiseline. (P(PbCl<sub>2</sub>) = 2,1 · 10<sup>-5</sup>).

- Objasniti promene koje se dešavaju u obe epruветe.

### Ekspiriment 2. Taloženje teško rastvornog jedinjenja u zavisnosti od proizvoda rastvorljivosti

#### Pribor:

- stalak sa epruветama

Hemikalije:

- rastvor KI, 0,1M
- koncentrovani rastvor HCl

Eksperimentalni postupak:

Iz dve epruvete iz eksperimenta 1 pažljivo dekantovati rastvor iznad taloga u jednu epruvetu (ili procediti pomoću filter hartije). Dobijeni rastvor podeliti u dve epruvete. U prvu dodati istu zapreminu kalijum-jodida a u drugu koncentrovanu hlorovodoničnu kiselinu.

- Hemijskim jednačinama objasniti prisustvo taloga u jednoj epruveti i odsustvo taloga u drugoj.
- 

### **Eksperiment 3: Promena koncentracije jona teško rastvornog jedinjenja**

Pribor:

- stalak sa epruvetama

Hemikalije:

- zasićen rastvor  $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- koncentrovani rastvor NaOH
- rastvor  $\text{NH}_3(\text{aq})$ , 0,5 %
- rastvor  $\text{CaCl}_2$ , 2 %
- rastvor  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ , 2 %
- rastvor HCl, 2 M
- rastvor  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , 2 M

Eksperimentalni postupak:

**A.** U dve epruvete sipati po  $3 \text{ cm}^3$  zasićenog rastvora kalcijum-hidroksida.

1. U prvu dodati koncentrovani rastvor natrijum-hidroksida (4 - 5 kapi).
2. U drugu epruvetu dodati istu zapreminu rastvora amonijaka,  $\text{NH}_3(\text{aq})$ .

- Hemijskim jednačinama objasniti uočene promene.
- 

**B.** U dve epruvete sipati po  $3 \text{ cm}^3$  2 % kalcijum-hlorida i  $3 \text{ cm}^3$  2 % rastvora amonijum-oksalata.

1. U prvu dodati 2 M rastvor hlorovodonične kiseline do potpunog rastvaranja.
2. U drugu epruvetu dodati istu zapreminu 2 M rastvora sirćetne kiseline.

- Objasniti hemijskim jednačinama rastvaranje u prvoj i odsustvo rastvaranja u drugoj epruveti.
-

#### **Eksperiment 4: Frakciono taloženje teško rastvornog jedinjenja**

Pribor:

- stalak sa epruvetama

Hemikalije:

- rastvor NaOH, 0,1 M
- rastvor  $K_2CrO_4$ , 0,1 M
- rastvor  $AgNO_3$ , 0,1 M
- rastvor  $K_2CrO_4$ , 0,1 M

Eksperimentalni postupak:

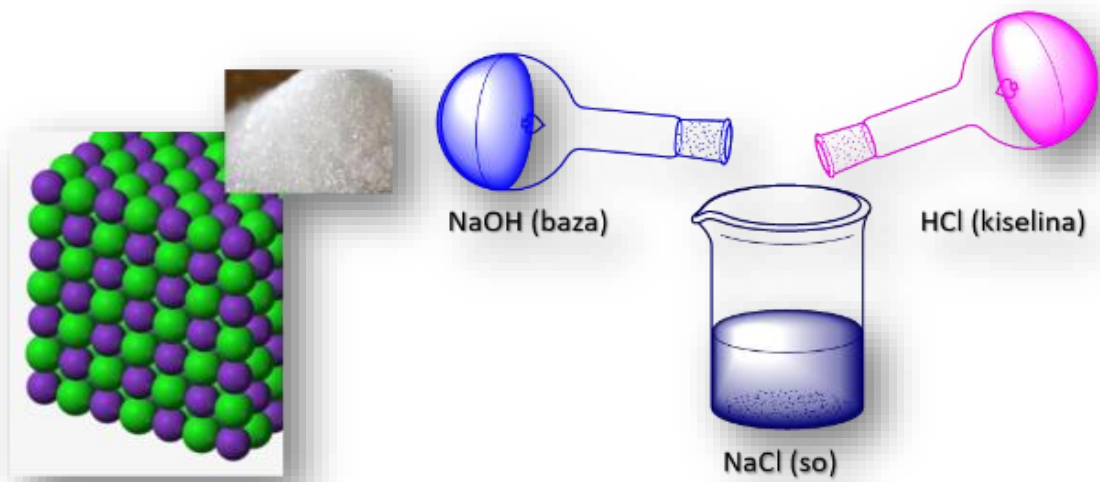
**A.** U prvu epruvetu sipati  $1\text{ cm}^3$  kalijum-hromata, a u drugu isto toliko natrijum-hidroksida. U obe epruvete u kapima dodavati srebro-nitrat. Uočiti boje nastalih taloga srebro-hromata,  $Ag_2CrO_4$  i srebro(I)-oksida,  $Ag_2O$  ( $Ag^+$  se u baznoj sredini taloži kao srebro-oksidi).

- Hemijskim jednačinama objasniti hemijske reakcije koje se odvijaju u svakoj od epruveta.
- 

**B.** U epruveti pripremiti smešu natrijum-hidroksida i kalijum-hromata dodavanjem po  $1\text{ cm}^3$  rastvora svake od supstanci. Nakon toga, polako kapalicom dodavati rastvor srebro-nitrata i pratiti promenu boje rastvora (obrazovanje taloga).

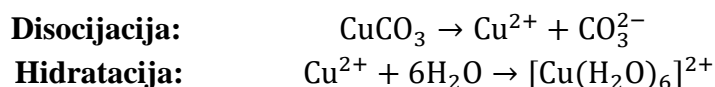
- Hemijskim jednačinama objasniti nastale promene i pojavu samo jedne boje taloga.
-

## 12.HIDROLIZA SOLI

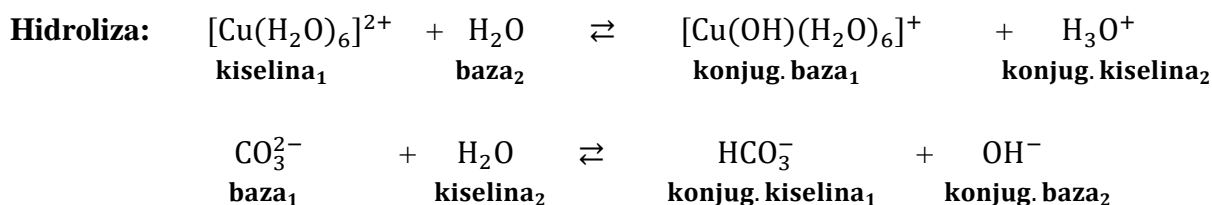




Hemijska reakcija neke supstance sa vodom predstavlja proces hidrolize. Odnosno, **hidroliza** predstavlja reakciju između jona disosovanog jedinjenja i vode. Sve neorganske i organske (jonske) soli se razlažu pod uticajem vode i njihovi joni su hidratirani u vodenoj sredini.



U takvim vodenim rastvorima dolazi do razmene protona između hidratiranih jona i molekula vode, odnosno do kiselinsko-baznih reakcija (Arenijusova teorija elektrolitičke disocijacije). Hidratirani katjoni se ponašaju kao **konjugovane kiseline**, dok se hidratirani anjoni ponašaju kao **konjugovane baze** (Brenstedove kiseline/baze; donori/akceptori protona).



Priroda soli utiče na reakcije izmene jona u vodenim rastvorima. Hidrolizi podležu soli nastale iz:

- jake baze i slabe kiseline, npr.  $\text{NaNO}_2$
- slabe baze i jake kiseline, npr.  $\text{NiCl}_2$
- slabe baze i slabe kiseline, npr.  $\text{NiNO}_2$
- soli nastale iz jake baze i jake kiseline ne podležu hidrolizi, pa je njihov vodeni rastvor neutralan. Disocijacijom takvih soli nastaju slabe kiseline i baze koje ne mogu da predaju jon vodonika vodi, odnosno iz nje akceptuju jon vodonika.

Vrednost pH će se menjati u vodenim rastvorima koji sadrže katjone i anjone jer se ponašaju kao kiseline odnosno kao baze (konjugovane kiseline/baze). Katjoni alkalnih ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), zemnoalkalnih ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ) i jednopozitivnih jona ( $\text{Ag}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) kao i anjoni jakih kiselina ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{ClO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) pokazuju neutralne osobine u vodi, (pH = 7). Ostali katjoni prelaznih metala ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ) pokazuju kisele osobine, a anjoni slabih kiselina ( $\text{F}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{CN}^-$ ) bazne osobine u vodenim rastvorima, pa je pH vrednost takvih rastvora različita od 7. Ovakvo ponašanje prelaznih metala posledica je malih jonskih poluprečnika i velikih naelektrisanja. Takvim svojim osobinama utiču na deprotonovanje vode pošto su katjoni hidratirani u vodenim rastvorima. Jače privlače elektrone iz veze metal-kiseonik, a time i elektrone iz veze kiseonik-vodonik. Zbog toga slabi veza O-H i dolazi do disocijacije. Suprotno od katjona se ponašaju anjoni.

Ravnotežno stanje koje se uspostavlja u vodenim rastvorima soli opisuje se konstantom hemijske ravnoteže koja se naziva **konstantom hidrolize ( $K_h$ )**. Konstanta hidrolize je kvantitativna mera **stepena hidrolize, h**. Predstavlja odnos broja hidrolizovanih jona i ukupnog broja jona u rastvoru neke soli i povezana je sa koncentracijom soli:

$$K_h = \frac{c \cdot h^2}{1 - h}$$

Za niske vrednosti h (manje od 2%) imenilac se može zanemariti, pa se dobija uprošćeni izraz:

$$K_h = c \cdot h^2$$

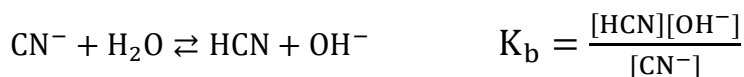
Konstanta hidrolize,  $K_h$  zavisi od:

- prirode soli (od jačine kiseline i baze od kojih je so nastala; što su slabije jačine stepen hidrolize je veći)
- razblaženja rastvora (raste sa razblaženjem)
- temperature (raste sa porastom temperature)

Pošto je hidroliza povratan proces, na nju se može primeniti zakon o dejstvu masa. Imajući u vidu poreklo katjona i anjona (jaka/slaba kiselina/baza) može se pretpostaviti kiselinsko-bazna reakcija vodenih rastvora soli. Tako će soli nastale iz:

- slabe baze i jake kiseline reagovati kiselo,
- jake baze i slabe kiseline reagovati bazno,
- slabe kiseline i slabe baze reagovati kiselo, bazno ili neutralno. S obzirom da oba jona hidrolizuju, reakcija rastvora biće određena hidrolizom jona čija je  $K_h$  veća. Ako su vrednosti iste ili jako bliske, rastvor će reagovati neutralno.

Kao što je već razmatrano cijanidni jon,  $CN^-$  reaguje bazno u reakciji sa vodom, odnosno povećava koncentraciju  $OH^-$  jona. On je jaka konjugovana baza slabe cijanovodonične kiseline, HCN. Posmatrajući postojeće ravnoteže u vodenim rastvorima mogu se napisati odgovarajuće konstante kiselosti ( $K_a$ ) i baznosti ( $K_b$ ).

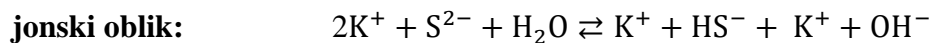


Proizvod ovih konstanti je jednak jonskom proizvodu vode ( $K_w$ ).

$$K_a \cdot K_b = \left( \frac{[CN^-][H_3O^+]}{[HCN]} \right) \cdot \frac{[HCN][OH^-]}{[CN^-]} = [H_3O^+] \cdot [OH^-] = K_w$$

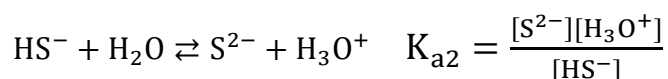
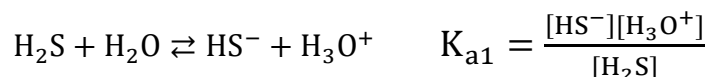
$$K_b = \frac{K_w}{K_a} ; K_a = \frac{K_w}{K_b}$$

Kada se hidroliza soli vrši u dva stepena, onda se mogu izraziti konstante hidrolize za svaki stepen. U prvom stepenu postoje sledeće ravnoteže:



$$K_{h1} = \frac{[HS^-][OH^-]}{[S^{2-}]}, \quad K_w = [H_3O^+ \cdot [OH^-]$$

$$K_{h1} = \frac{[HS^-] \cdot K_w}{[H_3O^+][S^{2-}]}$$



$$K_{h1} = \frac{K_w}{K_{a2}}$$

Iz izraza se može zaključiti da je konstanta hidrolize utoliko veća ukoliko je kiselina slabija, tj. njena konstanta disocijacije manja. Ako posmatramo drugi stepen hidrolize:



$$K_{h2} = \frac{[H_2S][OH^-]}{[HS^-]}, \quad K_w = [H_3O^+ \cdot [OH^-]$$

$$K_{h2} = \frac{[H_2S] \cdot K_w}{[H_3O^+][HS^-]}$$

$$K_{h2} = \frac{K_w}{K_{a1}}$$

Iz dobijenog izraza za konstantu hidrolize vidi se da na njenu vrednost utiče prva konstanta disocijacije slabe kiseline. Kada se uporede izračunate vrednosti za konstante hidrolize, jasno se vidi da je  $K_{h1} > K_{h2}$ , pa se kod ovakvih soli često uzima samo  $K_{h1}$  pri određivanjima.

