

Projekt *Zajedno kroz prirodoslovlje*

# Fizikalna kemija

Priručnik za nastavnike

Izdavač



Gimnazija Petra Preradovića,  
Virovitica

**Naslov** Priručnik za nastavnike fakultativnog predmeta *Fizikalna kemija*

**Radni naziv kurikuluma** *Termodinamika i kvantna mehanika u fizici i kemiji u računima i eksperimentima*

**Izdavač** Gimnazija Petra Preradovića, Virovitica

**Za izdavača** Jasminka Viljevac

**Urednica** Jasminka Viljevac

**Autori** Ivana Salajić, Ana Krpačić, Ruža Piškur, Gordana Šumrada

**Supervizori** Ružica Vuk, Vlado Halusek, Danijel Jukopila, Tanja Mamić

**Supervizorica za jezik i gramatiku** Izabela Babić

**Oblikovale naslovnici i grafički uredile** Mateja Uzelac, Nikolina Hečimović

**Dizajn logotipa projekta** Grafoprojekt, Virovitica

**Podatak o izdanju** 1. izdanje

**Mjesto i godina izdavanja** Virovitica, 2016.

**Naziv tiskare i sjedište** Grafoprojekt, Virovitica

**CIP zapis je dostupan u računalnom katalogu Gradske i sveučilišne knjižnice Osijek pod brojem 140602075.**

**ISBN 978-953-8147-04-3**

Ova publikacija rezultat je projekta *Zajedno kroz prirodoslovlje* koji su provele nositelj projekta Gimnazija Petra Preradovića iz Virovitice, s partnerima Srednjom školom Marka Marulića Slatina i Srednjom školom „Stjepan Ivšić“ Orahovica od 23. listopada 2015. do 23. listopada 2016. godine. Projekt je u cijelosti financirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda, a financijska sredstva u iznosu od 2 260 369,46 kn osigurana su temeljem natječaja *Promocija kvalitete i unaprjeđenja sustava odgoja i obrazovanja na srednjoškolskoj razini*.

Sadržaj ove publikacije isključiva je odgovornost Gimnazije Petra Preradovića, Virovitica.

Kurikulumi i svi radni materijali jesu razvojni, mogu se dopunjavati, popravljati i mijenjati.

Ova publikacija dostupna je na hrvatskom jeziku u elektroničkom obliku na mrežnoj stranici

<http://www.gimnazija-ppreradovica-vt.skole.hr/>.

Riječi i pojmovni sklopovi koji imaju rodno značenje, bez obzira na to jesu li u tekstu korišteni u muškom ili ženskom rodu, odnose se na jednak način na muški i ženski rod.

©Sva prava pridržana. Nijedan dio ove publikacije ne smije biti objavljen ili pretiskan bez prethodne suglasnosti nakladnika i vlasnika autorskih prava.



Projekt *Zajedno kroz prirodoslovlje*

# Fizikalna kemija

PRIRUČNIK ZA NASTAVNIKE

Ivana Salajić, prof. fizike i kemije

Ana Krpačić, prof. kemije, prof. mentor

Ruža Piškur, dipl. kemičar

Gordana Šumrada, prof. kemije i biologije

Gimnazija Petra Preradovića, Virovitica

Virovitica, 2016.

## SADRŽAJ

|  |     |
|--|-----|
| PREGOVOR.....  | 5   |
| UVOD.....  | 7   |
| PRIJEDLOG IZVEDBENOG KURIKULUMA .....                | 8   |
| METODIČKE PREPORUKE.....                             | 13  |
| PREPORUKA ZA VREDNOVANJE USVOJENOSTI ISHODA .....    | 14  |
| 2. TOPLINSKI KAPACITET .....                         | 25  |
| 3. ENTALPIJA ISPARAVANJA VODE .....                  | 34  |
| 4. HESOV ZAKON .....                                 | 41  |
| 5. ENTALPIJA NEUTRALIZACIJE .....                    | 48  |
| 6. ENTALPIJA OTAPANJA SOLI .....                     | 55  |
| 7. ZAKONI TERMODINAMIKE U ZADACIMA .....             | 62  |
| 8. MASENA I MNOŽINSKA KONCENTRACIJA .....            | 77  |
| 8.1. Razrjeđivanje otopina .....                     | 77  |
| 8.2. Razrjeđivanje kiselina.....                     | 79  |
| 8.3. Miješanje kiselina različite koncentracije..... | 83  |
| 9. VOLUMETRIJA.....                                  | 88  |
| 10. HIDROLIZA SOLI .....                             | 98  |
| 11. REDOKS REAKCIJE .....                            | 104 |
| 12. ELEKTRODNI POTENCIJAL I GALVANSKI ČLANCI.....    | 117 |
| 13. FARADAYEVI ZAKONI.....                           | 128 |
| 14. FOTOELEKTRIČNI UČINAK.....                       | 139 |
| LITERATURA.....                                      | 162 |

## PREDGOVOR

U vašim je rukama priručnik za nastavnike fakultativnog predmeta nastao kao rezultat projekta *Zajedno kroz prirodoslovlje*, a financirala ga je Europska unija iz Europskog socijalnog fonda u okviru natječaja *Promocija kvalitete i unaprjeđenje sustava odgoja i obrazovanja na srednjoškolskoj razini*. Vrijednost projekta bila je 2 260 369,46 kuna, a trajao je od 23. 10. 2015. do 23. 10. 2016. godine.

Projekt *Zajedno kroz prirodoslovlje* prijavila je Gimnazija Petra Preradovića iz Virovitice, a partneri su joj bili Srednja škola Marka Marulića iz Slatine i Srednja škola „Stjepan Ivšić“ iz Orahovice.

Cilj projekta bio je uspostava programskih, kadrovskih i materijalnih uvjeta u gimnazijama Virovitičko-podravske županije koji će učenicima omogućiti stjecanje dodatnih kompetencija u području prirodoslovlja, matematike i informacijsko-komunikacijskih tehnologija.

Kurikulumi su zasnovani na ishodima učenja i izrađeni prema principima Hrvatskog kvalifikacijskog okvira (Zakon o HKO-u, MZOS 2013.) čime izravno doprinose njegovom daljnjem razvoju i provedbi.

Suradnički su ih izrađivali nastavnici Matematike, Informatike i prirodoslovnih predmeta triju gimnazija, stručnjaci na polju pedagogije i metodologije te profesori sveučilišnih kolegija na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Ciljne skupine ovog projekta jesu: nastavnici, učenici, stručni suradnici, vanjski stručnjaci i ravnatelji.

Sudjelovanjem ravnatelja triju gimnazija u provedbi projekta naglašena je važnost modernizacije kurikuluma za obrazovne ustanove. Ojačani kapaciteti gimnazija za izradu i provedbu inovativnih fakultativnih nastava (ljudski i materijalni potencijali) čine ustanovu atraktivnom i poželjnom za nastavak obrazovanja svim učenicima zainteresiranim za prirodoslovlje.

Kako bi podržali razvoj novih fakultativnih programa u školama, ali i doprinijeli razvoju programa svojim stručnim znanjima iz područja pedagogije/psihologije, stručni suradnici iz gimnazija sudjelovali su u edukacijama za razvoj kurikuluma temeljenog na ishodima učenja i unaprjeđenje nastavnih kompetencija. Stečenim znanjem i vještinama pružili su podršku ostalim nastavnicima za razvoj i implementaciju drugih fakultativnih programa, ali i prilagođavanju postojećih nastavnih programa zahtjevima HKO-a.

Postojeći su gimnazijski programi zastarjeli i nedovoljno su prilagođeni promjenama u suvremenom društvu. Naročito zabrinjava zastarjelost u prirodoslovnom i ICT području. Rezultati PISA istraživanja upućuju da su rezultati hrvatskih 15-godišnjaka ispod prosjeka u matematičkoj i prirodoslovnoj pismenosti. Često učenici nisu sposobni povezati znanja iz različitih nastavnih predmeta ili to čine površno i nesustavno. Znanja stečena u gimnazijskom nastavnom procesu uglavnom su teorijska i udaljena od neposredne životne zbilje. Stoga se nameće potreba za povezivanjem škole i života, znanja i vrijednosti, znanstvenih spoznaja i prakse.

Posljednjih godina učinjene su značajne promjene u smjeru poboljšanja hrvatskog obrazovnog sustava u predškolskom i osnovnoškolskom sektoru (HNOS, NOK), srednjem školstvu (reforma strukovnog obrazovanja, državna matura, NOK) i visokom školstvu (Bologna proces), a dovršen je i *Hrvatski kvalifikacijski okvir* (HKO) sukladno *Europskom kvalifikacijskom okviru* (EQF). Međutim gimnazijski kurikulum nije značajno strukturno promijenjen već pedesetak godina. Aktualni nastavni programi za gimnazije potječu iz 1994. i 1995. godine, a nastavni planovi iz 1995. godine i nisu zasnovani na ishodima učenja prema instrumentariju Hrvatskoga kvalifikacijskog okvira. Predmetna područja slabo su povezana, iako HKO i NOK omogućuju i potiču smisljeno povezivanje

svih sastavnica sustava u skladnu cjelinu. Nedostatno su zastupljeni novi oblici učenja i poučavanja, a osobito primjerena upotreba suvremenih tehnologija u poučavanju i učenju.

Naš doprinos promjenama koje svi očekuju jest osam novih kurikuluma fakultativne nastave s priručnicima za nastavnike, priručnicima za učenike te digitalnim radnim materijalima u Moodle-u.

Radni nazivi kurikuluma govore o sadržaju kurikuluma i o smjeru kojim idemo: Zemlja u geografiji, fizici i matematici, Linearna funkcija i vektori u matematičkom programu Geogebra i njihova primjena u obradi eksperimenata u fizici, Funkcije u matematičkom programu Geogebra i njihova primjena u prirodoslovlju, Biološki sustavi u ekologiji i matematici, Biologija s kemijom u životnim procesima, Termodinamika i kvantna mehanika u fizici i kemiji u računima i eksperimentima, Fizikalni eksperimenti i modeli kao osnova rada tehničkih uređaja i Informatika. Nazivi fakultativnih predmeta koji su iz njih proizašli jesu:

1. *Geografija rizika i klimatske promjene*
2. *Linearna funkcija i vektori u eksperimentima*
3. *Funkcije u prirodoslovlju*
4. *Biološki sustavi i matematika*
5. *Biologija s kemijom u životnim procesima*
6. *Fizikalna kemija*
7. *Fizikalni eksperimenti*
8. *Informatika u multimediji i dizajnu.*

## UVOD

Fakultativni predmet *Fizikalna kemija* proizašao je iz kurikuluma radnog naziva *Termodinamika i kvantna mehanika u fizici i kemiji u računima i eksperimentima*. Radni naziv kurikuluma, iako je prilično nespretan za naziv predmeta, u najkraćim crtama opisuje što se u predmetu obrađuje. Predmet je namijenjen učenicima trećih i četvrtih razreda gimnazija i strukovnih škola koji planiraju studirati na prirodoslovnim i tehnološkim fakultetima.

Materijali pripremljeni tijekom projekta osigurat će nastavnicima jednostavnu pripremu za nastavu s predloženim načinima i oblicima rada, no mogu poslužiti kao ideja za neki novi kreativni pristup temama iz kurikuluma.

U predmetu učenici izvode eksperimente i istražuju neke zakone gdje su kemija i fizika usko povezane. Ovaj predmet proširuje i produbljuje znanja iz područja termokemije i termodinamike, sastava otopine, elektrokemije i fotoelektričnog učinka. Uz eksperiment učenici će pomoću dodatnih zadataka povezati uočene promjene s primjerima iz svakodnevnog života.

Pomoću seminara u obliku malih istraživačkih projekata učenici će nadopuniti svoja znanja. Rješavanjem problemskih zadataka razvijat će svoje sposobnosti, samopouzdanje, uvažavanje ostalih mišljenja, planiranja rješavanja problema, sustavnost u obradi podataka i iznošenja zaključka potkrijepljenog argumentima.

Učenicima u ovom predmetu, osim klasične nastave, nudimo materijale za učenje na daljinu korištenjem platforme za e-poučavanje. Nastavnici će moći pratiti taj rad učenika i vrednovati ga satnicom predviđenom za obavljanje pojedinih zadataka čime će učenicima omogućiti online rad u njihovim domovima. To će najviše odgovarati učenicima putnicima kojih je u našim školama više od 50 %. Učenici, nastavnici i škole koje se odluče za fakultativni predmet *Fizikalna kemija*, kurikulum i sve materijale u digitalnom obliku dobit će besplatno, kao i pristup platformi za e-poučavanje.

Kurikulum i svi radni materijali su razvojni. Mogu se dopunjavati, popravljati i mijenjati.

Želimo vam uspjeh u radu.

## PRIJEDLOG IZVEDBENOG KURIKULUMA

| NASTAVNA<br>CIJELINA     | TEMA                             | ISHODI  | PREDVIĐ<br>ENI BROJ<br>SATI | NAPOMENA  |
|--------------------------|----------------------------------|---|-----------------------------|---|
|                          |                                  | Na kraju učenja i poučavanja fakultativnog predmeta učenik:   |                             |   |
| 1.<br>TERMO-<br>DINAMIKA | Richmannovo<br>pravilo           | Mjeri promjenu temperature tijekom procesa miješanja vode različitih temperatura.<br>Opaža i opisuje promjene tijekom izvođenja eksperimenta.<br>Samostalno analizira i povezuje usvojeno sa svakodnevnim životom.<br>Izračunava toplinu i promjenu entalpije na temelju promjene temperature vode. | 4.                          | Virtualni pokusi:<br><a href="http://group.chem.iastate.edu">http://group.chem.iastate.edu</a><br>Parlaonica – energetska učinkovitost za stanove i kuće.<br>Pokus: Miješanje vode različite temperature.               |
|                          | Toplinski<br>kapacitet           | Mjeri promjenu temperature tijekom procesa hlađenja metala.<br>Opaža i opisuje promjene tijekom izvođenja eksperimenta.<br>Samostalno analizira i povezuje usvojeno sa svakodnevnim životom.<br>Izračunava toplinu na temelju promjene temperature vode.  | 7.                          | Pokus: Mjerenje promjene temperature vode pri hlađenju zagrijanih metala (tri različita metala).<br>Izrada seminara – samostalni rad u informatičkoj učionici ili kod kuće.<br>Prezentacija seminarskih radova učenika. |
|                          | Entalpija<br>isparavanja<br>vode | Mjeri promjenu temperature tijekom procesa isparavanja vode.<br>Opaža i opisuje promjene tijekom izvođenja eksperimenta.<br>Izračunava latentnu toplinu isparavanja vode.   | 6.                          | Pokus: Mjerenje promjene temperature tijekom procesa isparavanja vode.<br>Prezentacija seminarskih radova učenika.  |



|                                   |   |   |           |  |
|-----------------------------------|---|---|-----------|--|
| <b>1.<br/>TERMO-<br/>DINAMIKA</b> | <b>Hessov zakon</b>                     | Izračunava promjenu entalpije i primjenu Hessovog zakona na primjerima.<br>Analizira promjene unutarnje energije tijekom egzotermnih i endotermnih reakcija.  | <b>3.</b> |  |
|                                   | <b>Entalpija neutralizacije</b>         | Mjeri promjenu temperature tijekom procesa neutralizacije jake kiseline s jakom bazom.<br>Objašnjava uzroke i analizira promjene uočene tijekom eksperimenta.   | <b>4.</b> | Virtualni pokus:<br><a href="http://group.chem.iastate.edu">http://group.chem.iastate.edu</a><br>Pokus: Mjerenje promjene temperature tijekom neutralizacije.  |
|                                   | <b>Entalpija otapanja soli</b>          | Mjeri promjenu temperature tijekom procesa otapanja soli u vodi.<br>Objašnjava uzroke i analizira promjene uočene tijekom eksperimenta.<br>Izračunava toplinu pri otapanju soli u vodi.   | <b>5.</b> | <b>Virtualni pokus:</b><br><a href="http://www.pbslearningmedia.org/resource/lps07.sci.phys.matter.dissolvesalt/dissolving-salts-in-water/">http://www.pbslearningmedia.org/resource/lps07.sci.phys.matter.dissolvesalt/dissolving-salts-in-water/</a> |
|                                   | <b>Zakoni termodinamike u zadacima</b>  | Izračunava toplinu, promjenu entalpije, unutarnje energije, entropije krutina i plinova.  | <b>5.</b> |  |
| <b>2.<br/>OTOPINE</b>             | <b>Masena i množinska koncentracija</b> | Mjeri promjenu množinske koncentracije reaktanata i produkata tijekom kemijske reakcije razrjeđivanja, neutralizacije.<br>Objašnjava uzroke i analizira promjene uočene tijekom eksperimenta.<br>Izračunava množinsku koncentraciju tvari otopljenih u otopinama. | <b>6.</b> | Virtualni pokusi:<br><a href="http://group.chem.iastate.edu">http://group.chem.iastate.edu</a><br>Pokus: Mjerenje promjene pH - vrijednosti tijekom razrjeđivanja otopine kiseline.  |

|                             |   |   |           |  |
|-----------------------------|---|---|-----------|--|
| <b>2.</b><br><b>OTOPINE</b> | <b>Masena i množinska koncentracija</b> | <p>Određuje množinu i množinsku koncentraciju otopine nastale razrjeđivanjem kiseline.</p> <p>Određuje množinu i množinsku koncentraciju otopina nastala miješanjem kiseline različitih koncentracija i volumena.</p> <p>Određuje pH - vrijednost nastale otopine na temelju koncentracije oksonijevih iona.</p>  |           | Pokus: Mjerenje promjene pH-vrijednosti tijekom miješanja sumporne kiseline različitih koncentracija.  |
|                             | <b>Volumetrija</b>                      | <p>Mjeri promjenu množinske koncentracije reaktanata i produkata tijekom kemijske reakcije neutralizacije.</p> <p>Objašnjava uzroke i analizira promjene uočene tijekom eksperimenta.</p> <p>Određuje pH vrijednost na temelju utrošenog volumena kiseline poznate koncentracije i volumena ispitivane baze.</p> <p>Ispisuje kemijske reakcije disocijacije i neutralizacije pomoću kemijskih jednažbi.</p> <p>Izračunava množinu tvari koja se izmjenjuje tijekom kemijske reakcije.</p> | <b>4.</b> | Pokus: Mjerenje promjene pH-vrijednosti tijekom procesa neutralizacije baze s kiselinom – volumetrija.   |
|                             | <b>Hidroliza soli</b>                   | <p>Izvodi pokus, prati promjene tijekom izvođenja pokusa.</p> <p>Analizira uočene promjene i donosi zaključak o pH-vrijednosti ispitivanih otopina soli.</p> <p>Izračunava množinsku koncentraciju vodene otopine soli.</p>   | <b>4.</b> | Virtualni pokusi:<br><a href="http://group.chem.iastate.edu">http://group.chem.iastate.edu</a><br>Pokus: Mjerenje pH-vrijednosti vodenih otopina zadanih soli. |
|                             | <b>Redoks reakcije</b>                  | <p>Određuje broj elektrona koji se izmjenjuje tijekom redoks reakcija.</p> <p>Analizira broj izmijenjenih elektrona te određuje oksidans i reducens u redoks reakcijama.</p> <p>Sastavlja jednažbe složenijih redoks reakcija ion-elektron metodom.</p>   | <b>4.</b> |  |

|                          |  |   |    |   |
|--------------------------|--|---|----|---|
| 3.<br>ELEKTRO-<br>KEMIJA | Elektrodni potencijal i galvanski članci | <p>Mjeri električni napon galvanskih članaka.</p> <p>Objašnjava uzroke i analizira promjene uočene tijekom eksperimenta.</p> <p>Precizno mjeri i kritički razmišlja o točnosti dobivenih rezultata.</p> <p>Izračunava razliku potencijala galvanskih članaka.</p> <p>Određuje broj elektrona koji se izmjenjuju tijekom redoks reakcije.</p> <p>Izračunava razliku potencijala članka i donosi zaključak.</p> <p>Analizira i razmišlja o primjena galvanskog i elektrokemijskog članka u svakodnevnom životu.</p> | 5. | <p>Pokus: Mjerenje elektrodnog potencijala galvanskih članaka.</p> <p>Virtualni pokusi:<br/> <a href="http://group.chem.iastate.edu">http://group.chem.iastate.edu</a></p> <p>Prezentacija učenika.</p> |
|                          | Faradayevi zakoni                        | <p>Mjeri mase elektroda.</p> <p>Objašnjava uzroke i analizira promjene uočene tijekom pokusa.</p> <p>Određuje broj elektrona koji se izmjenjuju tijekom redoks reakcije.</p> <p>Izračunava množinu tvari koja se istaloži na elektrodama tijekom elektrolize.</p> <p>Izračunava množinu tvari na temelju vremena i količine naboja koja teče kroz otopinu.</p> <p>Ispituje kvalitativno i kvantitativno Faradayeve zakone na primjerima – zadacima.</p>   | 4. | <p>Pokus: Mjerenje mase izlučenog metala na katodama ovisno o količini električne energije i vremenu protjecanja struje kroz otopinu.</p>   |

|   |   |   |           |  |
|---|---|---|-----------|--|
| <p>4.<br/>KVANTNA<br/>FIZIKA I<br/>KEMIJA</p> | <p><b>Fotoelektrični<br/>učinak</b></p> | <p>Analizira fotoelektrični učinak s mjernim podacima pomoću virtualnog eksperimenta.<br/>Objašnjava uzroke i analizira promjene uočene tijekom eksperimenta.<br/>Izračunava izlazni rad u ovisnosti o vrsti materijala.<br/>Izračunava graničnu frekvenciju svjetlosti i izlazni rad fotoelektričnog učinka.<br/>Izračunava količinu elektrona o frekvenciji elektromagnetskog zračenja.<br/>Analizira dobivanje i ispituje primjenjivost solarne fotonaponske ćelije za dobivanje energije.</p> | <p>7.</p> | <p>Informatička učionica – virtualni pokus:<br/><a href="https://phet.colorado.edu/en/simulations/legacy/photoelectric">https://phet.colorado.edu/en/simulations/legacy/photoelectric</a><br/>Samostalni rad u informatičkoj učionici ili kod kuće.<br/>Prezentacija seminarskih radova učenika.</p> |
|---|---|---|-----------|--|

Ukupan je broj sati 70, od čega se za uvodni i završni sat predlaže po jedan sat.

Nastava fakultativnog predmeta *Fizikalna kemija* provodi se većinom u učionici. Izvođenjem pokusa prema uputama nastavnika, u kojem učenici samostalno ili u grupi prate promjene, donose zaključke te ih uspješno objašnjavaju.

Dio nastave učenici izvode kod kuće ili u informatičkoj učionici – virtualni pokusi, zadaci, pronalaženje materijala za izradu seminarskih radova kao dio malih istraživačkih projekata.

## METODIČKE PREPORUKE

Nastavnicima koji će provoditi program fakultativnog predmeta *Fizikalna kemija* ostavljena je potpuna sloboda pri odabiru broja sati za pojedinu nastavnu temu, izbor kemikalija i zadataka koji će učenici rješavati u školi ili kod kuće.

Povezivanje nastave kemije i fizike s drugim nastavnim predmetima omogućuje učenicima bolje razumijevanje i primjenu naučenog u svakodnevnom životu.

Pri samostalnom izvođenju eksperimenta i praćenju učenih promjena učenika se usmjerava na razvoj kritičnog mišljenja, uvažavanja tuđih mišljenja te argumentirano izlaganje usvojenih znanja.

Preporuka je da se projektni zadaci zadaju nakon obrađenih nastavnih cjelina, da budu jasni i da bude definirano trajanje njihove izvedbe. Poželjno je učenike poticati da sami uočavaju i ispravljaju pogreške jer im se na taj način daje mogućnost da rad doživljavaju kao priliku da nauče nešto novo.

Dobro je učenike i njihov rad kontinuirano pratiti i ocjenjivati, uključiti ih u proces ocjenjivanja i vrednovanja, kako vlastitog uratka tako i onih drugih učenika. Na taj se način potiče razvoj samostalnosti i odgovornosti za svoje postupke i razvija motivacija za daljnji rad.

Kako bi izvođenje nastave bilo kvalitetno, potrebno je nastavu provoditi u opremljenoj učionici za kemiju i fiziku, a dio nastave u umreženoj informatičkoj učionici u kojoj je za svakog učenika osigurano računalo s odgovarajućom softverskom podrškom te nastavničko računalo i projektor.

## PREPORUKA ZA VREDNOVANJE USVOJENOSTI ISHODA

Vrednovanje usvojenosti ishoda sastoji se od niza aktivnosti kojima je svrha praćenje rada i napredovanja svakog učenika i pripremanje učenika za daljnje obrazovanje.

U ovom predmetu nastavniku se preporučuje vrednovanje koje je više afirmativno nego formativno. Učenik sudjeluje u ocjenjivanju, uspoređuje svoje uratke s drugima, vrednuje rezultate mjerenja ostalih učenika, samovrednjuje svoj rad.

Tijekom izvođenja pokusa nastavnik prati rad učenika, obilazi učenike i provjerava samostalnost i aktivno praćenje eksperimenta, obradu podataka mjerenja i njihovo objašnjenje uočenih promjena.

Nastavniku se preporučuje da u tom dijelu koristi pripremljene tablice s imenima učenika i prostorom za bilježenje pluseva i minusa za određene aktivnosti, preciznost mjerenja, točnost dobivenih rezultata, detaljnog opisivanja opažanja, objašnjenja fizičkih i kemijskih promjena te grafičkih prikaza. Svaki dio donosi određeni broj bodova. Aktivnost učenika nastavnik sam bilježi tijekom praćenja rada svakog učenika u pojedinim grupama. Nakon završene vježbe, a prije kraja sata nastavniku će pri bodovanju opažanja, objašnjenja, preciznosti mjerenja, objašnjenja promjena i crtanju grafičkih prikaza pomoći sami učenici. Naglas se ispituje usporedba opažanja, zaključaka i rezultata mjerenja. Učenici boduju podatke koje imaju, a one koje nemaju nadopisuju. Zbroj pluseva/bodova koje je upisao nastavnik i učenici utječe na formiranje ocjene. Takvim se načinom ponavlja, uopćava ispitivano gradivo i ispravljaju neke krive zablude. Učenici uče jedan od drugoga, a ujedno pomažu nastavniku pri praćenju i ocjenjivanju njihovog rada.

Pri vrednovanju aktivnosti učenika prati se aktivnost i korištenje materijala, zadataka na *ICT*-u za učenje i proširivanje odgojno-obrazovnih ishoda.

Pri ocjenjivanju samostalnih radova u obliku mini projekata ili seminara nastavnik i učenici trebali bi obratiti pozornost na:

- kvalitetu sadržaja – je li uspješno obrađena tema i dobiven odgovor na postavljeno pitanje,
- kvalitetu izlaganja – jasnoća izlaganja, razumijevanje prezentirane građe, argumentiranost teze.

Koristeći ove smjernice nastavnik može izraditi obrazac za ocjenjivanje u koji će unijeti svoje bilješke i zapažanja te lakše pojasniti učeniku iz čega je proizašla konačna ocjena. Isti obrazac može se dati učenicima kako bi vrednovali uratke međusobno.

Pri formativnom ocjenjivanju preporučuje se izrada testova u klasičnom pisanom obliku ili pomoću *ICT*-a.

### Elementi vrednovanja

Elementi vrednovanja u fakultativnom predmetu *Fizikalna kemija* jesu:

1. usvojenost odgojno-obrazovnih ishoda
2. prirodoznanstveni pristup
3. eksperimentalni rad.

Elementom *usvojenost odgojno-obrazovnih ishoda* kao element ocjenjivanja podrazumijeva prosudbu o znanju i razumijevanju koncepata, pojmova, činjenica i postupaka u fakultativnom predmetu.

Elementom *prirodoznanstveni pristup* podrazumijeva razvijanje vještine povezivanja rezultata eksperimenta s konceptualnim spoznajama, primjenu matematičkih vještina i uočavanje zakonitosti uopćavanjem podataka.

U elementu *eksperimentalni rad* vrednuje se sudjelovanje učenika u izradi pokusa, aktivno praćenje eksperimenta i rezultata mjerenja, aktivna komunikacija i suradnja učenika u grupi, pregledno zapisana dokumentacija o mjerenjima i dobivenim podacima.

| Elementi vrednovanja                          | Ocjena   |   |   |   |
|---|--|---|---|---|
|   | dovoljan (2)   | dobar (3)   | vrlo dobar (4)  | odličan (5)   |
| <b>Usvojenost odgojno - obrazovnih ishoda</b> | Objašnjava kvalitativna i kvantitativna svojstva otopina te promjene energija. Objasnjava prateće algebarske zapise. | Uspoređuje kvalitativna i kvantitativna svojstva otopina. Analizira i tumači odgovarajuće algebarske zapise i ovisnosti pojedinih varijabli pri rješavanju jednostavnijih zadataka, piše kemijske reakcije, računa iznose izmijenjene energije na primjerima uz pomoć nastavnika. | Opisuje i potkrepljuje matematičkim izrazima razliku između otopina, piše disocijaciju kiselina i baza uz pomoć nastavnika. Analizira i samostalno piše algebarske zapise, kemijske reakcije i ovisnosti pojedinih varijabli. Potreban je pomoć nastavnika pri predviđanju iznosa izmijenjene energije na različitim primjerima i pri rješavanju složenijih zadataka. | Opisuje i matematički potkrepljuje izračunom sastav otopine. Piše kemijske reakcije disocijacije i neutralizacije kiselina i baza. Predviđa pH vrijednost vodenih otopina soli. Samostalno analizira algebarske zapise i ovisnosti pojedinih varijabli pri rješavanju složenijih zadataka, povezuje zadatke sa zakonima očuvanja, predviđa izmjene energije na različitim primjerima. |

|                                   |  |   |  |   |
|-----------------------------------|--|---|--|---|
| <b>Prirodnoznanstveni pristup</b> | Ispunjava tablice s izmjerenim podacima. Izračunava prikupljene podatke tijekom mjerenja.  | Piše kemijske reakcije, rješava zadatke, crta ovisnosti mjerenih varijabla grafički pomoću informatičkih alata uz pomoć nastavnika. | Grafički prikazuje izmjerene podatke. Piše kemijske reakcije, strukturne formule i mehanizme u informatičkim programima uz pomoć nastavnika. | Rješava složenije zadatke, piše kemijske reakcije, strukturne formule i mehanizme u informatičkim programima.   |
| <b>Eksperimentalni rad</b>        | Izvodi eksperiment prema uputama, bilježi izmjerene podatke. Povezuje varijable koje mjeri i opisuje promjene tijekom provođenja eksperimenta uz pomoć nastavnika. | Detaljno opisuje promjene tijekom izvođenja eksperimenta. Objašnjava promjene uočene tijekom eksperimenta uz pomoć nastavnika.      | Objašnjava promjene uočene tijekom eksperimenta.   | Povezuje rezultate mjerenja s konceptualnim spoznajama. Povezuje uočene promjene i nove tehnologije koje se mogu koristiti za dobivanje drugačijih oblika „čiste energije“. |

Za pisane provjere znanja brojčana se ocjena donosi temeljem sljedeće bodovne skale izražene u postotcima:

| Postotak riješenosti ispita | Ocjena         |
|-----------------------------|----------------|
| 41 – 54                     | dovoljan (2)   |
| 55 – 69                     | dobar (3)      |
| 70 – 84                     | vrlo dobar (4) |
| 85 –100                     | odličan (5)    |

### Formiranje zaključne ocjene

Zaključna ocjena iz fakultativnog predmeta temelji se na podacima dobivenima različitim metodama vrednovanja putem vrednovanja za učenje, vrednovanja kao učenje i vrednovanja naučenoga i odražava učenikovu stvarnu razinu postignuća.

Pri zaključivanju ocjena svi navedeni elementi vrednovanja promatraju se ravnopravno i jednako utječu na formiranje zaključne brojčane ocjene.





**TERMODINAMIKA**



# 1. RICHMANNOVO PRAVILO

## Preporuka nastavniku:

Učenicima treba naglasiti da je većina kemijskih reakcija otvoreni sustav koji može razmjenjivati energiju s okolinom, kao toplina ili kao rad.

## Redoslijed aktivnosti:

1.) Sat se može započeti provjerom razine usvojenosti pojmova toplina, temperatura, ravnoteža, trojna točka, fazni dijagram, latentna toplina pomoću nekih primjera iz svakodnevnog života na temelju iskustva.

Primjer: Objasnite zašto se rublje brže suši ljeti, a ne zimi? Objasnite je li moguće osušiti rublje na  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Što se dogodi kada pomiješamo dvije posude vode jednakih volumena, jednu na  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a drugu na  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

Ponoviti gradivo pomoću virtualnog pokusa kod kuće.

2.) Učenici u grupama ili ako je moguće samostalno izvode eksperiment prema uputama, pišu opažanja, mjerenja, objašnjenja. Za izvođenje eksperimenta, obradu podataka potrebna su dva sata.

3.) Jedan sat potreban je za odgovaranje na pitanja i rješavanje zadataka.

## Uvod

U svakodnevnom životu različito shvaćamo pojmove topline i temperature. Osjet topline ovisi o temperaturi tijela, a temperatura je osnovna fizička veličina koja karakterizira stupanj zagrijanosti nekog tijela. Ona je proporcionalna srednjoj kinetičkoj energiji molekula.

Mjerenje topline, toplinskog kapaciteta, latentne topline i drugih toplinskih veličina predmet je izučavanja kalorimetrije.

Jedna od metoda mjerenja toplinskih kapaciteta jest metoda smjese (metoda miješanja). Richmannovo pravilo vrijedi za izolirani sustav, a zapravo je posljedica zakona održanja energije.

Toplina je energija koja prelazi s jednog tijela na drugo (s toplijeg na hladnije) zbog njihove temperaturne razlike.

Nulti zakon termodinamike (zakon ravnoteže): Ako su dva tijela A i B u zasebnoj termičkoj ravnoteži s tijelom C, tada su tijela A i B također u međusobnoj termičkoj ravnoteži.

Dva tijela u termičkoj ravnoteži imaju istu temperaturu.

Neko tijelo može se ugrijati uz prisutnost drugog tijela. Kažemo da je došlo do prijenosa topline. Prijenos topline vrlo je složen proces.

Prijenos topline:

- a) Vođenjem (kondukcijom) – prijenos topline tako da se dio tijela zagrijava izravnim dodiranjem s izvorom topline, a susjedni se dijelovi redom dalje zagrijavaju. Ako se na primjer jedan kraj metalnoga štapa stavi u peć, toplina se po štapu širi vođenjem.

Brzina prenošenja topline to je veća što je veća temperaturna razlika, a ovisi i o samoj tvari. Budući da su dobri vodiči električnih naboja (metali) ujedno i dobri vodiči topline, toplinska se vodljivost pripisuje ponajprije gibanju slobodnih elektrona.

b) Strujanjem (konvekcijom) – prijenos topline gibanjem nekog fluida.

Postoji prirodna konvekcija (gibanje fluida samo zbog temperaturne razlike) i prisilna konvekcija (pumpa tjera fluid na gibanje).

c) Zračenjem (radijacijom) – prijenos topline elektromagnetskim valovima.

Brzina toplinskog zračenja s neke plohe razmjerna je njenoj površini, svojstvima te temperaturi površine.

#### **Zadatak:**

- Odrediti temperaturu destilirane vode koja nastaje miješanjem određene količine vode na različitim temperaturama.
- Izračunati toplinu koja se izmijeni tijekom miješanja vode različitih temperatura.

#### **POKUS:**

**Pribor:** kalorimetar sačinjen od plastičnih čaša, 3 termometra, staklena čaša, menzura od 100 mL, analitička vaga, kuhalo za vodu.

**Kemikalije:** destilirana voda na sobnoj temperaturi, destilirana voda zagrijana od 40 °C do 50 °C, destilirana voda zagrijana na oko 70 °C do 80 °C.

Ulijte u kuhala za vodu 60 mL destilirane vode i uključite na gradsku mrežu da se počne grijati voda. U kuhalo stavite termometar.

Unutarnju praznu čašu kalorimetra od 150 mL izvažite na analitičkoj vagi.

$$m_{\zeta 1} =$$

Ulijte 30 mL destilirane vode sobne temperature i izvažite na analitičkoj vagi.

$$m_{\zeta 1+v} =$$

Razlika dviju masa čaše dat će masu vode koju smo ulili u unutrašnju čašu kalorimetra.

$$m_1 = m_{\zeta 1+v} - m_{\zeta 1} =$$

Čašu od 150 mL s vodom umetnite u drugu plastičnu čašu od 200 mL na čije ste dno stavili dva plutena čepa. Izmjerite temperaturu vode na sobnoj temperaturi.

$$t_1 =$$

Izvažite praznu menzuru.

$$m_m =$$

Kada se voda u kuhu zagrije između 40 °C do 50 °C, izvadite termometar i u menzuru ulijte 20 mL destilirane vode. Izvažite menzuru s vodom.

$$m_{m+v} =$$

$$m_2 = m_{m+v} - m_m =$$

Izmjerite temperaturu vode u menzuri.

$$t_2 =$$

Izvažite staklenu čašu.

$$m_{\check{c}3} =$$

Kada se voda u kuhu zagrije između 70 °C do 80 °C, izvadite termometar i u staklenu čašu ulijte 40 mL destilirane vode (ostatak vode iz kuhala). Izvažite staklenu čašu s vodom.

$$m_{\check{c}3+v} =$$

$$m_3 = m_{\check{c}3+v} - m_{\check{c}3} =$$

Izmjerite temperaturu vode u staklenoj čaši.

$$t_3 =$$

Izmjerite temperaturu vode u kalorimetru, u menzuri i u staklenoj čaši istovremeno i zapišite. Ulijte zagrijanu vodu iz menzure i iz staklene čaše u plastičnu čašu kalorimetra u kojoj se nalazi voda na sobnoj temperaturi i poklopite kalorimetar. Promiješajte kružnim pokretima i kroz prorez umetnite termometar.

Stakleni štapić umetnite kroz drugi otvor na poklopcu i promiješajte svako malo sadržaj kalorimetra. Pratite promjenu temperature svake minute i bilježite je u tablicu dok se temperatura otopine ne prestane mijenjati. Pri miješanju pazite da ne stružete dno čaše termometrom jer bi moglo doći do povišenja temperature.

Tablica 1.1. Izmjerene temperature

|       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| t/min | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| t/°C  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| T/K   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| t/min | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| t/°C  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| T/K   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Kada se temperatura više ne mijenja, očitajte konačnu temperaturu vode.

$$\tau =$$

Je li se temperatura sustava smanjila ili povišala?

---

Nacrtajte  $T - t$  grafički prikaz

Nacrtajte  $T - Q$  grafički prikaz

|   |  |
|---|--|
|   |  |
| Slika 1.1. Grafički prikaz ovisnost temperature u određenom vremenskom intervalu tijekom miješanja vode | Slika 1.2. Grafički prikaz ovisnost temperature i topline tijekom miješanja vode |

Izračunajte toplinu koja se izmijeni tijekom miješanja destilirane vode različitih temperatura.

$$Q_1 = m_1 \cdot c_1(\tau - t_1) =$$

$$Q_2 = m_2 \cdot c_2(\tau - t_2) =$$

$$Q_3 = m_3 \cdot c_3(t_3 - \tau) =$$

Usporedite izračunate topline.

---

Koje su fizičke veličine jednake u ovom slučaju?

---

---

---

Napišite Richmannov zakon za svoj slučaj miješanja izmjerenih masa i temperatura vode.

Primijenite Richmannov zakon za svoj slučaj. Kolika bi bila teorijska promjena temperature sustava nakon miješanja izmjerenih masa i temperatura vode?

Razlikuje li se eksperimentalna izmjerena vrijednost temperature od izračunate?

Što mislite, zašto?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Razmislite i odgovorite:**

1. Zašto se jezero obično hladi s površine prema dubini i zašto smrzavanje vode ne ide jako duboko?
2. Što je to pirometar i za što se koristi?
3. Objasnite što će se dogoditi ako bakrenu cijev koju grijemo s jedne strane na električnoj peći, a drugi kraj bakrene cijevi uronimo u posudu s vodom i ledom?
4. O čemu ovisi brzina provođenja topline?
5. Objasnite kako odjeća zadržava toplinu uz tijelo?
6. Objasnite proces konvekcije na ovim primjerima:
  - a) Slojevi atmosfere i koncentracija kisika.
  - b) Princip centralnog grijanja s prirodnom cirkulacijom vode.
  - c) Princip dimnjaka.
  - d) Toplina mora i kopna.
7. Objasnite na koji način Zemlja prima toplinu od Sunca?
8. Kako nas grije peć zimi?

**ZADATCI:**

1. Koliko litara vode temperature 20 °C treba uliti u posudu koja sadrži 50 litara vode temperature 85 °C da bi smjesa imala temperaturu 45 °C?

$$Q_1 = Q_2$$

$$m_2 \cdot c \cdot (t_2 - t) = m_1 \cdot c \cdot (t - t_1)$$

$$V_2 \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t) = V_1 \cdot \rho \cdot c \cdot (t - t_1)$$

$$V_2 \cdot (t_2 - t) = V_1 \cdot (t - t_1)$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{25}{40} = 0,625$$

$$V_1 = 1,6 \cdot V_2 = 1,6 \cdot (V - V_1)$$

$$2,6 \cdot V_1 = 1,6V$$

$$V_1 = \frac{1,6}{2,6} \cdot V = 30,77 \text{ L}$$

$$V = V_1 + V_2 \quad V_2 = V - V_1$$

$$V_2 = V - V_1 = 50 \text{ L} - 30,77 \text{ L} = 19,23 \text{ L}$$

2. Pomiješane su dvije jednake količine vode, jedna temperature 20 °C, a druga temperature 30 °C. Ako postoje gubici topline, temperatura je smjese:

- a) manja od 20 °C
- b) veća od 20, manja od 25 °C
- c) veća od 25, manja od 30 °C
- d) veća od 30 °C.

3. Ako su dva tijela zagrijana na različite temperature u međusobnom dodiru, njihove će se temperature mijenjati dok se ne postigne toplinska ravnoteža. Koja je tvrdnja točna?

- a) U svakom slučaju.
- b) Samo za čvrste tvari.
- c) Samo za čvrste i tekuće tvari.
- d) Samo ako nijedna tvar ne mijenja agregatno stanje.

4. Dva su tijela u temperaturnoj ravnoteži ako imaju:

- a) jednake specifične toplinske kapacitete
- b) jednake mase
- c) jednake toplinske kapacitete
- d) jednake temperature.



## 2. TOPLINSKI KAPACITET

### Redoslijed aktivnosti:

- 1.) Jedan sat potreban je za raspravu na zadanu temu. Učenici se moraju pripremiti za temu o kojoj trebaju raspravljati. Parlaonica – energetska učinkovitost za stanove i kuće. Za ili protiv?
- 2.) Sljedeća dva sata učenici će pomoću eksperimenta proučiti toplinske kapacitete metala, odgovoriti na pitanja i obraditi izmjerene podatke te napisati zaključke.
- 3.) Nakon toga jedan sat predviđen je za izradu seminar-eseja i odgovaranje na pitanja pod „Proučite i napišite samostalni rad“. Tijekom njega učenici istražuju na internetu, mogu raspravljati međusobno ili s nastavnikom.
- 4.) Dva sata predviđena su za rješavanje numeričkih zadataka iz priručnika i zadataka postavljenih na elektroničku platformu.
- 5.) Jedan sat predviđen je za prezentiranje samostalnih radova, dodatnih pitanja i raspravu te za razrješavanje još nekih postojećih nepoznanica.

### Uvod

Toplina je energija koja se izmjenjuje između sustava s različitom temperaturom. Ako sustavi mogu izmjenjivati toplinu, tada kažemo da su u toplinskom kontaktu.

Za dva sustava u toplinskom kontaktu kažemo da su u toplinskoj ravnoteži ako između njih nema izmjene topline. Sustavi tada imaju jednaku temperaturu.

Dogovorno uzimamo da je toplina koju sustav prima iz okoline pozitivnog predznaka, a toplina koju sustav predaje okolini s negativnim predznakom. Primljenu ili predanu toplinu za sustav računamo po formuli

$$Q = C \cdot \Delta T,$$

gdje je  $C$  toplinski kapacitet. Razlika temperatura  $\Delta T$  razlika je između konačne  $T_2$  i početne temperature  $T_1$  sustava

$$\Delta T = T_2 - T_1,$$

iz čega se jasno vidi da je  $Q < 0$  za  $T_2 < T_1$ .

Toplinski kapacitet pri konstantnom tlaku  $C_p$  i pri konstantnom volumenu  $C_V$  za čvrsta tijela i tekućine približno je jednak

$$C_p \approx C_V = C.$$

Kod plinova međutim kapaciteti  $C_p$  i  $C_V$  značajno se razlikuju. Toplinski kapacitet pri konstantnom volumenu definiramo relacijom:

$$C_V = \left( \frac{dQ}{dT} \right)_V.$$

Indeks  $V$  označava da je volumen konstantan. Ako je  $C_V = konst.$ , razmijenjena toplina sustava i okoline iznosi:

$$Q = C_V \cdot \Delta T.$$

Toplinski kapacitet pri konstantnom tlaku definiramo relacijom

$$C_p = \left( \frac{dQ}{dT} \right)_p$$

Indeks  $p$  označava da je tlak konstantan. Ako je  $C_p = \text{konst.}$ , razmijenjena toplina sustava i okoline jest

$$Q = C_p \cdot \Delta T.$$

Specifični toplinski kapacitet definiramo relacijom, a molarni toplinski kapacitet

$$c = \frac{C}{m} \qquad c_M = \frac{C}{n}$$

U relacijama  $m$  je masa sustava, a  $n$  broj molova.

Specifični toplinski ili molarni toplinski kapacitet možemo prikazati;

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T, \quad Q = n \cdot c_M \cdot \Delta T.$$

Tablica 2.1. Specifični toplinski kapacitet nekih krutina i kapljevine

| Element               | $c_p / \text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ | Element            | $c_p / \text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ |
|-----------------------|---|--------------------|---|
| Aceton                | 2,160                                   | n - heptan         | 2,046                                   |
| Alkohol               | 2,5                                     | Olovo              | 0,13                                    |
| Aluminij              | 0,92                                    | Petrolej           | 2,1                                     |
| Aluminijev(III) oksid | 0,754                                   | Platina            | 0,13                                    |
| Amonijak              | 4,731                                   | Srebro             | 0,25                                    |
| Bakar                 | 0,383                                   | Staklo             | 0,84                                    |
| Eter                  | 2,3                                     | Sumpor             | 0,712                                   |
| Fosfor                | 0,754                                   | Šećer              | 1,256                                   |
| Glicerin              | 2,4                                     | Toluen             | 1,521                                   |
| Glina                 | 0,92                                    | Ugljikov(IV) oksid | 3,643                                   |
| Grafit                | 0,708                                   | Ugljen             | 1,507                                   |
| Kisik                 | 1,465                                   | Ulje               | 2,18                                    |
| Koks                  | 0,837                                   | Voda               | 4,183                                   |
| Led                   | 2,1                                     | Željezo            | 0,46                                    |
| Mjed                  | 0,38                                    | Živa               | 0,135                                   |

#### ZADATAK:

- Odrediti toplinske kapacitete triju različitih metala.
- Izmjeriti toplinu koju su metali primili ili otpustili.

#### POKUS 1. (za jedan metal)

**Pribor:** plastična čaša od 150 mL, plastična čaša od 200 mL, dvije staklene čaše od 200 mL, dva komada pluta, poklopac od kartona s prorezima, termometar.

**Kemikalije:** 500 mL kipuće vode, metalni uteg, 500 mL vode na temperaturi 25 °C.

Izvažite metalni uteg na analitičkoj vagi.

$$m_{u1} =$$

$$m_{u2} =$$

$$m_{u3} =$$

U staklenu čašu ulijte 500 mL kipuće vode. Izmjerite temperaturu pomoću termometra.

$$t_1 =$$

$$t_2 =$$

$$t_3 =$$

Uteg potopite u kipućoj vodi i ostavite ga tako 10 minuta.

U unutarnju manju plastičnu čašu ulijte 500 mL vode na sobnoj temperaturi. Manju plastičnu čašu stavite u veću plastičnu čašu. Termometrom izmjerite temperaturu vode u plastičnoj čaši.

$$t'_1 =$$

$$t'_2 =$$

$$t'_3 =$$

Uronite zagrijani uteg u plastičnu čašu s vodom i pokrijte poklopcem. Kroz prorez uronite termometar i očitavajte temperaturu vode svakih 30 s. Upišite izmjerene podatke u tablicu.

Ponovite postupak za ostala dva metala.

Tablica 2.2. Izmjerene temperature

|          |      |     |     |     |     |     |     |     |
|----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|          | t/s  | 0   | 30  | 60  | 90  | 120 | 150 | 180 |
| 1. metal | t/°C |     |     |     |     |     |     |     |
| 2. metal | t/°C |     |     |     |     |     |     |     |
| 3. metal | t/°C |     |     |     |     |     |     |     |
|          | t/s  | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 | 390 |
| 1. metal | t/°C |     |     |     |     |     |     |     |
| 2. metal | t/°C |     |     |     |     |     |     |     |
| 3. metal | t/°C |     |     |     |     |     |     |     |
|          | t/s  | 420 | 450 | 480 | 510 | 540 | 570 | 600 |
| 1. metal | t/°C |     |     |     |     |     |     |     |
| 2. metal | t/°C |     |     |     |     |     |     |     |
| 3. metal | t/°C |     |     |     |     |     |     |     |

Kada se temperatura više ne mijenja, očitajte konačnu temperaturu vode.

$$\tau_1 =$$

$$\tau_2 =$$

$$\tau_3 =$$

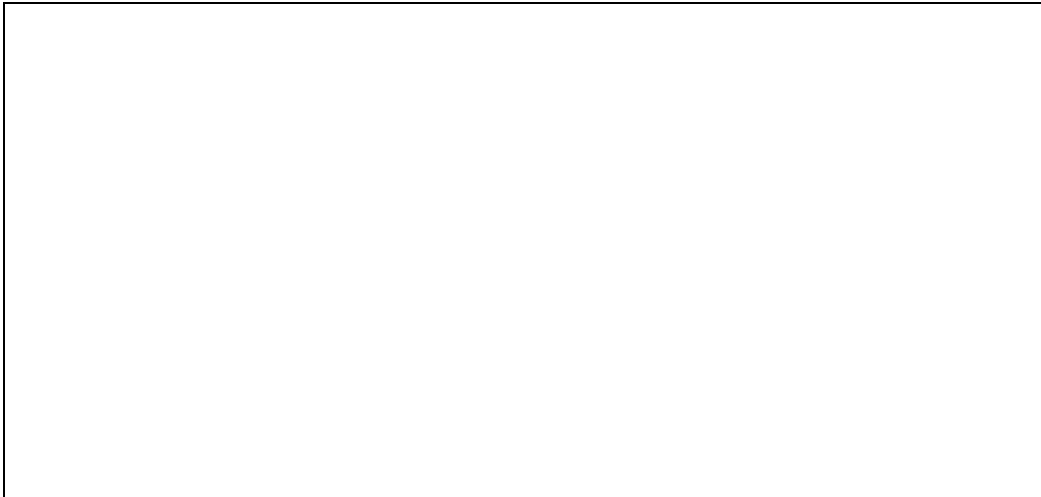
Je li se temperatura sustava smanjila ili povišala?

---

Je li se tijekom reakcije odvijala endotermna ili egzotermna promjena?

---

Nacrtajte  $t - Q$  grafički prikaz



Slika 2.1. Grafički prikaz ovisnosti topline o promjeni temperaturi

Odredite specifične toplinske kapacitete metala iz grafičkog prikaza.

$$c_1 =$$

$$c_2 =$$

$$c_3 =$$

Iz grafičkog prikaza očitajte koliko bi bilo potrebno topline da se temperatura metala povisi za  $50\text{ }^\circ\text{C}$ ?

$$Q_1 =$$

$$Q_2 =$$

$$Q_3 =$$

Izračunajte toplinu koja se izmijeni tijekom hlađenja metala 1.

Izračunajte toplinu koja se izmijeni tijekom hlađenja metala 2.

Izračunajte toplinu koja se izmijeni tijekom hlađenja metala 3.

Iz izraza za toplinu izvedite mjernu jedinicu za specifični toplinski kapacitet u cgs i SI sustavu.

Usporedite dobivene vrijednosti sa stvarnim podacima i diskutirajte eventualne izvore pogreški.

Zaključak:

**Razmislite i odgovorite.**

1. Koji se parametri stanja čvrstog tijela (tekućina) mijenjaju zagrijavanjem?
2. Kako temperatura metala koji uranjamo u kalorimetar ovisi o atmosferskom tlaku u prostoriji?
3. Zašto se u medicinskim termometrima koristi živa, a ne npr. alkohol?
4. Objasnite zašto stupac žive u termometru prvo opada, a potom raste kada ga uronimo u kipuću vodu.
5. Zašto amalgami (zubne plombe) moraju imati isti koeficijent termičkog rastezanja kao i zubi? Što bi se dogodilo u suprotnom?
6. Što će se dogoditi s napuhanim balonom ispunjenim zrakom ako ga uronimo u tekući dušik?
7. Zašto se hrana prije skuha u ekspres loncu?
8. Zašto peć za kuhanje ima različite veličine plamenika? Objasnite što bi bilo da su plamenici svi iste veličine.
9. Kako funkcionira termosica?
10. Kako to da dah iz usta može ugrijati ruke po zimi, a može ohladiti vrući čaj koji pijemo?
11. Objasnite zašto se u pustinji javlja tako velika razlika između dnevne i noćne temperature?

**Proučite i napišite samostalni rad:**

1. Proučite koje vrste klima uređaja postoje? Kako funkcionira klima uređaj, koja se tvar koristi kao sredstvo koje hladi zrak? Kako se na nju možemo hladiti ljeti, a grijati zimi?
2. Objasnite zašto se u Lulei, Švedskoj, planira sagraditi vrijedna farma servera? Koje su prednosti tog područja i na koji je način ekonomski isplativije od ostalih područja u Europi?

**ZADATCI:**

1. Koliko je topline potrebno za zagrijavanje 400 g vode od 20 °C do 100 °C u aluminijskoj posudi mase 500 g? Specifični je toplinski kapacitet vode 4,18 J g<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>, a aluminijska 0,90 J g<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>.

$$Q = Q_1 + Q_2 = m_1 \cdot c_1 \cdot \Delta T + m_2 \cdot c_2 \cdot \Delta T$$

$$Q = 400 \text{ g} \cdot 4,18 \text{ J g}^{-1} \text{ °C}^{-1} \cdot 80 \text{ °C} + 500 \text{ g} \cdot 0,90 \text{ J g}^{-1} \text{ °C}^{-1} \cdot 80 \text{ °C}$$

$$Q = 169,8 \text{ kJ}$$

2. Bakar mase 0,450 kg zagrijava se u kalupu mase 1,82 kg i utroši se 948,3 kJ topline na njegovo zagrijavanje s 19 °C na 245 °C. Odredi specifični toplinski kapacitet kalupa ako je specifični toplinski kapacitet bakra 0,385 J g<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>.

$$Q = Q_{Cu} + Q_k$$

$$Q = m_{Cu} \cdot c_{Cu} \cdot \Delta T + m_k \cdot c_k \cdot \Delta T$$

$$c_k = \frac{Q - m_{Cu} \cdot c_{Cu} \cdot \Delta T}{m_k \cdot \Delta T} = \frac{948,3 \cdot 10^3 \text{ J} - 0,450 \cdot 10^3 \text{ g} \cdot 0,385 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 226 \text{ K}}{1,82 \cdot 10^3 \text{ g} \cdot 226 \text{ K}}$$

$$c_k = 2210,31 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

3. Dvije šipke A i B od istog materijala. Početna duljina šipke A je polovina početne duljine šipke B. Ako se obje šipke zagriju na temperaturu 50 °C, što će se dogoditi?

- Obje će se šipke produljiti za isti iznos jer je promjena temperature jednaka.
- Produljenje će biti jednako jer su šipke od istog materijala.
- Šipka A produljit će se dvostruko više od šipke B.
- Šipka B se produlji dvostruko više od šipke A.

4. Četiri šipke jednake duljine od aluminijska, željeza, bakra i cinka na temperaturi 0 °C zagrijavamo. Koja će se šipka najviše produljiti?

- aluminij
- željezo
- čink
- bakar

| Tvari                                   | aluminij | bakar | čink | željezo |
|---|----------|-------|------|---------|
| $\alpha / \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ | 24       | 12    | 30   | 17      |

5. Koliki je koeficijent plošnog širenja željeza ako je koeficijent linearnog rastezanja željeza?

- $12 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$
- $12 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$
- $12 \cdot 10^{-18} \text{ °C}^{-1}$
- $24 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$
- $144 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$

6. Bakreni i srebrni štap jednake su duljine na 0 °C.

a) Koji će od njih i zašto više promijeniti duljinu na (-20°C)?

$$l_t = l_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$$\frac{l_{Cu}}{l_{Ag}} = \frac{l_{0Cu}(1 + \alpha_{Cu} \cdot \Delta T)}{l_{0Ag}(1 + \alpha_{Ag} \cdot \Delta T)} = \frac{(1 + \alpha_{Cu} \cdot \Delta T)}{(1 + \alpha_{Ag} \cdot \Delta T)}$$

$$\frac{l_{Cu}}{l_{Ag}} = \frac{1 + 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot (-20)}{1 + 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot (-20)} = \frac{0,99966}{0,99962} = 1,0004$$

$$l_{Cu} = 1,00004 l_{Ag}$$

Koeficijent linearnog rastezanja

| tvar     | $\alpha/(10^{-5} K^{-1})$ |
|----------|---------------------------|
| aluminij | 2,4                       |
| bakar    | 1,7                       |
| staklo   | 0,9                       |
| srebro   | 1,9                       |
| željezo  | 1,2                       |
| volfram  | 0,5                       |

b) Koji će od njih biti kraći?

Srebrni će štap biti kraći.

7. Duljina čelične šipke na (-10) °C iznosi 1000 mm.

a) Što se događa s molekulama tvari pri zagrijavanju?

Molekule se zagrijavanjem brže gibaju. Povišenjem temperature povećava se kinetička energija molekula, tj. brzina gibanja molekula.

b) Na kojoj će se temperaturi šipka produžiti za 3 mm?

$$l = l_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

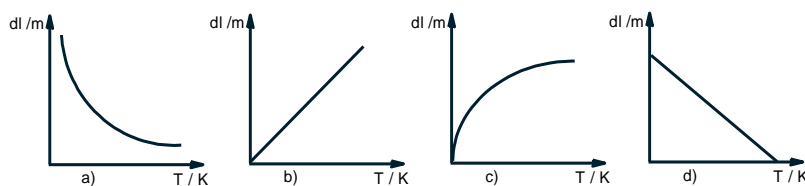
$$l_0 = \frac{l}{1 + \alpha \cdot \Delta T} = \frac{1 \text{ m}}{1 + 1,2 \cdot 10^{-5} K^{-1} \cdot (-10 \text{ K})} = 1,0001 \text{ m}$$

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad \Delta T = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \alpha} = \frac{3 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{1,0001 \text{ m} \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} K^{-1}} = 249,97 \text{ K}$$

c) Kolika je duljina šipke na 30 °C?

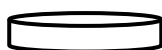
$$l = l_0(1 + \alpha \cdot \Delta T) = 1,0001 \text{ m} \cdot (1 + 1,2 \cdot 10^{-5} K^{-1} \cdot 303 \text{ K}) = 1,0036 \text{ m}$$

8. Koja slika prikazuje produljenje metalne žice u funkciji temperature?



- a) graf a,  
b) graf b,  
c) graf c,  
d) graf d.

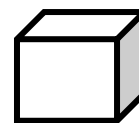
9. U kojem slučaju govorimo o volumnom širenju u najvećem postotku?



a)



b)



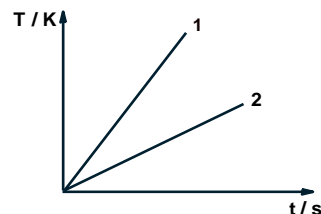
c)

10. Olovnu kocku hladimo. Pri tome se:

- a) smanjuje volumen i masa kocke  
 b) smanjuje volumen i gustoća kocke  
 c) smanjuje volumen kocke, a gustoća povećava  
 d) povećava masa i gustoća kocke.

11. Dva malena tijela 1 i 2 jednakih masa stavimo u veliku količinu kipuće vode. Na crtežu je prikazan porast temperatura  $T$  tih tijela tijekom vremena  $t$ . Iz grafičkog prikaza možemo zaključiti da:

- a) se tijelo 2 zagrijava brž, od tijela 1  
 b) je specifični toplinski kapaciteta za oba tijela jednak  
 c) tijelo 1 ima veći specifični toplinski kapacitet od tijela 2  
 d) tijelo 2 ima veći specifični toplinski kapacitet od tijela 1.



12. Projektil brzine  $200 \text{ m s}^{-1}$  udari u metalnu metu i zabije se u nju. Pri zaustavljanju 55 % početne kinetičke energije projektila utroši se na zagrijavanje tijela projektila. Koliko je povećanje temperature projektila ako je specifični toplinski kapacitet metalne mete  $600 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ?

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = \eta \cdot E_K$$

$$m \cdot c \cdot \Delta T = \eta \cdot E_K$$

$$\Delta T = \frac{\eta \cdot E_K}{m \cdot c} = \frac{\eta \cdot \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2}{m \cdot c} = \frac{\eta \cdot \frac{1}{2} \cdot v^2}{c}$$

$$\Delta T = \frac{\eta \cdot v^2}{2 \cdot c} = \frac{0,55 \cdot (200 \text{ m s}^{-1})^2}{2 \cdot 600 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}} = 18,33 \text{ K}$$

13. Radnik zabija željezni čavao mase  $40 \text{ g}$  u dasku udarajući ga čekićem mase  $1,5 \text{ kg}$ . Brzina čekića prije udarca iznosi  $8 \text{ m s}^{-1}$ . Za koliko se kelvina ugrije čavao nakon 10 udaraca ako pretpostavimo da se 60 % mehaničke energije pretvori u unutarnju energiju čavla. Specifični je toplinski kapacitet željeza  $450 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

$$\eta = \frac{\Delta U}{E_K} \quad \Rightarrow \quad \eta \cdot E_K = \Delta U$$

$$\eta \cdot N \cdot \frac{m \cdot v^2}{2} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{\eta \cdot N \cdot m_2 \cdot v^2}{2 \cdot m_1 \cdot c} = \frac{0,6 \cdot 10 \cdot 1,5 \text{ kg} \cdot 64 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}}{2 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 450 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}} = 16 \text{ K}$$



14. 1 mol dušika ( $N_2$ ) izobarno grijemo pri normiranom tlaku od  $20\text{ }^\circ\text{C}$  do  $50\text{ }^\circ\text{C}$ . Specifični toplinski kapacitet pri stalnom je tlaku  $c_p = 1040\text{ J K}^{-1}\text{ kg}^{-1}$ .

a) Kolika je ukupna dovedena energija?

$$Q = \Delta U = m \cdot c_V \cdot \Delta T = n \cdot M \cdot c_p \cdot \Delta T =$$

$$Q = 1\text{ mol} \cdot 0,02802\text{ kg mol}^{-1} \cdot 1040\text{ J K}^{-1}\text{ kg}^{-1} \cdot 30\text{ K}$$

$$Q = 874,22\text{ J}$$

b) Koliki je rad izvršen?

$$W = -\Delta U = Q = 874,22\text{ J}$$

c) Kolika je promjena unutarnje energije?

$$W = -\Delta U = Q = 874,22\text{ J}$$

15. Komadu čelika mase  $6,5\text{ kg}$  temperature  $150\text{ }^\circ\text{C}$  hlađenjem se snizi unutarnja energija za  $1,6 \cdot 10^5\text{ J}$ . Na koju se temperaturu ohladio komad čelika? Specifični je toplinski kapacitet čelika  $450\text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$ .

$$m = 6,5\text{ kg}$$

$$t = 150\text{ }^\circ\text{C} = 423\text{ K}$$

$$Q = -1,6 \cdot 10^5\text{ J}$$

$$c = 450\text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$$

$$Q = m \cdot c \cdot (t_1 - t)$$

$$(t_1 - t) = \frac{Q}{m \cdot c}$$

$$t_1 = t + \frac{Q}{m \cdot c} = 423\text{ K} + \frac{-1,6 \cdot 10^5\text{ J}}{6,5\text{ kg} \cdot 450\text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}} = 368,3\text{ K}$$

$$t_1 = 95,3\text{ }^\circ\text{C}$$

### 3. ENTALPIJA ISPARAVANJA VODE

#### Redoslijed aktivnosti:

1.) Jedan sat potreban je za raspravu na zadanu temu. Učenici se moraju pripremiti za temu o kojoj trebaju raspravljati.

Nastavnik će zamoliti učenike da u pet minuta na papir napišu u obliku natuknica sve što znaju o toplanama. Nakon pet minuta sve ideje nastavnik će zapisati na ploču. Pokrenite diskusiju o tome na kojem se principu geotermalna energija može iskoristiti, od kojih su materijala napravljene cijevi, na koju se dubinu moraju postaviti i kako se geotermalna energija može iskoristiti.

2.) Sljedećih dva sata učenici će izvesti eksperiment, odgovoriti na pitanja i obraditi izmjerene podatke, napisati zaključke.

3.) Nakon toga jedan sat predviđen je za izradu seminar-eseja te odgovaranje na pitanja pod „Proučite i napišite samostalni rad“. Tijekom njega učenici istražuju na internetu, mogu međusobno raspravljati ili raspravljati s nastavnikom.

4.) Jedan sat predviđen je za rješavanje numeričkih zadataka iz priručnika i zadataka postavljenih na elektroničku platformu.

5.) Jedan sat predviđen je za prezentiranje samostalnih radova, dodatnih pitanja i raspravu i razrješavanje još nekih postojećih nepoznanica.

#### Uvod

Zbroj ukupne kinetičke energije i ukupne potencijalne energije čestica od kojih se sastoji neka promatrana cjelina, sustav, nazivamo unutarnjom energijom tog sustava.

U slučaju da se tlak ne mijenja s vremenom u kojem promatramo sustav, jedino tada ćemo unutarnju energiju nazvati entalpija.

Ako je pak i volumen uz tlak konstantan, tada o promjeni entalpije govorimo kao o toplini.

Entalpija u termodinamici jest mjera za unutarnji sadržaj toplinske energije i općenito se može definirati izrazom

$$H = U + p \cdot V$$

gdje je  $U$  unutarnja energija,  $p$  tlak, a  $V$  volumen sustava.

Entalpija je funkcija stanja nekog sustava, a njezin prirast odgovara vezanoj ili oslobođenoj toplini/energiji u procesu koji se odvija uz stalan tlak.

Određivanje apsolutne vrijednosti unutarnje energije, odnosno entalpije nije moguće; moguće je samo mjeriti razliku entalpije između dva stanja.

Toplina isparavanja ili entalpija isparavanja jest toplina potrebna da se tekućina prevede u plinovito stanje na temperaturi vrelišta. Izrazimo li je po jedinici mase, dobivamo specifičnu toplinu isparavanja, a ako je izrazimo po jedinici množine tvari, dobivamo molarnu toplinu isparavanja.