## Eksperiment 1. Hidroliza različitih tipova soli

### Pribor:

- stalak sa epruvetama
- univerzalni indikatorski papir

### Hemikalije:

- čvrste supstance iz tabele

### Eksperimentalni postupak:

U pet epruveta sipati po kašičicu soli koje su date u tabeli (ili vodenih rastvora ako su dostupni). U svaku epruvetu dodati po 4 - 5 cm<sup>3</sup> destilovane vode i promućkati, kako bi se soli rastvorile. Univerzalnom indikatorskom hartijom odrediti pH vrednost rastvorenih soli.

so	pH vrednost	hidroliza	Kiselinsko/bazna reakcija
NH <sub>4</sub> Cl			
CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>			
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>			
NaCl			
NaHSO <sub>4</sub>			

- Hemijskim jednačinama u molekulskom, jonskom i skraćenom jonskom obliku objasniti dobijene pH vrednosti za rastvor svake soli.

## Eksperiment 2. Uticaj temperature na hidrolizu soli

### Pribor:

- stalak sa epruvetama
- špiritusna lampa

### Hemikalije:

- rastvor CH<sub>3</sub>COONa, 1M
- fenol-ftalein (f.f.)

Eksperimentalni postupak:

U epruvetu sipati 3 cm<sup>3</sup> 1 M rastvora natrijum-acetata i dodati nekoliko kapi fenolftaleina (3 - 4), do pojave boje. Epruvetu sa rastvorom soli kontrolisano zagrevati na špirtusnoj lampi i posmatrati promenu boje. Nakon uočene promene boje istu epruvetu ohladiti pod mlazom vode.

- Objasniti uočene promene.

---

	boja rastvora u epruveti	približna pH vrednost
CH <sub>3</sub> COONa pre dodatka f.f.		
CH <sub>3</sub> COONa sa f.f. pri zagrevanju		
CH <sub>3</sub> COONa sa f.f. pri hlađenju		

**Eksperiment 3. Uticaj razblaženja na hidrolizu soli i suzbijanje hidrolize**Pribor:

- stalak sa epruvetama
- špirtusna lampa

Hemikalije:

- rastvor SbCl<sub>3</sub>, 1M
- koncentrovan rastvor HCl

Eksperimentalni postupak:

**A.** U epruvetu dodati 2 - 3 cm<sup>3</sup> rastvora antimon(III)-hlorida. Kapalicom dodavati u istu epruvetu 10-15 kapi destilovane vode i uočiti promene koje nastaju.

- Hemijskim jednačinama objasniti nastale promene.

**B.** Nakon uočenih promena, u istu epruvetu dodavati u kapima koncentrovani rastvor hlorovodonične kiseline (u digestoru) do potpunog rastvaranja nastalog zamućenja. Nakon toga, ponovo u epruvetu dodati još nekoliko kapi vode.

- Objasniti pojavu rastvaranja taloga pri dodatku hlorovodonične kiseline i ponovnog stvaranja taloga dodatkom vode.

**Eksperiment 4. Nepovratnost hidrolize**Pribor:

- stalak sa epruvetama

Hemikalije:

- rastvor Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, 1M
- rastvor Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 1M
- koncentrovan rastvor HCl

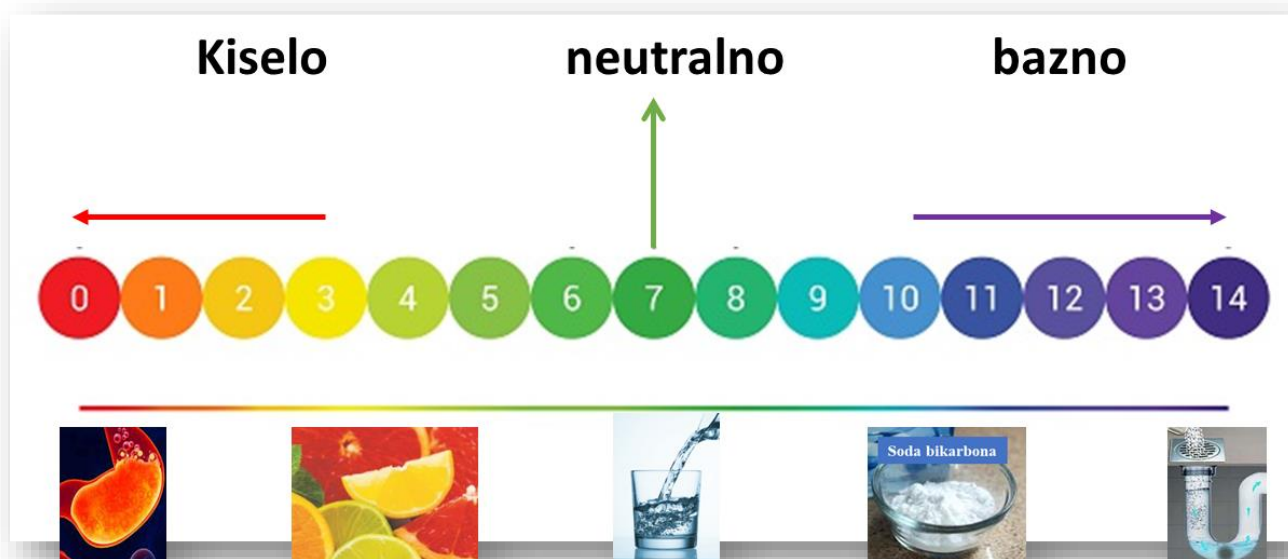
---

Eksperimentalni postupak:

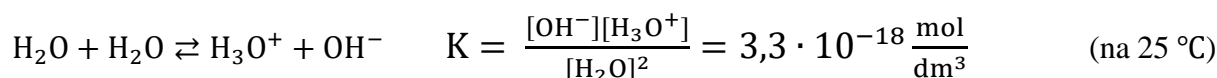
Ako se u epruveti pomešaju približno iste zapremine aluminijum-sulfata i natrijum-karbonata uočiti promene koje se dešavaju u epruveti. Sadržaj epruvete zagrevati sve dok se uočava hemijska reakcija u epruveti. Nakon zagrevanja, epruvetu sa sadržajem ostaviti kratko da se ohladi, procediti i isprati talog destilovanom vodom. Preneti deo taloga u drugu epruvetu i rastvoriti ga u HCl.

- Hemijskim jednačinama prikazati hemijske promene do kojih dolazi u svakoj epruveti.
- 
-

### 13. pH VREDNOST I PUFERI



Hemijski čista voda je jako slabo disosovana na **hidronijumove i hidroksidne jone**. Ona se ponaša i kao donor i kao akceptor protona, pa se za nju i supstance koje imaju istu osobinu kaže da su **amfiprotične**.



Obzirom da je ravnotežna koncentracija vode jednaka početnoj koncentraciji:

$$K \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2 = K_w$$

U *Tabeli 16* su prikazane vrednosti jonskog proizvoda vode pri različitim temperaturama, a jonski proizvod vode na 25 °C iznosi  $1 \cdot 10^{-14} \frac{\text{mol}^2}{\text{dm}^6}$  ( $\rho = 0,9996 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ , a  $c(\text{H}_2\text{O}) = 55,3 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ ).

*Tabela 3. Vrednosti jonskog proizvoda vode pri različitim temperaturama*

Temperatura (°C)	0	25	37	60	100
$K_w \cdot 10^{-14} \left(\frac{\text{mol}^2}{\text{dm}^6}\right)$	0,69	1,00	2,50	9,60	47,60

Pošto su u hemijski čistoj vodi ravnotežne koncentracije  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  i  $[\text{OH}^-]$  jonskih vrsta jednake, lako se izračunava njihova koncentracija:

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 1 \cdot 10^{-14} \frac{\text{mol}^2}{\text{dm}^6}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 1 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

Takvi rastvori, u kojima su koncentracije ovih jonskih vrsta jednake, reaguju neutralno. Rastvori kod kojih je  $[\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{OH}^-]$  reaguju kiselo, a oni kod kojih je  $[\text{H}_3\text{O}^+] < [\text{OH}^-]$  reaguju bazno. Da bi se lakše pratila promena koncentracija ovih jonskih vrsta u rastvoru koristi se vodonični eksponent pH. Vrednost pH je merilo kiselosti odnosno baznosti date sredine.

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-] / \cdot (-\log)$$

$$-\log(K_w) = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] + (-\log[\text{OH}^-])$$

$$\mathbf{pK_w = pH + pOH = 14}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] \text{ odnosno } \text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$$

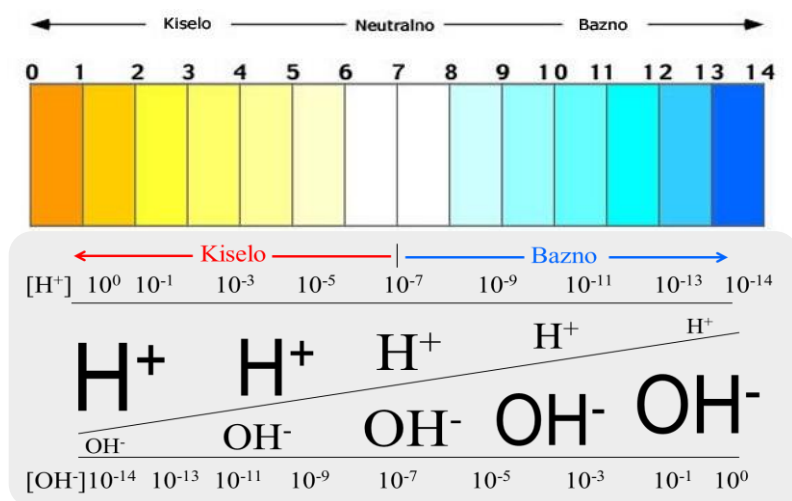
$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}}$$



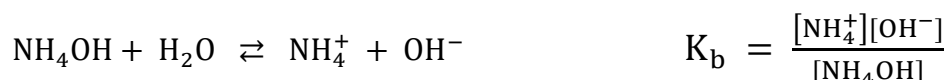
$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} \quad [\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]}$$

Na Slici 43 prikazana je Sørensen-ova pH skala na kojoj se vidi međusobna veza pH, pOH,  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  i  $[\text{OH}^-]$ .



Slika 43. Sørensen-ova pH skala

Kada se u vodi nađu kiseline ili baze, one sa vodom razmenjuju protone. Kiseline predaju protone vodi, a baze primaju protone od vode pri čemu se uspostavljaju sledeće ravnoteže:



Konstante  $K_a$  i  $K_b$  su **konstante disocijacije** kiseline i baze, odnosno predstavljaju merilo jačine kiseline ili baze. Što su vrednosti konstanti veće to su kiseline ili baze jače. Prema njihovoj vrednosti mogu se sve kiseline ili baze svrstati u četiri kategorije i to:

<b>veoma jake</b>	$K > 1 \cdot 10^3$
<b>jake</b>	$1 \cdot 10^3 > K > 1 \cdot 10^{-2}$
<b>slabe</b>	$1 \cdot 10^{-2} > K > 1 \cdot 10^{-7}$
<b>veoma slabe</b>	$K < 1 \cdot 10^{-7}$

Jake kiseline i baze u vodenim rastvorima skoro da i ne postoje u molekulskom obliku, što znači da je ravnoteža pomerenjena udesno, a to se potvrđuje visokim vrednostima za konstante disocijacije. Kiseline i baze se mogu klasifikovati i prema vrednosti **stepena disocijacije  $\alpha$**  (odnos broja disosovanih i ukupnog broja molekula u rastvoru).

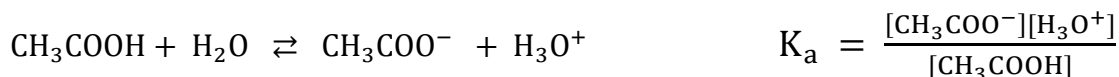
<b>veoma jake</b>	$100 \% > \alpha > 70 \%$
<b>jake</b>	$\alpha > 30 \%$
<b>slabe</b>	$30 \% > \alpha > 3\%$
<b>veoma slabe</b>	$\alpha < 3\%$

U hemijskim laboratorijama često je potrebno pH vrednost održavati konstantnom. U takvim situacijama se koriste **puferi**, odnosno regulatori pH vrednosti. To su smeše slabe kiseline i njene soli nastale u reakciji sa jakim bazom, odnosno smeše slabe baze i njene soli nastale u reakciji sa jakim kiselinom. Puferi su i smeše poliprotičnih kiselina. Drugačije se mogu definisati kao smeše:

- slabe kiseline i njene konjugovane baze ( $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-$ ),
- slabe baze i njene konjugovane kiseline ( $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ).
- poliprotičnih kiselina ( $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$ ) i  $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$ .