Toplina isparavanja može se promatrati kao energija potrebna da se svladaju kemijske veze u tekućini.

Tablica 3.1. Specifične latentne topline taljenja i isparavanja za neke tvari

| Kemijska tvar    | Specifična latentna toplina taljenja<br>$L_t / \text{kJ kg}^{-1}$ | Talište / °C | Specifična latentna toplina isparavanja<br>$L_i / \text{kJ kg}^{-1}$ | Vrelište / °C |
|------------------|---|--------------|--|---------------|
| Etanol           | 108   | -114         | 855  | 78,3          |
| Amonijak         | 332,17  | -77,74       | 1369   | -33,34        |
| Ugljikov dioksid | 184   | -78          | 574  | -57           |
| Helij            | -   | -            | 21   | -268,93       |
| Vodik            | 58  | -259         | 455  | -253          |
| Olovo            | 23,0  | 327,5        | 871  | 1750          |
| Dušik            | 25,7  | -210         | 200  | -196          |
| Kisik            | 13,9  | -219         | 213  | -183          |
| Freon R134a      | -   | -101         | 215,9  | -26,6         |
| Freon R152a      | -   | -116         | 326,5  | -25           |
| Toluen           | 72,1  | -93          | 351  | 110,6         |
| Terpentin        | -   | -            | 293  | -             |
| Voda             | 334   | 0            | 2260   | 100           |
| Srebro           | 105   | 980          | 2336   | 2050          |
| Živa             | 11,4  | -39          | 290  | 357           |

Helij ima vrlo nisku toplinu isparavanja  $0,0845 \text{ kJ mol}^{-1}$ , a Van der Waalsove sile između atoma helija izuzetno su slabe. S druge strane molekule u tekućoj vodi drže se zajedno s relativno jakim vodikovim vezama pa je toplina isparavanja za vodu  $40,65 \text{ kJ mol}^{-1}$  i iznosi 5 puta više od energije potrebne da se voda zagrije od  $0 \text{ °C}$  do  $100 \text{ °C}$  ( $c_p = 75,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ).

#### ZADATAK:

- Ispitati kako se mijenja energija tijekom procesa isparavanja destilirane vode.
- Odrediti vrijednost entalpije isparavanja.

#### POKUS:

**Pribor:** električno kuhalo za vodu, analitička vaga, menzura, zaporni sat, termometar.

**Kemikalije:** voda.

Uzmite električno kuhalo za vodu, izvažite ga. Očitajte njegovu snagu.

$$m_k =$$

$$P_k =$$

Ulijte 600 mL destilirane vode u menzuru. Prelijte je u kuhalo i izvažite je.

$$m_{k+v} =$$

$$m_v = m_{k+v} - m_k =$$

Uključite kuhalo s vodom u struju gradske mreže i grijte je dok voda ne proključa. Kada iz kuhala počne izlaziti para, uključite zaporni sat. Nakon četiri minute ključanja i isparavanja vode isključite kuhalo. Ponovno izvažite kuhalo s preostalom vodom.

$$m'_{(k+v)} =$$

Kako ćete izračunati masu isparene vode?

$$m_{i.v.} = m_{k+v} - m'_{(k+v)}$$

Kolika je energija utrošena za isparavanje vode?

$$E_i = P_k \cdot t_z =$$

Izračunajte molarnu entalpiju isparavanja vode:

$$\Delta_l^g H_m = \frac{\text{utrošena energija}}{\text{množina vode}}$$

$$\Delta_l^g H_m = \frac{E_i}{n(H_2O)_i} = \frac{E_i \cdot M(H_2O)}{m_{i.v.}}$$

$$\Delta_l^g H_m =$$

Molarna entalpija isparavanja vode u tablicama iznosi:

$$\Delta_l^g H_m = 40.7 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Koliki je gubitak energije?

Kolika je korisnost električnog kuhala?

Definirajte pojam specifične topline isparavanja uz odgovarajuću relaciju.

Zaključak:

**RAZMISLITE:**

1. Objasnite kako nastaju oblaci.
2. Objasnite kako i zašto nastaju vjetrovi.
3. Mijenja li se temperatura pri isparavanju vode?
4. Objasnite snižavanje temperature pri isparavanju tekućine.
5. O čemu ovisi sposobnost isparavanja tekućina?
6. Ljeti, za vrijeme velikih vrućina temperatura mora doseže vrijednosti i iznad 27 °C. Zapuše li bura, temperatura mora naglo se smanji, na nekim mjestima i na 20 °C. Kako bura tako brzo ohladi more?

**Zadaci za samostalno istraživanje:**

1. Proučite kakav je to proces OTEC i za što se koristi.
2. Proučite i objasnite postupak dobivanja čiste vode (desalinizacija mora) iz mora na prokeocanskim brodovima. Je li ekonomski isplativa?
3. Koliki je prosječni salinitet oceana i o čemu ovisi?
4. Razmislite i napišite kako biste sve mogli iskoristiti ocean kao obnovljivi izvor energije.

**ZADATCI:**

1. Koliko je energije potrebno da se 10 g vode s 25 °C zagrije i prijeđe u vodenu paru pri standardnim uvjetima?

$$m = 10 \text{ g} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \qquad t_1 = 25 \text{ }^\circ\text{C} \qquad \Delta T = 75 \text{ K}$$

$$c(\text{H}_2\text{O}) = 4180 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1} \qquad t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$r(\text{H}_2\text{O}) = 22,6 \cdot 10^5 \text{ J kg}^{-1}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta T + m \cdot r$$

$$Q = 10 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1} \cdot 75 \text{ K} + 10 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 22,6 \cdot 10^5 \text{ J kg}^{-1}$$

$$Q = 116,8 \text{ J} + 22600 \text{ J} = 22716,8 \text{ J}$$

$$Q = 22,72 \text{ kJ}$$

2. Iz saune koja je na temperaturi 45 °C prešli ste u kadu s vodom koja je na temperaturi 300 K.

a) Kolika je temperatura vode iskazana u °C?

b) Kolika je razlika temperatura kojoj je izloženo tijelo u stupnjevima Celzijusa i u kelvinima?

$$t = 300 \text{ K} - 273 \text{ K} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 45 \text{ }^\circ\text{C} - 27 \text{ }^\circ\text{C} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 318 \text{ K} - 300 \text{ K} = 18 \text{ K}$$

3. U bazenu ima 125 t vode. Nakon 5 dana sunce je temperaturu vode povisilo sa 17 °C na 20 °C. Koliku je toplinu voda primila od sunca?

$$m = 125 \text{ t} = 125 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$t = 5 \text{ d} = 432000 \text{ s}$$

$$t_1 = 17 \text{ °C}$$

$$t_2 = 20 \text{ °C}$$

$$\Delta T = 3 \text{ K}$$

$$Q (\text{H}_2\text{O}) = ?$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 125 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{K}^{-1} \cdot 3 \text{ K}$$

$$Q = 1,57 \cdot 10^9 \text{ J}$$

4. Sušilo kose (fen) ima snagu grijača 350 W i zagrijava zrak s 20 °C na 45 °C. Odredite maseni i volumni protok zraka. Zanimarujemo promjenu gustoće (specifični toplinski kapacitet zraka  $c = 1000 \text{ J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ , gustoća zraka  $\rho = 1,293 \text{ kg m}^{-3}$ ).

$$P = 350 \text{ W}$$

$$t_1 = 20 \text{ °C}$$

$$\Delta T = 25 \text{ K}$$

$$t_2 = 45 \text{ °C}$$

$$c(\text{zraka}) = 1000 \text{ J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$$

$$\rho(\text{zraka}) = 1,293 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = ?$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = ?$$

$$Q = E$$

$$\Delta m \cdot c \cdot \Delta T = P \cdot \Delta t$$

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{P}{c \cdot \Delta T} = \frac{350 \text{ W}}{1000 \text{ J kg}^{-1} \text{K}^{-1} \cdot 25 \text{ K}} = 0,014 \text{ kg s}^{-1}$$

$$Q = E$$

$$\Delta m \cdot c \cdot \Delta T = P \cdot \Delta t \quad \Delta m = \rho(\text{zraka}) \cdot \Delta V$$

$$\rho(\text{zraka}) \cdot \Delta V \cdot c \cdot \Delta T = P \cdot \Delta t$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{P}{\rho(\text{zraka}) \cdot c \cdot \Delta T} = \frac{350 \text{ W}}{1,293 \text{ kg m}^{-3} \cdot 1000 \text{ J kg}^{-1} \text{K}^{-1} \cdot 25 \text{ K}} = 0,011 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

5. Koliko je topline potrebno dovesti hladnom zraku koji udahnemo (0,5 litara, gustoća zraka iznosi  $1,3 \text{ kg m}^{-3}$ ) početne temperature  $-7 \text{ }^\circ\text{C}$  da bi mu temperatura porasla na  $36 \text{ }^\circ\text{C}$ ?

$$V = 0,5 \text{ L} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\rho(\text{zraka}) = 1,3 \text{ kg m}^{-3}$$

$$t_1 = -7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 36 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 43 \text{ K}$$

$$Q(\text{zrak}) = ?$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = \rho \cdot V \cdot c \cdot \Delta T =$$

$$Q = 1,3 \text{ kg m}^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot 1000 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 43 \text{ K}$$

$$Q = 27,95 \text{ J}$$

6. Koliko topline treba dovesti kilogramu vode temperature  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  da bi se sva voda pretvorila u vodenu paru temperature  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Specifična toplota isparavanja vode  $r = 22,6 \cdot 10^5 \text{ J kg}^{-1}$ .

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$t_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 0 \text{ K}$$

$$t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$r(\text{H}_2\text{O}) = 3,3 \cdot 10^5 \text{ J kg}^{-1}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta T + m \cdot r$$

$$Q = 1 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 0 \text{ K} + 1 \text{ kg} \cdot 22,6 \cdot 10^5 \text{ J kg}^{-1}$$

$$Q = 22,6 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$Q = 2260 \text{ kJ} = 2,26 \text{ MJ}$$

7. Koliko topline treba utrošiti da bi od 5 kg leda temperature  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  dobili paru temperature  $130 \text{ }^\circ\text{C}$ ?

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T + m \cdot \lambda + m \cdot r =$$

$$Q = 5 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 150 \text{ K} + 5 \text{ kg} \cdot 3,3 \cdot 10^5 + 5 \text{ kg} \cdot 22,6 \cdot 10^5 \text{ J kg}^{-1}$$

$$Q = 16085000 \text{ J} = 16,09 \text{ MJ}$$

8. Koja fizikalna veličina ostaje stalna pri promjeni agregacijskog stanja?

- a) temperatura tvari
- b) volumen tvari
- c) gustoća tvari
- d) toplota sustava
- e) nijedna veličina.

9. Za taljenje 3 kg platine potrebno je  $Q = m \cdot \lambda = 3 \text{ kg} \cdot 1,1 \cdot 10^5 = 333000 \text{ J}$  topline na temperaturi talista.

10. Specifična toplina isparavanja jest:

- a) toplina potrebna da se dobije 1 m<sup>3</sup> pare
- b) *toplina potrebna da se jedinična masa tekućine pretvori u paru jednake temperature*
- c) toplina potrebna se tekućina pretvori u paru jednake temperature
- d) temperatura ispod koje nema isparavanja
- e) toplina koja se isparavanjem prenosi u oikolinu.

11. Na temelju razmatranja međumolekulskih interakcija pretpostavite koja će od navedenih tvari imati veću entalpiju taljenja. Objasnite zašto.

- a)  $\text{CH}_2\text{COOH}$  ili  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$
- b)  $\text{CH}_3\text{OH}$  ili  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
- c)  $\text{MgO}$  ili  $\text{NaCl}$
- d)  $\text{H}_2\text{S}$  ili  $\text{H}_2\text{O}$ .

12. Na temelju razmatranja međumolekulskih interakcija pretpostavite koja će od navedenih tvari imati veću entalpiju isparavanja. Objasnite zašto.

- a)  $\text{H}_2$  ili  $\text{Br}_2$
- b)  $\text{CH}_3\text{OH}$  ili  $\text{H}_2\text{O}$
- c)  $\text{CH}_4$  ili  $\text{CH}_3\text{Cl}$ .

13. Josipa popije svakog dana najmanje 1,5 L vode gustoće 1 g cm<sup>-3</sup> iz hladnjaka za vrućih ljetnih dana. Koliko topline treba proizvesti njezin organizam da bi popijenu vodu kojoj je temperatura 4 °C zagrijao na normalnu temperaturu (37 °C)? Specifični je toplinski kapacitet vode 4,18 kJ kg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>.

$$V = 1,5 \text{ L} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\rho = 1,00 \text{ g cm}^{-3} = 1000 \text{ kg m}^{-3}$$

$$t_1 = 4^\circ\text{C} \quad \Delta T = 33 \text{ K}$$

$$t_2 = 37^\circ\text{C}$$

$$c(\text{H}_2\text{O}) = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$Q = ?$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = \rho \cdot V \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = 1000 \text{ kg m}^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot 4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 33 \text{ K}$$

$$Q = 206910 \text{ J}$$

$$Q = 206,91 \text{ kJ}$$



## 4. HESOV ZAKON

### Redoslijed aktivnosti:

- 1.) Jedan sat potreban je za ponoviti osnovne pojmove vezane za entalpiju i Hessov zakon. Nastavnik može izabrati jednu od RCWT metoda.
- 2.) Dva sata predviđena su za rješavanje numeričkih zadataka iz priručnika i zadataka postavljenih na elektroničku platformu.

### Uvod

Entalpija je dio energije sustava koji je moguće provesti u toplinsku energiju i to procesom uz stalni tlak uz rad čiji je rezultat samo promjena volumena.

$$\Delta H = \Delta U + p \cdot \Delta V \quad \Delta H = Q$$

Standardna stanja – pri određenoj temperaturi kemijski čista tvar u čvrstom ili tekućem stanju u standardnom je stanju ako je to njeno najstabilnije stanje pri tlaku od 101 kPa. Plin je u standardnom stanju ako je njegov parcijalni tlak 101 kPa. Otopljena tvar u otopini bit će u standardnom stanju ako je njena koncentracija 1 mol dm<sup>-3</sup>.

Toplina koja se oslobodi ili veže pri konstantnom tlaku kad iz elementa nastane jedan mol nekog spoja jednaka je entalpiji stvaranja spoja.

Standardna entalpija reakcije brojčano je jednaka promjeni topline koja se dogodi kad pri konstantnom tlaku nastane 1 mol produkata.

$$\Delta_r H = n \cdot \Delta_f H$$

Po dogovoru entalpija svih elementarnih tvari uzetih pri standardnim uvjetima jednaka je 0.

Standardna entalpija stvaranja:

$$\Delta_r H^0 = \sum_{\text{produkti}} \nu \cdot \Delta_f H^0 - \sum_{\text{reaktanti}} \nu \cdot \Delta_f H^0$$

Promjena entalpije za povratni proces:  $\Delta H^0(A \rightarrow B) = -\Delta H^0(B \rightarrow A)$

Hessov zakon promjena entalpije ovisi isključivo o početnom i konačnom stanju sustava, a ne ovisi o putu kojim su reaktanti prešli u produkte.

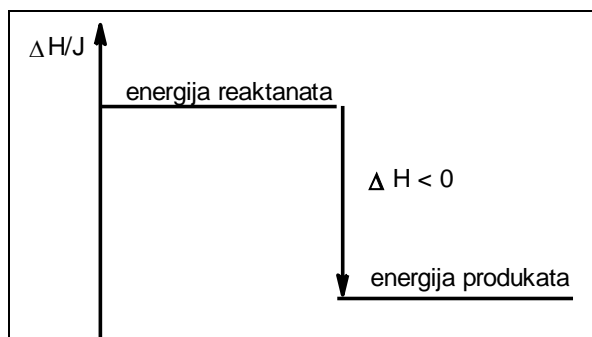
Hessov stavak: Standardna entalpija ukupne reakcije suma je standardnih entalpija pojedinačnih reakcija od kojih se ukupna reakcija sastoji.

Egzotermni proces – proces kod kojeg se oslobađa toplina i  $\Delta H < 0$ .

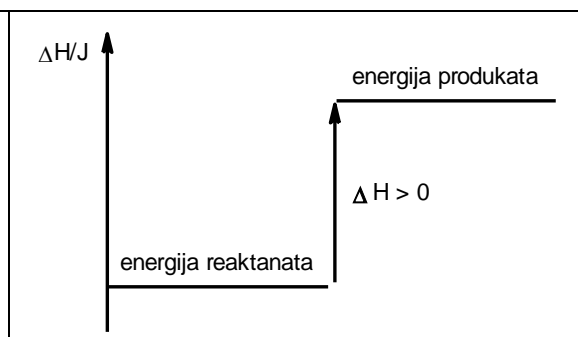
Endotermni proces – proces koji apsorbira (troši) toplinu i  $\Delta H > 0$ .

Tablica 4.1. Standardna entalpija stvaranja za neke spojeve pri 25 °C

| Tvar                                | $\Delta_f H^0$<br>/kJ mol <sup>-1</sup> | Tvar                                | $\Delta_f H^0$<br>/kJ mol <sup>-1</sup> | Tvar                                | $\Delta_f H^0$<br>/kJ mol <sup>-1</sup> |
|-------------------------------------|---|-------------------------------------|---|-------------------------------------|---|
| AgCl(s)                             | -127,0                                  | Cu <sub>2</sub> O(s)                | -166,7                                  | NaOH(s)                             | -426,7                                  |
| Ag <sub>2</sub> O(s)                | -30,6                                   | CuS(s)                              | -48,5                                   | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (s) | -1384,5                                 |
| AlCl <sub>3</sub> (s)               | -695,4                                  | Cu <sub>2</sub> S(s)                | -79,5                                   | NH <sub>3</sub> (g)                 | -46,19                                  |
| AlF(s)                              | -1300                                   | FeO(s)                              | -266,0                                  | NH <sub>4</sub> Cl(s)               | -315,4                                  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)  | -1669,8                                 | Fe(OH) <sub>2</sub>                 | -568,2                                  | NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (s) | -365,1                                  |
| BF <sub>3</sub> (g)                 | -1100                                   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)  | -822,2                                  | NO(g)                               | 90,37                                   |
| BaCl <sub>2</sub> (s)               | -860,06                                 | HBr(g)                              | -36,23                                  | NO <sub>2</sub> (g)                 | 33,8                                    |
| Ba(OH) <sub>2</sub> (s)             | -946,4                                  | HCl(g)                              | -92,30                                  | N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)   | 51,0                                    |
| Br <sub>2</sub> (s)                 | 30,7                                    | HF(g)                               | -268,61                                 | N <sub>2</sub> O(g)                 | 81,55                                   |
| C(s, dijamant)                      | 1,9                                     | HI(g)                               | 25,94                                   | N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (g)   | 10,8                                    |
| CaC <sub>2</sub> (s)                | -60,0                                   | HNO <sub>3</sub> (l)                | -173,2                                  | N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (l)   | 19,7                                    |
| CaCl <sub>2</sub> (s)               | -795,8                                  | H <sub>2</sub> O(g)                 | -241,79                                 | O <sub>3</sub> (g)                  | 142                                     |
| CaCO <sub>3</sub> (s)               | -1206,9                                 | H <sub>2</sub> O(l)                 | -285,84                                 | PbO(s)                              | -217,9                                  |
| CaO(s)                              | -635,5                                  | H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (l)   | -187,6                                  | PbO <sub>2</sub> (s)                | -276,6                                  |
| Ca(OH) <sub>2</sub> (s)             | -986,59                                 | H <sub>2</sub> S(g)                 | -17,51                                  | PbS(s)                              | -100,4                                  |
| CCl <sub>4</sub> (l)                | -679,9                                  | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (l)  | -811,3                                  | PCl <sub>3</sub> (g)                | -306,4                                  |
| CH <sub>4</sub> (g)                 | -74,85                                  | I <sub>2</sub> (g)                  | 62,26                                   | PCl <sub>5</sub> (g)                | -398,9                                  |
| CH <sub>3</sub> OH(l)               | -238,6                                  | KBr(s)                              | -392,2                                  | PH <sub>3</sub> (g)                 | 9,25                                    |
| CO(g)                               | -110,5                                  | KCl(s)                              | -435,9                                  | P <sub>4</sub> O <sub>6</sub> (s)   | -1640,1                                 |
| CO <sub>2</sub> (g)                 | -393,5                                  | K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (s)  | -1146,1                                 | P <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (s)  | -2940,1                                 |
| C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (g)   | 226,7                                   | KOH(s)                              | -425,85                                 | SO <sub>2</sub> (g)                 | -269,6                                  |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)   | 52,28                                   | LiOH(s)                             | -487,23                                 | SO <sub>3</sub> (g)                 | -395,2                                  |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)   | -84,67                                  | MgBr <sub>2</sub> (s)               | -517,6                                  | SiH <sub>4</sub> (g)                | -61,9                                   |
| C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(l) | -227,7                                  | MgCO <sub>3</sub> (s)               | -1113                                   | SiO <sub>2</sub> (s)                | -859,4                                  |
| CH <sub>3</sub> COOH(l)             | -487,0                                  | MgO(s)                              | -601,83                                 | SiCl <sub>4</sub> (g)               | -609,6                                  |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (g)   | -103,8                                  | NaCl(s)                             | -411,0                                  | SnCl <sub>2</sub> (s)               | -350                                    |
| C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (g)  | -124,7                                  | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (s) | -1131                                   | ZnCl <sub>2</sub> (s)               | -415,9                                  |
| C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (l)   | 49,03                                   | NaF(s)                              | -569,0                                  | ZnO(s)                              | -348,0                                  |
| CuO(s)                              | -155                                    | NaI(s)                              | -288                                    | ZnS(s)                              | -202,9                                  |



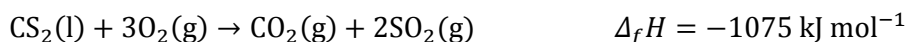
Slika 4.1. Entalpijski dijagram egzotermne reakcije



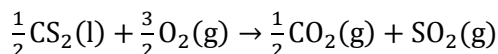
Slika 4.2. Entalpijski dijagram endotermne reakcije

**ZADATCI:**

1. Ako je poznata reakcijska entalpija za reakciju:



Izračunajte reakcijsku entalpiju za reakciju:

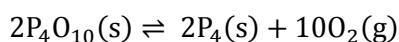


$$\Delta_r H = n \cdot \Delta_f H = \frac{1}{2} \text{ mol} \cdot (-1075 \text{ kJ mol}^{-1}) = -537,5 \text{ kJ}$$

2. Izgaranjem bijelog fosfora na zraku nastaje fosforov(V) oksid:



Koliko iznosi reakcijska entalpija za reakciju:



$$\Delta_r H = n \cdot \Delta_f H = 2 \text{ mol} \cdot (2940 \text{ kJ mol}^{-1}) = 5880 \text{ kJ}$$

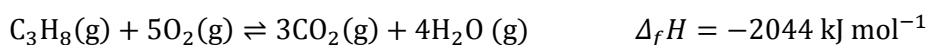
3. Koliko se topline oslobodi izgaranjem 5 g vodika u kisiku?



$$n(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})} = \frac{5 \text{ g}}{1,008 \text{ g mol}^{-1}} = 4,960 \text{ mol}$$

$$\Delta_r H(\text{ukupno}) = \frac{1}{4} \cdot n(\text{H}) \cdot \Delta_f H = -600 \text{ kJ}$$

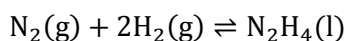
4. Koliko je propana potrebno spaliti da bi se dobilo 369 kJ topline?



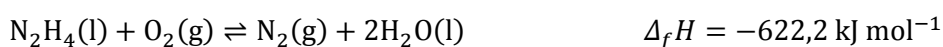
$$\Delta_r H(\text{ukupno}) = n(\text{C}_3\text{H}_8) \cdot \Delta_f H$$

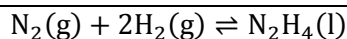
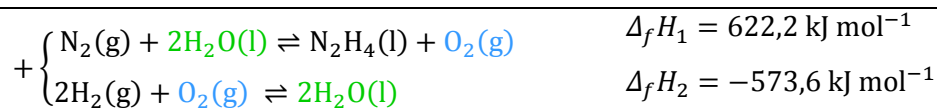
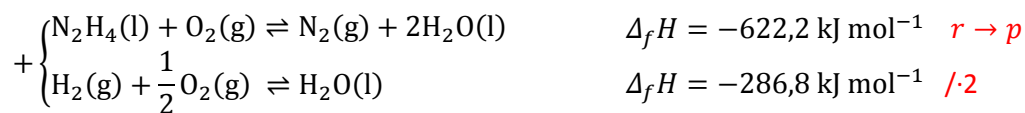
$$m(\text{C}_3\text{H}_8) = \frac{\Delta_r H(\text{ukupno}) \cdot M(\text{C}_3\text{H}_8)}{\Delta_f H} = \frac{369 \text{ kJ} \cdot 44,094 \text{ g mol}^{-1}}{-2044 \text{ kJ mol}^{-1}} = 7,96 \text{ g}$$

5. Izračunajte reakcijsku entalpiju za reakciju:



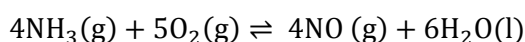
Na temelju poznatih reakcijskih entalpija za reakcije;



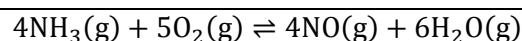
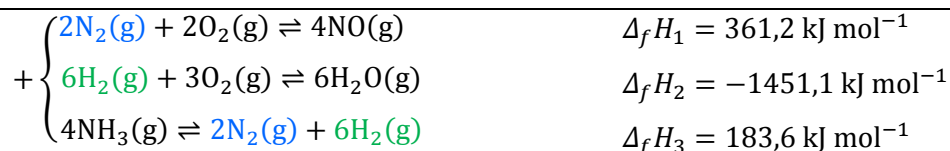


$$\Delta_f H = \Delta_f H_1 + \Delta_f H_2 = 622,2 \text{ kJ mol}^{-1} + (-573,6 \text{ kJ mol}^{-1}) = 48,6 \text{ kJ mol}^{-1}$$

6. Izračunajte reakcijsku entalpiju za reakciju:



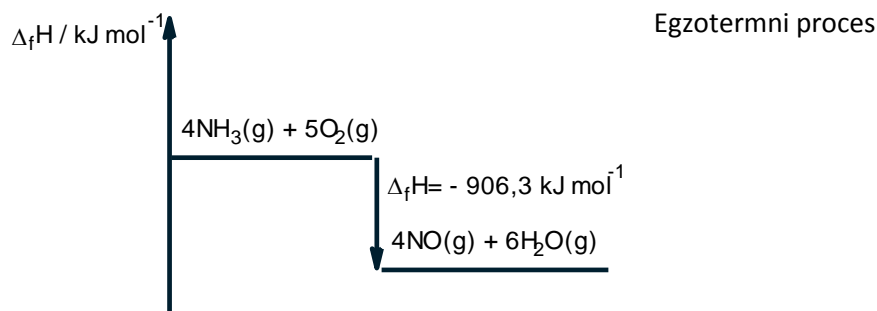
Na temelju poznatih reakcijskih entalpija za reakcije;



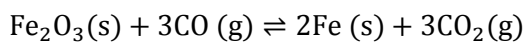
$$\Delta_f H = \Delta_f H_1 + \Delta_f H_2 + \Delta_f H_3 =$$

$$\Delta_f H = 361,2 \text{ kJ mol}^{-1} + (-1451,1 \text{ kJ mol}^{-1}) + 183,6 \text{ kJ mol}^{-1} = -906,3 \text{ kJ mol}^{-1}$$

b) Konstruirajte entalpijski dijagram nastajanja dušikova(II) oksida i napišite o kojoj se vrsti reakcije radi.



7. Izračunajte standardnu reakcijsku entalpiju za reakciju:



$$\Delta_f H^0(\text{Fe}_2\text{O}_3) = -825,5 \text{ kJ mol}^{-1},$$

$$\Delta_f H^0(\text{CO}) = -110,5 \text{ kJ mol}^{-1},$$

$$\Delta_f H^0(\text{CO}_2) = -393,5 \text{ kJ mol}^{-1}.$$

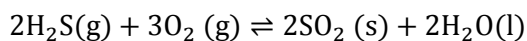
$$\Delta_f H^0 = \Delta_f H_P^0 - \Delta_f H_R^0$$

$$\Delta_f H^0 = [2 \cdot \Delta_f H^0(\text{Fe}) + 3 \cdot \Delta_f H^0(\text{CO}_2)] - [\Delta_f H^0(\text{Fe}_2\text{O}_3) + 3 \cdot \Delta_f H^0(\text{CO})]$$

$$\Delta_f H^0 = [2 \cdot 0 + 3 \cdot (-393,5)] - [-825,5 + 3 \cdot (-110,5)]$$

$$\Delta_f H^0 = -23,5 \text{ kJ mol}^{-1}$$

8. Izračunajte standardnu reakcijsku entalpiju za reakciju:



$$\Delta_f H^0(\text{H}_2\text{S}) = -20,2 \text{ kJ mol}^{-1},$$

$$\Delta_f H^0(\text{SO}_2) = -296,8 \text{ kJ mol}^{-1},$$

$$\Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}) = -285,8 \text{ kJ mol}^{-1}.$$

$$\Delta_f H^0 = \Delta_f H_P^0 - \Delta_f H_R^0$$

$$\Delta_f H^0 = [2 \cdot \Delta_f H^0(\text{SO}_2) + 2 \cdot \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O})] - [2 \cdot \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{S}) + 3 \cdot \Delta_f H^0(\text{O}_2)]$$

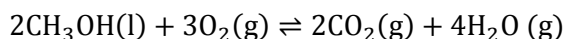
$$\Delta_f H^0 = [2 \cdot (-296,8) + 2 \cdot (-285,8)] - [2 \cdot (-20,2) + 3 \cdot 0]$$

$$\Delta_f H^0 = -1124,8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

9. Izračunajte promjenu entalpije izgaranja metanola čiji su produkti ugljik(IV) oksid i vodena para. Promjene entalpija reaktanata i produkata jesu:

$$\Delta_f H^0(\text{CH}_3\text{OH}) = -238,6 \text{ kJ mol}^{-1}, \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}) = -241,8 \text{ kJ mol}^{-1},$$

$$\Delta_f H^0(\text{CO}_2) = -393,5 \text{ kJ mol}^{-1}.$$



$$\Delta_f H^0 = \Delta_f H_P^0 - \Delta_f H_R^0$$

$$\Delta_f H^0 = [2 \cdot \Delta_f H^0(\text{CO}_2) + 4 \cdot \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O})] - [2 \cdot \Delta_f H^0(\text{CH}_3\text{OH}) + 3 \cdot \Delta_f H^0(\text{O}_2)] =$$

$$\Delta_f H^0 = [2 \cdot (-393,5) + 4 \cdot (-241,8)] - [2 \cdot (-238,6) + 3 \cdot 0]$$

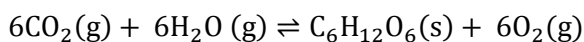
$$\Delta_f H^0 = -787 - 967,2 + 477,2$$

$$\Delta_f H^0 = -1277 \text{ kJ mol}^{-1}$$

10. Izračunajte utrošenu toplinu pri proizvodnji 5 kg glukoze procesom fotosinteze.

$$\Delta_f H^0(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = -2816 \text{ kJ mol}^{-1}, \Delta_f H^0(\text{CO}_2) = -2816 \text{ kJ mol}^{-1},$$

$$\Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}) = -241,79 \text{ kJ mol}^{-1}.$$

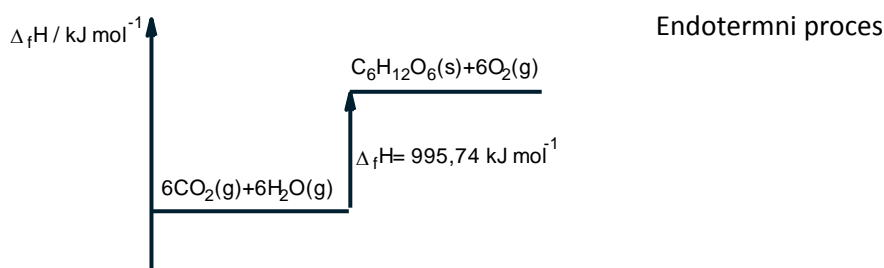


$$\Delta_f H^0 = \Delta_f H_P^0 - \Delta_f H_R^0$$

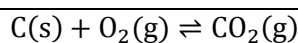
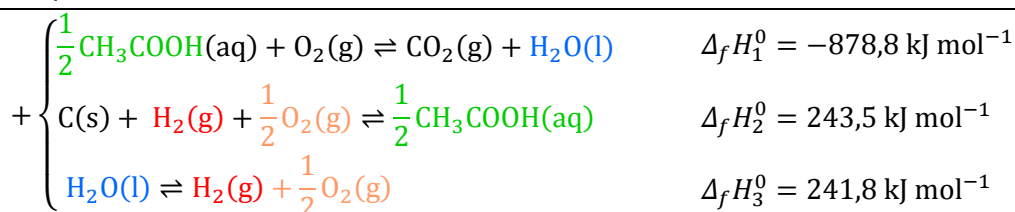
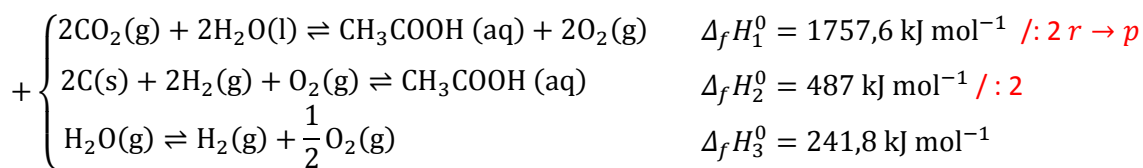
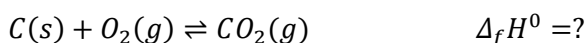
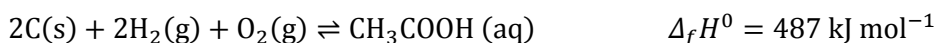
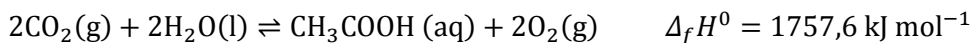
$$\Delta_f H^0 = [6 \cdot \Delta_f H^0(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + 6 \cdot \Delta_f H^0(\text{O}_2)] - [6 \cdot \Delta_f H^0(\text{CO}_2) + 6 \cdot \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O})]$$

$$\Delta_f H^0 = [(-2816) + 6 \cdot 0] - [6 \cdot (-393,5) + 6 \cdot (-241,79)] = 995,74 \text{ kJ mol}^{-1}$$

b) Konstruirajte entalpijski dijagram dobivanja glukoze i napišite o kojoj se vrsti reakcije radi.