U rastvorima pufera prisutna je hemijska ravnoteža disocijacije slabe kiseline ili baze i potpuna disocijacija soli. Disocijacijom soli suzbija se disocijacija slabe kiseline ili baze. So sadrži zajednički jon kao kiselina ili baza, pa je time početna koncentracija kiseline praktično jednaka ravnotežnoj koncentraciji. Zato se lako iz konstante hemijske ravnoteže slabe kiseline ili baze može izraziti koncentracija hidronijum ili hidroksidnih jona.

Za **kisele pufer**:



$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \cdot \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \quad \text{ili u opštem slučaju} \quad [\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \cdot \frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}$$

Logaritmovanjem izraza može se doći do izraza za izračunavanje pH vrednosti u rastvoru pufera, odnosno do **Henderson-Haselbalhove jednačine**.

$$-\log[\text{H}_3\text{O}^+] = -\log K_a - \log \frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}$$

$$\mathbf{pH = pK_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}}$$

Za **bazne pufer**:



$$[\text{OH}^-] = K_b \cdot \frac{[\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{NH}_4^+]} \quad \text{ili u opštem slučaju} \quad [\text{OH}^-] = K_b \cdot \frac{[\text{B}]}{[\text{HB}^+]}$$

$$-\log[\text{OH}^-] = -\log K_b - \log \frac{[\text{B}]}{[\text{HB}^+]}$$

$$\mathbf{pOH = pK_b + \log \frac{[\text{HB}^+]}{[\text{B}]}}$$

Svaki pufer se sastoji iz kisele i bazne komponente. Time se lako može objasniti dejstvo pufera, odnosno njegova sposobnost održavanja pH vrednosti konstantnom. Ako se u puferovan rastvor doda manja količina neke jake kiseline dolazi do reakcije sa baznom komponentom i obrnuto.

**kiseli pufer****bazni pufer****dodatak jake kiseline:**

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \cdot \frac{[\text{HA}] + x}{[\text{A}^-] - x}$$

$$[\text{OH}^-] = K_b \cdot \frac{[\text{B}] - x}{[\text{HB}^+] + x}$$

**dodatak jake baze:**

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \cdot \frac{[\text{HA}] - x}{[\text{A}^-] + x}$$

$$[\text{OH}^-] = K_b \cdot \frac{[\text{B}] + x}{[\text{HB}^+] - x}$$

Time ne dolazi do promene (ili bar ne do značajne promene) pH vrednosti, što nije slučaj kada se dodaju veće količine neke jake kiseline ili baze. To navodi na zaključak da pufer ima svoj **kapacitet,  $\beta$** . To je merilo otpora pufera promeni pH i uvek se definiše na litar rastvora.

$$\beta = \frac{dC_b}{dpH} = - \frac{dC_a}{dpH}$$

$dC_a$  i  $dC_b$  - broj molova po litru dodate jake kiseline ili baze.

Iz izraza se vidi da je kapacitet pufera veći ako su više koncentracije puferskih komponenata. Takođe, bolje puferske karakteristike imaju puferi kod kojih su koncentracije komponenata iste ili približno iste, odnosno gde je koncentracija  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  jednaka  $pK_a$  vrednosti. Postoji veliki broj pufera, a neki od najčešće korišćenih su dati u *Tabeli 17*.

*Tabela 47. Sastav najčešće korišćenih pufera i njihova pH vrednost*

naziv	sastav	pH opseg	$pK_a$
<b>kiseli puferi</b>			
Fosfatni pufer	$\text{H}_3\text{PO}_4/\text{H}_2\text{PO}_4^-$	1,5 – 2,8	2,14
Nitritni pufer	$\text{HNO}_2/\text{NO}_2^-$	3 - 4	3,37
Acetatni pufer	$\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COO}^-$	4 - 5	4,75
Bikarbonatni pufer	$\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$	6 – 6,5	6,10
<b>bazni puferi</b>			
Fosfatni pufer	$\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$	6,8 – 7,8	7,21
Amonijačni pufer	$\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$	9 - 10	9,25
Trimetilenaminski pufer	$(\text{CH}_3)_3\text{N}/(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+$	9,5 – 10,4	9,81
Fosfatni pufer	$\text{HPO}_4^{2-}/\text{PO}_4^{3-}$	11,5 – 12,9	12,37

### **Eksperiment 1. Uticaj jačine elektrolita i razblaženja na pH vrednost**

Pribor:

- stalak sa epruветama
- univerzalni indikatorski papir
- pH metar

Hemikalije:

- rastvor HCl, 0,1M
- rastvor CH<sub>3</sub>COOH, 1M i 0,01M

Eksperimentalni postupak:

U tri epruветe dodati redom istu zapreminu 1 M hlorovodonične kiseline, 1 M sirćetne kiseline i 0,01 M sirćetne kiseline. Pomoću univerzalne indikatorske hartije ili pomoću pH metra odrediti pH vrednost.

- Izvesti zaključak o jačini elektrolita. \_\_\_\_\_
  - Izvesti zaključak o uticaju razblaženja na pH vrednost.
- 

### **Eksperiment 2. Suzbijanje jonizacije**

Pribor:

- stalak sa epruветama
- univerzalni indikatorski papir
- pH metar

Hemikalije:

- rastvor NH<sub>4</sub>OH, 0,05M
- čvrsta supstanca NH<sub>4</sub>Cl

Eksperimentalni postupak:

U epruветu dodati 3 cm<sup>3</sup> rastvora amonijaka koncentracije 0,05 M. Izmeriti i zabeležiti pH vrednost. Nakon merenja, u istu epruветu dodati na vrh kašičice čvrstog amonijum-hlorida. Mućkanjem rastvoriti dodatu so i ponovo izmeriti pH.

- Izmeriti pH vrednost dobijenog pufera.
- 

### **Eksperiment 3. Određivanje pH vrednosti pomoću indikatora**

Pribor:

- stalak sa epruветama

Hemikalije:

- ispitivane supstance i indikatori su dati u tabeli
-

Eksperimentalni postupak:

U pet epruveta sipati redom vodene rastvore supstanci prikazanih u tabeli. U svaku epruvetu dodati 2 – 3 kapi indikatora metil-oranž i zapisati boje rastvora. Postupak ponoviti na isti način za svaki od raspoloživih indikatora i zabeležiti boje rastvora.

- Na osnovu intervala promene boje indikatora odrediti pH ispitivanog rastvora (napraviti presek na brojevnoj pravi) i rezultate uneti u tabelu.

	Boja indikatora pri različitim vrednostima pH									pH interval
	timol-plavo	metil-oranž	metil-crveno	lakmus	brom-timol-plavo	fenol-ftalein	timol-ftalein	alizarin-žuto	karmin-crveno	
<b>Interval promene boje</b>	<b>1,2-2,8 8,0-9,6</b>	<b>3,1-4,4</b>	<b>4,2-6,3</b>	<b>4,5-8,3</b>	<b>6,0-7,6</b>	<b>8,2-10,0</b>	<b>9,3-10,5</b>	<b>10,1-12,0</b>	<b>11,4-13,0</b>	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>										
CH <sub>3</sub> COOH										
NH <sub>4</sub> Cl										
CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>										
CH <sub>3</sub> COONa										
NH <sub>4</sub> OH										
NaOH										

**Eksperiment 4. Pripremanje acetatnog pufera**

Pribor:

- pH metar
- laboratorijska čaša

Hemikalije:

- čvrsta supstanca CH<sub>3</sub>COONa
- rastvor CH<sub>3</sub>COOH
- rastvor NaOH, 1M
- rastvor HCl, 1M

Eksperimentalni postupak:

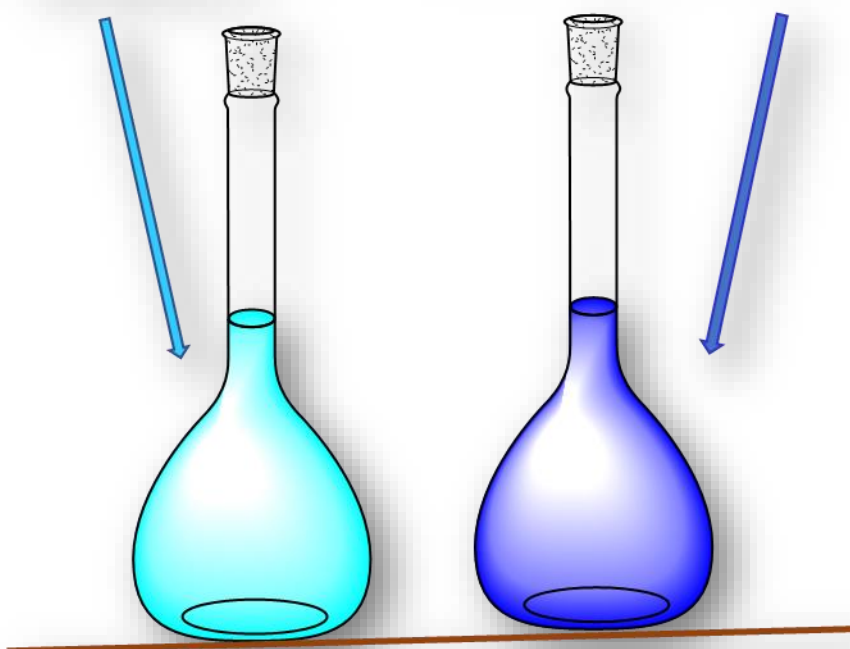
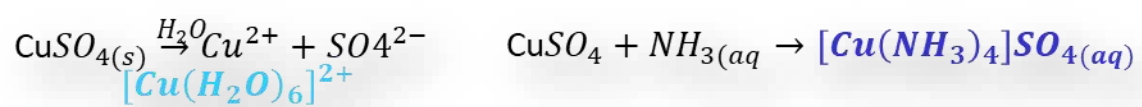
Na analitičkoj vagi odmeriti 5 g matrijum-acetata i kvantitativno preneti u laboratorijsku čašu. Dodati 100 cm<sup>3</sup> destilovane vode i mešanjem rastvoriti so. Menzutom odmeriti ekvimolarnu količinu u laboratoriji dostupne sirćetne kiseline. Zabeležiti odmerenu zapreminu, gustinu i koncentraciju kiseline. U laboratorijsku čašu sa rastvorom soli dodavati u kapima odmerenu zapreminu sirćetne kiseline uz konstantno mešanje staklenim štapićem. Prethodno

kalibrisanim pH metrom izmeriti pH vrednost tako dobijenog rastvora i zabeležiti vrednost. Rastvor iz čaše podeliti na četiri jednaka dela. Izmeriti pH metrom pH vrednost u čašama, pre i nakon dodatka kiselina i baza.

1. U prvu čašu dodati 3 cm<sup>3</sup> 1 M rastvora natrijum-hidroksida.
  2. U drugu čašu dodati 3 cm<sup>3</sup> 1 M rastvora hlorovodonične kiseline.
  3. U treću čašu dodati 10 cm<sup>3</sup> 1 M rastvora hlorovodonične kiseline.
  4. U četvrtu čašu dodati 10 cm<sup>3</sup> destilovane vode
- Na osnovu dobijenih pH vrednosti izvesti zaključak o ponašanju ovog pufera.

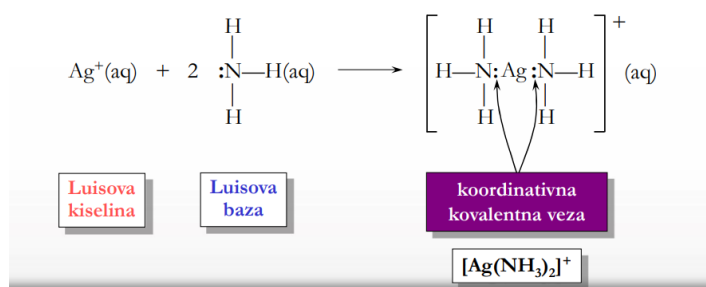
<b>Rastvor</b>	<b>pH</b>
I rastvor u velikoj čaši	
II rastvor u malim čašama	
II + NaOH	
II + HCl	
II + HCl	
II + H <sub>2</sub> O	

### 14. KOMPLEKSNA JEDINJENJA



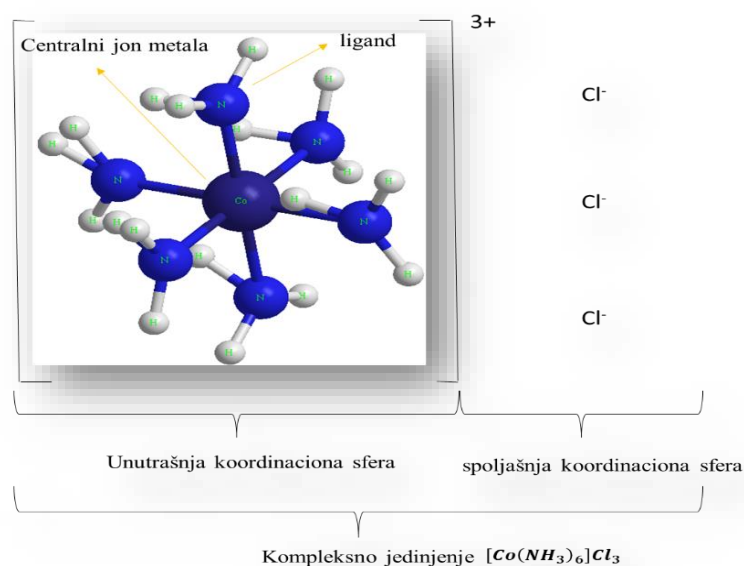
**Kompleksna jedinjenja (koordinaciona jedinjenja ili kompleksi)** su hemijska jedinjenja koja se sastoje od jednog ili više centralnih atoma (ili jona). Centralni atomi su povezani sa drugim atomima ili grupama. Veza centralnog atoma sa drugim atomima ili grupama se naziva **koordinaciona veza**. **Centralni atom** je najčešće atom prelaznih metala (d- elementi). Atomi ili grupe vezane za centralni atom nazivaju se **ligandi**. Ligandi su najčešće anjoni ili neutralni molekuli koji poseduju slobodne elektronske parove.