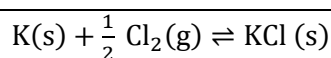
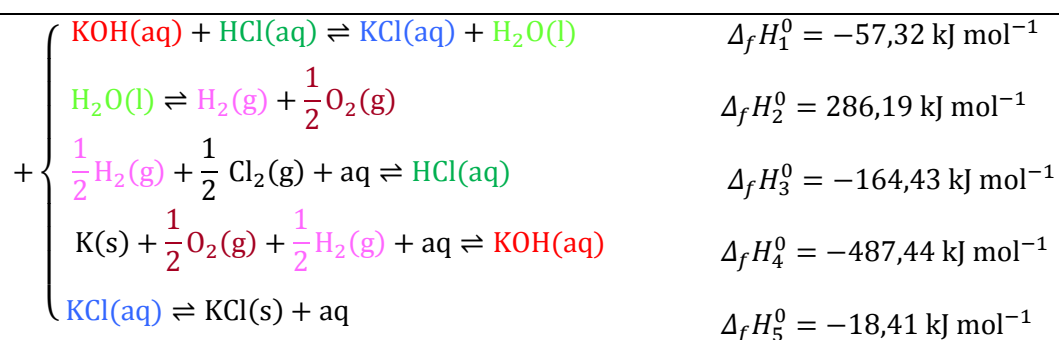
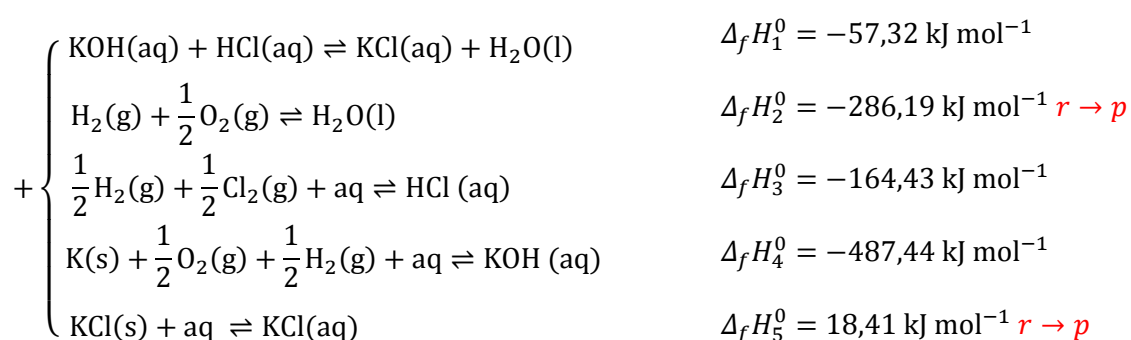
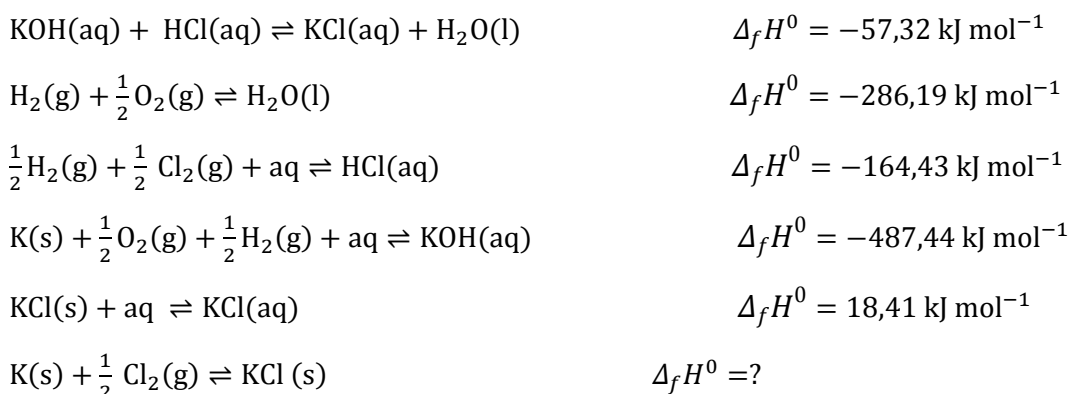
11. Izračunajte entalpiju nastajanja jednog mola ugljikova(IV) oksida iz ugljika i kisik koristeći sljedeće termokemijske jednačbe:



$$\Delta_f H^0 = \Delta_f H_1^0 + \Delta_f H_2^0 + \Delta_f H_3^0 =$$

$$\Delta_f H^0 = -878,8 \text{ kJ mol}^{-1} + 243,5 \text{ kJ mol}^{-1} + 241,8 \text{ kJ mol}^{-1} = -393,5 \text{ kJ mol}^{-1}$$

12. Izračunajte standardnu molarnu entalpiju nastajanja čvrstog KCl pomoću podataka navedenih u tablici:



$$\Delta_f H^0 = \Delta_f H_1^0 + \Delta_f H_2^0 + \Delta_f H_3^0 + \Delta_f H_4^0 + \Delta_f H_5^0 =$$

$$\Delta_f H^0 = [-57,32 + 286,19 + (-164,43) + (-487,44) + (-18,41)] \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta_f H^0 = -441,41 \text{ kJ mol}^{-1}$$

## 5. ENTALPIJA NEUTRALIZACIJE

### Redoslijed aktivnosti:

- 1.) Jedan sat potreban je za raspravu na zadanu temu neutralizacija i entalpija neutralizacije. Nastavnik će zamoliti učenike da kažu sve što znaju o neutralizaciji, zapisati na ploču. Pripremiti jednu od RCWT načina obrade teksta – insert. Na ploči drugom bojom zapisati ono što se učenici nisu sjetili, a važno je za ponoviti. Kao materijal za potvrdu točnih odgovora nastavnika i učenici mogu iskoristiti virtualni pokus.
- 2.) Sljedeća dva sata učenici će izvesti eksperiment u skupini, odgovoriti na pitanja i obraditi izmjerene podatke, napisati zaključke.
- 3.) Jedan sat predviđen je za rješavanje numeričkih zadataka iz priručnika i zadataka postavljenih na elektroničku platformu.

### Uvod

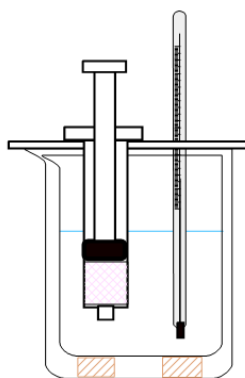
Entalpija neutralizacije jest promjena topline između sustava i okoline kada se 1 mol kiseline neutralizira s ekvivalentnom količinom baze u beskonačno razrijeđenoj otopini jakih kiselina i jakih baza. Taj proces uvijek je praćen jednakom toplinom koja ne ovisi o prirodi jake baze i jake kiseline.

Potpunom disocijacijom jakih baza i jakih kiselina ne mijenja se količina aniona i kationa pa toplina dolazi samo od reakcije hidroksidnih i oksonijevih iona. Promjena entalpije neutralizacije iznosi  $-55,92 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

Entalpija neutralizacije tijekom reakcije u kojoj sudjeluju slaba kiselina s jakom bazom, odnosno jaka kiselina sa slabom bazom imat će manju toplinu od neutralizacije jake kiseline s jakom bazom. Razlog smanjenja topline jest trošenje dijela energije tijekom neutralizacije na disocijaciju slabih kiselina i slabih baza.

### ZADATAK:

- Sastaviti kalorimetar od zadanog pribora.
- Ispitati kako se mijenja energija tijekom procesa neutralizacije kiseline s bazom, odnosno baze s kiselinom.
- Odrediti entalpiju neutralizacije.



Slika 5.1. Mjerenje entalpije neutralizacije u kalorimetru



**POKUS 1:**

**Pribor:** plastična čaša od 150 mL, plastična čaša od 200 mL, dva komada pluta, poklopac od kartona s prorezima, termometar, dvije injekcijske štrcaljke ili suhe pipete od 20 mL, zaporni sat.

**Kemikalije:** otopina KOH množinske koncentracije  $1 \text{ mol dm}^{-3}$ , otopina HCl množinske koncentracije  $1 \text{ mol dm}^{-3}$  ili otopina  $\text{H}_2\text{SO}_4$  množinske koncentracije  $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ .

**Zadatak:**

- Na temelju promjene temperature otopine u kalorimetru izračunajte molarnu entalpiju reakcije neutralizacije.

Pomoću termometra odredite i zapišite temperaturu baze i kiseline.

$$T_b =$$

$$T_k =$$

Injekcijskom štrcaljkom odmjerite 20 mL otopine kalijeva hidroksida i dodajte u kalorimetar. Dodajte dvije kapi fenolftaleina. Poklopite kalorimetar poklopcem, kroz prorez ugurajte termometar. Odredite ponovno temperaturu otopine.

$$T_b =$$

Drugom injekcijskom štrcaljkom odmjerite 20 mL otopine klorovodične kiseline i dodajte u kalorimetar u kojem se nalazi otopina kalijeva hidroksida.

Kružnim pokretima ruke promiješajte sadržaj kalorimetra.

**OPREZ! Ne stružite termometrom po stijenkama kalorimetra, povisit će se temperatura.**

Tablica 5.1. Izmjerene temperature otopine tijekom procesa neutralizacije baze s kiselinom

|      |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| t/s  | 60  | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 420  | 480  | 540  | 600  |
| T/°C |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |
| t/s  | 660 | 720 | 780 | 840 | 900 | 960 | 1120 | 1180 | 1240 | 1300 |
| T/°C |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |

Opišite opažanja.

---

---

---

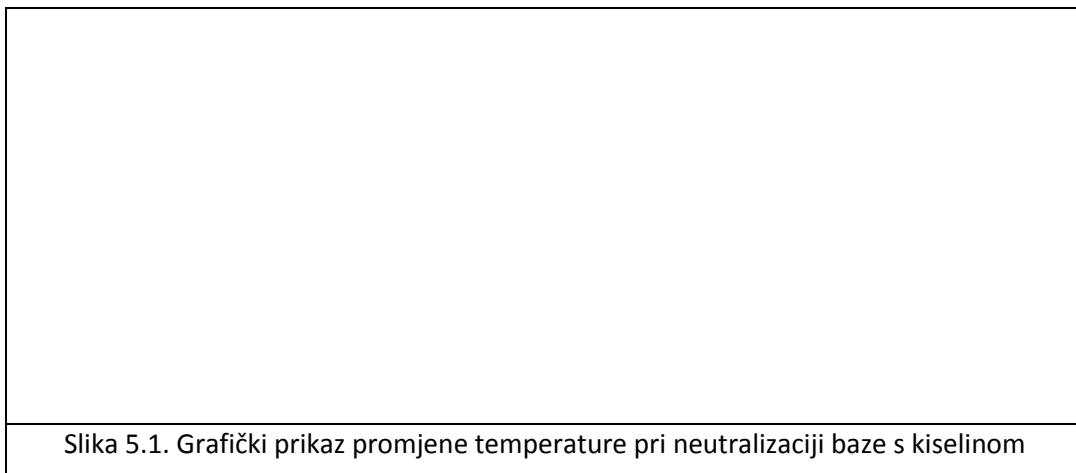
---

---

---

---

Nacrtajte na milimetarskom papiru grafički prikaz promjene temperature sadržaja kalorimetra u ovisnosti o vremenu.

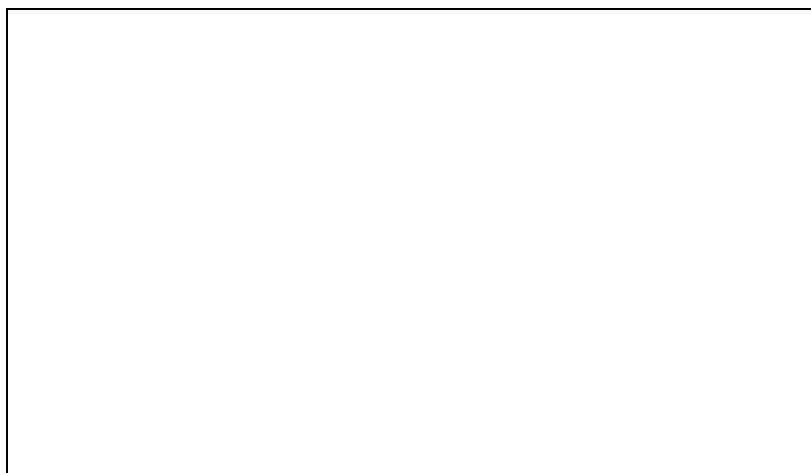


Prema podacima mjerenja temperature prije reakcije i nakon reakcije odredite kakav je predznak reakcijske entalpije kod ove reakcije?

---

Napišite termokemijsku jednadžbu kemijske reakcije iz pokusa.

Na milimetarskom papiru nacrtajte entalpijski dijagram navedene reakcije.



Izračunajte promjenu entalpije ove reakcije! Napomena: promjena entalpije razrjeđenja može se zanemariti!

Iz podataka u pokusu izračunajte maseni udio nastale soli u otopini!

## POKUS 2:

**Pribor:** plastična čaša od 150 mL, plastična čaša od 200 mL, dva komada pluta, poklopac od kartona s prorezima, termometar, dvije injekcijske štrcaljke ili suhe pipete od 20 mL, zaporni sat.

**Kemikalije:** otopina KOH množinske koncentracije  $1 \text{ mol dm}^{-3}$ , otopina HCl množinske koncentracije  $1 \text{ mol dm}^{-3}$  ili otopina  $\text{H}_2\text{SO}_4$  množinske koncentracije  $0,5 \text{ mol dm}^{-3}$ .

### Zadatak:

- Na temelju promjene temperature otopine u kalorimetru izračunajte molarnu entalpiju reakcije neutralizacije.

Pomoću termometra odredite i zapišite temperaturu baze i kiseline.

$$T_b =$$

$$T_k =$$

Injekcijskom štrcaljkom odmjerite 20 mL otopine klorovodične kiseline i dodajte u kalorimetar. Dodajte dvije kapi metiloranga. Poklopite kalorimetar poklopcem, kroz prorez ugurajte termometar. Odredite ponovno temperaturu otopine.

$$T_k =$$

Drugom injekcijskom štrcaljkom odmjerite 20 mL otopine kalijevog hidroksida i dodajte u kalorimetar u kojem se nalazi otopina klorovodične kiseline.

Kružnim pokretima ruke promiješajte sadržaj kalorimetra.

**OPREZ! Ne stružite termometrom po stijenkama kalorimetra, povisit će se temperatura.**

Tablica 5.2. Izmjerena temperature otopine tijekom procesa neutralizacije kiseline s bazom

|                    |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| $t/s$              | 60  | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 420  | 480  | 540  | 600  |
| $T/^\circ\text{C}$ |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |
| $t/s$              | 660 | 720 | 780 | 840 | 900 | 960 | 1120 | 1180 | 1240 | 1300 |
| $T/^\circ\text{C}$ |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |

Opišite opažanja.

---

---

---

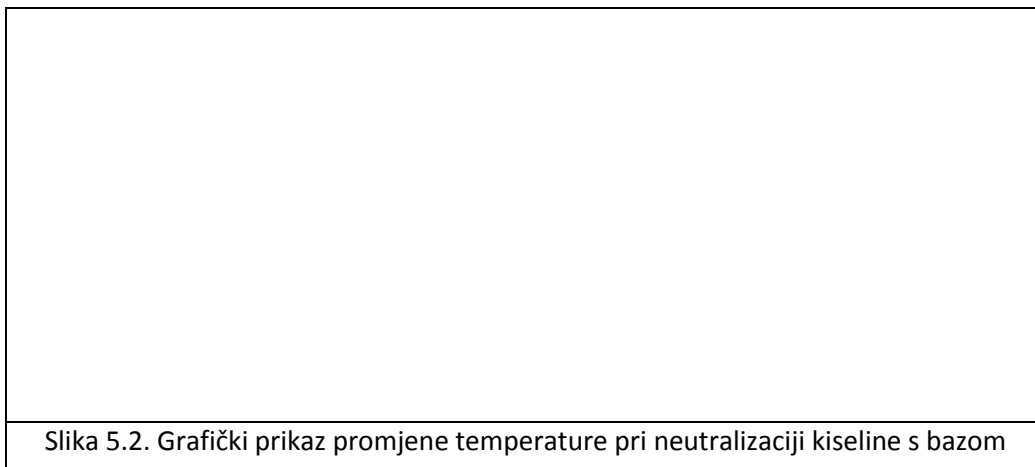
---

---

---

---

Nacrtajte na milimetarskom papiru grafički prikaz promjene temperature sadržaja kalorimetra u ovisnosti o vremenu.



Prema podacima mjerenja temperature prije reakcije i nakon reakcije odredite kakav je predznak reakcijske entalpije kod ove reakcije.

---

Napišite termokemijsku jednadžbu kemijske reakcije iz pokusa.

Na milimetarskom papiru nacrtajte entalpijski dijagram navedene reakcije.



Izračunajte promjenu entalpije ove reakcije! Napomena: promjena entalpije razrjeđenja može se zanemariti!

Iz podataka u pokusu izračunajte maseni udio nastale soli u otopini!

### ZADATCI:

1. Tijekom reakcije neutralizacije 200 cm<sup>3</sup> klorovodične kiseline koncentracije 0,01 mol dm<sup>-3</sup> i 20 cm<sup>3</sup> kalijeve lužine koncentracije 0,01 mol dm<sup>-3</sup> povisi se temperatura u kalorimetru i oslobodi se toplina od 11,1 J. Koliko iznosi reakcijska entalpija opisane reakcije?

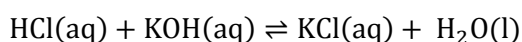
$$V_1(\text{HCl}) = 200 \text{ cm}^3 = 0,2 \text{ dm}^3$$

$$c_1(\text{HCl}) = 0,01 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$V_2(\text{KOH}) = 20 \text{ cm}^3 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ dm}^3$$

$$c_2(\text{KOH}) = 0,01 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$Q = 11,1 \text{ J}$$



$$n(\text{HCl}) : n(\text{KOH}) = 1 : 1$$

$$n_1 = c_1 \cdot V_1 = 0,01 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,2 \text{ dm}^3 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n_2 = c_2 \cdot V_2 = 0,01 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ dm}^3 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

Iz jednadžbe reakcije vidi se da je klorovodična kiselina dodana u suvišku.

$$\Delta n(\text{HCl})_{\text{suvišak}} = n_1 - n_2 = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\Delta_r H = n \cdot \Delta_f H$$

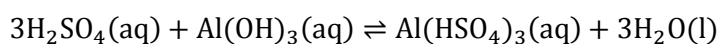
$$\Delta_f H = \frac{Q}{n} = \frac{11,1 \text{ J}}{2 \cdot 10^{-4} \text{ mol}} = 55500 \text{ J mol}^{-1} = 55,5 \text{ kJ mol}^{-1}$$

2. Za neutralizaciju 16,4 mL otopine HCl utrošeno je 12,7 mL otopine KOH  $c(\text{KOH})=0,620 \text{ mol dm}^{-3}$ . Kolika je koncentracija otopine HCl?

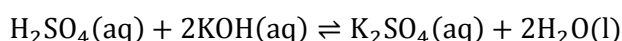
- a) 0,168 mol dm<sup>-3</sup>
- b) 0,480 mol dm<sup>-3</sup>
- c) 0,620 mol dm<sup>-3</sup>
- d) 0,801 mol dm<sup>-3</sup>

3. Napišite uravnotežene kemijske jednadžbe za reakcije navedene riječima:

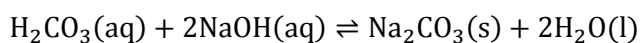
a) sumporna kiselina + aluminijev hidroksid  $\rightleftharpoons$  aluminijev hidrogensulfat + voda



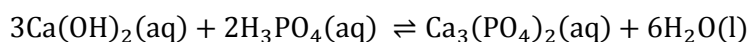
b) sumporna kiselina + kalijev hidroksid  $\rightleftharpoons$  kalijev sulfat + voda



c) ugljična kiselina + natrijev hidroksid  $\rightleftharpoons$  natrijev karbonat + voda



d) kalcijev hidroksid + fosforna kiselina  $\rightleftharpoons$  kalcijev hidrogenfosfat + voda



4. Na temelju standardnih entalpija stvaranja pri 298 K.

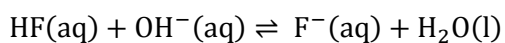
$$\Delta_f H^0(\text{HF}) = -320,1 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta_f H^0(\text{OH}^-) = -229,6 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta_f H^0(\text{F}^-) = -329,1 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}) = -298,84 \text{ kJ mol}^{-1}$$

a) izračunajte promjenu entalpije neutralizacije HF.



$$\Delta_f H^0 = \Delta_f H_P^0 - \Delta_f H_R^0$$

$$\Delta_f H^0 = [\Delta_f H^0(\text{F}^-) + \Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O})] - [\Delta_f H^0(\text{HF}) + \Delta_f H^0(\text{OH}^-)]$$

$$\Delta_f H^0 = [-329,1 + -298,84] - [-320,1 + -229,6]$$

$$\Delta_f H^0 = (-627,94 + 549,7) \text{ kJ mol}^{-1} = -78,24 \text{ kJ mol}^{-1}$$

## 6. ENTALPIJA OTAPANJA SOLI

### Redoslijed aktivnosti:

- 1.) Sljedeća dva sata učenici će izvesti eksperiment u skupini, odgovoriti na pitanja i obraditi izmjerene podatke, napisati zaključke.
- 2.) Dva sata predviđa se za rješavanje zadataka pomoću virtualnog pokusa i obradu podataka. Učenici će samostalno smisliti zadatke i odgovoriti na njih. Za pomoć mogu pitati nastavnika.
- 3.) Jedan sat predviđen je za rješavanje numeričkih zadataka iz priručnika i zadataka postavljenih na elektroničku platformu.

### Uvod

Entalpija otapanja jest prirast entalpije pri otapanju tvari kada nastane beskonačno razrijeđena otopina.

Proces otapanja u tekućinama može se podijeliti u više termodinamičkih koraka:

1. Razdvajanje molekula otapljajuće tvari,  $\Delta H_1$ .
2. Razdvajanje molekula otapala,  $\Delta H_2$ .
3. Interakcija pomiješanih molekula otopljenog i otapala,  $\Delta H_3$ .

Entalpija otapanja dobije se zbrajanjem promjena entalpija u sva tri koraka.

Entropija ( $S$ ) termodinamička je funkcija koja govori o iskoristivosti topline.

Entropija je fizička veličina koja opisuje stupanj nereda sustava. Promjena entropije nekog sustava ovisi samo o početnom i konačnom stanju sustava i definirana je izrazom:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

Kad god se odvije neki spontani događaj, on je popraćen porastom entropije. Ukupan prirast entropije svemira jednak je zbroju prirasta entropije sustava i entropije okoline.

Prirast entropije okoline proporcionalan je negativnoj vrijednosti prirasta entalpije jer je toplinu koju je sustav otpustio primila okolina.

$$\Delta S = -\frac{\Delta H}{T}$$

Standardna molarna entropija ( $S_m$ ) može se računom izvesti iz eksperimentalnih podataka na temperaturi višoj od 0 K.

Ako je sustav izoliran, njegova se entropija neće mijenjati kada se odvija reverzibilni proces, dok će rasti ako se odvija ireverzibilan proces. Ireverzibilnost procesa mjeri se entropijom.

Najveću entropiju imaju plinovi a najmanju kristali.

Drugi zakon termodinamike – entropija svemira (i okoline i sustava) raste tijekom svake prirodne promjene.

Treći zakon termodinamike – entropija savršeno sređene kristalne strukture jest nula pri temperaturi apsolutne nule.

Pri apsolutnoj nuli u savršenom kristalu entropija je jednaka nuli.

Gibbsova slobodna energija ( $G$ ) jest energija oslobođena ili apsorbirana u reverzibilnom procesu pri konstantnoj temperaturi i tlaku. Definirana je jednadžbom

$$\Delta rG = \Delta rH - T \cdot \Delta rS$$

Tri čimbenika koja određuju spontanost kemijske reakcije jesu prirast entalpije, prirast entropije i temperatura reakcije.

Promjena Gibbsove slobodne energije,  $\Delta G$ , određuje smjer kemijske reakcije. Ako je  $\Delta G$  neke reakcije negativan, reakcija će se spontano odvijati dok se ne uspostavi ravnotežno stanje. Kada je postignuto ravnotežno stanje, onda je  $\Delta G = 0$ .

|            |   | $\Delta H$                            |  |
|------------|---|---------------------------------------|--|
|            |   | +                                     | -                                      |
| $\Delta S$ | + | spontana samo pri visokoj temperaturi | spontana pri svakoj temperaturi        |
|            | - | nespontana pri svakoj temperaturi     | nespontana samo pri niskoj temperaturi |

Egzotermne spontane reakcije pokreće veliki prirast entropije koju stvaraju u okolini.

Endotermne spontane reakcije pokreće veliki prirast entropije koju stvaraju u reakcijskom sustavu.

#### ZADATAK:

- Ispitati kako se mijenja energija tijekom procesa otapanja soli NaOH i CaO.
- Odrediti entalpiju otapanja.
- Odrediti je li proces endoterman ili egzoterman.

#### UPUTA ZA NASTAVNIKA:

Destiliranu vodu i sol pripremite dan ranije i udaljite od izvora topline. Neke soli tijekom otapanja u vodi vežu, odnosno oslobađaju toplinu iz sustava u okolinu.

$\text{KNO}_3$ , LiCl,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CaCl}_2$  i NaOH pri otapanju u vodi vežu toplinu na sebe – endotermna kemijska reakcija.  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , KCl,  $\text{NH}_4\text{C}$  i CaO pri otapanju u vodi oslobađaju toplinu u okolinu – egzotermna kemijska reakcija.

Nastavnik može iskoristiti jednu od ovih soli. Ako usporedimo jednake mase otopljene soli u istom volumenu vode i topline koja se izmjenjuje, najveću promjenu pokazat će amonijev nitrat i litijev klorid.

Kao primjer u ovoj vježbi uzet je natrijev hidroksid i kalcijev oksid jer ga svaki kemičar ima u svom laboratoriju, a i kemijske reakcije dovoljno su brze.



### POKUS 1:

**Pribor:** plastična čaša od 150 mL, plastična čaša od 200 mL, dva komada pluta, poklopac od kartona s prorezima, termometar, epruveta, tarionik.

**Kemikalije:** 500 mL vode na sobnoj temperaturi, 1,4 g – 2 g sol natrijeva hidroksida.

Unutarnju praznu čašu od 150 mL izvažite na analitičkoj vagi.

$$m_{\check{c}} =$$

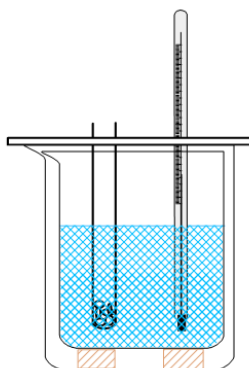
Ulijte 30 mL destilirane vode sobne temperature i izvažite na analitičkoj vagi.

$$m_{\check{c}+v} =$$

Razlika dviju masa čaše dat će masu vode koju smo ulili u unutrašnju čašu kalorimetra.

$$m_v = m_{\check{c}+v} - m_{\check{c}} =$$

Čašu od 150 mL s vodom umetnite u drugu plastičnu čašu od 200 mL na čije ste dno stavili dva plutena čepa.



Slika 6.1. Otapanje soli u kalorimetru

Dobivenu sol dobro usitnite u tarioniku. Izvažite praznu epruvetu. Napunite epruvetu sa soli. Izvažite punu epruvetu. Neka masa soli bude u rasponu od 1,5 g do 2,0 g.

$$m_e =$$

$$m_{e+soli} =$$

$$m_{soli} =$$

Izmjerite temperaturu vode u kalorimetru koji umetnite kroz otvor na poklopcu kalorimetra. Kroz drugi otvor stavite napunjenu epruvetu sa soli. Tijekom 3 minuta izmjerite i zabilježite 5 temperatura i vrijeme kada ste očitali temperaturu.

Tablica 6.1. Izmjerena temperatura kalorimetra tijekom tri minute

| Redni broj mjerenja  | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. |
|----------------------|----|----|----|----|----|
| $t/^{\circ}\text{C}$ |    |    |    |    |    |
| $t/\text{s}$         |    |    |    |    |    |

**Pazite da ne stružete dno čaše termometrom jer bi moglo doći do povišenja temperature.**

Nakon 3 minute sadržaj epruvete istresite u vodu unutrašnjeg kalorimetra. Vratite epruvetu na prijašnje mjesto kroz poklopac. Promiješajte sadržaj kalorimetra kružnim pokretima.

Sljedećih 10 minuta očitavajte temperaturu otopine svakih 30 sekundi i zabilježite temperaturu u tablicu.

Tablica 6.2. Izmjerena temperatura tijekom otapanja natrijeva hidroksida u vodi

|               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $t/s$         | 0   | 30  | 60  | 90  | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 |
| $t/^{\circ}C$ |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $t/s$         | 330 | 360 | 390 | 420 | 450 | 480 | 510 | 540 | 570 | 600 | 630 |
| $t/^{\circ}C$ |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

Kada se temperatura više ne mijenja, očitajte konačnu temperaturu vode.

$\tau =$

Je li se temperatura sustava smanjila ili povišala?

---

Je li se tijekom reakcije odvijala endotermna ili egzotermna promjena?

---

Izračunajte toplinu koja se izmijeni tijekom otapanja soli.

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| Nacrtajte $T - t$ grafički prikaz. | <p>Korigirani skok temperature određuje se kao razlika temperature na početku i na kraju kemijske reakcije dobiven ekstrapolacijom iz ravnih dijelova krivulja.</p> <p>Točku <math>T_0</math> i <math>T_1</math> postavite tako da zasjenjene površine budu jednake.</p> |
|                                    |  |

Usporedite dobivene vrijednosti sa stvarnim podacima i diskutirajte eventualne izvore pogreški.

**Zaključak:**

## POKUS 2:

**Pribor:** plastična čaša od 150 mL, plastična čaša od 200 mL, dva komada pluta, poklopac od kartona s prorezima, termometar, epruveta, tarionik.

**Kemikalije:** 500 mL vode na sobnoj temperaturi, 1,4 g – 2 g soli kalcijeva oksida.

Unutarnju praznu čašu od 150 mL izvažite na analitičkoj vagi.

$$m_{\xi} =$$

Ulijte 30 mL destilirane vode sobne temperature i izvažite na analitičkoj vagi.

$$m_{\xi+v} =$$

Razlika dviju masa čaše dat će masu vode koju smo ulili u unutrašnju čašu kalorimetra.

$$m_v = m_{\xi+v} - m_{\xi} =$$

Čašu od 150 mL s vodom umetnite u drugu plastičnu čašu od 200 mL na čije ste dno stavili dva plutena čepa.

Dobivenu sol dobro usitnite u tarioniku. Izvažite praznu epruvetu. Napunite epruvetu sa soli. Izvažite punu epruvetu. Neka masa soli bude u rasponu od 1,5 g do 2,0 g.

$$m_e =$$

$$m_{e+soli} =$$

$$m_{soli} =$$

Izmjerite temperaturu vode u kalorimetru koji umetnite kroz otvor na poklopcu kalorimetra. Kroz drugi otvor stavite napunjenu epruvetu sa soli. Tijekom 3 minute izmjerite i zabilježite 5 temperatura i vrijeme kada ste očitali temperaturu.

Tablica 6.3. Izmjerena temperatura kalorimetra tijekom tri minute

| Redni broj mjerenja  | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. |
|----------------------|----|----|----|----|----|
| $t/^{\circ}\text{C}$ |    |    |    |    |    |
| $t/\text{s}$         |    |    |    |    |    |

**Pazite da ne stružete dno čaše termometrom jer bi moglo doći do povišenja temperature.**

Nakon 3 minute sadržaj epruvete istresite u vodu unutrašnjeg kalorimetra. Vratite epruvetu na prijašnje mjesto kroz poklopac. Promiješajte sadržaj kalorimetra kružnim pokretima.

Sljedećih 10 minuta očitavajte temperaturu otopine svakih 30 sekundi i zabilježite temperaturu u tablicu.

Tablica 6.4. Izmjerena temperatura tijekom otapanja kalcijeva oksida u vodi

|                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $t/\text{s}$         | 0   | 30  | 60  | 90  | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 |
| $t/^{\circ}\text{C}$ |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $t/\text{s}$         | 330 | 360 | 390 | 420 | 450 | 480 | 510 | 540 | 570 | 600 | 630 |
| $t/^{\circ}\text{C}$ |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

Kada se temperatura više ne mijenja, očitajte konačnu temperaturu vode.

$\tau =$

Je li se temperatura sustava smanjila ili povišala?

---

Je li se tijekom reakcije odvijala endotermna ili egzotermna promjena?

---

Izračunajte količinu topline koja se izmijeni tijekom otapanja soli.

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| Nacrtajte $T - t$ grafički prikaz. | Korigirani skok temperature određuje se kao razlika temperature na početku i kraju kemijske reakcije dobiven ekstrapolacijom iz ravnih dijelova krivulja.<br><br>Točku $T_0$ i $T_1$ postavite tako da zasjenjene površine budu jednake. |
|                                    |  |

Usporedite dobivene vrijednosti sa stvarnim podacima i diskutirajte eventualne izvore pogreški.

**Zaključak:**

### **SAMOSTALNI RAD:**

#### **Virtualni eksperiment**

U bilo koju tražilicu na internetu upišite:

<http://www.pbslearningmedia.org/resource/lsp07.sci.phys.matter.dissolvesalt/dissolving-salts-in-water/>

Raspravite unutar razreda kako ćete provjeriti i odgovoriti na pitanja:

- Kako će se promijeniti entalpija otapanja soli u vodi ovisno o vrsti tvari?
- Utječe li na entalpiju otapanja soli u vodi masa otopljene tvari i otapala? Kako utječe?
- Postoji li poveznica između nabojnog broja aniona i kationa s vrstom reakcije na temelju topline (egzotermna, endotermna kemijska reakcija)?

1. Pri provjeri svojih ideja ne zaboravite odrediti zavisne i nezavisne varijable.
2. Odlučite sami koliko ćete vode uliti u kalorimetar i koliko ćete grama soli staviti u kalorimetar.
3. Nacrtajte grafički prikaz promjene temperature ovisno o vremenu tijekom otapanja za sve ponuđene soli.
4. Izaberite jednu sol i prikažite kako količina otopljene tvari ovisno o otapalu utječe na promjenu temperature tijekom otapanja soli. Nacrtajte ovisnost temperature o masi otopljene tvari.

#### ZADATCI:

1. Pri normiranim uvjetima amonijev klorid otapa se u vodi uz apsorpiranje topline iz okoline. Kako se mijenja entalpija, entropija i Gibbsova slobodna energija u navedenoj reakciji?

- a)  $\Delta H < 0, \Delta S < 0, \Delta G < 0$
- b)  $\Delta H > 0, \Delta S > 0, \Delta G < 0$
- c)  $\Delta H < 0, \Delta S > 0, \Delta G < 0$
- d)  $\Delta H > 0, \Delta S > 0, \Delta G > 0$
- e)  $\Delta H < 0, \Delta S < 0, \Delta G > 0$ ?

*Temperatura otopine raste pa je proces egzoterman, konstantan tlak i temperatura – reakcija je spontana ako se smanjuje Gibbsova energija sustava  $\Delta H < 0, \Delta S < 0, \Delta G < 0$ .*

2. Pri otapanju kalijeva nitrata u vodi otopina se hladi. Hoće li se porastom temperature topljivost navedene soli povećavati ili smanjivati? Objasnite i nacrtajte odgovarajući entalpijski dijagram.

*Reakcija je egzotermna, pa će se povećanjem temperature otopine smanjiti njena topljivost.*

3. Zaokružite točan odgovor. Molarna entalpija otapanja neke soli u vodi iznosi  $25,4 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Topljinost te soli u vodi:

- a) porast će povećanjem volumena vode
- b) porast će zagrijavanjem vode (otopine)
- c) porast će hlađenjem vode (otopine)
- d) ostatak će ista bez obzira na temperaturu promjene
- e) nijedan odgovor nije točan.

## 7. ZAKONI TERMODINAMIKE U ZADACIMA

### Redoslijed aktivnosti:

- 1.) Jedan sat potreban je za ponoviti osnovne pojmove vezane za zakone termodinamike. Nastavnik može izabrati jednu od RCWT metoda.
- 2.) Četiri sata predviđena su za rješavanje numeričkih zadataka iz priručnika i zadataka postavljenih na elektroničku platformu.

### Uvod

#### 1. zakon termodinamike:

Unutrašnja energija sustava može se promijeniti dovođenjem (odvođenjem) topline kao i obavljanjem rada. Prema prvom zakonu termodinamike:

$$\Delta U = Q + W$$

*Izotermna promjena stanja plina* jest promjena kod koje temperatura ostaje stalna, a promjenu tlaka i volumena opisuje *Boyle-Mariotteov zakon*:  $T = \text{konst.}$

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = \text{konst.}$$

*Izobarna promjena stanja plina* takva je promjena kod koje je tlak plina konstantan, a volumen raste s porastom temperature prema *Gay-Lussacovom zakonu*:  $p = \text{konst.}$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{konst.}$$

*Izohorna promjena stanja plina* takva je promjena stanja plina kod koje se volumen plina ne mijenja, a tlak raste s porastom temperature prema *Charlesovom zakonu*:  $V = \text{konst.}$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \text{konst.}$$

Plin pri širenju obavlja rad. Taj rad ovisi o vrsti procesa kojim se plin rasteže.

Pri *izobarnom* širenju ( $p = \text{konst.}$ ) pri tlaku  $p$  od volumena  $V_1$  do volumena  $V_2$  rad je jednak:

$$W = p \cdot \Delta V$$

U  $p - V$  grafičkom prikazu površina ispod krivulje jednaka je radu.

Pri *izohornom procesu* ( $V = \text{konst.}$ ) plin se ne širi te je i rad nula.

Pri *adijabatskom procesu* ( $Q = 0$ ) nema izmjene topline s okolinom pa se rad obavlja na račun smanjenja unutrašnje energije.

$$W = -\Delta U$$

Pri *izotermnom procesu* ( $T = \text{konst.}$ ) nema promjene unutrašnje energije ( $\Delta U = 0$ ) te se sva dovedena topline pretvara u rad  $W = Q$ .

Korisnost  $\eta$  nekog toplinskog stroja govori o tome koliki je dio topline dobivene od toplijeg spremnika prešao u mehanički rad. Korisnost idealnog toplinskog stroja:

$$\eta = \frac{W}{Q_2} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

Kod toplinskih strojeva dio unutrašnje energije plinova ili para (radnog tijela) pretvara se u rad. To je moguće samo ako postoji razlika temperatura spremnika između kojih kruži radno tijelo.

Carnotov toplinski stroj sastoji se od:

- izotermne ekspanzije plina (sustav predaje rad okolini);
- adijabatske ekspanzije plina ( $Q = \text{konst.}$  Kada se plin ekspandira, plin predaje rad okolini, temperatura plina opada);
- izotermne kompresije plina (okolina vrši rad na sustavu);
- adijabatske kompresije plina ( $Q = \text{konst.}$  Kada se plin komprimira, okolina vrši rad na sustavu, temperatura plina raste.).

**$W$  (adijabatska ekspanzija) =  $W$  (adijabatska kompresija)**

$$W = W_{AB} + W_{BC} + W_{CD} + W_{DA}$$

$$W_{BC} = W_{DA}$$

$$W = W_{AB} - W_{CD}$$

$$W = Q_h - Q_c$$

## 2. zakon termodinamike:

Prema Rudolfu Clausiusu toplina ne može sama od sebe prelaziti s hladnijeg tijela na toplije, točnije: nije moguć proces čiji bi jedini rezultat bio spontani prelazak topline s hladnijeg tijela na toplije. Toplina spontano može prelaziti samo s toplijeg na hladnije tijelo.

S protokom vremena ukupna entropija termički zatvorenog sustava koji nije u termodinamičkoj ravnoteži uvijek raste, težeći da dosegne najveću moguću vrijednost.

Entropija svemira uvijek raste.

Prema Lordu Kelvinu – nije moguće ostvariti proces čiji bi jedini učinak bio da uzima toplinu iz jednog spremnika topline i pretvara tu toplinu u cijelosti u rad, odnosno perpetuum mobile druge vrste nije moguć.

Perpetuum mobile druge vrste bio bi upravo takav uređaj koji bi samo uzimao toplinu iz spremnika topline i pretvarao ovu toplinu u rad. Ovaj zakon daje teorijsku granicu koeficijenta iskoristivosti toplinskih strojeva.

Kod standardnog tlaka i temperature većina realnih plinova ponaša se kao idealni plin. Većina plinova, kao što su zrak, dušik, kisik, vodik, plemeniti plinovi pa i neki gušći plinovi, kao što je ugljikov dioksid, mogu se tumačiti kao idealni plinovi, unutar razumnih odstupanja.

Kod idealnog plina vrijedi opći oblik prema jednadžbi

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

pa je relacija za diferencijalnu promjenu unutarnje energije:

$$U = n \cdot c_V \cdot (T_2 - T_1)$$

gdje je  $c_V$  bezdimenzionalni specifični toplinski kapacitet kod konstantnog obujma  $\approx 3/2$  za jednoatomne plinove,  $5/2$  za dvoatomne plinove i  $3$  za složenije molekule.

Entalpija idealnih plinova ovisna je *samo o temperaturi*, isto kao i unutarnja energija.

U modelu idealnoga plina zanemarujemo sile između molekula zbog čega je srednja potencijalna energija jednaka nuli.

Unutrašnja energija idealnoga plina jednaka je kinetičkoj energiji:

$$U = N \cdot \overline{E_K}$$

Srednju kinetičku energiju molekula jednoatomnoga idealnoga plina možemo prikazati kao:

$$E_K = \frac{3}{2} \cdot k_B \cdot T$$

Prema tome unutrašnja energija idealnoga plina jednaka je:

$$U = \frac{3}{2} \cdot N \cdot k_B \cdot T$$

Ako to povežemo s jednadžbom stanja idealnoga plina, dobivamo:

$$U = \frac{3}{2} \cdot p \cdot V$$

Poveznica između specifičnog toplinskog kapaciteta pri stalnom tlaku i stalnom volumenu:

$$c_p = c_v + R$$

Toplina se dovodi / odvodi pri čemu se povećava / smanjuje unutarnja energija i dobiva / troši rad.

### 3. zakon termodinamike:

Entropija sustava pri apsolutnoj nuli, ako se sustav nalazi u svojem najnižem energetsom stanju, jednaka je nuli. Taj zakon što ga je formulirao W. H. Nernst, nije strogo termodinamičko načelo jer pretpostavlja poznavanje detaljne strukture sustava, osobito spektra energetskih stanja. Načelo se primjenjuje u fizikalnoj kemiji pri računanju konstanta ravnoteža sustava dobivenih iz čisto termičkih mjerenja, a uveden je kao ishodište ljestvice za određivanje entropije. Tek s razvojem statističke fizike i definiranjem entropije kao negativnoga logaritma vjerojatnosti stanja načelo postaje nužno.

### ZADATCI:

1. Kod izotermne promjene sustav ne mijenja temperaturu. Što se događa s unutrašnjom energijom sustava?

- a) Uvijek se smanjuje.
- b) Povećava se ako sustav vrši rad.
- c) Povećava se ako se rad vrši nad sustavom.
- d) Uvijek je stalna.

2. Pri adijabatskoj promjeni stanja plina:

- a) temperatura se snižava
- b) temperatura se ne mijenja
- c) temperatura se povisuje
- d) temperatura se može povisiti ili sniziti, ali ne može ostati stalna.

$Q = 0$  J,  $W = -\Delta U$  rad se obavlja na račun smanjenja energije.  
Temperatura se mijenja, ne može ostati stalna.



3. Plin se nalazi u cilindričnoj posudi s pokretnim klipom. Ako uz konstantnu temperaturu plina klip pustimo za 1/3 visine cilindra, tlak će se u cilindru:

- a) povećati za 3 puta
- b) smanjiti 3 puta
- c) povećati za 1/3
- d) povećati 1,5 puta.

$$V_2 = \frac{1}{3} V_1 \quad p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \quad \frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1}{\frac{1}{3} V_1} = 3 \quad p_2 = 3 \cdot p_1$$

4. Ako plin držimo na konstantnoj temperaturi i udvostručimo tlak, što će biti s gustoćom plina?

- a) Ostatak će ista jer ona ne ovisi o masi plina.
- b) Udvostručit će se jer se volumen prepolovio.
- c) Bit će dvostruko manja jer se i volumen prepolovio.
- d) Ona ne ovisi o količini plina.

$$T = \text{konst.} \quad p_2 = 2 \cdot p_1$$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad \rho = \frac{p \cdot M}{T \cdot R}$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{\frac{p_2 \cdot M}{T \cdot R}}{\frac{p_1 \cdot M}{T \cdot R}} = \frac{p_2}{p_1} = \frac{2 \cdot p_1}{p_1} = 2 \quad \rho_2 = 2 \cdot \rho_1$$

5. Pri izobarnoj promjeni stanja plina, može se tvrditi da:

- a) Volumen plina ostaje konstantan.
- b) Volumen plina smanjuje se s porastom temperature.
- c) Tlak plina povećava se s porastom temperature.
- d) Tlak plina ostaje konstantan.

6. Dvije jednake posude napunjene su istim plinom do tlaka 101 325 Pa pri različitim temperaturama. Što se može reći za masu plina u posudama?

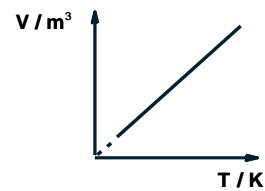
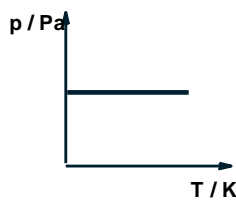
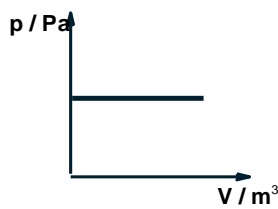
- a) Masa plina veća je u posudi s nižom temperaturom.
- b) Masa plina veća je u posudi s višom temperaturom.
- c) Obje posude sadrže jednaku količinu tvari.
- d) Ne može se odgovoriti jer nisu poznati volumeni posuda.

$$V = \text{konst.} \quad p_2 = p_1$$

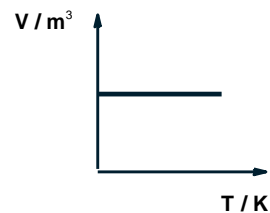
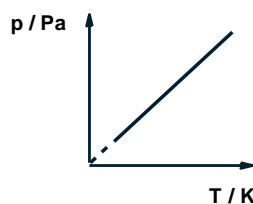
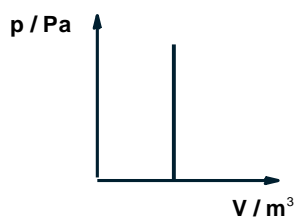
$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

$$m_2 \cdot T_2 = m_1 \cdot T_1 = \text{konst.}$$

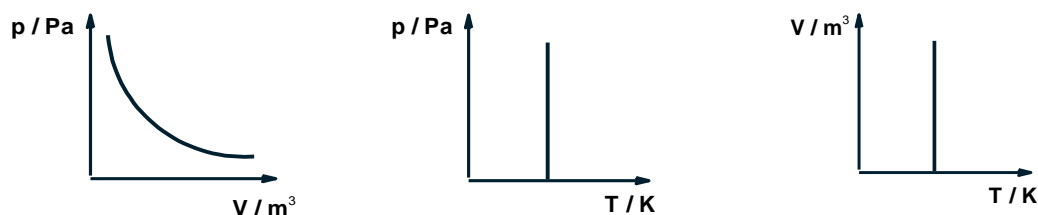
7. Nacrtajte  $p - V$ ,  $p - T$  i  $V - T$  grafičke prikaze za izobarnu promjenu plina.



8. Nacrtajte  $p - V$ ,  $p - T$  i  $V - T$  grafičke prikaze za izohornu promjenu plina.



9. Nacrtajte  $p - V$ ,  $p - T$  i  $V - T$  grafičke prikaze za izotermnu promjenu plina.



10. Plin komprimiramo izotermno na tri puta manji volumen, pri čemu iz cilindra "pobjegne" jedna trećina mase plina. Konačni je tlak plina:

- a) tri puta veći od početnoga.
- b) tri puta manji od početnoga.
- c) dva puta manji od početnoga.
- d) *dva puta veći od početnoga.*
- e) ne mijenja se tlak promjenom volumena.

$$T = \text{konst. } V_2 = \frac{1}{3}V_1 \quad m_2 = \frac{2}{3}m_1$$

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \quad \frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1 \cdot m_2}{V_2 \cdot m_1} = \frac{V_1 \cdot m_2}{\frac{1}{3}V_1 \cdot \frac{3}{2} \cdot m_2} = 2$$

$$p_2 = 2 \cdot p_1$$

11. Možemo li idealni plin prevesti u tekućinu?

- a) Da, ako ga ohladimo i komprimiramo.
- b) *Ne, jer ne postoje privlačne sile među molekulama.*
- c) Da, ako ga ohladimo na vrlo nisku temperaturu.
- d) Ne, jer ne možemo eksperimentalno postići temperaturu apsolutne nule.

12. Plin komprimiramo izotermno i tada se plinu:

- a) *volumen smanji, tlak poveća, a unutarnja se energija ne mijenja.*
- b) volumen smanji, tlak poveća, a unutarnja se energija poveća.
- c) volumen smanji, tlak poveća, a unutarnja se energija smanji.
- d) volumen smanji, tlak ne mijenja, a unutarnja se energija ne mijenja.
- e) volumen poveća, tlak smanji, a unutarnja se energija poveća.

$\Delta U$  – se ne mijenja, dovedena toplina promijeni se u rad

13. Za idealne jednoatomne plinove pri određenoj temperaturi vrijedi tvrdnja da:

- a) srednja kinetička energija ovisi o vrsti plina.
- b) *srednja kinetička energija ne ovisi o vrsti plina.*
- c) srednja je kinetička energija veća kada je masa molekule plina manja.
- d) srednja je kinetička energija veća kada je masa molekule plina veća.

$$E_K = \frac{3}{2}k_B T$$

14. Idealnom plinu predali smo toplinu od  $5 \cdot 10^6$  J pri stalnom tlaku, a plin je pritom **obavio** rad od  $3 \cdot 10^6$  J. Unutarnja energija plina:

- a) smanjila se za  $2 \cdot 10^6$  J.
- b) *povećala se za  $2 \cdot 10^6$  J.*
- c) smanjila se za  $8 \cdot 10^6$  J.
- d) povećala se za  $8 \cdot 10^6$  J.
- e) nije se mijenjala.

$$\Delta U = Q + (-W)$$

$$\Delta U = 5 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^6$$

$$\Delta U = 2 \cdot 10^6 \text{ J}$$

15. Plin se komprimira adijabatski. Plinu se tada:

- a) volumen i tlak poveća pa se i unutarnja energija poveća.
- b) volumen smanji i zato poveća tlak pa se i unutarnja energija poveća.
- c) volumen smanji i zato poveća tlak, ali se unutarnja energija ne mijenja.
- d) volumen smanji i zato se tlak i unutarnja energija ne mijenjaju.

$Q = konst.$   
 $W = -\Delta U$   
Smanjuje  $V$ ,  
povećava  $p$ .

16. Za povećanje korisnosti toplinskog stroja koji radi između dva spremnika treba mijenjati temperature. Koja je tvrdnja točna?

- a) Treba povisiti temperaturu toplijem spremniku.
- b) Treba povisiti temperaturu hladnijem spremniku.
- c) Treba sniziti temperaturu toplijem spremniku.
- d) Treba povisiti temperaturu toplijem spremniku i sniziti hladnijem.

17. Korisnost toplinskog stroja definirana je kao odnos:

- a) primljene topline i obavljenog rada.
- b) obavljenog rada i predane topline.
- c) obavljenog rada i primljene topline.
- d) primljene topline i predane topline.

18. Koja je tvrdnja točna?

- a) Korisnost je uvijek manja od 1.
- b) Korisnost bi mogla biti veća od 1 samo ako stroj radi s idealnim plinom.
- c) Korisnost je uvijek veća od 1.
- d) Korisnost je uvijek 100 %.

19. Korisnost stroja koji radi po Carnotovom kružnom procesu između 7 °C i 107 °C jest:

- a) 6,54 %
- b) 26,32 %
- c) 34,48 %
- d) 73,68 %

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{380 \text{ K} - 280 \text{ K}}{380 \text{ K}} = 0,2632$$

20. Pri izobarnom procesu kod tlaka  $10^5$  Pa plinu dovedemo toplinu od 150 J, dok se volumen plina poveća s 2 litre na 3 litre. Kolika je promjena unutarnje energije plina?

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 150 \text{ J} - (-101,325 \text{ J})$$

$$\Delta U = 251,325 \text{ J}$$

$$W = p \cdot \Delta V$$

$$W = 101325 \text{ Pa} \cdot (2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 - 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3)$$

$$W = -101,325 \text{ J}$$

21. Gumu na biciklu volumena 5 L u napuhanom stanju pumpamo ručnom pumpom koja u jednom hodu ručice pumpe daje  $200 \text{ cm}^3$  zraka. Guma je u početku potpuno ispražnjena, a želimo postići tlak od 350 kPa. Koliko puta treba pritisnuti pumpu? Normirani je tlak zraka 101 325 Pa.

$$T_1 = T_2 \quad p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$V_1 = N \cdot \Delta V$$

$$p_1 \cdot N \cdot \Delta V = p_2 \cdot V_2$$

$$N = \frac{p_2 \cdot V_2}{p_1 \cdot \Delta V} = \frac{350000 \text{ Pa} \cdot 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{101325 \text{ Pa} \cdot 200 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} = 88,08$$

22. Projektil brzine  $200 \text{ m s}^{-1}$  udari u metalnu metu i zabije se u nju. specifični Stoplinski kapacitet metalne mete iznosi  $600 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ . Pri zaustavljanju 55 % početne kinetičke energije projektila utroši se na zagrijavanje tijela projektila. Koliko je povećanje temperature projektila?

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = \eta \cdot E_K$$

$$m \cdot c \cdot \Delta T = \eta \cdot E_K$$

$$\Delta T = \frac{\eta \cdot E_K}{m \cdot c} = \frac{\eta \cdot \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2}{m \cdot c} = \frac{\eta \cdot \frac{1}{2} \cdot v^2}{c}$$

$$\Delta T = \frac{\eta \cdot v^2}{2 \cdot c} = \frac{0,55 \cdot (200 \text{ m s}^{-1})^2}{2 \cdot 600 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}} = 18,33 \text{ K}$$

23. 1 mol dušika ( $\text{N}_2$ ) izobarno grijemo pri normiranom tlaku od  $20^\circ\text{C}$  do  $50^\circ\text{C}$ . Specifični je toplinski kapacitet pri stalnom tlaku  $c_p=1040 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ .

a) Kolika je ukupna dovedena energija ?

$$W = \Delta U = m \cdot c_p \cdot \Delta T = n \cdot M \cdot c_p \cdot \Delta T =$$

$$Q = 1 \text{ mol} \cdot 0,02802 \text{ kg mol}^{-1} \cdot 1040 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1} \cdot 30 \text{ K}$$

$$Q = 874,22 \text{ J}$$

b) Koliki je izvršeni rad?

$$W = p \cdot \Delta V$$

$$W = 101325 \text{ Pa} \cdot (0,02650 \text{ m}^3 - 0,02404 \text{ m}^3)$$

$$W = 249,569 \text{ J}$$

$$V_1 = \frac{nRT_1}{p} = \frac{1 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 293 \text{ K}}{101325 \text{ Pa}}$$

$$V_1 = 0,02404 \text{ m}^3$$

$$V_2 = \frac{nRT_2}{p} = \frac{1 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 323 \text{ K}}{101325 \text{ Pa}}$$

$$V_2 = 0,02650 \text{ m}^3$$

c) Kolika je promjena unutarnje energije?

$$\Delta U = Q - W = 624,651 \text{ J}$$

24. Radnik zabija željezni čavao mase 40 g u dasku udarajući ga čekićem mase 1,5 kg. Brzina čekića prije udarca iznosi 8 m s<sup>-1</sup>. Za koliko se kelvina ugrije čavao nakon 10 udaraca ako pretpostavimo da se 60 % mehaničke energije pretvori u unutarnju energiju čavla? Specifični je toplinski kapacitet željeza 450 J kg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>.

$$\eta = \frac{\Delta U}{E_K} \Rightarrow \eta \cdot E_K = \Delta U$$

$$\eta \cdot N \cdot \frac{m \cdot v^2}{2} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{\eta \cdot N \cdot m_2 \cdot v^2}{2 \cdot m_1 \cdot c} = \frac{0,6 \cdot 10 \cdot 1,5 \text{ kg} \cdot 64 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}}{2 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 450 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}} = 16 \text{ K}$$

25. Zagrijavajući plin izobarno s temperature 10 °C na 80 °C poprimio je obujam 200 cm<sup>3</sup>. Koliki je bio početni obujam plina prije zagrijavanja?

$$p_1 = p_2 \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad V_1 = \frac{V_2 \cdot T_1}{T_2} = \frac{200 \text{ cm}^3 \cdot 283 \text{ K}}{353 \text{ K}} = 160,3 \text{ cm}^3$$

26. Pri 35 °C četiri mola vodika nalaze se pod tlakom 850 kPa. Nakon širenja pri stalnom tlaku obujam plina iznosi 25 litara.

a) Koliki je rad obavio plin pri širenju?

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

$$W = p \cdot \Delta V =$$

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

$$W = 850 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot (25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 - 0,01205 \text{ m}^3)$$

$$= \frac{4 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 308 \text{ K}}{850 \cdot 10^3 \text{ Pa}}$$

$$W = 11007 \text{ J} = 11,007 \text{ kJ}$$

$$V = 0,01205 \text{ m}^3$$

b) Kolika je promjena unutarnje energije plina ako je on primio 20 000 J topline?

$$\Delta U = Q - W = 20000 \text{ J} - 11007 \text{ J} = 8992,8 \text{ J}$$

27. Izračunajte efektivnu brzinu gibanja molekula kisika pri 542 °C ako znate njegovu molarnu masu 0,032 kg mol<sup>-1</sup>.

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$E_K = \frac{3}{2} \cdot k_B \cdot T$$

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

$$p \cdot V = N \cdot k_B \cdot T$$

$$E_K = \frac{3}{2} \cdot \frac{p \cdot V}{N} = \frac{3}{2} \cdot \frac{n \cdot R \cdot T}{N} = \frac{3}{2} \cdot \frac{m \cdot R \cdot T}{M \cdot N}$$

$$\frac{p \cdot V}{N} = k_B \cdot T$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{3}{2} \cdot \frac{m \cdot R \cdot T}{M \cdot N}$$

$$v^2 = \frac{3 \cdot R \cdot T}{M \cdot N} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot T}{M \cdot N}} = 797 \text{ m s}^{-1}$$

28. Za koliko će se promijeniti unutarnja energija sustava koji pri adijabatskoj ekspanziji obavi rad od 500 kJ?

$$W = 500 \text{ kJ} \qquad W = -\Delta U = -500 \text{ kJ}$$

29. Razlikuju li se temperature kapljica vode na vrhu slapa visokog 100 m i na njegovu dnu ako pretpostavimo da sva mehanička energija vode prelazi u njezinu unutarnju energiju?

$$E_{gp} = Q$$

$$m \cdot g \cdot h = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{g \cdot h}{c} = \frac{10 \text{ m s}^{-2} \cdot 100 \text{ m}}{4180 \text{ J kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} = 0,239 \text{ K}$$

30. Zakon pomoću kojega se računa rad u nekom termodinamičkom procesu  $W = p \cdot \Delta V$  može se primijeniti:

- a) samo kada je tlak stalan
- b) samo kada je volumen stalan
- c) samo kada je temperatura stalna
- d) samo u kružnim promjenama.

31. Želimo li stroj velike korisnosti, on treba raditi:

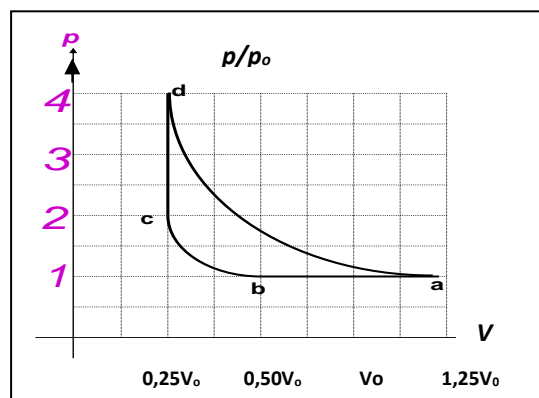
- a) samo s jednim spremnikom niske temperature
- b) samo s jednim spremnikom visoke temperature
- c) s dva spremnika približno iste temperature
- d) s dva spremnika vrlo različite temperature.

32. Na slici je kružni proces u kojem jedan mol idealnog plina uz početne uvjete  $p_o, V_o$  i  $T_o$  prolazi kroz 4 stanja počevši od točke A:

- a – b izobarna kompresija do volumena  $V_o/2$
- b – c izotermna kompresija do volumena  $V_o/4$
- c – d izohorno zagrijavanje
- d – a izotermno širenje.

Temperatura na dijelu b – c dvaput je niža od temperature na dijelu d – a.

U tablicu upišite veličine koje nedostaju:



|   | $p$     | $V$        | $T$        | $U$        |
|---|---------|------------|------------|------------|
| a | $p_o$   | $V_o$      | $T_o$      | $U_o$      |
| b | $p_o$   | $0,50 V_o$ | $0,50 T_o$ | $0,50 U_o$ |
| c | $2 p_o$ | $0,25 V_o$ | $0,50 T_o$ | $0,50 U_o$ |
| d | $4 p_o$ | $0,25 V_o$ | $T_o$      | $U_o$      |

Definirajte točku A (početno stanje) da ovaj kružni ciklus prikazuje:

- 1. toplinski stroj.
- 2. toplinsku pumpu.

33. Parni stroj ima korisnosti 25 %. U svakom procesu obavi rad od 100 J. Koliko topline primi, a koliko preda ako je?

- a)  $Q_1 = 100 \text{ J}, Q_2 = 0 \text{ J}$
- b)  $Q_1 = 400 \text{ J}, Q_2 = 300 \text{ J}$
- c)  $Q_1 = 300 \text{ J}, Q_2 = 400 \text{ J}$
- d)  $Q_1 = 100 \text{ J}, Q_2 = 25 \text{ J}.$

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| $\eta = \frac{W}{Q_2} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2}$                      | $W = Q_2 - Q_1$                       |
| $Q_2 = \frac{W}{\eta} = \frac{100 \text{ J}}{0,25} = 400 \text{ J}$ | $Q_1 = Q_2 - W$                       |
|   | $Q_1 = 400 \text{ J} - 100 \text{ J}$ |
|   | $Q_1 = 300 \text{ J}$                 |

34. Plin obavlja Carnotov kružni proces. Temperatura je hladnijeg spremnika 280 K, a toplijeg 380 K. Koliko će se puta povećati korisnost procesa ako se temperatura toplijeg spremnika poveća za 200 K?

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{\frac{T_2 - T_1}{T_2}}{\frac{T_2 - T_1}{T_2}} = \frac{\frac{580 \text{ K} - 280 \text{ K}}{580 \text{ K}}}{\frac{380 \text{ K} - 280 \text{ K}}{380 \text{ K}}} = \frac{0,51724}{0,263158} = 1,96 \approx 2$$

*Povećava se za 2 puta.*

35. Idealni toplinski stroj ima korisnost 25 % i kao hladan spremnik koristi okolinu temperature 20 °C. Odredite:

a) temperaturu toplog spremnika.

b) temperaturu toplog spremnika kada se korisnost povisi na 30 %.

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

$$\eta \cdot T_2 - T_2 = -T_1$$

$$\eta \cdot T_2 - T_2 = -T_1$$

$$-0,70 T_2 = -293 \text{ K}$$

$$-0,75 T_2 = -293 \text{ K}$$

$$T_2 = 418,6 \text{ K}$$

$$T_2 = 390,1 \text{ K}$$

36. U Carnotovu procesu plinu je pri temperaturi 400 K dovedeno 8,37 kJ topline. Dobiveni rad u kružnom procesu iznosi 2093 J.

a) Kolika je korisnost?

b) Kolika je toplina predana hladnijem spremniku?

$$\eta = \frac{W}{Q_2} = \frac{2093 \text{ J}}{8370 \text{ J}} = 0,25$$

$$\eta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2}$$

$$Q_1 = Q_2 - \eta \cdot Q_2 = 8370 \text{ J} - 0,25 \cdot 8370 \text{ J} = 6277,5 \text{ J}$$

c) Kolika je temperatura hladnijeg spremnika?

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

$$\eta \cdot T_2 - T_2 = -T_1$$

$$T_1 = T_2 - \eta \cdot T_2 = 400 \text{ K} - 100 \text{ K} = 300 \text{ K}$$

37. Dvije posude jednakog volumena, svaka po 30 L, napunjene su plinom pri jednakoj temperaturi. Jedna posuda sadrži 28 g dušika, a druga 32 g kisika. Ako se posude međusobno povežu, plin difundira iz jedne u drugu posudu. Izračunajte promjenu entropije kod difuzije plinova. Pretpostavite da se kisik i dušik ponašaju kao idealni plinovi.