Metali koji grade komplekse ponašaju se kao **Luisove kiseline**, primaju elektronski par od liganda koji predstavlja **Luisovu bazu** (donor elektrona), pri čemu nastaje **koordinaciona veza** (donorsko-akceptorska). Zato se kompleksi nazivaju i koordinacionim jedinjenjima (*Slika 45.*).



Slika 45. Prikaz formiranja koordinacione veze

Kompleksna jedinjenja se sastoje iz **unutrašnje sfere** koju čine centralni jon metala i ligandi i **spoljašnje sfere** koju čini kontra jon, kako bi kompleksno jedinjenje u celosti bio neutralan molekul (*Slika 46*).



Slika 46. Unutrašnja i spoljašnja sfera kompleksnog jedinjenja

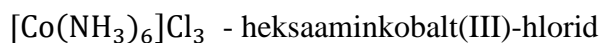
**Koordinacioni broj (KB)** je broj koordinativnih veza između centralnog atoma kompleksa i liganada. Najčešće je 4 ili 6, mada može biti i 2, 3, 5, ( $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ , KB = 6;  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ , KB = 6). U zavisnosti od broja koordinacionih veza koje ostvaruju sa centralnim



jonom metala, ligande delimo na **monodentatne** (u najvećem broju), **bidentatne** (-en, -ox), **tridentatne... polidentatne**.

Kompleksi se dele u tri velike grupe i na osnovu toga postoje različita pravila u nomenklaturi ovih jedinjenja:

1. Kompleksna čestica je katjon, **katjonski kompleks**.

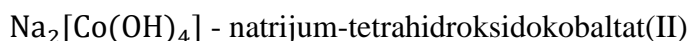


Redosled u nazivu katjonskog kompleksa: broj i naziv liganada, naziv centralnog atoma, oksidacioni broj centralnog atoma u zagradi (sve kao jedna reč), crtica, naziv anjona. **Crtica se piše samo između spoljašnje i unutrašnje koordinacione sfere (katjona i anjona).**

2. Kompleksna čestica je neutralna, **neutralan kompleks**



3. Kompleksna čestica je anjon, **anjonski kompleks**



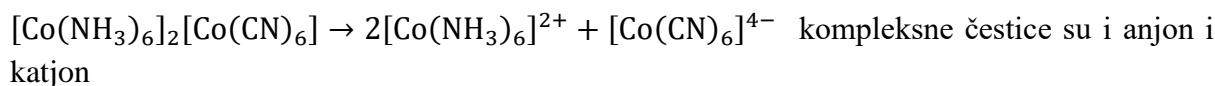
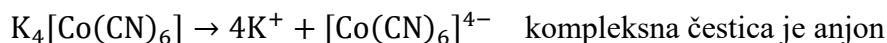
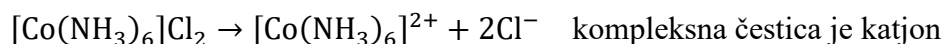
Redosled u nazivu anjonskog kompleksa: naziv katjona, crtica, broj i naziv liganada, latinski naziv centralnog atoma uz izmenu i dodatak nastavka **-at**, oksidacioni broj centralnog atoma u zagradi.

*Prilikom davanja naziva kompleksnim jedinjenjima imena liganada se nabrajaju po abecednom redu. Broj istih liganada u kompleksu se označava prefiksima: mono, di, tri, tetra, penta, heksa, hepta, okta, nona, deka itd.*

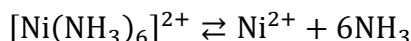
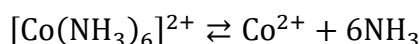
Nazivi liganada:

- 1) Anjonski ligandi imaju **nastavak -o**:  $\text{F}^-$  - fluorida,  $\text{SO}_4^{2-}$  - sulfato,  $\text{Cl}^-$  - hlorido,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  - tiosulfato,  $\text{Br}^-$  - bromido,  $\text{CN}^-$  - cijanido,  $\text{I}^-$  - jodido,  $\text{SCN}^-$  - tiocijanato,  $\text{OH}^-$  - hidroksido.
- 2) Neutralni i pozitivni ligandi:  $\text{H}_2\text{O}$  - akva,  $\text{NH}_3$  - ammin, CO - karbonil,  $\text{NO}^+$  - nitrozil.

U vodenom rastvoru prvo dolazi do **disocijacije** kompleksnog jedinjenja:



Može doći do (razlaganja) **disocijacije** kompleksnog jona:



Odgovarajuća konstanta razlaganja kompleksne čestice naziva se **konstanta nestabilnosti**,  $K_{\text{nst}}$ .

$$K_{\text{nst1}} = \frac{[\text{Co}^{2+}] \cdot [\text{NH}_3]^6}{[[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}]} = 4,0 \cdot 10^{-5}$$

$$K_{\text{nst}2} = \frac{[\text{Ni}^{2+}] \cdot [\text{NH}_3]^6}{[[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}]}} = 1,0 \cdot 10^{-8}$$

Kako je  $K_{\text{nst}1} > K_{\text{nst}2}$ , može se zaključiti da je kompleksna čestica  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$  „više nestabilna“ odnosno jače disosuje.

Konstanta stabilnosti kompleksa  $K_{\text{st}}$  ili  $\beta$  je recipročna vrednost konstante nestabilnosti.

$$K_{\text{st}1}(\beta) = \frac{1}{K_{\text{nst}}}$$

Takođe možemo zaključiti da je

$$K_{\text{st}}([\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}) > K_{\text{st}}([\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+})$$

Što znači da je kompleksna čestica  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$  stabilnija.

### Eksperiment 1. Sinteza kompleksnih jedinjenja

#### Pribor:

- epruvete i stalak za epruvete

#### Hemikalije:

- rastvor  $\text{CuSO}_4$ , 0,01 M
- rastvor  $\text{NH}_4\text{OH}$ , 0,01 M
- rastvor  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0,01 M
- koncentrovani rastvor HCl
- rastvor  $\text{HgCl}_2$ , 0,01 M
- rastvor KI, 0,01M

#### Eksperimentalni postupak:

**A.** Sinteza kompleksnog jona  $[\text{Cu}(\text{Cl})_4]^{2-}$ . U epruvetu sipati  $1 \text{ cm}^3$  rastvora bakar(II)-sulfata i dodati u kapima aminijum-hidroksida u višku.

- Napisati jednačinu hemijske reakcije i naziv nastale kompleksne čestice.
- 

**B.** Sinteza kompleksnog jona  $[\text{Co}(\text{Cl})_4]^{2-}$ . U epruvetu sipati  $1 \text{ cm}^3$  rastvora kobalt(II)-hlorida heksahidrata  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  i dodati koncentrovanu hlorovodoničnu kiselinu (Raditi u digestoru).

- Napisati promenu boje soli. \_\_\_\_\_
  - Napisati jednačinu hemijske reakcije i naziv nastale kompleksne čestice.
- 

**C.** Sinteza kompleksa kalijum-tetraiodomerkurat(II),  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ . Rastvoru živa(II)-hlorida dodati rastvor kalijum-jodida u kapima i posmatrati nastajanje narandžastog taloga

živa(II)-jodida. Nastaviti sa dodavanjem kalijum-jodida u višku i primetiti postepeni gubitak crvene boje i nastanak kompleksne bezbojne čestice. (Ovo jedinjenje se naziva *Nesler-ov* reagens i koristi se za dokazivanje amonijaka u tragovima)

- Napisati hemijsku jednačinu reakcije i naziv nastale kompleksne čestice.
- 

## **Eksperiment 2. Uticaj spoljašnjih uslova na stabilnost i sintezu kompleksa**

### Pribor:

- epruvete i stalak za epruvete

### Hemikalije:

- zasićen rastvor  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- etanol
- rastvor KNCS, 0,1 M, 0,001 M
- rastvor  $\text{FeCl}_3$ , 0,1 M, 0,001 M
- čvrsta supstanca NaF

### Eksperimentalni postupak:

#### **A. Uticaj temperature na sastav kompleksa.**

U zasićen rastvor kobalt(II)-hlorida heksahidrata,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dodati  $2 \text{ cm}^3$  etanola i dobijen rastvor zagrejati. Posmatrati nestajanje ružičaste boje heksaakvakobalt(II)-jona uz istovremeno nastajanje ljubičastog tetraakvadihlorokobalt(II) kompleksa. Rastvor ostaviti da se ohladi i uočiti pojavu prvobitne boje.

- Objasniti nastale promene.
- 

- Napisati jednačine hemijskih reakcija.
- 

#### **B. Uticaj koncentracije na stabilnost kompleksa.**

U zasićen rastvor kobalt(II)-hlorida heksahidrata,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dodati čvrst kalijum-tiocijanat, KNCS. Posmatrati promenu boje rastvora.

- Napisati jednačinu hemijske reakcije imajući u vidu da nastaje tetraizotiocijanato-kobaltat(II)-jon. \_\_\_\_\_
  - Rastvor potom razblažiti vodom. Uočiti promenu koja se dešava i napisati jednačinu hemijske reakcije.
- 

#### **C. Uticaj prirode liganda na stabilnost kompleksa.**

U epruvetu pomešati  $1 \text{ cm}^3$  rastvora gvožđe(III)-hlorida koncentracije  $10^{-3} \text{ M}$  sa  $1 \text{ cm}^3$  rastvora kalijum-tiocijanat iste koncentracije. Crveno obojenom rastvoru dodati čvrst natrijum-hlorida.

- Objasniti uočenu promenu boje rastvora.
-

- Napisati jednačinu hemijske reakcije nastajanja heksafluoroferrat(III)-jona.
- 

### **Eksperiment 3. Sličnosti i razlike između prostih, dvojnih i kompleksnih soli u vodenim rastvorima**

#### Pribor:

- epruvete i stalak za epruvete
- porculanska šolja
- azbestna mrežica
- plamenik

#### Hemikalije:

- rastvor  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , 0,1 M
- rastvor  $\text{NH}_4\text{NCS}$ , 0,1 M
- rastvor  $\text{NaOH}$ , 0,1 M
- rastvor  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , 0,1 M
- rastvor  $\text{NaOH}$ , 0,1 M
- rastvor  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , 0,1 M

#### Eksperimentalni postupak:

- A.** U dve epruvete sipati po  $1 \text{ cm}^3$  rastvora gvožđe(III)-sulfata, zatim u jednu sipati rastvor natrijum-hidroksida, a u drugu rastvor amonijum-tiocijanata,  $\text{NH}_4\text{NCS}$ .
- Zabeležiti zapažanja i napisati jednačine hemijskih reakcija.
- 
- B.** U porculansku šolju sipati po  $5 \text{ cm}^3$  rastvora amonijum-sulfata i gvožđe(III)-sulfata iste koncentracije. Rastvor zagrevati preko azbestne mrežice i upariti do suva. Dobijeni proizvod je dvojna so, amonijumgvožđe(III)-sulfata,  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , koju treba rastvoriti u  $5 \text{ cm}^3$  vode i rastvor podeliti u dve epruvete. U jednu epruvetu dodati rastvor natrijum-hidroksida, a u drugu epruvetu dodati rastvor amonijum-tiocijanata.
- Zabeležiti zapažanja i napisati jednačine hemijskih reakcija.
- 
- C.** U dve epruvete sipati po  $1 \text{ cm}^3$  rastvora kalijum-heksacijanoferrat(III),  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , zatim u jednu sipati rastvor natrijum-hidroksida, a u drugu rastvor amonijum-tiocijanida,  $\text{NH}_4\text{NCS}$ .
- Zabeležiti zapažanja i napisati jednačine hemijskih reakcija.
- 

### **Eksperiment 4. Razaranje kompleksa**

#### Pribor:

- epruvete i stalak za epruvete

#### Hemikalije:

- rastvor  $\text{AgNO}_3$ , 0,1 M
-

- rastvor NaCl, 0,1 M
- rastvor NaOH, 0,1 M
- koncentrovani rastvor  $\text{NH}_4\text{OH}$
- rastvor KI, 0,1 M
- koncentrovani rastvor  $\text{HNO}_3$

Eksperimentalni postupak:

**A.** U epruvetu odmeriti  $1 \text{ cm}^3$  rastvora srebro-nitrata i  $1 \text{ cm}^3$  rastvora natrijum-hlorida. Na nastali talog dodavati rastvor amonijaka,  $\text{NH}_3(\text{aq})$  do njegovog potpunog rastvaranja.

- Zabeležiti zapažanja i napisati jednačine hemijskih reakcija.
- 

**B.** Rastvor dobijen u ogledu A podeliti u tri epruvete. U jednu dodati rastvor natrijum-hidroksida, u drugu epruvetu dodati zasićen rastvor kalijum-jodida, a u treću epruvetu dodati rastvor azotne kiseline sve do pojave taloga.

- Zabeležiti zapažanja i napisati jednačine hemijskih reakcija.
-

## 15. OSOBINE RAZBLAŽENIH RASTVORA



**Razblaženi rastvori** su rastvori koji sadrže malu količinu rastvorene supstance u odnosu na rastvarač i čija koncentracija nije veća od 0,1 M (jedan molekul rastvorene supstance na 100 molekula rastvarača). U ovakvim rastvorima nema interakcija između molekula rastvorene supstance pa se oni ponašaju kao molekuli idealnog gasa. Osobine ovakvih rastvora koje ne zavise od broja molekula rastvorene supstance nazivaju se **koligativne osobine**:

- Osmotski pritisak
- Sniženje napona pare
- Povišenje tačke ključanja
- Sniženje tačke mržnjenja

### 15.1. Osmotski pritisak

Spontano prodiranje čestica rastvorene supstance u sloj rastvarača i obrnuto je **proces difuzije**. To je spontana težnja heterogenih sistema da postanu homogeni. Prolazak molekula rastvarača kroz polupropustljivu membranu predstavlja proces **osmoze**. U tom procesu rastvarač uvek putuje u smeru iz veće ka manjoj koncentraciji. Sila pod čijim dejstvom se taj proces odvija je **osmotski pritisak**. To je minimalan hidrostatički pritisak koji može da zaustavi osmozu. Pošto se razblaženi rastvori ponašaju slično idealnim gasovima i za njih važi:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$\pi \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$\pi = \frac{n}{V} \cdot R \cdot T$$

$$\pi = c \cdot R \cdot T$$

$$\pi = i \cdot c \cdot R \cdot T$$

Gde je:

$\pi$  – osmotski pritisak (1 osmol = 2269,68 kPa)

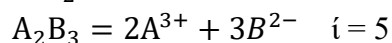
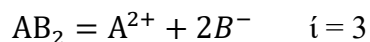
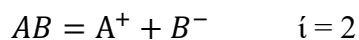
$c$  – količinska koncentracija rastvora (mol/dm<sup>3</sup>)

$T$  – apsolutna temperatura (273,15 K)

$R$  – univerzalna konstanta (8,314 J/K·mol)

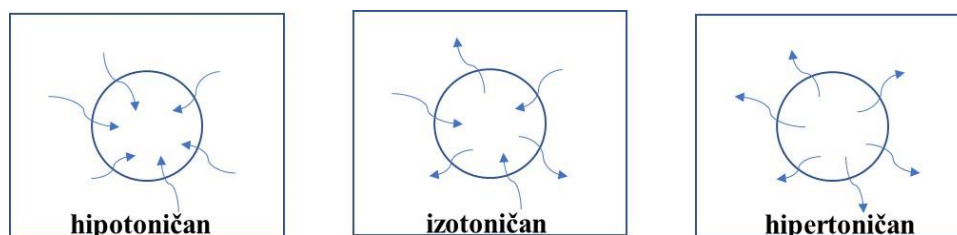
$i$  – van Hoff-ov koeficijent (broj čestica u rastvoru; za neelektrolite  $i = 1$ )

**Van Hoff-ov koeficijent** (*Jacobus Henricus van 't Hoff*) za rastvore elektrolita dobija se sabiranjem broja svih jonskih vrsta koje nastaju disocijacijom elektrolita:



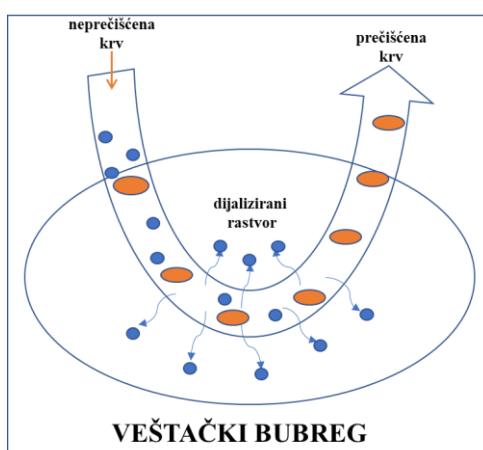
Ako poredimo  $\pi$  jednog rastvora u odnosu na drugi možemo imati:

- **Hipotoničan** - rastvor nižeg osmotskog pritiska.
- **Izotoničan** - rastvor istog osmotskog pritiska.
- **Hipertoničan** - rastvor višeg osmotskog pritiska (*Slika 47*)



*Slika 47. Tipovi rastvora u odnosu na osmotski pritisak*

Ako je polupropustljiva membrana propustljiva samo za male jone, a ne za molekule rastvarača, transport tih malih molekula kroz membranu je **proces dijalize** (*Slika 48.*).



*Slika 48. Proces dijalize*

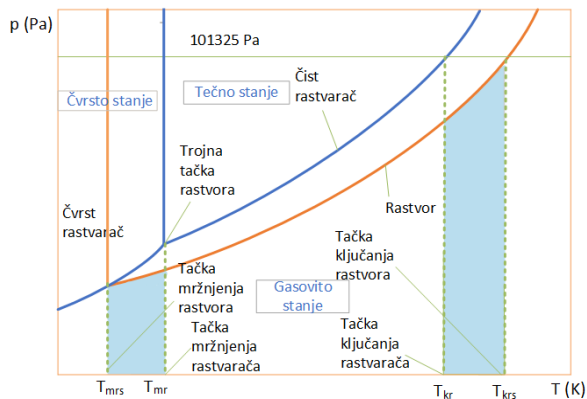
## 15.2. Napon pare, tačka ključanja i tačka mržnjenja

Iznad tečnosti usled rastvaranja postoji određeni broj čestica (molekula ili atoma) u gasovitom agregatnom stanju koji čini parnu fazu. Parna faza vrši pritisak na površinu tečnosti i taj pritisak se zove **napon pare**. Čestice iz parne faze se tokom procesa **kondenzacije** vraćaju u tečnu fazu. Kada se brzine ova dva procesa izjednače na određenoj temperaturi dostiže se **napon zasićene pare**. On zavisi od vrste tečnosti i od temperature.

Ako raste temperatura onda raste i pritisak, pa napon pare dostiže svoju maksimalnu vrednost pri kritičnoj temperaturi i tada se naziva **kritičan pritisak**. Kada se supstanca nađe u



uslovima iznad kritičnog pritiska tada govorimo o **gasnoj**, a kada je ispod o **parnoj** fazi (Slika 49.). Svaka tečnost ključa kada se njen napon pare izjednači sa atmosferskim pritiskom. Drugačije rečeno, da bi se rastvarač preveo u parnu fazu potrebno je da se savladaju unutrašnje privlačne sile između čestica rastvarača, a isto tako i spoljašnji atmosferski pritisak. Napon pare rastvarača je uvek viši od napona pare nekog rastvora. Sniženje napona pare je uslovljeno brojem čestica rastvorene supstance u datom rastvoru.



Slika 49. Grafički prikaz zavisnosti napona pare od temperature

$$p_A = p_A^0 \cdot \chi_A$$

$p_A^0$  – napon pare čistog rastvarača

$p_A$  – napon pare rastvarača iznad rastvora

$\chi_A$  – molski udeo rastvarača u rastvoru,  $\chi_A < 1 \Rightarrow p_A < p_A^0$

$$p_B = p_B^0 \cdot \chi_B$$

$\chi_B$  – molski udeo rastvorene supstance u rastvoru

$$\chi_A + \chi_B = 1$$

$$\chi_A = 1 - \chi_B$$

$$p_A = p_A^0 \cdot (1 - \chi_B)$$

$$p_A = p_A^0 - p_A^0 \cdot \chi_B$$

$$p_A^0 - p_A = p_A^0 \cdot \chi_B$$

$$\Delta p = p_A^0 \cdot \chi_B \quad \text{sniženje napona pare}$$

Napon pare rastvora dve ili više tečnosti jednak je zbiru napona pare svih komponentata:

$$p = p_A + p_B + \dots + p_N$$

$$\chi_A + \chi_B + \dots + \chi_N = 1$$

Ovakvo ponašanje rastvora objašnjava se uzajamnim privlačenjem čestica rastvarača i rastvorene supstance. Posmatrajući dijagram (Slika 49), vidi se da voda i led mogu da egzistiraju jedno pored drugog, a isto važi i za vodu i vodenu paru. Promenom temperature iščezava jedna od faza. Voda ključa na 100 °C, odnosno kada se njen napon pare izjednači sa atmosferskim pritiskom (1 atm, 101325 Pa). Kada se posmatra kriva vodenog rastvora, može se primetiti da on ključa na višoj temperaturi od 100 °C što je posledica sniženja napona pare.

Na osnovu toga može se zaključiti da se sa rastvaranjem supstance **povišava tačka ključanja rastvora**, a ta razlika se obeležava sa  $\Delta t_e$ .

Čista voda mrzne na 0 °C, kada se izjednači napon pare tečne i čvrste faze. Vodeni rastvor mrzne na temperaturi koja je niža od 0 °C, zbog sniženja napona pare. Može se zaključiti da se sa rastvaranjem supstance **snižava tačka mržnjenja vodenog rastvora**, a ta razlika se obeležava sa  $\Delta t_k$ . Povišenje tačke ključanja i sniženje tačke mržnjenja su direktno proporcionalni molalnoj koncentraciji rastvorene supstance (**Raulov zakon**):

#### Povišenje tačke ključanja:

$$p_A^0 > p_A ; \quad t_e^0 < t_e$$

$$\Delta t_e = t_e - t_e^0$$

$$\Delta t_e = i \cdot K_e \cdot m$$

gde je:

$t_e^0$  – tačka ključanja čistog rastvarača

$t_e$  - tačka ključanja rastvora

$\Delta t_e$  – povišenje tačke ključanja rastvora u odnosu na čist rastvarač

$i$  – van Hof-ov koeficijent

$K_e$  – ebulioskopska konstanta rastvarača (*ebullio* – ključati)

$m$  – molalitet rastvora (broj molova rastvorene supstance po 1 kg rastvarača)

#### Sniženje tačke mržnjenja:

$$p_A^0 > p_A ; \quad t_k^0 > t_k$$

$$\Delta t_k = t_k^0 - t_k$$

$$\Delta t_k = i \cdot K_k \cdot m$$

gde je:

$t_k^0$  – tačka mržnjenja čistog rastvarača

$t_k$  - tačka mržnjenja rastvora

$\Delta t_k$  – sniženje tačke mržnjenja rastvora u odnosu na čist rastvarač

$i$  – van Hof-ov koeficijent

$K_k$  – krioskopska konstanta rastvarača (*kryos* – mrznuti)

$m$  – molalitet rastvora

U Tabeli 18 date su vrednosti ebulioskopskih i krioskopskih konstanti nekih rastvarača.

Tabela 5. Vrednosti ebulioskopskih i krioskopskih konstanti nekih rastvarača

$K_k$ [ °C]		$K_e$ [ °C]	
Voda	<b>1,86</b>	Voda	<b>0,52</b>
Sirćetna kiselina	<b>3,88</b>	Aceton	<b>1,67</b>
Benzen	<b>5,00</b>	Benzen	<b>2,61</b>
Fenol	<b>7,50</b>	Hloroform	<b>3,80</b>

**Izotoni rastvori** (oni koji imaju isti osmotski pritisak) imaju ista povišenja tačke ključanja i sniženja tačke mržnjenja. Na primer 1 kg vode koji sadrži 46 g etanola (1 mol) ili 180 g glukoze (1 mol) imaće iste vrednosti za  $\Delta t_e$  i  $\Delta t_k$ .

Poznavanjem tačke ključanja i tačke mržnjenja može se izračunati relativna molekulska masa rastvorene supstance. To znači da poznavajući konstanu  $K_k$ , odnosno  $K_e$  za određeni rastvarač može se na osnovu eksperimentalno dobijene vrednosti sniženja tačke mržnjenja ili povišenja tačke ključanja  $\Delta t_k$  odrediti molarna masa ( $M_2$ ), odnosno relativna molekulska masa ispitivane supstance rastvaranjem  $m_2$  kg supstance u  $m_1$  kg rastvora.

$$\frac{p^0 - p}{p^0} = \frac{n_2}{n_2 + n_1} \approx \frac{n_2}{n_1} = \frac{m_2 \cdot M_1}{m_1 \cdot M_2}$$

$$M(B) = \frac{K_k \cdot m(B)}{\Delta t_k \cdot m(A)}$$

### Eksperiment 1. Morsko dno / Hemijska bašta

U ovom eksperimentu se može napraviti hemijski vrt ili morsko dno (Slika 50.). Nastanak jednog ovakvog fenomena je posledica difuzije. To se postiže dodavanjem soli različitih boja u rastvor natrijum-silikata.