Napomena: Difuzija je ireverzibilan proces, no da bismo mogli izračunati promjenu entropije, zamislimo da proces vodimo reverzibilno, za svaki plin posebno.

$$V_1 = V_2 = 30 \text{ L}$$

$$V_u = 60 \text{ L}$$

$$T = \text{konst.}$$

$$\Delta S = S_1 + S_2$$

$$S_1 = n \cdot R \cdot \ln \frac{V_u}{V_1} = \frac{28 \text{ g}}{28,02 \text{ g mol}^{-1}} \cdot 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot \ln \frac{60 \text{ L}}{30 \text{ L}} = 5,759 \text{ J K}^{-1}$$

$$S_2 = n \cdot R \cdot \ln \frac{V_u}{V_2} = \frac{32 \text{ g}}{31,9988 \text{ g mol}^{-1}} \cdot 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot \ln \frac{60 \text{ L}}{30 \text{ L}} = 5,763 \text{ J K}^{-1}$$

$$\Delta S = S_1 + S_2 = 11,339 \text{ J K}^{-1}$$

38. Izračunajte promjenu unutarnje energije  $U$ , entalpije  $H$ , entropije  $S$  te rad  $W$  i toplinu  $Q$  za proces u kojem se 10 g vodika najprije izobarno hladi s 30 °C na 20 °C, a zatim izotermno komprimira od 1 na 2 atm. Molarni toplinski kapacitet vodika  $c_p(\text{H}_2) = 28,83 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  ostaje konstantan u zadanom temperaturnom intervalu.

$$t_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T_1 = 303 \text{ K}$$

$$p_1 = p_2 = 101\,325 \text{ Pa}$$

$$t_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T_2 = 293 \text{ K}$$

$$p_3 = 202\,650 \text{ Pa}$$

$$m = 10 \text{ g} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \quad c_p = 28,83 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \quad c_p = c_v + R$$

$$\Delta U_{13} = Q_u + W_u$$

$$\Delta U_{13} = U_{12} + U_{23}$$

$$U_{12} = n \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1) = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2)} \cdot (c_p - R) \cdot (T_2 - T_1)$$

$$U_{12} = \frac{10 \text{ g}}{2,016 \text{ g mol}^{-1}} \cdot (28,83 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} - 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \cdot (293 \text{ K} - 303 \text{ K})$$

$$U_{12} = -1017,66 \text{ J}$$

$$U_{23} = n \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2) = 0 \text{ J}$$

$$\Delta U_{13} = U_{12} + U_{23} = -1017,66 \text{ J}$$

$$\Delta H_{13} = H_{12} + H_{23}$$

$$H_{12} = n \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2)} \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)$$



$$H_{12} = \frac{10 \text{ g}}{2,016 \text{ g mol}^{-1}} \cdot 28,83 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot (293 \text{ K} - 303 \text{ K})$$

$$H_{12} = -1430,06 \text{ J}$$

$$H_{23} = n \cdot c_p \cdot (T_3 - T_2) = 0 \text{ J}$$

$$\Delta H_{13} = H_{12} + H_{23} = -1430,06 \text{ J}$$

$$\Delta S_{13} = S_{12} + S_{13}$$

$$S_{12} = n \cdot c_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} = 4,9603 \text{ mol} \cdot 28,83 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot \ln \frac{293 \text{ K}}{303 \text{ K}} = -4,799 \text{ J K}^{-1}$$

$$S_{23} = n \cdot R \cdot \ln \frac{p_2}{p_1} = 4,9603 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot \ln \frac{202650 \text{ Pa}}{101325 \text{ Pa}} = 28,585 \text{ J K}^{-1}$$

$$\Delta S_{13} = S_{12} + S_{13} = 23,786 \text{ J K}^{-1}$$

$$W = p \cdot \Delta V$$

$$V_1 = \frac{m \cdot R \cdot T_1}{M \cdot p_1} = \frac{10 \text{ g} \cdot 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 303 \text{ K}}{2,016 \text{ g mol}^{-1} \cdot 101325 \text{ Pa}} = 0,123 \text{ m}^3$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{0,123 \text{ m}^3 \cdot 293 \text{ K}}{303 \text{ K}} = 0,119 \text{ m}^3$$

$$p_2 \cdot V_2 = p_3 \cdot V_3$$

$$V_3 = \frac{p_2 \cdot V_2}{p_3} = \frac{101325 \text{ Pa} \cdot 0,119 \text{ m}^3}{202650 \text{ Pa}} = 0,0596 \text{ m}^3$$

$$W = p \cdot \Delta V$$

$$W_{12} = -p \cdot (V_2 - V_1) = -101325 \text{ Pa} \cdot (0,119 \text{ m}^3 - 0,123 \text{ m}^3) = 405,3 \text{ J}$$

$$W_{23} = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{V_3}{V_2} = -4,960 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 293 \text{ K} \cdot \ln \frac{0,0596 \text{ m}^3}{0,119 \text{ m}^3}$$

$$W_{23} = 8355,24 \text{ J}$$

$$W_{13} = W_{12} + W_{23} = 8760,54 \text{ J}$$

$$Q = Q_{12} + Q_{23}$$

$$Q_{12} = H_{12} = -1430,06 \text{ J}$$

$$Q_{23} = -W_{23} = -8355,24 \text{ J}$$

$$Q_{13} = Q_{12} + Q_{23} = -9785,3 \text{ J}$$

$$\Delta U_{13} = Q_{13} + W_{13} = -9785,3 \text{ J} + 8760,54 \text{ J} = -1024,76 \text{ J}$$





**OTOPINE**



## 8. MASENA I MNOŽINSKA KONCENTRACIJA

### 8.1. Razrjeđivanje otopina

Redosljed aktivnosti:

- 1.) Sat se može započeti provjerom usvojenosti znanja iz otopina, iskazivanja sastava otopina i mjernih jedinica.
- 2.) Učenici u grupi izvode eksperiment prema uputama, pišu bilješke i obrađuju dobivene podatke.
- 3.) Učenici rješavaju dodatne zadatke i odgovaraju na postavljena pitanja.

#### Uvod:

Otopine su homogene smjese čistih tvari pomiješanih u stanje molekulske disperzije.

OTOPljena TVAR – komponenta otopine potrebna u manjoj mjeri.

OTAPALO – komponenta otopine potrebna u mnogo većoj mjeri, u njoj se otopljena tvar otapa.

TOPLJIVOST – najveća količina otopljene tvari koju je moguće otopiti u određenom otapalu kako bi nastala stabilna otopina pri određenoj temperaturi.

MJEŠLJIVOST – sposobnost dviju supstancija da se otapaju jedna u drugoj u bilo kojim omjerima.

#### a) Iskazivanje sastava otopine:

Kvantitativni sastav otopine najčešće se iskazuje pomoću udjela, koncentracija i molalnosti.

Tablica 8.1.1. Iskazivanje sastava otopina

| FIZIČKA VELIČINA        | DEFINICIJA   | MJERNA JEDINICA   |
|-------------------------|--|-------------------|
| a) maseni udio          | $w(\text{otopljena tvar}) = \frac{m(\text{otopljena tvar})}{m(\text{otopina})}$ $w(A) = \frac{m(A)}{m(\text{otopina})}$ $m(\text{otopina}) = m(\text{otopljena tvar}) + m(\text{otapalo})$ | 1                 |
| b) volumni udio         | $\varphi(A) = \frac{V(A)}{\sum V}$   | 1                 |
| c) množinski udio       | $x(A) = \frac{n(A)}{\sum n}$   | 1                 |
| d) masena koncentracija | $\gamma(A) = \frac{m(A)}{V(\text{otopine})}$ $m(A) = \gamma(A) \times V(\text{otopina})$   | g/dm <sup>3</sup> |

|                            |   |                     |
|----------------------------|---|---------------------|
| e) množinska koncentracija | $c(A) = \frac{n(A)}{V(\text{otopina})}$ | mol/dm <sup>3</sup> |
| f) molalnost               | $b(A) = \frac{n(A)}{m(\text{otapalo})}$ | mol/g               |

#### A) VEZA MASENE I MNOŽINSKE KONCENTRACIJE

$$c(A) = \frac{n(A)}{V(\text{otopine})} = \frac{\frac{m(A)}{M(A)}}{\frac{m(\text{otopina})}{\rho(\text{otopine})}} = \frac{m(A) \cdot \rho(\text{otopine})}{M(A) \cdot m(\text{otopina})} = \frac{w(A) \cdot \rho(\text{otopine})}{M(A)} = \frac{\gamma(A)}{M(A)}$$

$$\gamma(A) = \frac{m(A)}{V(\text{otopine})} = \frac{w(A) \cdot m(\text{otopine})}{\frac{m(\text{otopina})}{\rho(\text{otopine})}} = \frac{w(A) \cdot m(\text{otopine}) \cdot \rho(\text{otopine})}{m(\text{otopine})} =$$

$$\gamma(A) = w(A) \cdot \rho(\text{otopine})$$

#### ZAKON RAZRJEĐENJA

|   |     |   |
|---|-----|---|
| $n_1 = n_2$<br>$c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$<br>$\gamma_1 \cdot V_1 = \gamma_2 \cdot V_2$ | ili | $w_1 \cdot \rho_1 \cdot V_1 = w_2 \cdot \rho_2 \cdot V_2$ |
|---|-----|---|

#### B) ZAKON MIJEŠANJA

|   |
|---|
| $1 + 2 = 3$<br>$n_1 + n_2 = n_3$<br>$c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 = c_3 \cdot V_3$ |
|---|

#### C) VAŽNO!

Koncentracije su omjeri → ne mogu se zbrajati.

Volumeni se mogu zbrajati.

Mase se mogu zbrajati.

Množine se mogu zbrajati.

$$V_u = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

$$m_u = m_1 + m_2 + m_3 + \dots$$

$$n_u = n_1 + n_2 + n_3 + \dots$$

#### b) Priprema otopina:

1. Otapanjem tvari u otapalu
2. Razrjeđivanjem otopina
3. Miješanjem otopina istog sastava, ali različitih koncentracija

c) **Vrste otopina:**

1. Otopina čvrste tvari u tekućinama
2. Otopina tekućine u tekućini
3. Otopina plinova u tekućinama
4. Krute otopine (slitine, legure, kristali mješanci)

## 8.2. Razrjeđivanje kiselina

**Zadatak:**

- Prikazati postupak izračunavanja potrebne količine koncentrirane kiseline za pripremanje razrijeđene kiseline zadane koncentracije.
- Pripremiti otopinu zadane koncentracije iz koncentrirane sumporne kiseline.



Slika 8.1.1. Pribor i postupak pri razrjeđenju otopina

Izračunajte masenu koncentraciju koncentrirane sumporne kiseline prije razrjeđenja:

$$\gamma_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m_\xi(\text{H}_2\text{SO}_4)}{V(\text{otopine})} = \frac{w \cdot m(\text{otopine})}{V(\text{otopine})} = w \cdot \rho(\text{otopine})$$

$$\gamma_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,96 \cdot 1,84 \text{ g cm}^{-3} = 0,96 \cdot 1840 \text{ g dm}^{-3} = 1766,4 \text{ g dm}^{-3}$$

Izračunajte množinsku koncentraciju koncentrirane sumporne kiseline prije razrjeđenja:

$$c_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{n_\xi(\text{H}_2\text{SO}_4)}{V(\text{otopine})} = \frac{m_\xi(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{otopine})} = \frac{w \cdot m(\text{otopine})}{M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{otopine})}$$

$$c_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{w \cdot \rho(\text{otopine})}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{0,96 \cdot 1840 \text{ g dm}^{-3}}{98,076 \text{ g mol}^{-1}} = 18,01 \text{ mol dm}^{-3}$$

### POKUS 1:

**Pribor:** odmjerna tikvica od 250 mL, graduirane pipete od 20 mL i 10 mL, propipeta, stakleni lijevak, boca od 1000 mL sa staklenim čepom.

**Kemikalije:** koncentrirana sumporna kiselina, destilirana voda.

**Potrebno je pridržavati se uputa o radu s koncentriranom sumpornom kiselinom!**

Na naljepnici boce sumporne kiseline stoje podaci:  $\rho(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,84 \text{ g cm}^{-3}$ ,  $w = 96 \%$ .

Izračunajte potrebne podatke i upišite u tablicu 8.2.1.

Izračunajte koliko mL sumporne kiseline morate uzeti za pripremu 250 mL otopine množinske koncentracije  $2 \text{ mol dm}^{-3}$ .

$$n_1 = n_2$$

$$c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$$

$$V_1 = \frac{c_2 \cdot V_2}{c_1} = \frac{2 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 250 \text{ mL}}{18,01 \text{ mol dm}^{-3}} = 27,76 \text{ mL}$$

Tablica 8.2.1. Rezultati mjerenja pri razrjeđivanju sumporne kiseline

|   |              |
|---|--------------|
| gustoća koncentrirane $\text{H}_2\text{SO}_4$               | $\rho =$     |
| masena koncentracija koncentrirane $\text{H}_2\text{SO}_4$  | $\gamma_1 =$ |
| volumen koncentrirane $\text{H}_2\text{SO}_4$               | $V_1 =$      |
| traženi volumen razrijeđene $\text{H}_2\text{SO}_4$         | $V_2 =$      |
| množinska koncentracija razrijeđene $\text{H}_2\text{SO}_4$ | $c_2 =$      |

U odmjernu tikvicu pomoću lijevka ulijte 100 mL destilirane vode.

Propipetu namjestite na vrh pipete. Odmjerite ukupan volumen kiseline u pipetu, premjestite vrh u odmjernu tikvicu s malo vode i dodajte odmjereni volumen kiseline.

Potom dolijte još vode tako da ukupni volumen otopine bude 250 mL. Promiješajte dobivenu razrijeđenu kiselinu i spremite u bocu s čepom. Ne zaboravite staviti na bocu naljepnicu s podacima.

Objasnite kraticu – **VUK!** Zašto ne smijemo uliti kiselinu odmah u praznu odmjernu tikvicu, a onda dodati destiliranu vodu do oznake?

---

---

---

---



Objasnite zašto je sigurnije uliti malo vode, zatim kiselinu, a onda nadoliti vodu do oznake?

---

---

---

---

Opiši opažanja tijekom ulijevanja kiseline u vodu.

---

---

Tijekom uljevanja vode do oznake, je li se nešto promijenilo?

---

Prilikom razrjeđivanja koncentracija otopine se \_\_\_mijenja\_\_\_, dok se množina otopljene tvari \_\_\_ne mijenja\_\_\_.

Napišite to pomoću izraza za množinsku i masenu koncentraciju:

$$c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$$

$$\gamma_1 \cdot V_1 = \gamma_2 \cdot V_2$$

#### ZADATCI:

1. Na raspolaganju je koncentrirana klorovodična kiselina čiji je maseni udio 36 %, a gustoća 1,179 g cm<sup>-3</sup>. Opišite kako bi se od koncentrirane kiseline moglo prirediti 2 L razrijeđene kiseline koncentracije 120 mmol L<sup>-1</sup>?

$$\rho(\text{HCl}) = 1,179 \text{ g cm}^{-3} = 1179 \text{ g L}^{-1}$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{n(\text{HCl})}{V}$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{w(\text{HCl}) \cdot m}{M(\text{HCl}) \cdot V}$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{w(\text{HCl}) \cdot \rho}{M(\text{HCl})}$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{0,96 \cdot 1179 \text{ g L}^{-1}}{36,5 \text{ g mol}^{-1}} = 11,6 \text{ mol L}^{-1}$$

$$n(\text{HCl}) = c_2 \cdot V_2 = 0,120 \text{ mol L}^{-1} \cdot 2 \text{ L} = 0,24 \text{ mol}$$

$$V_1 = \frac{n(\text{HCl})}{c_1} = \frac{0,24 \text{ mol}}{11,6 \text{ mol L}^{-1}} = 0,0207 \text{ L} = 20,7 \text{ mL}$$

*Pipetom se otpipetira 20,7 mL koncentrirane kiseline, stavi u odmjernu tikvicu od 2L i nadopuni vodom do oznake.*

2. 75 cm<sup>3</sup> lužnate otopine razrijeđeno je na 225 cm<sup>3</sup>. Množinska je koncentracija dobivene otopine 0,2 mol/dm<sup>3</sup>. Kolika je množinska koncentracija početne otopine?

$$V_1(\text{otopine}) = 75 \text{ cm}^3 \quad c_1 = \frac{n_1}{V_1} \quad \rightarrow \quad n_1 = c_1 \cdot V_1$$

$$V_2(\text{otopine}) = 225 \text{ cm}^3$$

$$c_2(\text{lužine}) = 0,2 \text{ mol dm}^3 \quad c_2 = \frac{n_2}{V_2} \quad \rightarrow \quad n_2 = c_2 \cdot V_2$$

$$c_1(\text{lužine}) = ?$$

$$n_1 = n_2$$

$$c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$$

$$c_1 = \frac{c_2 \cdot V_2}{V_1} = \frac{0,2 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 225 \text{ cm}^3}{75 \text{ cm}^3} = 0,6 \text{ mol dm}^{-3}$$

3. Izračunajte:

a) volumen sumporne kiseline masenog udjela 96 % i gustoće 1,84 g cm<sup>-3</sup> potrebne za pripremu 250 mL otopine sumporne kiseline masene koncentracije 24,5 g/L .

$$w_1(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V_1(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot \rho(\text{H}_2\text{SO}_4) = V_2(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot \gamma_2(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

$$V_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{V_2(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot \gamma_2(\text{H}_2\text{SO}_4)}{w_1(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot \rho(\text{H}_2\text{SO}_4)}$$

$$V_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{250 \text{ mL} \cdot 24,5 \cdot 10^{-3} \text{ g mL}^{-1}}{0,96 \cdot 1,84 \text{ g mL}^{-1}} = 3,47 \text{ mL}$$

b) množinsku koncentraciju dobivene kiseline.

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{\gamma(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{24,5 \text{ g L}^{-1}}{98,08 \text{ g mol}^{-1}} = 0,250 \text{ mol L}^{-1}$$

4. Koliko treba uzeti koncentrirane kiseline za pripremu 400 mL otopine u kojoj je  $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ?

$$\gamma_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

$$\gamma_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,5 \text{ mol L}^{-1} \cdot 98,08 \text{ g mol}^{-1}$$

$$\gamma_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = 49,04 \text{ g L}^{-1}$$

$$\gamma_1 \cdot V_1 = \gamma_2 \cdot V_2$$

$$V_1(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{konc.}} = \frac{\gamma_2 \cdot V_2}{\gamma_1} = \frac{49,04 \text{ g L}^{-1} \cdot 0,4 \text{ L}}{1762 \text{ g L}^{-1}} = 0,0111 \text{ L}$$

$$V_1(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{konc.}} = 11,1 \text{ mL}$$

*Odgovor: Za pripremu 400 mL otopine sumporne kiseline koncentracije 0,5 mol L<sup>-1</sup> treba uzeti 11,1 mL 96 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i razrijediti do volumena 400 mL.*

5. Zadana je 20 % otopina klorovodične kiseline gustoće 1,10 g cm<sup>-3</sup>. Kolika je njena množinska koncentracija?

$$c = \frac{\rho \cdot w}{M} = \frac{1,10 \text{ g cm}^{-3} \cdot 0,2}{36,45 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0060 \text{ mol cm}^{-3} = 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$$

### 8.3. Miješanje kiselina različite koncentracije

#### Redoslijed aktivnosti:

1.) Nastavnik će učenike podijeliti u skupine. Nakon toga dva sata učenici će izvoditi eksperiment, odgovarati na pitanja i obraditi izmjerene podatke, napisati zaključke, riješiti numeričke zadatke iz priručnika i zadataka postavljenih na elektroničku platformu.

#### Zadatak:

- Pripremiti tri otopine sumporne kiseline različitih koncentracija.
- Odrediti pH razrijeđenih otopina sumporne kiseline.

#### POKUS 1:

**Pribor:** odmjerne tikvice od 50 mL, 100 mL i 250 mL, 2 pipete od 5 ili 10 mL, stakleni lijevak, 3 kapalice, 3 Petrijeve zdjelice.

**Kemikalije:** koncentrirana sumporna kiselina, destilirana voda.

Pripremljene su dvije otopine sumporne kiseline množinske koncentracije  $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$  i  $0,001 \text{ mol dm}^{-3}$ . Na temelju izračuna volumena odredite sami koju početnu otopinu ćete izabrati za razrjeđivanje i pripremanje zadane koncentracije otopine.

Prije pripreme razrijeđenih otopina sumporne kiseline treba izračunati volumen potreban za pripremu 50 mL otopine množinske koncentracije  $c_1 = 3,60 \text{ mmol dm}^{-3}$ , 250 mL otopine množinske koncentracije  $c_2 = 0,64 \text{ mmol dm}^{-3}$  i 100 mL otopine množinske koncentracije  $c_3 = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$ .

Prva otopina:

$$n_1 = n_2$$

$$c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$$

$$V_1 = \frac{c_2 \cdot V_2}{c_1} = \frac{3,60 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3} \cdot 50 \text{ mL}}{0,1 \text{ mol dm}^{-3}} = 1,8 \text{ mL}$$

Druga otopina:

$$n_1 = n_3$$

$$c_1 \cdot V_1 = c_3 \cdot V_3$$

$$V_1 = \frac{c_3 \cdot V_3}{c_1} = \frac{0,64 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3} \cdot 250 \text{ mL}}{0,1 \text{ mol dm}^{-3}} = 1,6 \text{ mL}$$

Treća otopina:

$$n_1 = n_4$$

$$c_1 \cdot V_1 = c_4 \cdot V_4$$

$$V_1 = \frac{c_4 \cdot V_4}{c_1} = \frac{1,40 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3} \cdot 100 \text{ mL}}{0,001 \text{ mol dm}^{-3}} = 1,4 \text{ mL}$$

Odmjerite izračunati volumen koncentrirane sumporne kiseline pomoću pipete.

U odmjernu tikvicu ulijte do pola destilirane vode, dodajte odmjereni volumen kiseline i potom dolijte još vode tako da ukupni volumen otopine bude zadani volumen. Promiješajte sadržaj.

Uzmite kapalicom nekoliko kapi i kapnite u Petrijevu zdjelicu. Pomoću univerzalnog lakmus papira odredite pH otopine.

Tablica 8.3.1. Izračunati volumen koncentrirane kiseline za pripremu otopina i pH otopina

|            | $V_1/\text{mL}$ | Boja indikatora | pH | $\text{pH}_{\text{izračunati}}$ |
|------------|-----------------|-----------------|----|---------------------------------|
| 1. otopina |                 |                 |    |                                 |
| 2. otopina |                 |                 |    |                                 |
| 3. otopina |                 |                 |    |                                 |

Izračunajte pH otopine sumporne kiseline prema zadanim množinskim koncentracijama i upišite u tablicu. ( $K_{a1} = \text{jako disocira}$ ,  $K_{a2} = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ )

Usporedite izračunati pH s procijenjenim vrijednostima pH otopine pomoću univerzalnog indikatora.

Zaključak:

#### Zadatak:

- Odrediti pH-vrijednost otopine nastale miješanjem triju otopina kiseline različitih koncentracija.
- Odrediti množinu otopine nastale miješanjem sumporne kiseline različitih koncentracija.
- Odrediti množinsku koncentraciju otopine nastale miješanjem sumporne kiseline različitih koncentracija.

#### POKUS 2:

**Pribor:** 3 tikvice od 150 mL, tri pipete, propipeta, Petrijeva zdjelica, 3 kapalice.

**Kemikalije:** 3 otopine sumporne kiseline različitih koncentracija.

Pomoću pipete odmjerite otopinu sumporne kiseline koncentracije  $3,60 \text{ mmol dm}^{-3}$  i ulijte 30 mL u jednu, 1 mL u drugu i 1 mL u treću tikvicu.

Pomoću druge pipete odmjerite otopine sumporne kiseline koncentracije  $0,64 \text{ mmol dm}^{-3}$  te ulijte 10 mL u prvu tikvicu, 50 mL u drugu tikvicu i 5 mL u treću tikvicu.

Pomoću treće pipete odmjerite otopine sumporne kiseline koncentracije  $1,40 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$  te ulijte 5 mL u prvu tikvicu, 20 mL u drugu tikvicu i 60 mL u treću tikvicu.

Kružnim pokretima promiješajte sadržaj tikvica.

Procijenite vrijednosti pH polaznih otopina univerzalnim indikatorskim papirom.

$\text{pH}_1 =$

$\text{pH}_2 =$

$\text{pH}_3 =$

Izračunajte množinu sumporne kiseline u prvoj tikvici nastale miješanjem triju kiselina različitih koncentracija?

$$n = n_1 + n_2 + n_3 =$$

$$n_1 = c_1 \cdot V_1 =$$

$$n_2 = c_2 \cdot V_2 =$$

$$n_3 = c_3 \cdot V_3 =$$

Izračunajte množinu sumporne kiseline u drugoj tikvici nastale miješanjem triju kiselina različitih koncentracija?

$$n = n_1 + n_2 + n_3 =$$

$$n_1 = c_1 \cdot V_1 =$$

$$n_2 = c_2 \cdot V_2 =$$

$$n_3 = c_3 \cdot V_3 =$$

Izračunajte množinu sumporne kiseline u trećoj tikvici nastale miješanjem triju kiselina različitih koncentracija?

$$n = n_1 + n_2 + n_3 =$$

$$n_1 = c_1 \cdot V_1 =$$

$$n_2 = c_2 \cdot V_2 =$$

$$n_3 = c_3 \cdot V_3 =$$

Kolika je množinska koncentracija otopine u prvoj tikvici?

$$c = \frac{n}{V} =$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 =$$

Kolika je množinska koncentracija otopine u drugoj tikvici?

$$c = \frac{n}{V} =$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 =$$

Kolika je množinska koncentracija otopine u trećoj tikvici?

$$c = \frac{n}{V} =$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 =$$

Izračunaj pH vrijednost otopina:

$$\text{pH}_1 =$$

$$\text{pH}_2 =$$

$$\text{pH}_3 =$$

Jesu li pH-vrijednosti otopina određenih pomoću indikatora i izračunatih međusobno jednake?

Objasni zašto.

Nacrtajte grafički prikaz ovisnosti pH-vrijednosti o množinskoj koncentraciji otopine prije i nakon miješanja u sve tri tikvice.

|            |            |            |
|------------|------------|------------|
|            |            |            |
| 1. otopina | 2. otopina | 3. otopina |

Slika 8.3.1. Grafički prikaz ovisnosti pH-vrijednosti o množinskoj koncentraciji otopine prije i nakon miješanja u sve tri tikvice

**ZADATCI:**

1. Od otopina klorovodične kiseline množinske koncentracije  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  i otopine množinske koncentracije  $3,3 \text{ mol L}^{-1}$  treba prirediti  $10 \text{ L}$  otopine množinske koncentracije  $1,8 \text{ mol L}^{-1}$ . Kolike volumene ishodnih otopina treba odmjeriti i promiješati?

$$c_1 = 0,2 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$c_2 = 3,3 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$V_3 = 10 \text{ L} = 10 \text{ dm}^3$$

$$c_3 = 1,8 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$V_1 = ?, V_2 = ?$$

$$n_3 = n_1 + n_2$$

$$c_3 \cdot V_3 = c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2$$

$$c_3 \cdot V_3 = c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot (V_3 - V_1)$$

$$V_1 = \frac{(c_3 - c_2) \cdot V_3}{c_1 - c_2} = \frac{(1,8 \text{ mol dm}^{-3} - 3,3 \text{ mol dm}^{-3}) \cdot 10 \text{ dm}^3}{0,2 \text{ mol dm}^{-3} - 3,3 \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$V_1 = \frac{-15 \text{ mol}}{-3,1 \text{ mol dm}^{-3}} = 4,84 \text{ dm}^3$$

$$V_2 = V_3 - V_1 = 10 \text{ dm}^3 - 4,84 \text{ dm}^3 = 5,16 \text{ dm}^3$$

$$V_3 = V_1 + V_2$$

$$V_2 = V_3 - V_1$$

2. Miješanjem  $10 \text{ mL}$  otopine natrijevog hidroksida koncentracije  $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$  i  $0,001 \text{ mol dm}^{-3}$  u kojem će rasponu biti množinska koncentracija otopine?

$$V_1 = V_2 = V$$

$$c = \frac{n}{V} = \frac{n_1 + n_2}{V_1 + V_2} = \frac{(c_1 + c_2) \cdot V}{2 \cdot V} = \frac{(0,1 + 0,001) \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-3}} = 0,0505 \text{ mol dm}^{-3}$$

3. Razrijeđena vodena otopina vodikova peroksida volumnog udjela 5 % rabi se za izbjeljivanje kose, a priprema se iz koncentrirane otopine u kojoj je volumni udio  $\text{H}_2\text{O}_2$  30 %. Koliki je volumen koncentrirane otopine potreban za pripremu 250 mL razrijeđene otopine.

$$\varphi_1 = 5 \% = 0,05$$

$$\varphi_2 = 30 \% = 0,30$$

$$V_1 = 250 \text{ mL}$$

$$V_2 = ?$$

$$m_1 = m_2$$

$$V_1 \cdot \varphi_1 = V_2 \cdot \varphi_2$$

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot \varphi_1}{\varphi_2} = \frac{250 \text{ mL} \cdot 0,05}{0,30} = 41,67 \text{ mL}$$

4. Prikažite računom kako se priprema 0,5 L octene kiseline masenog udjela 15 % iz kiseline masenog udjela 60 %. Koliki je volumen koncentrirane kiseline potrebno uzeti?

$$\varphi_1 = 15 \% = 0,15$$

$$m_1 = m_2$$

$$\varphi_2 = 60 \% = 0,60$$

$$V_1 \cdot \varphi_1 = V_2 \cdot \varphi_2$$

$$V_1 = 0,5 \text{ L}$$

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot \varphi_1}{\varphi_2} = \frac{0,5 \text{ L} \cdot 0,15}{0,60} = 0,125 \text{ L}$$

$$V_2 = ?$$

5. Otapanjem 4 mola neke tvari pripravljena je otopine množinske koncentracije  $c_1$ . Koliko će se promijeniti množinska koncentracija otopine  $c_2$  ako povećamo volumen otopine 2 puta?

a)  $c_1 = 4 c_2$ ,

b)  $c_2 = 4 c_1$ ,

c)  $c_2 = 2 c_1$ ,

d)  $c_1 = 2 c_2$ .

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{\frac{n}{V_2}}{\frac{n}{V_1}} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1}{2 \cdot V_1} = \frac{1}{2} \rightarrow c_1 = 2 \cdot c_2$$

6. Otopina šećera masenog udjela 10 % priređuje se otapanjem:

a) 1 g šećera u 20 mL vode,

c) 2 g šećera u 20 mL vode,

b) 2 g šećera u 18 mL vode,

d) 1 g šećera u 19 g vode.

$$w = \frac{m(\text{šećera})}{m(\text{šećera}) + m(\text{vode})}$$

$$w = \frac{2 \text{ g}}{2 \text{ g} + 18 \text{ g}} = 0,10$$

7. Razrjeđivanjem otopine dodatkom vode koja kemijska vrijednost ostaje nepromijenjena?

a) množinska koncentracije otopine,

c) množina otopljene tvari,

b) volumen otopine,

d) gustoća otopine.

## 9. VOLUMETRIJA

### Redoslijed aktivnosti:

- 1.) Nastavnik će provjeriti pripremljenost učenika za izradu eksperimenta pomoću pripremljene kratke provjere. Nakon toga tri sata učenici će izvoditi eksperiment, odgovarati na pitanja i obraditi izmjerene podatke, napisati zaključke.
- 2.) Jedan sat predviđen je za rješavanje numeričkih zadataka iz priručnika i zadataka postavljenih na elektroničku platformu.

### Uvod

Volumetrija je analitička tehnika koja se sastoji u tome da se analitu doda ekvivalentna količina reagensa točno poznate koncentracije. Iz stehiometrijskog odnosa i volumena dodanog reagensa izračunavamo količinu tražene tvari. Određivanja se izvode na način da se otopini tvari koja se određuje dodaje otopina reagensa poznate koncentracije sve dok određivana tvar potpuno ne izreagira s reagensom. Opisana operacija naziva se *titracijom*, reagens kojim se vrši titracija naziva se *titrans*, a titrirana tvar *analitom*.

Zbog toga se volumetrijske metode analize nazivaju i *titrimetrijskim metodama*.

Za provedbu titracije potrebno je, osim otopine uzorka i standard otopine, imati i indikator koji će pokazati točku završetka titracije, tj. koji će dati neku vidljivu promjenu u otopini u trenutku kad je reakcija završena.

Tablica 9.1. Poznatiji indikatori i raspon promjene boje ovisno o pH-vrijednosti otopine

| Indikator        | Raspon prijelaza (pH) | Promjena boje |                |
|------------------|-----------------------|---------------|----------------|
|                  |                       | kiselina      | baza           |
| metilviolet      | 0-2                   | žuta          | ljubičasta     |
| malahitnozeleno  | 0-2                   | žuta          | zeleno         |
| timolplavo       | 1,2 - 2,8             | crveno        | žuto           |
| metilžuto        | 2,4 - 4,0             | crveno        | žuto           |
| metilorange      | 3,2 – 4,4             | crveno        | narančasto     |
| bromfenolplavo   | 3,0 – 4,6             | žuto          | plavo          |
| bromkrezolzeleno | 3,8 – 5,4             | žuto          | plavo          |
| metilcrveno      | 4,2 – 6,2             | crveno        | žuto           |
| metilpurpužno    | 4,8 – 5,4             | purpužno      | zeleno         |
| bromtimolplavo   | 6,0 – 7,6             | žuto          | plavo          |
| neutralnocrveno  | 6,8 – 8,0             | crveno        | žutonarančasto |
| metilorange      | 7,0 - 14              | narančasto    | žuto           |
| krezolcrveno     | 7,2 – 8,8             | žuto          | purpužnocrveno |
| timolplavo       | 8,0 – 9,6             | žuto          | plavo          |
| fenolftalein     | 8,3 – 9,8             | bezbojan      | purpužan       |
| timolftalein     | 9,0 – 10,5            | bezbojan      | plavo          |
| alizarinžuto     | 10,1 – 12,0           | bezbojan      | ljubičasto     |
| indigokarmin     | 11,4 - 13             | plavo         | žuto           |
| malahitnozeleno  | 11,6 - 14             | zeleno        | bezbojno       |



Najprikladniji pH indikator koji se treba izabrati mora imati raspon pH vrijednosti gdje je promjena boje očita i mora obuhvaćati pH točke ekvivalencije otopine koja se titrira.