Slika 50. Nastajanje hemijske bašte

#### Pribor:

- laboratorijska kada
- kašičice ili špatule za dodavanje soli

#### Hemikalije:

- natrijum-silikat,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Ova supstanca se može dobiti u laboratorijskim uslovima rastvaranjem 32 g natrijum-hidroksida u  $80 \text{ cm}^3$  vode. Kada se natrijum-hidroksid rastvori, polako dodati 48 g zdrobljenih granula silika-gela. Po potrebi, ako silik-gel nije potpuno rastvoren, rastvor baze se blago zagreva.
- destilovana voda
- čvrsta supstanca  $\text{CaCl}_2$  - beo
- čvrsta supstanca  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  - beo
- čvrsta supstanca  $\text{MnCl}_2$  - ljubičast
- čvrsta supstanca  $\text{CuSO}_4$  - plav
- čvrsta supstanca  $\text{CoCl}_2$  - crven
- čvrsta supstanca  $\text{MnSO}_4$  - roze
- čvrsta supstanca  $\text{FeCl}_3$  - narandžast
- čvrsta supstanca  $\text{FeCl}_2$  - žut
- čvrsta supstanca  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  - zelen

Eksperimentalni postupak:

U laboratorijsku kadu sipati na dno malo peska (kako bi se dočaralo morsko dno) i preko toga dodati pripremljen rastvor natrijum-silikata ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , vodeno staklo). Nakon toga, dodavati 2 – 5 g sledećih soli: kalcijum(II)-hlorida, olovo(II)-nitrata, mangan(II)-hlorida, bakar(II)-sulfata, kobalt(II)-hlorida, mangan(II)-sulfata, gvožđe(III)-hlorida, gvožđe(II)-hlorida i nikal(II)-nitrata. Navedene soli mogu se dodavati u obliku anhidrovanih soli ili kao kristalohidrati. Obratiti pažnju na kristale koji su pali na dno kade. Na površini kade se stvara metasilikatni sloj i taj sloj se ponaša kao polupropustljiva membrana za molekule vode, koja na površini zadržava jone metala kao i silikatne jone. Unutar membrane se zadržavaju kristali dodatih soli, polako se rastvaraju i u tom delu dolazi do smanjenja koncentracije vode. Usled toga započinje proces difuzija vode kroz membranu. U tom procesu raste pritisak i dolazi do pucanja membrane čime se koncentrovan rastvor soli izliva u spoljašnji deo rastvora. Ponovo se formira membrana, a kasnije ponovo i kida. Proces se ponavlja više puta, a kao krajnji efekat nastaju formacije slične biljkama koje se nalaze na morskom dnu. Nastali kristali su krhki pa treba voditi računa prilikom premeštanja staklene posude.

- Objasniti ovu pojavu i skicirati eksperiment.

---

---

---

---

---

**PRILOG**

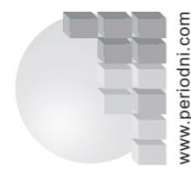
Prilog 1. Periodni sistem elemenata (IUPAC)

# PERIODNI SISTEM ELEMENATA

<http://www.periodni.com>

GRUPA 1 IA	2 IIA	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIIB	9 VIIB	10 VIIB	11 IIB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA												
1 H VODONIK 1.0079	2 He HELIJUM 4.0026	3 Li LITIJUM 6.941	4 Be BERILIJUM 9.0122	5 B BOR 10.811	6 C UGLJENIK 12.011	7 N AZOT 14.007	8 O KISEONIK 15.999	9 F FLUOR 18.998	10 Ne NEON 20.180	11 Na NATRIJUM 22.990	12 Mg MAGNEZIJUM 24.305	13 Al ALUMINIJUM 26.982	14 Si SILICIJUM 28.086	15 P FOSFOR 30.974	16 S SUMPOR 32.065	17 Cl HLOR 35.453	18 Ar ARGON 39.948												
19 K KALIJUM 39.098	20 Ca KALCIJUM 40.078	21 Sc SKANDIJUM 44.956	22 Ti TITAN 47.867	23 V VANADIJUM 50.942	24 Cr HROM 51.996	25 Mn MANGAN 54.938	26 Fe GVOZDE 55.845	27 Co KOBALT 58.933	28 Ni NIKAL 58.693	29 Cu BAKAR 63.546	30 Zn CINK 65.38	31 Ga GALIJUM 69.723	32 Ge GERMANIJUM 72.64	33 As ARSEN 74.922	34 Se SELEN 78.96	35 Br BROM 79.904	36 Kr KRIPTON 83.798												
37 Rb RUBIDIJUM 85.468	38 Sr STRONCIJUM 87.62	39 Y ITRIJUM 88.906	40 Zr CIRKONIJUM 91.224	41 Nb NIABIJUM 92.906	42 Mo MOLIBDEN 95.96	43 Tc TEHNIJIUM 98	44 Ru RUTENIJUM 101.07	45 Rh RODIJUM 102.91	46 Pd PALADIJUM 106.42	47 Ag SREBRO 107.87	48 Cd KADMIJUM 112.41	49 In INDIJUM 114.82	50 Sn KALAJ 118.71	51 Sb ANTIMON 121.76	52 Te TELUR 127.60	53 I JOD 126.90	54 Xe KSENON 131.29												
55 Cs CEZIJUM 132.91	56 Ba BARIJUM 137.33	57 La Lantanoidi 138.91	72 Hf HAFNIJUM 178.49	73 Ta TANTAL 180.95	74 W VOLFRAM 183.84	75 Re RENIJUM 186.21	76 Os OSMIJUM 190.23	77 Ir IRIDIJUM 192.22	78 Pt PLATINA 195.08	79 Au ZLATO 196.97	80 Hg ŽIVA 200.59	81 Tl TALIJUM 204.38	82 Pb OLOVO 207.2	83 Bi BIZMUT 208.98	84 Po POLONIUM 209	85 At ASTAT 210	86 Rn RADON 222												
87 Fr FRANCIJUM 223	88 Ra RADIJUM 226	89 Ac Aktinoidi 227	104 Rf RATERFORDIJUM 261	105 Db DUBNIJUM 268	106 Sg SIBORGIJUM 271	107 Bh BORIJUM 272	108 Hs HASIJUM 277	109 Mt MJTNERIJUM 278	110 Ds DARMIŠTAJUM 281	111 Rg RENGENIJUM 280	112 Cn KOPERNICIJUM 285	113 Nh NIHONIJUM 284	114 Fl FLEROVIJUM 287	115 Uup UNUNPENTIUM 288	116 Lv LIVERMORIJUM 291	117 Uus UNUNSEPTIUM 294	118 Uuo UNUNOKTIJUM 294												
58 La LANTAN	59 Ce CERIJUM	60 Pr PRAEZODIJUM	61 Nd NEODIJUM	62 Pm PROMETIJUM	63 Sm SAMARIJUM	64 Eu EUROPIJUM	65 Gd GADOLINIJUM	66 Tb TERBIJUM	67 Dy DISPROZIJUM	68 Ho HOLMIJUM	69 Er ERBIJUM	70 Tm TULIJUM	71 Yb ITERBIJUM	72 Lu LUTECIJUM	89 Ac AKTINIJUM	90 Th TORIJUM	91 Pa PROTAKTINIJUM	92 U URAN	93 Np NEPTUNIJUM	94 Pu PLUTONIJUM	95 Am AMERICIJUM	96 Cm KIRIJUM	97 Bk BERKELIJUM	98 Cf KALIFORNIJUM	99 Es AJNSTAJUM	100 Fm FERMIJUM	101 Md MENDELJEVIJUM	102 No NOBELIJUM	103 Lr LAVRENCIJUM

Copyright © 2013 Eni Generalić



(1) Atomic Weights of the Elements 2007, Pure Appl. Chem., 81, No. 11, 2131-2156 (2009)

## Prilog 2. Važne fizičke konstante izražene jedinicama SI Sistema

konstanta	oznaka	vrednost
Brzina svetlosti u vakumu	$c$	$3,00 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
Planckova konstanta	$h$	$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
Elementarno naelektrisanje	$e$	$1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Masa elektrona	$m_e$	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Masa protona	$m_p$	$1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Masa neutrona	$m_n$	$1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Jedinična atomska masa	$m_u = 1 \text{ u} = 1 \text{ Da}$	$1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Avogadrov broj	$L, N_A$	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Boltzmanova konstanta	$k$	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
Faradejeva konstanta	$F$	$9,65 \cdot 10^4 \text{ C mol}^{-1}$
Relativna gasna konstanta	$R$	$8,31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
Molarna zapremina idealnog gasa ( $p = 101 \text{ kPa}$ , $t = 0 \text{ °C}$ )	$V_m$	$22,4 \text{ L mol}^{-1}$
Termodinamička temperatura	$T$	$273,15 \text{ K}$
Gustina vode na $4 \text{ °C}$	$\rho (\text{H}_2\text{O}) 4 \text{ °C}$	$1000 \text{ kg/m}^3 (1 \text{ g/cm}^3)$

### Prilog 3. Merne jedinice u međunarodnom SI sistemu

Osnovne jedinice SI		Izvedene jedinice SI		Dopuštene jedinice van SI		Jedinice sa ograničenom promenom van SI		Zabranjene jedinice		
Fizička veličina	Naziv	Oznaka	Definicija	Naziv	Oznaka	Definicija	Naziv	Oznaka	Definicija	
dužina	metar	m	površina	kvadratni metar	m <sup>2</sup>	1m <sup>2</sup> = 1m · 1m	a	1a = 10 <sup>n</sup> m <sup>2</sup>	ANGSTREM (Å)	1Å = 10 <sup>-10</sup> m
			zapremina	kubni metar	m <sup>3</sup>	1m <sup>3</sup> = 1m · 1m · 1m	h	1ha = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>	MIKRON (μ)	1μ = 10 <sup>-6</sup> m
masa	kilogram	kg	ugao u ravni	radijan	rad	1 rad = 1m/1m = 1	litar	1l = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>	PALAC - inch	1in = 25,4 · 10 <sup>-3</sup> m
			prostorni ugao	steradian	sr	1sr = 1m <sup>2</sup> /1m <sup>2</sup> = 1	decilitar	1dl = 10 <sup>-1</sup> m <sup>3</sup>	STOPA	1ft = 0,3048 m
			produžna (linijska) masa	kilogram po metru	kg/m	1kg/m = 1kg/1m	mililitar	1ml = 10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup>	JARD	1yd = 0,9144 m
			površinska masa	kilogram po kvadratnom metru	kg/m <sup>2</sup>	1kg/m <sup>2</sup> = 1kg/1m <sup>2</sup>	pun ugao	1 obrt = 2π rad = 2π	FADOM	1fm = 1,8288 m
			zapreminska masa	kilogram po kubnom metru	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup> = 1kg/1m <sup>3</sup>	stepen	1° = π/180 rad = π/180	BARN	1b = 10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
			sila	njuton	N	1N = 1kg·m/s <sup>2</sup>	minuta	1' = 1/60 = π/180 · 60 rad	MILJA	1mi = 1609,344 m
			pritisak (napon)	paskal	Pa	1Pa = 1N/1m <sup>2</sup>	sekunda	1" = 1/60 = π/180 · 60 rad	PROSTORNI METAR	1pm = 0,7 m <sup>3</sup>
			zapreminski protok	kubni metar u sekundi	m <sup>3</sup> /s	1m <sup>3</sup> /1s	gradus	1° = π/180 rad = π/180	KVINTAL	1q = 10 <sup>-3</sup> kg
			maseni protok	kilogram u sekundi	kg/s	1kg/1s	minuta	1' = 1/60 = π/180 · 60 rad	FUNTA	1tb = 0,45359 kg
			dinamička viskoznost	paskalsekunda	Pa·s	1Pa·s = (1Pa·1m)/1(m/s)	sekunda	1" = 1/60 = π/180 · 60 rad	LONG TONA	1L/T = 1016,04 kg
vreme	sekunda	s	kinematička viskoznost	metar kvadratni u sekundi	m <sup>2</sup> /s	1m <sup>2</sup> /s = (1Pa·s)/1(kg/m <sup>3</sup> )	decijitar	1dl = 10 <sup>-1</sup> m <sup>3</sup>	DIN	1din = 10 <sup>-5</sup> N
			energija, rad, količina toplote	džul	J	1J = 1N·1m	mililitar	1ml = 10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup>	KILOPOND	1kp = 9,80665 N
			snaga, energetska fluks, termički fluks	vat	W	1W = 1J/1s	gradus	1° = π/180 rad = π/180	POND	1p = 9,80665 m·N
			frekvencija (učestalost)	herc	Hz	1Hz = 1/1s = 1s <sup>-1</sup>	minuta	1' = 1/60 = π/180 · 60 rad	KILOPONDIMETAR	1kpm = 9,8065 N·m
			brzina	metar u sekundi	m/s	1m/s = 1m/1s	stepen	1° = π/180 rad = π/180	TEH. ATMOSFERA	1at = 98366,5 Pa
			ubrzanje	metar u sekundi na kvadrat	m/s <sup>2</sup>	1m/s <sup>2</sup> = 1(m/s)/s	minuta	1' = 1/60 = π/180 · 60 rad	FIZ. ATMOSFERA	1atm = 101325 Pa
			ugaona brzina	radijan u sekundi	rad/s	1rad/s = 1rad/1s	minuta	1' = 1/60 = π/180 · 60 rad	mm Hg	mm H <sub>2</sub> O = 9,80665 Pa
			ugaono ubrzanje	radijan u sekundi na kvadrat	rad/s <sup>2</sup>	1rad/s <sup>2</sup> = 1(rad/s)/s	minuta	1' = 1/60 = π/180 · 60 rad	KILOPOND po cm <sup>2</sup>	1kp/cm <sup>2</sup> = 98066,5 Pa
							minuta	1' = 1/60 = π/180 · 60 rad	KILOPOND po mm <sup>2</sup>	1kp/mm <sup>2</sup> = 0,980665 hbar
							minuta	1' = 1/60 = π/180 · 60 rad	POAZ	1p = 10 <sup>-1</sup> Pa·s = 1dPa·s



		ODNOS JEDINICA U RAZNIM SISTEMIMA MERA									
		CGS		M.TS		M.KS		M.Kp.S		S.I	
		Dužina	centimetar	(10 <sup>-1</sup> )	Metar	Metar	Metar	Metar	Metar	Metar	Metar
		Masa	Gram	(10 <sup>-3</sup> )	Tona	(10 <sup>3</sup> )	Kilogram	Jedin.Mkps	Jedin.Mkps	Kilogram	Kilogram
		Vreme	Sekunda	(10 <sup>-1</sup> )	Stena	(10 <sup>3</sup> )	Njutn	Kilogram-sile	Kilogram-sile	9.8 Njutn	9.8 Njutn
		Sila	Bar	(10 <sup>-1</sup> )	Piez	(10 <sup>3</sup> )	Jed.MKS	Kg.sile po m <sup>2</sup>	Kg.sile po m <sup>2</sup>	9.8 Paskal	9.8 Paskal
		Pritisak	Erg	(10 <sup>-7</sup> )	Kilodjul	(10 <sup>3</sup> )	Djul	Kilogrammet.	Kilogrammet.	9.8 Djul	9.8 Djul
		Energija, rad	Kalorija	(4.2.10 <sup>3</sup> )	Termija	(4.2.10 <sup>6</sup> )	Kiloeladorija	(4.2.10 <sup>3</sup> )	(4.2.10 <sup>3</sup> )	Djul	Djul
		Količina toplote	Erg u sekundi	(10 <sup>-7</sup> )	Kilovat	(10 <sup>3</sup> )	Vat	Kg.metar u.s.	Kg.metar u.s.	9.8 Vat	9.8 Vat
		Dinamička viskoznost	Poz	(10 <sup>-1</sup> )	Milipoz	(10 <sup>3</sup> )	Delapoz	(1)	(1)	Paskal sekunda	Paskal sekunda
		Kinematika viskoznost	Stoks	(10 <sup>-1</sup> )	Milistoks	(1)	mirastoks	(1)	(1)	m <sup>2</sup> u sekundi	m <sup>2</sup> u sekundi
		Jačina struje	e.m.j. CGS	(10)	"	(10 <sup>9</sup> )	"	Amper	Amper	Amper	Amper
		Električni napon	"	(10 <sup>8</sup> )	"	(10 <sup>9</sup> )	"	Volt	Volt	Volt	Volt
		Električna otpornost	"	(10 <sup>9</sup> )	"	(10 <sup>9</sup> )	"	Om	Om	Om	Om
		Količina elektriciteta	"	(10)	"	(10)	"	Kulon	Kulon	Kulon	Kulon
		Električna kapacitivnost	"	(10 <sup>9</sup> )	"	(10 <sup>9</sup> )	"	Farad	Farad	Farad	Farad
		Induktivnost	"	(10 <sup>9</sup> )	"	(10 <sup>9</sup> )	"	Henri	Henri	Henri	Henri
		Magnetni fluks	Maksvel	"	"	"	"	Weber	Weber	Weber	Weber
		Magnetna indukcija	Gaus	"	"	"	"	Tesla	Tesla	Tesla	Tesla
		Jačina magnetnog polja	Ersted	"	"	"	"	Amper po metru	Amper po metru	Amper po metru	Amper po metru
		Jačina svetlosti	Buži (sveća)	(1)	Buži (sveća)	(1)	Buži (sveća)	Kandela	Kandela	Kandela	Kandela
		Svetlosni fluks	Lumen	(10 <sup>4</sup> )	Lumen	(10 <sup>4</sup> )	Lumen	Lumen	Lumen	Lumen	Lumen
		Osvetljenost	Fot	(10 <sup>4</sup> )	Luks	(10 <sup>4</sup> )	Luks	Luks	Luks	Luks	Luks
		Luminacija	Stilb	(10 <sup>4</sup> )	Buži po m <sup>2</sup>	(1)	nit	(1)	(1)	Kandela po m <sup>2</sup>	Kandela po m <sup>2</sup>
amp	jačina električne struje	naelektrisanje (količina elektriciteta)	kulon	C	1C = 1A·1s						
		električni napon, el.motorna sila, el.potencijal	volt	V	1V = 1W/1A						
A	amp	jačina električnog polja	volt po metru	V/m	1V/m = 1V/1m						
		električna otpornost	ohm	Ω	1Ω = 1V/1A						
		električna provodljivost	simens	S	1S = 1A/1Ω = 1Ω <sup>-1</sup>						
		električna kapacitivnost	farad	F	1F = 1C/1V						
		induktivnost	henri	H	1H = 1V/1(A/s) = 1V·1s/1A						
		magnetna indukcija	tesla	T	1T = 1N/(1m·1A)						
		magnetna fluks	veber	Wb	1Wb = 1T·1m <sup>2</sup>						
		jačina magnetnog polja	amper po metru	A/m	1A/m = 1A/1m						
		entropija	džul po kelvinu	J/K	1J/K = 1J/1K						
		masena količina toplote	džul po kilogram kelvinu	J/kg·K	1J/kg·K = 1J/1kg·1K						
K	kelvin	temerična provodljivost	vat po metar kelvinu	W/(m·K)	1W/(m·K) = (1W/m <sup>2</sup> )/1K/1m						
		energetska jačina zračenja	vat u steradijani	W/sr	1W/sr = 1W/1sr						
cd	kandela	luminacija	kandela po kvadratnom metru	cd/m <sup>2</sup>	1cd/m <sup>2</sup> = 1cd/1m <sup>2</sup>						
		svetlosni fluks (tak)	lumen	lm	1lm = 1cd·1sr						
		osvetljenost	luks	lx	1lx = 1lm/1m <sup>2</sup>						
		aktivnost radioaktivnog izvora	bekerel	Bq	1Bq = 1/1s						
		apsorbovana doza jonizujućeg zračenja	grej	Gy	1Gy = 1J/1kg						
		ekvivalentna doza jonizujućeg zračenja	sivert	Sv	1Sv = 1J/1kg						
		ekspoziciona doza jonizujućeg zračenja	kulon po kilogramu	C/kg	1C/kg = 1C/1kg						
		molarina masa	kilogram po molu	kg/mol	1kg/mol = 1kg/1mol						
		molaritet, količinska koncentracija	mol po kubnom metru	mol/m <sup>3</sup>	1mol/m <sup>3</sup> = 1mol/1m <sup>3</sup>						
		mol	količina supstance	stepeni	1 °C = 1K						
celzijusa	0 °C = 273,15K										
mol	količina supstance	Bezdimenzione (matematičke) veličine	procenat (%)	1% = 10 <sup>-2</sup>							
		promil	(‰)	1‰ = 10 <sup>-3</sup>							
		parts per million	(ppm)	1ppm = 10 <sup>-6</sup>							
		parts per billion	(ppb)	1ppb = 10 <sup>-9</sup>							
		parts per trillion	(ppt)	1ppb = 10 <sup>-12</sup>							
		decimalni umnožak	prefiks	oznaka	decimalni umnožak	prefiks	oznaka				
		10 <sup>18</sup>	eksa	E	10 <sup>14</sup>	deci	d				
		10 <sup>15</sup>	peta	P	10 <sup>2</sup>	centi	c				
		10 <sup>12</sup>	tera	T	10 <sup>-3</sup>	mili	m				
		10 <sup>9</sup>	giga	G	10 <sup>-6</sup>	mikro	μ				
10 <sup>6</sup>	mega	M	10 <sup>-9</sup>	nano	n						
10 <sup>3</sup>	kilo	k	10 <sup>-12</sup>	piko	p						
10 <sup>2</sup>	hekto	h	10 <sup>-15</sup>	fermto	f						
10 <sup>1</sup>	deka	da	10 <sup>-18</sup>	ato	a						
		FARENHAJTOVI STEPENI REOMIROVI STEPENI									
		1°F = 0,555 °C = 0,444 °R = 0,555 K 1°R = 1,250 °C = 2,252 °F = 1,250 K									
		KIRI (Ci) 1Ci = 3,7 · 10 <sup>10</sup> Bq RAD (rd) 1rd = 10 <sup>2</sup> Gy REM (rem) 1rem = 10 <sup>-2</sup> Gy RENTGEN (R) 1R = 2,58 · 10 <sup>-4</sup> C/kg									

---

**Prilog 4. Standardni elektrodni redukциони potencijal ( $E^\circ$ ) za odabrane redoks parove**

Redoks par	$E^\circ / \text{V}$
$\text{Au}^+/\text{Au}^0$	1,692
$\text{Cl}^-/\text{Cl}_2$	1,358
$\text{Br}^-/\text{Br}_2$	1,087
$\text{Hg}^{2+}/\text{Hg}^0$	0,851
$\text{Ag}^+/\text{Ag}^0$	0,800
$\text{I}^-/\text{I}_2$	0,535
$\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0$	0,521
$\text{OH}^-/\text{O}_2$	0,401
$\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0$	0,342
$\text{H}^+/\text{H}_2$	0
$\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^0$	-0,037
$\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}^0$	-0,126
$\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}^0$	-0,137
$\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}^0$	-0,257
$\text{Co}^{2+}/\text{Co}^0$	-0,28
$\text{Cd}^{2+}/\text{Cd}^0$	-0,352
$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^0$	-0,447
$\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}^0$	-0,744
$\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}^0$	-0,762
$\text{Cr}^{2+}/\text{Cr}^0$	-0,913
$\text{Mn}^{2+}/\text{Mn}^0$	-1,185
$\text{Ti}^{2+}/\text{Ti}^0$	-1,630
$\text{Al}^{3+}/\text{Al}^0$	-1,662
$\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}^0$	-2,372
$\text{Na}^+/\text{Na}^0$	-2,71
$\text{Ca}^{2+}/\text{Ca}^0$	-2,868
$\text{Ba}^{2+}/\text{Ba}^0$	-2,912
$\text{K}^+/\text{K}^0$	-2,931
$\text{Cs}^+/\text{Cs}^0$	-3,026

## Prilog 5. Konstante disocijacije odabranih kiselina i baza

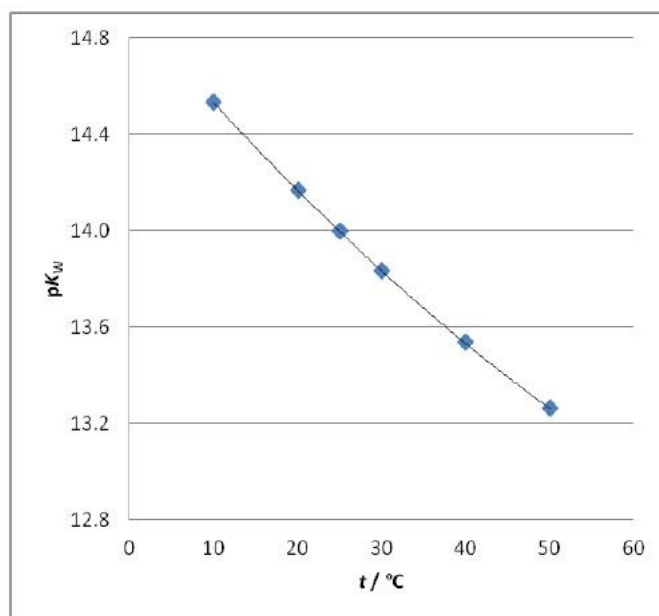
KISELINE		BAZE	
Formula	$K_a / \text{mol dm}^{-3}$	Formula	$K_b / \text{mol dm}^{-3}$
HI	$1,0 \cdot 10^{11}$	$\text{I}^-$	$1,0 \cdot 10^{-25}$
$\text{HClO}_4$	$1,0 \cdot 10^{10}$	$\text{ClO}_4^-$	$1,0 \cdot 10^{-24}$
HBr	$1,0 \cdot 10^9$	$\text{Br}^-$	$1,0 \cdot 10^{-23}$
HCl	$1,0 \cdot 10^7$	$\text{Cl}^-$	$1,0 \cdot 10^{-21}$
$\text{H}_2\text{SO}_4$	$1,0 \cdot 10^3$	$\text{HSO}_4^-$	$1,0 \cdot 10^{-17}$
$\text{HNO}_3$	$2,1 \cdot 10^1$	$\text{NO}_3^-$	$4,8 \cdot 10^{-16}$
$(\text{COOH})_2$	$5,6 \cdot 10^{-2}$	$\text{HOCCOO}^-$	$1,8 \cdot 10^{-13}$
$\text{H}_3\text{PO}_4$	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$6,5 \cdot 10^{-12}$
HF	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$\text{F}^-$	$1,4 \cdot 10^{-11}$
$\text{HNO}_2$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$\text{NO}_2^-$	$2,2 \cdot 10^{-11}$
HCOOH	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$\text{HCOO}^-$	$5,6 \cdot 10^{-11}$
$\text{CH}_3\text{COOH}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$\text{CH}_3\text{COO}^-$	$5,6 \cdot 10^{-10}$
$\text{H}_2\text{CO}_3$	$3,0 \cdot 10^{-7}$	$\text{HCO}_3^-$	$3,3 \cdot 10^{-8}$
$\text{H}_2\text{S}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$\text{HS}^-$	$8,3 \cdot 10^{-8}$
HCN	$4,0 \cdot 10^{-10}$	$\text{CN}^-$	$2,5 \cdot 10^{-5}$
$\text{NH}_4^+$	$5,6 \cdot 10^{-10}$	$\text{NH}_3$	$1,8 \cdot 10^{-5}$
$\text{HCO}_3^-$	$4,0 \cdot 10^{-10}$	$\text{CO}_3^{2-}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$
$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$6,2 \cdot 10^{-8}$	$\text{HPO}_4^{2-}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$
$\text{HS}^-$	$4,4 \cdot 10^{-13}$	$\text{S}^{2-}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
$\text{H}_2\text{O}$	$1,8 \cdot 10^{-16}$	$\text{OH}^-$	