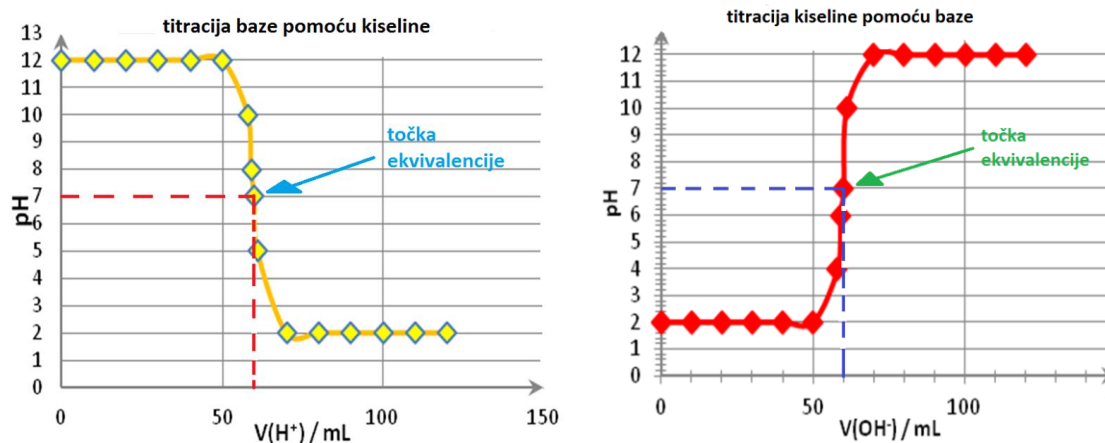
Kiselno-baznim titracijama određuju se kiseline, lužine, soli jakih kiselina i slabih baza i soli jakih baza i slabih kiselina. Kako se reakcija između ekvivalentne količine kiseline i lužine zove neutralizacija, volumetrijske metode zasnovane na ovim reakcijama nazivaju se i metodama neutralizacije.

Ekvivalentna točka titracije bit će pri pH 7 samo kod titracije jakih kiselina s jakim lužinama i obratno, dok će u svim drugim slučajevima ekvivalentna točka biti pomaknuta u kiselu ili bazno područje, ovisno o hidrolizi nastale soli.

Vizualno određivanje završne točke opterećeno je subjektivnim faktorima, a ne može se koristiti u mutnim i obojenim otopinama.

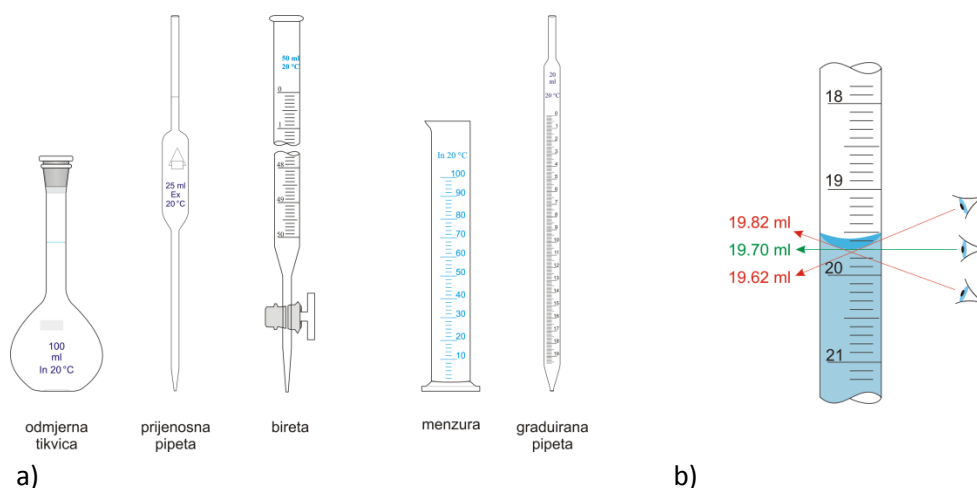
Indikator mijenja boju otopine nakon što je dodana jedna kap više titranta pa zbog toga postoji razlika između točke ekvivalencije i završne točke titracije i to se naziva pogreška završne točke.

Titracijska krivulja ima karakterističan sigmoidalni oblik. Dio krivulje s maksimalnom promjenom potencijala ekvivalentna je točka titracije. Točku ekvivalencije možemo točnije odrediti iz diferencijalne krivulje  $\frac{\Delta E}{\Delta V}$  gdje maksimum krivulje određuje točku ekvivalencije.



Slika 9.1. Titracijske krivulje: a) baze s kiselinom i b) kiseline s bazom

Za točna mjerenja volumena u kvantitativnoj analizi upotrebljavaju se odmjerne tikvice, prijenosne pipete i birete, a za mjerenja volumena čija točnost nije toliko važna koriste se menzure i graduirane pipete. Sav stakleni pribor izrađuje se od stabilnog i kemijski otpornog stakla, iako treba pripaziti jer ni ovo staklo nije otporno na jake lužine. Međunarodni je dogovor da se sve odmjerne analitičko posuđe baždari pri 20 °C.



Slika 9.2. a) Volumetrijsko posuđe i  
b) pravilan način očitavanja razine tekućine u odmjernom posuđu

### Napomena nastavniku:

Otopinu NaOH treba pripremiti neposredno prije izvođenja eksperimenta jer je otopina izrazito higroskopna. Izvažite određenu masu NaOH pomoću analitičke vage i otopite u određenom volumenu destilirane vode. Najlakše je za to uzeti odmjernu tikvicu određenog volumena.

Izračunajte koncentraciju otopine NaOH. Učeničke rezultate titrimetrije možemo tako usporediti i vidjeti koliko su bili precizni pri mjerenju.

$$c(\text{NaOH}) = \frac{n(\text{NaOH})}{V(\text{otopine})} = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH}) \cdot V(\text{otopine})}$$

Kao otopinu sumporne kiseline može se iskoristiti pripravljena otopina koja je napravljena tijekom eksperimenta razrjeđivanje kiseline. Ona je pogodnija od klorovodične kiseline koja lako isparava, a time se mijenja množinska koncentracija.

### Primjeri zadataka za provjeru pripremljenosti za izradu eksperimenta:

1. Fenolftalein mijenja boju iz bezbojne u purpurnu u:

- a) kiselom,                      b) neutralnom,                      c) bazičnom.

2. Reakciju kiseline u vodi nazivamo:

- a) hidroliza,                      c) disocijacija,  
b) neutralizacija,                      d) disproporcioniranje.

3. Točka ekvivalencije tijekom titracije otopine jest točka u kojoj je: (dva su odgovora točna)

- a) došlo do promjene boje otopine pomoću kiselinsko-baznog indikatora,  
b) koncentracija oksonijevih iona jednaka koncentraciji hidroksidnih iona,  
c) otopina neutralna, a kiselinsko-bazni indikator promijenio je boju otopine,  
d) pH otopine jednak je 7, ali kiselinsko-bazni indikator nije promijenio boju otopine.

4. Smjestite nazive, kemijske formule i označi s x jakost kiseline na odgovarajuće mjesto u tablici:

|    | Ime kiseline | Kemijska formula     | Slabe kiseline | Jake kiseline |
|----|--------------|----------------------|----------------|---------------|
| 1. | perklorna    |                      |                |               |
| 2. |              | HNO <sub>2</sub>     |                |               |
| 3. | sumporasta   |                      |                |               |
| 4. |              | CH <sub>3</sub> COOH |                |               |

5. Kiselo-bazni indikatori najčešće su \_\_\_\_\_ kiseline ili \_\_\_\_\_ baze čiji je molekularni oblik u otopini drugačije obojan od ionskog oblika.

**Zadatak:**

- Odrediti koncentraciju nepoznate baze poznatog volumena na temelju utrošenog volumena kiseline poznate koncentracije.
- Predvidjeti koji će se kiselinsko-bazni indikator koristiti tijekom eksperimenta.
- Napisati kemijsku reakciju neutralizacije.
- Izračunati pH otopine prije i nakon titracije.
- Nacrtati grafički prikaz promjene pH otopine tijekom reakcije kiseline i baze.
- Provjeriti zakon o količini oksidnih iona i hidroksidnih iona u točki ekvivalencije.

**POKUS 1.**

**Pribor:** propipeta, pipeta, 2 tikvice, menzura.

**Kemikalije:** otopina natrijevog hidroksida nepoznate koncentracije.

**Zadatak:** Pripremiti otopinu natrijevog hidroksida za titriranje.

Ispužite propipetu, namjestite je na pipetu.

Usišite 20 mL otopine natrijevog hidroksida i ispustite u jednu, a onda istu količinu i u drugu tikvicu.

Ulijte u menzuru 15 mL destilirane vode i usipajte u tikvicu. Istu količinu destilirane vode ulijte u drugu tikvicu.

Dobro promiješajte kružnim pokretima sadržaje u tikvicama.

Izračunajte ukupni volumen otopine natrijevog hidroksida:

$$V_U = V_{NaOH} + V_v =$$

## POKUS 2.

**Pribor:** stalak, klema, bireta, čaša, kapalica, tikvice s pripremljenom otopinom natrijevog hidroksida.

**Kemikalije:** otopina sumporne kiseline  $c = 0,021 \text{ mol dm}^{-3}$ , otopina natrijevog hidroksida nepoznate koncentracije, fenolftalein, metiloranž.

**Zadatak:** Odrediti nepoznatu koncentraciju otopine natrijevog hidroksida pomoću sumporne kiseline.

Ulijte u biretu od 25 mL sumpornu kiselinu do oznake 0 mL tako da konus dodiruje crticu koja označava 0 mL (tako će ukupni volumen biti 25 mL otopine).

Višak isпустite u čašu.

Kapnite u tikvicu dvije kapi odgovarajućeg indikatora.

Stavite tikvicu s otopinom natrijevog hidroksida i indikatora ispod birete.

Otvorite ventil birete i namjestite da kapa kap po kap uz konstantno miješanje tikvice – kružnim pokretima.

Kad otopina promijeni boju, zatvorite ventil birete i očitajte volumen kiseline.

$V_{k1} =$

Ponovite postupak s drugom tikvicom:

$V_{k2} =$

**Odgovorite i izračunajte:**

1. Koji ste indikator upotrijebili?

\_\_\_\_\_

2. Što opažate? (Opišite sve što te vidjeli tijekom izvođenja pokusa.)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3. Objasnite opažanja. (Zašto se to dogodilo?)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Izračunajte srednju vrijednost volumena kiseline:

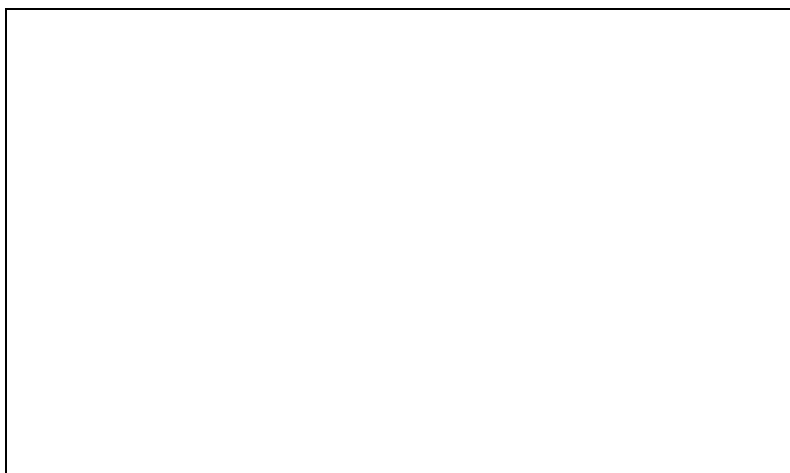
4. Napišite kemijsku reakciju:

5. Kako nazivamo tu reakciju?

---

6. Izračunajte množinsku koncentraciju nepoznate otopine natrijevog hidroksida.

7. Nacrtajte titracijsku krivulju. Označite točku ekvivalencije s oznakom **A**.



8. Odredite pH kiseline.

9. Odredite pH pripremljene baze.

**Razmislite i odgovorite:**

1. Kako biste odredili jakost kiseline u alkoholnom octu koji koristimo u prehrani?
2. Objasnite zašto uz kiseline u laboratoriju stoji soda bikarbona, a uz baze octena kiselina.
3. Zašto se ubod ose tretira sokom od rajčice, a ubod pčele ili mrava gazom natopljenom otopinom sode bikarbone?

**ZADATCI:**

1. Množinska je koncentracija hidroksidnih iona u otopini  $3,236 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ . Izračunajte koncentraciju oksonijevih iona u otopini i pOH vrijednost otopine.

$$c(\text{OH}^-) = 3,236 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = ?, \text{ pOH} = ?$$

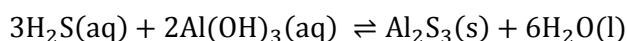
$$\text{pOH} = \frac{-\log[\text{OH}^-]}{\text{mol dm}^{-3}} = \frac{-\log[3,236 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}]}{\text{mol dm}^{-3}} = 3,49$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 10,51$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \cdot \text{mol dm}^{-3} = 3,090 \cdot 10^{-11} \text{ mol dm}^{-3}$$

2. Za titraciju 60,0 mL otopine sumporovodične kiseline nepoznate koncentracije utroši se 45,0 mL aluminijske lužine množinske koncentracije  $2,150 \text{ mol dm}^{-3}$ . Izračunajte množinsku koncentraciju sumporovodične kiseline.

$$V_1(\text{H}_2\text{S}) = 60,0 \text{ mL}$$



$$V_2(\text{Al}(\text{OH})_3) = 45,0 \text{ mL}$$

$$c_2(\text{Al}(\text{OH})_3) = 2,150 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$n_1(\text{H}_2\text{S}) : n_2(\text{Al}(\text{OH})_3) = 3 : 2$$

$$c_1(\text{H}_2\text{S}) = ?$$

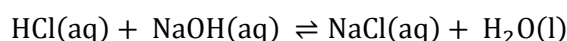
$$2 n_1(\text{H}_2\text{S}) = 3 n_2(\text{Al}(\text{OH})_3)$$

$$2 \cdot c_1(\text{H}_2\text{S}) \cdot V_1(\text{H}_2\text{S}) = 3 \cdot c_2(\text{Al}(\text{OH})_3) \cdot V_2(\text{Al}(\text{OH})_3)$$

$$c_1(\text{H}_2\text{S}) = \frac{3 \cdot c_2(\text{Al}(\text{OH})_3) \cdot V_2(\text{Al}(\text{OH})_3)}{2 \cdot V_1(\text{H}_2\text{S})} = \frac{3 \cdot 2,150 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 45,0 \text{ mL}}{2 \cdot 60,0 \text{ mL}} = 2,419 \text{ mol dm}^{-3}$$

3. Izračunajte pH otopine koja se dobije miješanjem 50 mL natrijeva hidroksida koncentracije  $c(\text{NaOH}) = 0,1 \text{ mol L}^{-1}$  i 40 mL kloridne kiseline koncentracije  $c(\text{HCl}) = 0,12 \text{ mol L}^{-1}$ .

$$V_1(\text{NaOH}) = 50 \text{ mL}$$



$$c_1(\text{NaOH}) = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$n_1(\text{NaOH}) : n_2(\text{HCl}) = 1 : 1$$

$$V_2(\text{HCl}) = 4 \text{ mL}$$

$$n_1(\text{NaOH}) = c_1(\text{NaOH}) \cdot V_1(\text{NaOH}) = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$c_2(\text{HCl}) = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$\text{pH} = ?$$

$$n_2(\text{HCl}) = c_2(\text{HCl}) \cdot V_2(\text{HCl}) = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\Delta n(\text{OH}^-)_{\text{suvišak}} = n_1(\text{NaOH}) - n_2(\text{HCl}) = 2 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$c(\text{OH}^-) = \frac{\Delta n}{V_u} = \frac{2 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{90 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3} = 2,22 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$\text{pOH} = \frac{-\log[\text{OH}^-]}{\text{mol dm}^{-3}} = \frac{-\log[2,22 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}]}{\text{mol dm}^{-3}} = 2,65$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 11,35$$

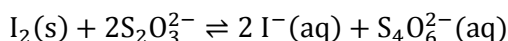
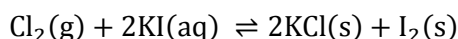
4. Uzorak piroluzita ( $\text{MnO}_2$ ) mase 0,2352 g zagrijava se s viškom HCl i destilat se hvata u otopinu KI. Oslobođeni jod za titraciju troši 47,82 mL otopine  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  koncentracije  $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,1123 \text{ mol L}^{-1}$ . Izračunajte maseni udio  $\text{MnO}_2$  u uzorku. Napišite jednadžbe reakcija.

$$m(\text{MnO}_2) = 0,2352 \text{ g}$$

$$V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 47,82 \text{ mL} = 47,82 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3$$

$$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,1123 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$n_o(\text{MnO}_2) = \frac{m(\text{MnO}_2)}{M(\text{MnO}_2)} = \frac{0,2352 \text{ g}}{86,9368 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0027 \text{ mol}$$



$$n(\text{MnO}_2) : n(\text{Cl}_2) : n(\text{I}_2) : n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 1 : 1 : 1 : 2$$

$$2 n(\text{MnO}_2) = n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})$$

$$n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \cdot V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,1123 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 47,82 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 =$$

$$n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 0,00537 \text{ mol}$$

$$n(\text{MnO}_2) = \frac{n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})}{2} = 0,002685093 \text{ mol}$$

$$m(\text{MnO}_2) = n(\text{MnO}_2) \cdot M(\text{MnO}_2) = 0,2334 \text{ g}$$

$$w = \frac{m_{re}}{m_u} \cdot 100 \% = \frac{0,2334 \text{ g}}{0,2352 \text{ g}} \cdot 100 \% = 99,25 \%$$

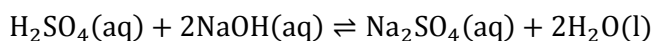
5. Nađite koncentraciju otopine  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ako 27,80 mL treba za neutralizaciju 25 mL otopine NaOH koncentracije  $c(\text{NaOH}) = 0,4280 \text{ mol L}^{-1}$ .

$$V_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = 27,80 \text{ mL}$$

$$V_2(\text{NaOH}) = 25 \text{ mL}$$

$$c_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = ?$$

$$c_2(\text{NaOH}) = 0,4280 \text{ mol dm}^{-3}$$



$$n_1(\text{H}_2\text{SO}_4) : n_2(\text{NaOH}) = 1 : 2$$

$$2 n_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = n_2(\text{NaOH})$$

$$2 \cdot c_1(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = c_2(\text{NaOH}) \cdot V_2(\text{NaOH})$$

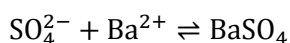
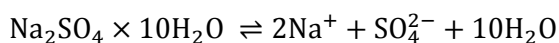
$$c_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{c_2(\text{NaOH}) \cdot V_2(\text{NaOH})}{2 \cdot V_1(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{0,4280 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 25 \text{ mL}}{2 \cdot 27,80 \text{ mL}} = 0,1924 \text{ mol dm}^{-3}$$

6. Koliko mL barijeva klorida ( $\text{BaCl}_2$ ) množinske koncentracije  $c(\text{BaCl}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}) = 0,3680 \text{ mol L}^{-1}$  treba za taloženje sulfata u otopini koja sadrži  $10,00 \text{ g Na}_2\text{SO}_4 \times 10 \text{ H}_2\text{O}$ ?

$$c(\text{BaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}) = 0,3680 \text{ mol dm}^{-3} \quad m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10 \text{ H}_2\text{O}) = 10,00 \text{ g}$$

$$V(\text{BaCl}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}) = ?$$

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10 \text{ H}_2\text{O})}{M(\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10 \text{ H}_2\text{O})} = \frac{10,00 \text{ g}}{322,1896 \text{ g mol}^{-1}} = 0,03104 \text{ mol}$$



$$n(\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}) : n(\text{SO}_4^{2-}) : n(\text{BaCl}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}) : n(\text{Ba}^{2+}) = 1 : 1 : 1$$

$$n_1(\text{BaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}) = n_2(\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10 \text{ H}_2\text{O})$$

$$c_1(\text{BaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}) \cdot V_1(\text{BaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}) = n_2(\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10 \text{ H}_2\text{O})$$

$$V_1(\text{BaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}) = \frac{n_2(\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O})}{c_1(\text{BaCl}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O})} = \frac{0,03104 \text{ mol}}{0,3680 \text{ mol dm}^{-3}} = 0,0843 \text{ dm}^3 = 84,34 \text{ mL}$$

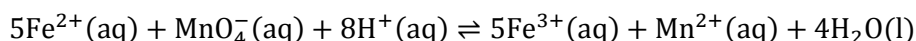
7. Uzorak minerala željeza mase  $0,5000 \text{ g}$  otopljen je i željezo pripremljeno za titraciju s  $\text{KMnO}_4$ . Ako se kod titracije utroši  $18,00 \text{ mL}$  otopine  $\text{KMnO}_4$  množinske koncentracije  $0,0198 \text{ mol L}^{-1}$ , izračunajte maseni udio željeza u uzorku.

$$m(\text{spoja}) = 0,5000 \text{ g}$$

$$V(\text{KMnO}_4) = 18,00 \text{ mL}$$

$$c(\text{KMnO}_4) = 0,0198 \text{ mol dm}^3$$

$$w(\text{Fe, spoju}) = ?$$



$$n(\text{Fe}^{2+}) : n(\text{MnO}_4^-) = 5 : 1$$

$$n(\text{Fe}^{2+}) = 5 \cdot n(\text{MnO}_4^-) = 5 c(\text{KMnO}_4) \cdot V(\text{KMnO}_4) =$$

$$n(\text{Fe}^{2+}) = 5 \cdot 0,0198 \text{ mol dm}^3 \cdot 18,00 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 = 0,001782 \text{ mol}$$

$$m(\text{Fe}) = n(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = 0,001782 \text{ mol} \cdot 55,85 \text{ g mol}^{-1} = 0,0995 \text{ g}$$

$$w(\text{Fe, spoju}) = \frac{m(\text{Fe})}{m(\text{spoja})} \cdot 100 \% = \frac{0,0995 \text{ g}}{0,5000 \text{ g}} \cdot 100 \% = 19,90 \%$$



8. Koji je volumen koncentrirane dušične kiseline masenog udjela 69,2 % i gustoće 1,51 g cm<sup>-3</sup> potreban za pripravu 800 mL otopine HNO<sub>3</sub> koncentracije 0,400 mol L<sup>-1</sup>?

$$w(\text{HNO}_3)_\xi, 69,2 \% \text{ HNO}_3 \text{ otopina) = } 69,2 \% = 0,692$$

$$\rho_1(69,2 \% \text{ otopina) = } 1,51 \text{ g cm}^{-3}$$

$$V_2(\text{HNO}_3) = 800 \text{ mL}$$

$$c_2(\text{HNO}_3) = 0,4 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$V_1(69,2 \% \text{ otopina) = ?}$$

$$m(\text{HNO}_3)_\xi = c_2 \cdot V_2 \cdot M(\text{HNO}_3) =$$

$$m(\text{HNO}_3)_\xi = 0,4 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 800 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 \cdot 63,0162 \text{ g mol}^{-1} =$$

$$m(\text{HNO}_3)_\xi = 20,165 \text{ g}$$

$$w(\text{HNO}_3)_\xi, 69,2\% \text{ ot.)} = \frac{m(\text{HNO}_3)_\xi}{m(69,2 \% \text{ ot.)}} = \frac{m(\text{HNO}_3)_\xi}{\rho_1(69,2 \% \text{ ot.)} \cdot V_1(69,2 \% \text{ ot.)}} =$$

$$V_1(69,2\% \text{ ot.)} = \frac{m(\text{HNO}_3)_\xi}{\rho_1(69,2 \% \text{ ot.)} \cdot w(\text{HNO}_3)_\xi, 69,2 \% \text{ ot)} =$$

$$V_1(69,2\% \text{ ot.)} = \frac{20,165 \text{ g}}{1,51 \text{ g cm}^{-3} \cdot 0,692} = 19,30 \text{ cm}^3$$

9. Koji je volumen dušične kiseline masenog udjela 68 % i gustoće  $\rho = 1,405 \text{ g mL}^{-1}$  potreban za neutralizaciju 500 mL otopine Ca(OH)<sub>2</sub> koncentracije  $c(\text{Ca(OH)}_2) = 0,4 \text{ mol L}^{-1}$ ?

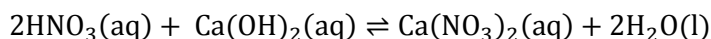
$$w(\text{HNO}_3)_\xi, 68,0 \% \text{ HNO}_3 \text{ otopina) = } 68,0 \% = 0,680$$

$$\rho_1(68 \% \text{ otopina) = } 1,405 \text{ g cm}^{-3}$$

$$V_2(\text{Ca(OH)}_2) = 500 \text{ mL}$$

$$c_2(\text{Ca(OH)}_2) = 0,4 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$V_1(68 \% \text{ otopina) = ?}$$



$$n_1(\text{HNO}_3) : n_2(\text{Ca(OH)}_2) = 2 : 1$$

$$n_1(\text{HNO}_3) = 2 \cdot n_2(\text{Ca(OH)}_2) = 2 \cdot c_2(\text{Ca(OH)}_2) \cdot V_2(\text{Ca(OH)}_2) =$$

$$n_1(\text{HNO}_3) = 2 \cdot 0,4 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 500 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 = 0,4 \text{ mol}$$

$$m_1(\text{HNO}_3)_\xi = n_1(\text{HNO}_3) \cdot M(\text{HNO}_3) = 0,4 \text{ mol} \cdot 63,0162 \text{ g mol}^{-1} = 25,206 \text{ g}$$

$$w(\text{HNO}_3)_\xi, 68,0 \% \text{ otopina) = } \frac{m(\text{HNO}_3)_\xi}{m(68 \% \text{ otopina)} = \frac{m(\text{HNO}_3)_\xi}{\rho_1(68\% \text{ otopina)} \cdot V_1(68 \% \text{ otopina)}$$

$$V_1(68,0 \% \text{ otopina) = } \frac{m(\text{HNO}_3)_\xi}{\rho_1(68 \% \text{ otopina)} \cdot w(\text{HNO}_3)_\xi, 68 \% \text{ otopina)} =$$

$$V_1(68,0 \% \text{ otopina) = } \frac{25,206 \text{ g}}{1,405 \text{ g cm}^{-3} \cdot 0,680} = 26,38 \text{ cm}^3$$

## 10. HIDROLIZA SOLI

### Redosljed aktivnosti:

- 1.) Jedan sat potreban je za obnavljanje gradiva o hidrolizi soli. Mogu se koristiti i neke od RCWT tehnika rada. Kao provjeru točnosti odgovora može se koristiti virtualni pokus.
- 2.) Dva sata predviđena su da učenici pomoću pokus, koji rade u skupini ponove reakcije hidrolize soli, obrade izmjerene podatke, odgovore na pitanja i napišu zaključke.
- 3.) Jedan sat predviđen je za rješavanje problemskih i računskih zadataka.

### Uvod

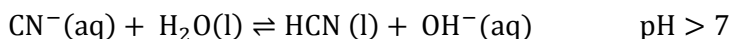
Hidroliza je kemijska reakcija iona soli s vodom. Iako je jedan od načina dobivanja soli reakcija neutralizacije, vodene otopine soli mogu biti neutralne, kisele ili lužnate. U skladu s time te otopine mogu imati pH-vrijednost 7, veću od 7 ili manju od 7. Svojstva otopina soli ovise o sastavu soli.

Soli koje se sastoje od kationa koji potječe iz jake baze i aniona iz jake kiseline (NaCl) nisu podložne hidrolizi i njihova je vodena otopina neutralna.

Soli koje podliježu hidrolizi razvrstavaju se u tri skupine:

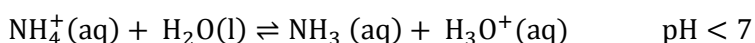
1. Soli čije su otopine bazične (formalno nastaju neutralizacijom jake baze i slabe kiseline)

Primjer: kalijev cijanid, KCN



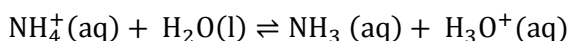
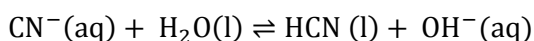
2. Soli čije su otopine kisele (formalno nastaju neutralizacijom slabe baze i jake kiseline).

Primjer: amonijev klorid,  $\text{NH}_4\text{Cl}$



3. Soli čije su otopine približno neutralne (formalno nastaju neutralizacijom slabe baze i slabe kiseline).

Primjer: amonijev cijanid,  $\text{NH}_4\text{CN}$

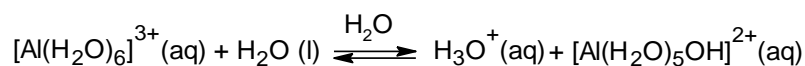


- pH posljednjih soli ovisi o tome tko jače hidrolizira, anion kiseline ili kation baze, odnosno o vrijednosti  $K_a$  za HCN te  $K_b$  za  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

Reakcija hidrolize zbiva se u svim živim organizmima, gdje se djelovanjem enzima bjelančevine razgrađuju do aminokiselina, masti do masnih kiselina i glicerola, složeni ugljikohidrati na glukozu i druge monosaharide. Hidroliza se događa i u mnogim procesima kemijske industrije, npr. pri proizvodnji različitih polimera, pri preradi celuloze.

#### Dodatak:

- U vodi su  $\text{Al}^{3+}$  kationi kao hidratizirani ioni pa mogu reagirati kao Brenstedove kiseline (isto se tako ponašaju i  $\text{Fe}^{3+}$  ioni):



Konstanta hidrolize dana je izrazom:

$$K_h = \frac{K_w}{K_a} \qquad K_h = \frac{K_w}{K_b}$$

$K_w$  je ionski produkt vode,  $K_a$  i  $K_b$  jesu konstante ionizacije ili disocijacije kiseline ili baze.

Vrijedi:

$$t = 25^\circ\text{C}, K_w = c(\text{H}^+) \cdot c(\text{OH}^-) = 1 \cdot 10^{-14} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

$$K_w = K_a \cdot K_b$$

Reakcije hidrolize soli ustvari su Brensted-Lawryeve kiselo-bazne reakcije.

#### Uvodno razmišljanje o hidrolizi soli

1. Objasnite zašto kad solimo juhu ne mijenjamo njen pH? (možda će učenici moći na to pitanje bolje odgovoriti kad ponove i prošire gradivo o hidrilizi).
2. Što vam je od kemijskog pribora potrebno za eksperimentalno ispitivanje svojstva vodenih otopina soli?
3. Sol  $\text{NaHCO}_3$ , natrijev hidrogenkarbonat (soda bikarbona) djelotvorno je sredstvo za neutraliziranje želučane kiseline i s tim povezanih smetnji. Objasnite!

#### POKUS: Ispitivanje pH-vrijednosti vodenih otopina soli

**Pribor:** 6 čaša od 100 mL, univerzalni indikator papir, fenolftalein, metiloranž, kapalice i zaštitne rukavice.

**Kemikalije:** otopine sljedećih soli:  $\text{KCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{AgNO}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$  i  $\text{NH}_4\text{NO}_2$ , destilirana voda. Sve su otopine množinske koncentracije  $1 \text{ mol dm}^{-3}$ .

**Napomena nastavnicima:** Prije izvođenja vježbe moraju se pripremiti otopine zadanih soli.

#### Zadatak :

- Procijenite i objasnite kakav će biti pH otopina sljedećih soli:  $\text{KCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{AgNO}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$  i  $\text{NH}_4\text{NO}_2$ . Odgovore upišite u Tablicu 10.1.

Tablica 10.1. pH otopina sljedećih soli

| Otopina                         | Naziv soli | pH | Svojstva otopina soli - neutralna, kisela, lužnata. |
|---------------------------------|------------|----|---|
| KCl                             |            |    |   |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |            |    |   |
| AgNO <sub>3</sub>               |            |    |   |
| AlCl <sub>3</sub>               |            |    |   |
| NaHCO <sub>3</sub>              |            |    |   |
| NH <sub>4</sub> NO <sub>2</sub> |            |    |   |

**POKUS:** Mjerenje pH-vrijednosti zadanih soli

U čaše valja redom staviti oko 20 mL otopina soli. Dobivene otopine ispitajte univerzalnim indikatorskim papirom. pH-vrijednosti ispitivanih otopina soli upišite u priloženu Tablicu 10.2.

Otopine navedenih soli ispituju se i s fenolftaleinom i metiloranžom.

Opažanja se upisuju u Tablicu 10.2.

Tablica 10.2. Opažanja tijekom izvođenja eksperimenta

| Otopina                         | Boja univerzalnog indikator papira | pH | Boja metiloranža | Boja fenolftaleina | Jednadžba disocijacije soli |
|---------------------------------|------------------------------------|----|------------------|--------------------|-----------------------------|
| KCl                             |                                    |    |                  |                    |                             |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |                                    |    |                  |                    |                             |
| AgNO <sub>3</sub>               |                                    |    |                  |                    |                             |
| AlCl <sub>3</sub>               |                                    |    |                  |                    |                             |
| NaHCO <sub>3</sub>              |                                    |    |                  |                    |                             |
| NH <sub>4</sub> NO <sub>2</sub> |                                    |    |                  |                    |                             |

1. Objasnite promjene boja indikatora u pojedinim otopinama soli jednadžbama hidrolize.

---



---



---



---



---



---



---



---

2. U kojim otopinama ne dolazi do hidrolize? Objasnite svoj odgovor.

---



---



---



---

3. Analizirajte eksperimentalno dobivene pH-vrijednosti vodenih otopina soli. Koja ima najmanju, a koja najveću pH-vrijednost?