**Prilog 6. Jonski proizvod vode ( $pK_w$ ) u zavisnosti od temperature**

U zavisnosti od promene temperature u opsegu od 10 do 50 °C,  $pK_w$  se može izračunati pomoću jednačine:

$$pK_w = -\log K_w$$
$$pK_w = 1,59 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 4,13 \cdot 10^{-2} \cdot t + 14,9.$$

$t / ^\circ\text{C}$	$K_w / 10^{-14} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$	$K_w$	pH čiste vode
10	0,29	14,53	7,27
20	0,68	14,17	7,08
25	1,01	14,00	7,00
30	1,47	13,83	6,92
40	2,92	13,54	6,77
50	5,48	13,26	6,63



**Prilog 7. Trivijalni nazivi i primena pojedinih jedinjenja u poljoprivredi, tehnici i svakodnevnom životu**

Formula	Hemijski naziv (IUPAC)	Trivijalni naziv	Upotreba
HCl	hlorovodoničn akiselina	sona kiselina	čišćenje u domaćinstvu, metalna industrija
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	vodonik-peroksid	hidrogen	dezinfekcija, ispiranje rana
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	sumporna kiselina	vitriol, vitriolno ulje	proizvodnja veštačkih đubriva
KNO <sub>3</sub>	kalijum-nitrat	šalitra	proizvodnja veštačkih đubriva, konzervisanje hrane(E252), proizvodnja baruta
NaNO <sub>3</sub>	natrijum-nitrat	čilska šalitra	proizvodnja veštačkih đubriva
NaOH	natrijum-hidroksid	masna (živa, kamena, kaustična) soda	proizvodnja sapuna, čišćenje u domaćinstvu
NaClO	natrijum-hipohlorit	varikina	izbeljivanje, dezinfekcija vode
NaHCO <sub>3</sub>	natrijum- hidrogenkarbonat	soda bikarbona	sredstvo za narastanje testa
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	natrijum-karbonat	soda	prehrambeni aditiv (E500), proizvodnja sapuna, stakla, papira, boja
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 10H <sub>2</sub> O	natrijum-sulfat dekahidrat	Glauberova so	proizvodnja deterdženata, papira, medicina (kao laksativ)
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	magnezijum-sulfat heptahidrat	goraka so, epsomit	proizvodnja veštačkih đubriva, medicina (kao laksativ i bronhodilatator)
CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	kalcijum-sulfat dihidrat	gips	građevinarstvo
CaO	kalcijum-oksidi	živi (negašeni) kreč	građevinarstvo
Ca(OH) <sub>2</sub>	kalcijum-hidroksid	gašeni kreč, krečno mleko	građevinarstvo
CaCO <sub>3</sub>	kalcijum-karbonat	krečnjak, kreda, kalcit, mermer	antacid, neutralizacija kiselih zemljišta, građevinarstvo
KMnO <sub>4</sub>	kalijum- permanganat	hipermangan	baktericid, ublažavanje ekcema i čišćenje rana
CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	bakar(II)-sulfat pentahidrat	plavi kamen, plava galica	fungicid
FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	gvožđe(II)-sulfat heptahidrat	zelena galica, zeleni vitriol	veterinarska medicina (kao adstringens), dodatak stočnoj hrani
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	amonijum- gvožđe(II)-sulfat	morova so	reagens u analitičkoj laboratoriji, kod redoksticiranja-izvor Fe <sup>2+</sup>
ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	cink-sulfat heptahidrat	bela galica, beli vitriol, golosarit	dezinficijens, antiseptik, emetik
NH <sub>4</sub> Cl	amonijum-hlorid	nišador	lek za kašalj, dodatak stočnoj hrani

## Prilog 8. Proizvod rastvorljivosti (P) nekih jedinjenja na 25 °C

Jedinjenje	P	Jedinjenje	P
$\text{Ag}_3\text{AsO}_4$	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$\text{Ag}_2\text{O} (\text{Ag}^+ + \text{OH}^-)$	$2,0 \cdot 10^{-8}$
$\text{AgBr}$	$3,3 \cdot 10^{-13}$	$\text{AgCl}$	$1,5 \cdot 10^{-16}$
$\text{Ag}_2\text{SO}_3$	$8,1 \cdot 10^{-12}$	$\text{Ag}_3\text{PO}_4$	$1,3 \cdot 10^{-20}$
$\text{AgCl}$	$1,8 \cdot 10^{-10}$	$\text{Ag}_2\text{SO}_3$	$1,5 \cdot 10^{-14}$
$\text{Ag}_2\text{CrO}_4$	$9,0 \cdot 10^{-12}$	$\text{Ag}_2\text{SO}_4$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
$\text{Ag}_2\text{ACr}_2\text{O}_7$	$2,0 \cdot 10^{-7}$	$\text{Ag}_2\text{S}$	$1,0 \cdot 10^{-49}$
$\text{AgCN}$	$1,2 \cdot 10^{-16}$	$\text{AgSCN}$	$1,0 \cdot 10^{-12}$
$\text{Al}(\text{OH})_3$	$1,9 \cdot 10^{-33}$	$\text{Ag}_2\text{S}_5$	$3,7 \cdot 10^{-38}$
$\text{As}_2\text{S}_3$	$4,0 \cdot 10^{-25}$	$\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$
$\text{BaCO}_3$	$8,1 \cdot 10^{-9}$	$\text{BaSO}_3$	$8,0 \cdot 10^{-7}$
$\text{BaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$\text{BaSO}_4$	$1,1 \cdot 10^{-10}$
$\text{BaCrO}_4$	$2,0 \cdot 10^{-10}$	$\text{Ba}(\text{IO}_3)_2$	$6,5 \cdot 10^{-10}$
$\text{BaF}_2$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$\text{Bi}_2\text{S}_3$	$1,6 \cdot 10^{-72}$
$\text{BiOCl}$	$7,0 \cdot 10^{-9}$	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	$7,9 \cdot 10^{-6}$
$\text{Bi}(\text{OH})_3$	$3,2 \cdot 10^{-40}$	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	$2,0 \cdot 10^{-29}$
$\text{CaCO}_3$	$3,8 \cdot 10^{-9}$	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$
$\text{CaCrO}_4$	$7,1 \cdot 10^{-4}$	$\text{Cd}(\text{OH})_2$	$1,2 \cdot 10^{-14}$
$\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$2,3 \cdot 10^{-9}$	$\text{Co}(\text{OH})_2$	$2,5 \cdot 10^{-16}$
$\text{CdS}$	$3,6 \cdot 10^{-29}$	$\text{Cp}(\text{OH})_3$	$4,0 \cdot 10^{-45}$
$\text{CoCO}_3$	$8,0 \cdot 10^{-13}$	$\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)_2$	$7,6 \cdot 10^{-36}$
$\text{CoS(a)}$	$5,9 \cdot 10^{-21}$	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	$1,6 \cdot 10^{-19}$
$\text{Co}_2\text{S}_2$	$2,6 \cdot 10^{-124}$	$\text{CuS}$	$8,7 \cdot 10^{-36}$
$\text{Cr}(\text{OH})_3$	$6,7 \cdot 10^{-31}$	$\text{CuCO}_3$	$2,5 \cdot 10^{-10}$
$\text{CuCl}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$\text{FeS}$	$4,9 \cdot 10^{-18}$
$\text{CuCN}$	$3,2 \cdot 10^{-20}$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$6,3 \cdot 10^{-38}$
$\text{Cu}_2\text{O} (\text{Cu}^{2+} + \text{OH}^-)$	$1,0 \cdot 10^{-14}$	$\text{Hg}_2\text{SO}_4$	$6,8 \cdot 10^{-7}$
$\text{CuI}$	$5,1 \cdot 10^{-12}$	$\text{Hg}_2\text{S}$	$5,8 \cdot 10^{-44}$
$\text{Cu}_2\text{S}$	$1,6 \cdot 10^{-48}$	$\text{HgO}(\text{Hg}_2^+ + 2\text{OH}^-)$	$2,5 \cdot 10^{-26}$
$\text{FeCO}_3$	$3,5 \cdot 10^{-11}$	$\text{HgS}$	$3,0 \cdot 10^{-53}$
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$7,9 \cdot 10^{-15}$	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	$1,5 \cdot 10^{-11}$
$\text{Hg}_2\text{Cl}_2$	$1,1 \cdot 10^{-18}$	$\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$	$2,5 \cdot 10^{-12}$
$\text{Hg}_2\text{CO}_3$	$8,9 \cdot 10^{-17}$	$\text{Mn}(\text{OH})_2$	$4,6 \cdot 10^{-14}$
$\text{Hg}_2\text{CrO}_4$	$5,0 \cdot 10^{-9}$	$\text{HiS}(\beta)$	$1,0 \cdot 10^{-26}$
$\text{Hg}_2\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O} (\text{Hg}_2^+ + \text{OH}^-)$	$1,6 \cdot 10^{-23}$	$\text{HiS}(\gamma)$	$2,0 \cdot 10^{-28}$
$\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$\text{Pb}(\text{IO}_3)_2$	$2,5 \cdot 10^{-13}$
$\text{MgC}_2\text{O}_4$	$8,6 \cdot 10^{-5}$	$\text{Pb}(\text{OH})_2$	$2,8 \cdot 10^{-16}$
$\text{MnCO}_3$	$1,8 \cdot 10^{-11}$	$\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$	$3,0 \cdot 10^{-44}$
$\text{MnS}$	$5,1 \cdot 10^{-15}$	$\text{PbSO}_4$	$1,8 \cdot 10^{-8}$
$\text{NiCO}_3$	$6,6 \cdot 10^{-9}$	$\text{PbS}$	$8,4 \cdot 10^{-28}$
$\text{Ni}(\text{OH})_2$	$2,8 \cdot 10^{-16}$	$\text{SnS}$	$1,0 \cdot 10^{-28}$
$\text{NiS(a)}$	$3,0 \cdot 10^{-21}$	$\text{SnS}_2$	$1,0 \cdot 10^{-70}$
$\text{PbCO}_3$	$1,5 \cdot 10^{-13}$	$\text{SrSO}_4$	$2,8 \cdot 10^{-7}$
$\text{PbCl}_2$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$\text{SrF}_2$	$2,5 \cdot 10^{-9}$
$\text{PbCrO}_4$	$1,8 \cdot 10^{-14}$	$\text{ZnS}$	$1,1 \cdot 10^{-21}$
$\text{PbI}_2$	$8,7 \cdot 10^{-9}$	$\text{SrCO}_3$	$9,4 \cdot 10^{-10}$
$\text{Sb}_2\text{S}_3$	$1,6 \cdot 10^{-93}$	$\text{SrCrO}_4$	$3,6 \cdot 10^{-5}$
$\text{Sn}(\text{OH})_2$	$2,0 \cdot 10^{-26}$	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	$4,5 \cdot 10^{-17}$
$\text{Sn}(\text{OH})_4$	$1,0 \cdot 10^{-57}$		

## LITERATURA

1. S.M.Nešić, A.B. Kostić Pulek, S.R. Marinković. R.M. Bulajić, V.M. Manović. **Praktikum iz opšte hemije sa kvalitativnom analizom**, *Rudarsko-geološki fakultet*, 2010, Beograd.
2. V.M. Leovac, V.I. Čašljević, LJ. Vojinović Jašić, **Praktikum opšte hemije**, *Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju*, 2008, Novi Sad.
3. V. Borko, A. Budimir, T. Friganović, M. Gabričević, R. Kerep, T. Šeba, T. Weitner, **General Chemistry Course worked examples and laboratory handbook**, *Farmaceutsko-biokemijski fakultet*, 2021, Zagreb.
4. I. Filipović, S. Lipanović, **Opća i anorganska kemija**, *Školska knjiga*, Zagreb, 1989.
5. N.L. Glinka, **Zadaci i vežbe iz opšte hemije**, *Naučna knjiga*, Beograd, 1991.
6. M. Matić, Li. Kujačić, V. Milošević, V. Grudić, **Uvod u laboratorijski rad**, *Zavod za udžbenike i nastavna sredstva*, Podgorica, 2020.

CIP – Katalogizacija u publikaciji  
Narodna biblioteka Srbije, Beograd  
54(075.8)(076)  
Mijatović, Aleksandar, 1984-  
Praktikum iz hemije / Aleksandar Mijatović, Ana Kesić. – 1.izd. - Beograd : Univerzitet u Beogradu,  
Rudarsko-geološki fakultet, 2023  
(Vrnjačka Banja: SaTCIP). – 148. str. ; ilustr. ; 30 cm  
Tiraž 100. – Bibliografija: str. 148.  
ISBN 978-86-7352-385-9  
Kesić, Ana, 1984- [autor]  
a) Hemija – Vežbe  
COBISS.SR-ID 110494473