---



---

Tablica 10.3. Svojstva vodenih otopina soli nastalih neutralizacijom kiselina i baza različite jakosti

| Vrste soli                              | Primjeri   | Ion podložan hidrolizi | pH otopine  |
|---|--|------------------------|---|
| kation jake baze, anion jake kiseline   | NaCl, KI, KNO <sub>3</sub> , BaCl <sub>2</sub>   | nijedan                | =7  |
| kation jake baze, anion slabe kiseline  | KNO <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> COONa   | anion                  | > 7   |
| kation slabe baze, anion jake kiseline  | NH <sub>4</sub> Cl, NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>                                      | kation                 | < 7   |
| kation slabe baze, anion slabe kiseline | NH <sub>4</sub> NO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> CN, CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> | anion i kation         | $K_a > K_b \rightarrow \text{pH} < 7$<br>$K_a < K_b \rightarrow \text{pH} > 7$<br>$K_a = K_b \rightarrow \text{pH} = 7$ |

$K_a$  - konstanta disocijacije kiseline

$K_b$  - konstanta disocijacije baze

#### ZADATCI:

1. Predvidite hoće li u vodenoj otopini navedene soli reagirati kiselo, bazično ili neutralno:

Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, LiHCO<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, NaHSO<sub>4</sub>.

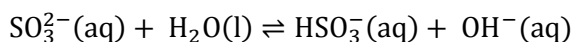
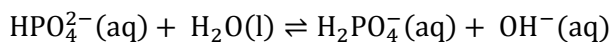
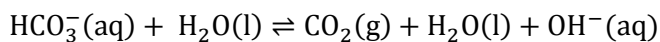
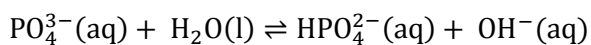
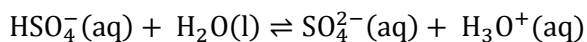
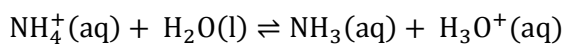
Odgovore potvrdite kemijskim jednadžbama.

*Kisele će biti otopine: (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaHSO<sub>4</sub>.*

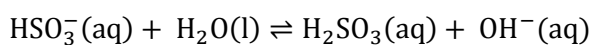
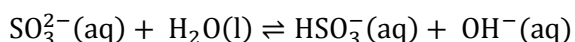
*Bazične će biti otopine : Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, LiHCO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>.*

*Neutralna nije nijedna otopina.*

Jednadžbe reakcija jesu:



Hidroliza sulfitnog  $\text{SO}_3^{2-}$  iona zbiva se u dva koraka:



2. Izračunajte konstantu hidrolize za reakciju:  $\text{NO}_2^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HNO}_2(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$

Konstanta ionizacije dušikaste kiseline,  $K_a$  je  $4,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ .

$$K_h = \frac{K_w}{K_a} = 2,2 \cdot 10^{11} \text{ mol L}^{-1}$$

3. Sve kiseline i baze u tablici slabo su ionizirane u vodi. U bilježnicu nacrtajte tablicu i popunite je podacima koji nedostaju.

Za odgovore u ovom zadatku poslužite se Tablicom 10.3.

Tablica 10.4. Predviđena pH-vrijednost vodenih otopina soli i molekulska formula soli

| kiselina,<br>$K_a/\text{mol L}^{-1}$            | baza<br>$K_b/\text{mol L}^{-1}$      | Formula soli                | pH (< 7, > 7, = 7) |
|---|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| $\text{CH}_3\text{COOH}$<br>$1,8 \cdot 10^{-5}$ | $\text{NH}_3$<br>$1,8 \cdot 10^{-5}$ | $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ | pH = 7             |
| $\text{HCN}$<br>$4,0 \cdot 10^{-10}$            | $\text{NH}_3$<br>$1,8 \cdot 10^{-5}$ | $\text{NH}_4\text{CN}$      | pH > 7             |
| $\text{HCOOH}$<br>$1,8 \cdot 10^{-4}$           | $\text{NH}_3$<br>$1,8 \cdot 10^{-5}$ | $\text{HCOONH}_4$           | pH < 7             |

4. Izračunajte pH otopine bakrova(II) nitrata množinske koncentracije  $1,0 \text{ mol dm}^{-3}$  ako je konstanta hidrolize  $K_h = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3}$ .

Jednadžba disocijacije glasi:  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{NO}_3^-(\text{aq})$ ,

a hidrolize:  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{OH})]^+(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$

| Koncentracija/<br>( $\text{mol dm}^{-3}$ ) | $\text{Cu}^{2+}$ | $[\text{Cu}(\text{OH})]^+$ | $\text{H}_3\text{O}^+$ |
|--|------------------|----------------------------|------------------------|
| početna                                    | 1,0              | 0                          | 0                      |
| Promjena                                   | - x              | + x                        | + x                    |
| ravnotežna                                 | $1,0 - x$        | x                          | x                      |

Prema Zakonu kemijske ravnoteže konstanta je hidrolize:

$$K_h = \frac{c([\text{Cu}(\text{OH})]^+) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{Cu}^{2+})} = \frac{x^2}{1,0 - x}$$

Zbog male vrijednosti konstante hidrolize vrijedi da je:  $1,0 - x = 1,0$  pa je:

$$x^2 = K_h$$

$$x = c(\text{H}_3\text{O}^+) = 4 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$$

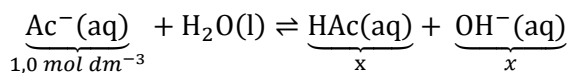
$$\text{pH} = 3,4$$

*pH otopine bakrova(II) nitrata množinske koncentracije  $1,0 \text{ mol dm}^{-3}$  iznosi 3,4.*

5. Koliki je pH otopine natrijevog acetata koncentracije  $1,0 \text{ mol dm}^{-3}$ ? Konstanta ionizacije octene kiseline iznosi  $K_a = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$ .

Jednadžba disocijacije glasi:  $\text{NaAc}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{Ac}^-(\text{aq})$ ,

a hidrolize:



Skraćena formula za  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , natrijev acetat, jest NaAc.

Iz izraza:  $K_a \cdot K_b = K_w$  izračuna se  $K_b$ :

$$K_b = \frac{K_w}{K_a} = 5,56 \text{ mol dm}^{-3}$$

$K_b = 5,56 \text{ mol dm}^{-3}$ , iz jednadžbe hidrolize slijedi:

$$K_b = \frac{x^2}{c(\text{Ac})} = 2,36 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$\text{pOH} = 4,63$$

$$\text{pH} = 9,37$$

*pH otopine natrijevog acetata,  $c = 1,0 \text{ mol dm}^{-3}$  iznosi 9,37.*

## 11. REDOKS REAKCIJE

### Redoslijed aktivnosti:

- 1.) Jedan je sat uvodni i učenici ponavljaju gradivo o oksidacijskim brojevima i redoks-reakcijama uz pomoć priručnika. Može se koristiti tehnika pisanja pojedinačnih grozdova koje nastavnik objedini pišući na ploči zajednički grozd.
- 2.) Dva sata predviđena su za rješavanje primjera i zadataka iz priručnika.
- 3.) Jedan sat predviđen je za izradu složenijih zadataka i rješavanje nekih nepoznanica.

### Uvod

Redukcijsko-oksidacijske reakcije ili redoks-reakcije predstavljaju jednu od najraširenijih (najvećih) skupina kemijskih reakcija. Te su reakcije prisutne u našem svakidašnjem životu, kod kuće i u industriji. Redoks reakcije svuda su oko nas! Naše tijelo funkcionira, tj. radi na osnovi redoks-reakcija.

Redoks-reakcije jesu reakcije kod kojih dolazi do oksidacije i redukcije, tj. do izmjene elektrona između dva redoks sustava i time do promjene oksidacijskih brojeva atoma reagirajućih tvari.

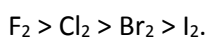
Redukcija je proces primanja elektrona, a oksidacija proces otpuštanja elektrona.

Oksidans je tvar koja prima elektrone i time se reducira. Reducens je tvar koja otpušta elektrone i time se oksidira.

Prilikom oksidacije oksidacijski se broj atoma povećava, a prilikom redukcije smanjuje se. Oksidacijski broj atoma jednak je zamišljenom naboju koji nastane na atomu kad se postojeći elektronski parovi formalno pripisuju elektronegativnijem atomu (njemu pišemo minus, a onom manje elektronegativnom pišemo plus).

Redoks-reakcije mogu se odvijati u različitom agregacijskom stanju, a za neke je potreban kiseli ili bazični medij.

Što tvar ima veći afinitet prema elektronu, to je jače oksidacijsko sredstvo, npr.:



Vrijedi i obrnuto, što ima manji afinitet prema elektronu, to je jače redukcijsko sredstvo. Zbog toga su metali većinom jaki reducensi (Li, Na, Zn), a nemetali jaki oksidansi ( $F_2$ ,  $O_2$ ,  $Cl_2$ ).

Tablica 11.1. Poznata oksidacijska i redukcijska sredstva

| Poznata oksidacijska sredstva: |                   | Poznata redukcijska sredstva: |                    |
|--------------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------|
| $MnO_4^-$                      | permanganatni ion | $Fe^{2+}$                     | željezov(II) ion   |
| $CrO_4^-$                      | kromatni ion      | $Sn^{2+}$                     | kositrov(II) ion   |
| $Cr_2O_7^{2-}$                 | dikromatni ion    | $SO_2$                        | sumporov(IV) oksid |
| $H_2O_2$                       | vodikov peroksid  | $SO_3^{2-}$                   | sulfitni ion       |
| $ClO^-$                        | hipokloritni ion  | $H_2S$                        | sumporovodik       |
| $PbO_2$                        | olovov(IV) oksid  | Na, K                         | natrij, kalij      |



Dvije su uobičajene metode za izjednačavanje jednadžbi redoks reakcija:

1. Ion–elektron metoda (metoda parcijalnih reakcija)

2. Metoda oksidacijskih brojeva

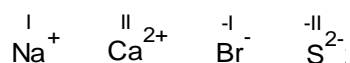
**Reakcije disproportcioniranja** jesu redoks reakcije u kojima se isti kemijski element istodobno oksidira i reducira.

**Ponovimo pravila za određivanje oksidacijskog broja:**

1. Elementi, oksidacijski broj iznosi nula:



2. Jednoatomni ioni, oksidacijski broj jednak je naboju iona:



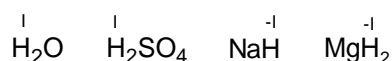
3. Oksidacijski broj fluorovog atoma u spojevima uvijek iznosi -I:



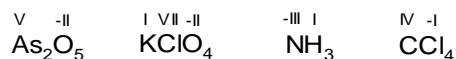
4. Oksidacijski broj kisikova atoma iznosi -II, osim kod peroksida gdje je -I,:



5. Oksidacijski broj vodikova atoma iznosi I, osim u hidridima metala gdje je -I:



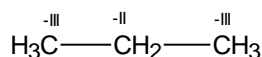
6. Zbroj oksidacijskih brojeva u molekuli ili formulskoj jedinki jednak je 0:



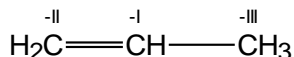
7. Višeatomni ioni, suma oksidacijskih brojeva svih atoma jednaka je naboju iona:



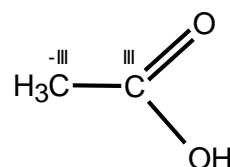
8. Oksidacijski broj atoma ugljika u organskim spojevima određuje se za svaki ugljikov atom posebno.



propan



propen



etanska kiselina



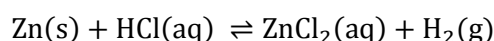
Slika 11.1. Primjer redoks-reakcije

**Primjer i podsjetnik o rješavanju jednadžbi redoks-reakcija ion-elektron metodom:**

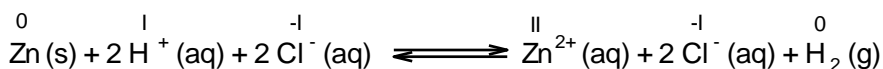
U reakciji cinka i klorovodične kiseline uz cinkov klorid razvija se vodik. Riješite redoks-jednadžbu i odredite što je u toj reakciji oksidans, a što reducens.

Pri rješavanju jednostavnih jednadžbi, a poglavito složenijih redoks-procesa najbolje je pridržavati se određenog slijeda:

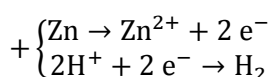
Neuravnotežena je jednadžba:



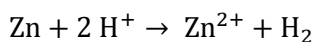
Odrede se oksidacijski brojevi i utvrdi koja reakcija prikazuje oksidaciju, a koja redukciju:



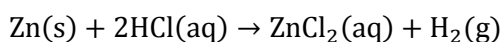
Da se izjednači broj elektrona, prvu jednadžbu treba samo prepisati, a drugu jednadžbu treba množiti brojem 2



i dobivene jednadžbe zbrojiti.

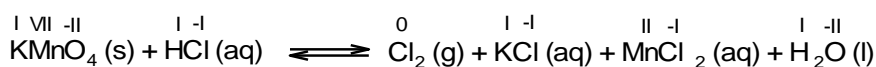


Kloridni ioni,  $\text{Cl}^-$  nisu se mijenjali i dodaju se. Ukupna reakcija:

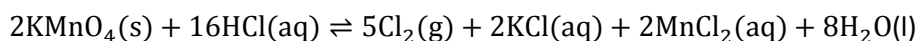
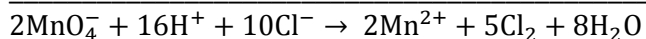
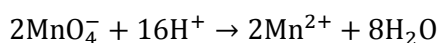
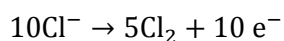
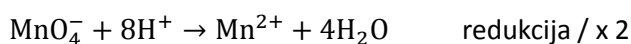


**Primjeri za složene redoks reakcije:**

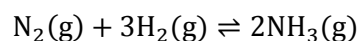
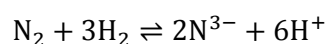
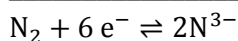
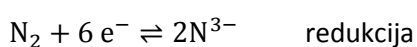
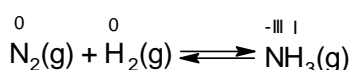
1. Redoks reakcija zbiva se u kiseloj sredini:



Kad se redoks-reakcija odvija u kiselj otolini, pri izjednačavanju broja atoma kisika u parcijalnim jednadžbama kao reaktanti se mogu pojaviti  $\text{H}^+$  ioni ili molekule vode. Ako su  $\text{H}^+$  ioni u nekoj reakciji reaktanti, molekule su vode produkti i obrnuto.



2. Za sljedeću reakciju:  $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$  odredite uravnoteženu jednadžbu reakcije:

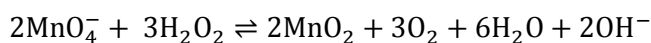
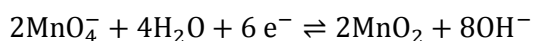
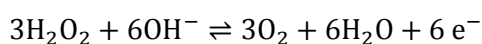
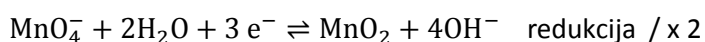
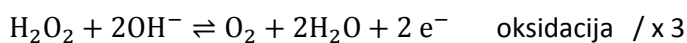
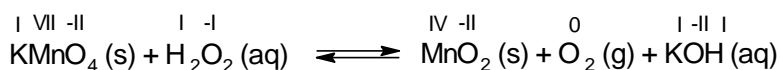


Amonijak nije ionski spoj i zato se oksidacijski brojevi ne smiju zamijeniti nabojnim brojevima.

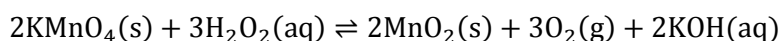
3. Redoks-reakcija zbiva se u lužnatoj sredini:

Pravilo za izjednačavanje glasi: na stranu na kojoj je višak kisika dodaje se onoliko molekula  $\text{H}_2\text{O}$  koliki je taj višak. Istodobno na suprotnu stranu jednadžbe valja dodati dvostruko više iona  $\text{OH}^-$ . Ima i odstupanja od tog pravila.

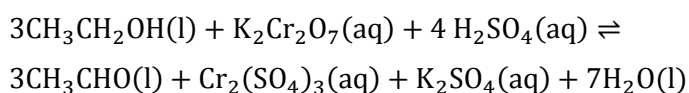
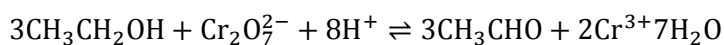
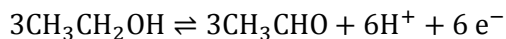
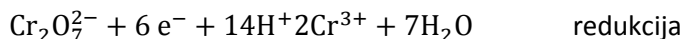
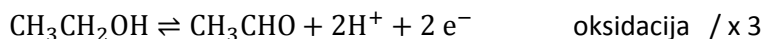
Uvijek vrijedi: u jednadžbe kemijskih reakcija koje se zbivaju u lužnatoj sredini smijemo dodavati samo ione  $\text{OH}^-$  i  $\text{H}_2\text{O}$ .



U molekularskom obliku jednadžba ima oblik:



4. Za otkrivanje alkoholnih para u dahu vozača primjenjivala se reakcija oksidacije etanola u etanal pomoću kalijeva dikromata  $K_2Cr_2O_7$ . Pri tome je narančasta boja  $K_2Cr_2O_7$  prelazila u zelenu boju karakterističnu za kromov(III) sulfat. Pomoću jednadžbi oksidacije i redukcije izjednačite jednadžbu opisane kemijske reakcije:



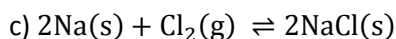
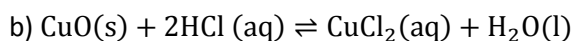
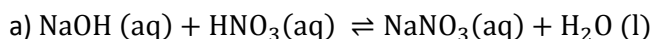
$CH_3CH_2OH(l)$  – etanol – narančaste boje

$CH_3CHO(l)$  – etanal – zelene boje

#### ZADATAK

Vježbanje i sastavljanje jednadžbi redoks-reakcija primjenom parcijalnih jednadžbi oksidacije i redukcije ili ion – elektron metodom i određivanje oksidansa i reducensa.

1. Sljedeće jednadžbe opisuju reakcije dobivanja soli. Koja je reakcija redoks reakcija?



2. Što su redoks-reakcije? Što označava riječ redoks?

---



---



---

3. Objasnite reakciju oksidacije i redukcije.

---



---



---

4. Povežite reakcije oksidacije i redukcije s pravilima za određivanje oksidacijskih brojeva tvari.

---

---

5. Kako se označava oksidacijski broj? Što je oksidacijski broj?

---

---

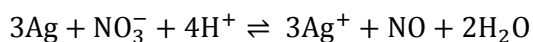
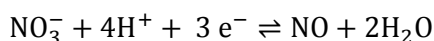
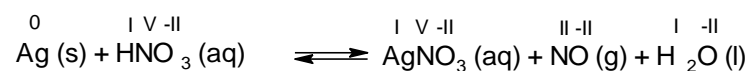
6. Odredite oksidacijske brojeve elemenata u sljedećim tvarima:

$F_2$ ,  $HCl$ ,  $CuSO_4$ ,  $C$ ,  $HF$ ,  $CO$ ,  $MgO$ ,  $CH_3CH_3$ ,  $NH_4NO_3$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ .

7. Svaku kemijsku reakciju u kojoj dolazi do promjene oksidacijskih brojeva tvari svrstavamo u redoks-reakcije. Je li točna ta tvrdnja?

---

8. Riješite jednadžbe redok-reakcija ion – elektron metodom:

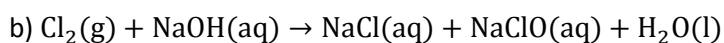


Utvrđite što je u toj reakciji oksidans, a što reducens.

---

Odredite u kojoj reakciji sudjeluje oksidans, a u kojoj reducens.

---



Reakcija se zbiva u lužnatoj otopini i to je reakcija disproporcioniranja.

Objasnite reakcije disproporcioniranja.

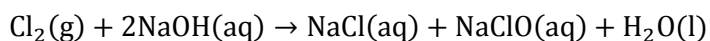
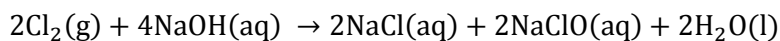
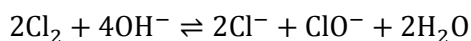
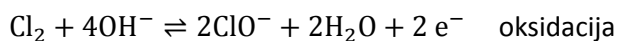
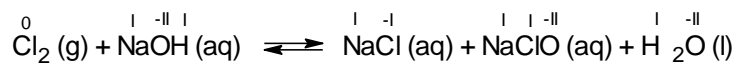
---



---

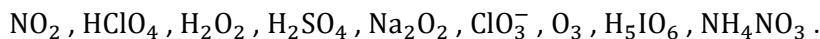


---

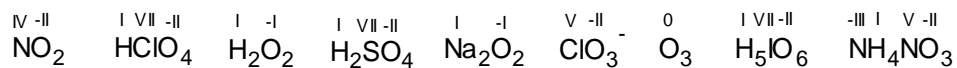


#### ZADATCI :

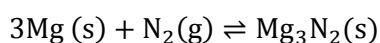
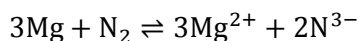
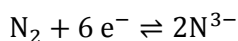
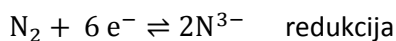
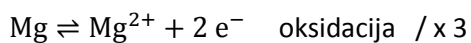
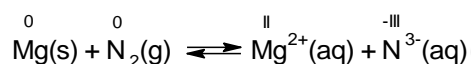
1. Odredite oksidacijske brojeve elemenata u navedenim spojevima i ionima:



#### Odgovor:



2. Reakcijom magnezija i dušika pri povišenoj temperaturi nastaje magnezijev nitrid. Riješite jednadžbu te redoks-reakcije.



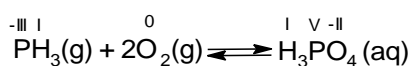
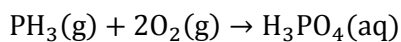
3. Izgaranjem 5 mola otrovnog plina fosforovodika (fosfina) u kisiku nastaje fosforna kiselina.

a) Napišite tu redoks-reakciju kemijskom jednadžbom.

b) Izračunajte:

I. množinu i masu utrošenoga kisika

$$n(\text{PH}_3) = 5 \text{ mol}$$



$$n(\text{PH}_3) : n(\text{O}_2) = 1 : 2$$

$$2 n(\text{PH}_3) = n(\text{O}_2)$$

$$n(\text{O}_2) = 2 \cdot 5 \text{ mol} = 10 \text{ mol}$$

$$m(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = 10 \text{ mol} \cdot 32 \text{ g mol}^{-1} = 320 \text{ g}$$

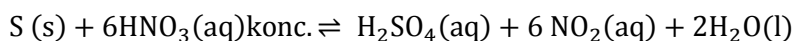
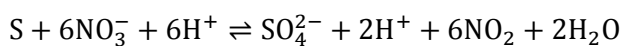
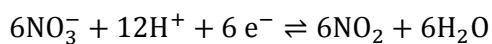
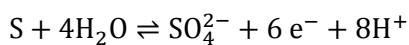
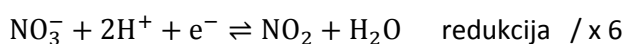
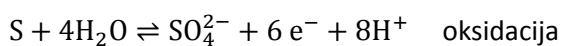
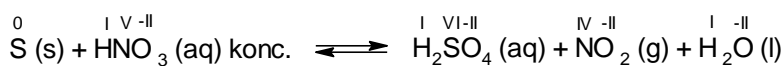
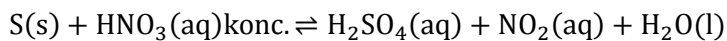
II. množinu i masu nastale  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) : n(\text{PH}_3) = 1 : 1$$

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = n(\text{PH}_3) = 5 \text{ mol}$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = n(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 5 \text{ mol} \cdot 97,994 \text{ g mol}^{-1} = 489,97 \text{ g}$$

4. Riješite jednadžbu sljedeće redoks-reakcije:



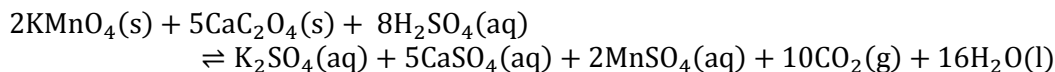
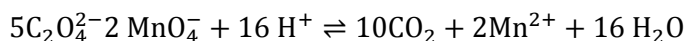
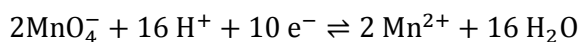
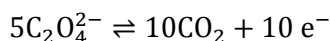
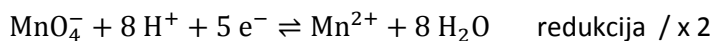
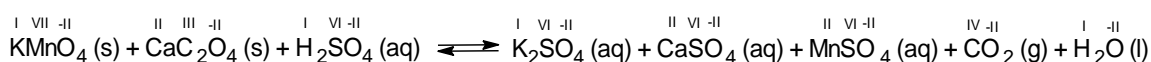
5. Kalcijevi ioni,  $\text{Ca}^{2+}$  prisutni u krvi odgovorni su za zgrušavanje krvi, a važni su i za druge biološke procese. Odstupanja u koncentraciji  $\text{Ca}^{2+}$  iona u krvi pokazatelj su nekih bolesti. Količina  $\text{Ca}^{2+}$  u krvi danas se određuje na različite načine, a jedan od njih temelji se na redoks-titraciji. U tu svrhu uzorku krvi volumena 1 mL doda se otopina natrijevog oksalata,  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ . Nastali talog kalcijevog oksalata,  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ , otopi se u razrijeđenoj sumpornoj kiselini i dobivena otopina titrira se otopinom kalijeva permanganata,  $\text{KMnO}_4$ . Ako je u opisanom postupku za titraciju utrošeno 2,80 mL otopine  $\text{KMnO}_4$  množinske koncentracije  $3,52 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ , u toj reakciji nastaju kalijev, kalcijev i manganov(II) sulfat, voda i ugljikov(IV) oksid. Izračunajte:

a) množinu kalcija u uzorku krvi

$$V(\text{krvi}) = 1 \text{ mL}$$

$$V(\text{KMnO}_4) = 2,80 \text{ mL} = 2,80 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3$$

$$c(\text{KMnO}_4) = 3,52 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$$



$$n(\text{Ca}^{2+}) : n(\text{KMnO}_4) = 10 : 2 = 5 : 2$$

$$2n(\text{Ca}^{2+}) = 5n(\text{KMnO}_4)$$

$$n(\text{Ca}^{2+}) = n(\text{Ca}) = \frac{5}{2}n(\text{KMnO}_4) = \frac{5}{2} \cdot c(\text{KMnO}_4) \cdot V(\text{KMnO}_4) =$$

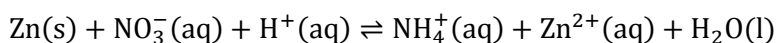
$$n(\text{Ca}^{2+}) = \frac{5}{2} \cdot 3,52 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3} \cdot 2,80 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 = 2,46 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$$

b) masu kalcija u 100 mL

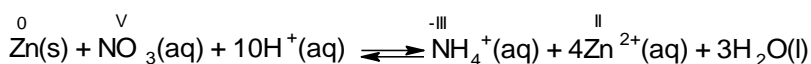
$$m(\text{Ca u 100 mL krvi}) = n(\text{Ca}) \cdot M(\text{Ca}) = 2,46 \cdot 10^{-6} \text{ mol} \cdot 40,078 \text{ g mol}^{-1} =$$

$$m(\text{Ca u 100 mL krvi}) = 9,88 \cdot 10^{-5} \text{ g}$$

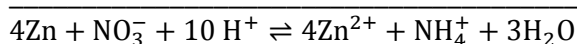
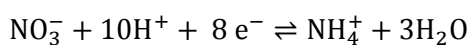
6. Riješite jednadžbu koja prikazuje redoks-reakciju u ionskom obliku u kiseljoj otopini.



Napomena: Pažljivo odredite promjenu oksidacijskog broja dušika pri prijelazu iz nitratnog u amonijev ion.





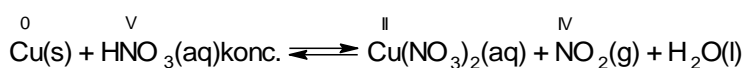


#### DODATAK:

#### RJEŠAVANJE JEDNADŽBI REDOKS REAKCIJA METODOM OKSIDACIJSKIH BROJEVA

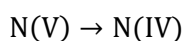
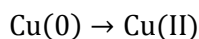
Izjednačite jednadžbu reakcije bakra s koncentriranom otopinom dušične kiseline.

1. korak



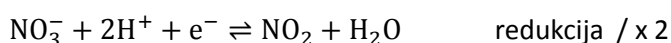
2. korak

Uočene promjene oksidacijskih brojeva prikazati dijagramom (ne jednadžbama):



3. korak

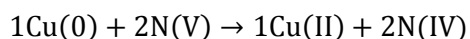
U dijagramu sa strane navesti iznose promjene oksidacijskih brojeva. Sumarna promjena oksidacijskih brojeva mora biti nula. Stoga dijagrame valja pomnožiti recipročno s iznosima promjene.



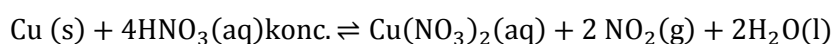
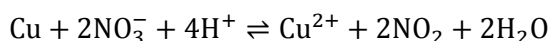
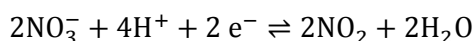
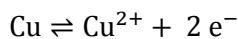

---

4. korak

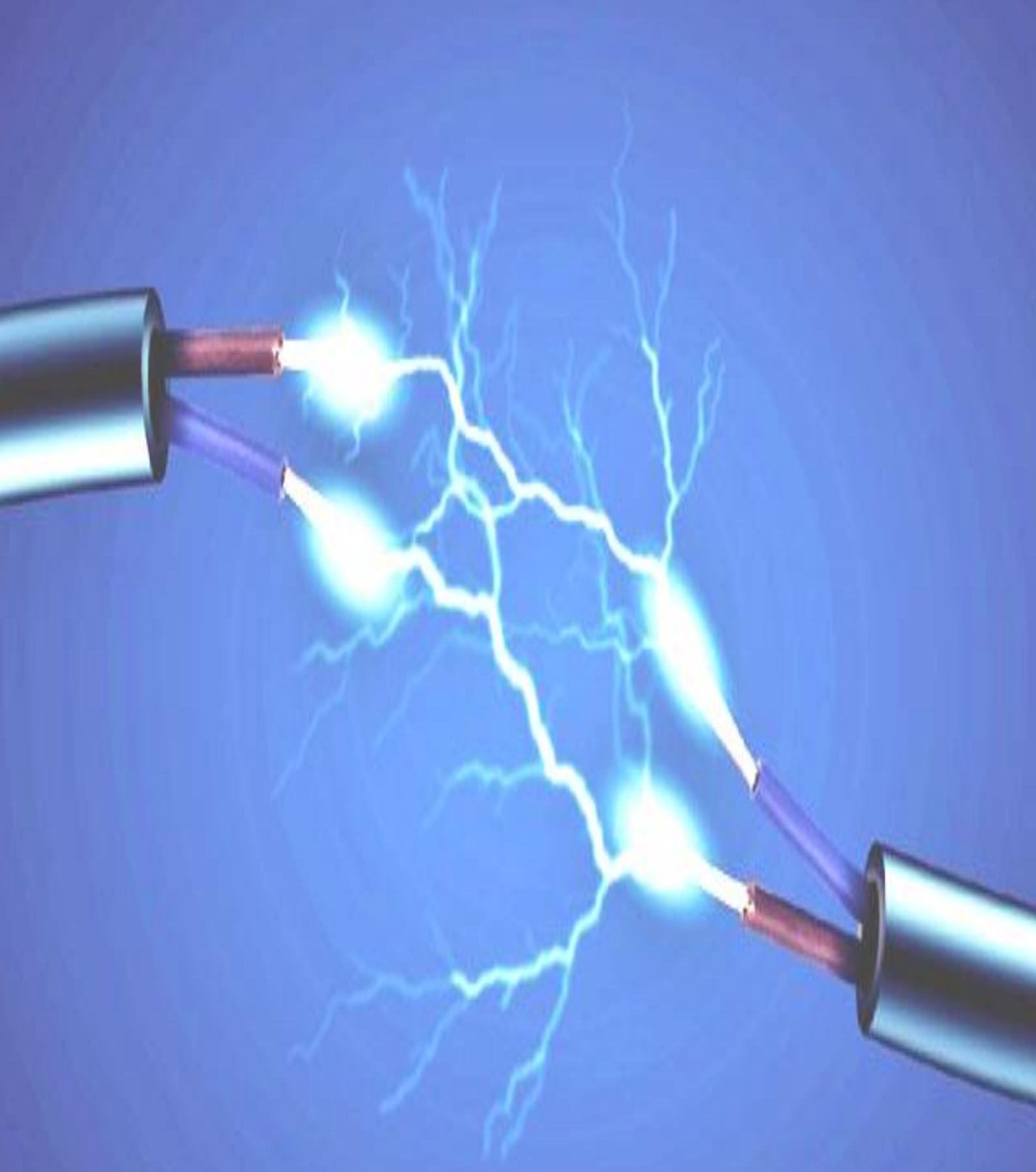
Stehiometrijski brojevi odgovaraju faktorima:



i sada to valja primijeniti na jednadžbu s tim da u konačnici treba izjednačiti i masu:







**ELEKTROKEMIJA**



## 12. ELEKTRODNI POTENCIJAL I GALVANSKI ČLANCI

### Redoslijed aktivnosti:

- 1.) Jedan sat potreban je za uvod i ponavljanje gradiva o galvanskim člancima, standardnom redukcijском potencijalu i o kemijskim svojstvima tvari. Za realizaciju tog sata nastavnik može izabrati neke od RCWT tehnika rada.
- 2.) Sljedeća dva sata učenici će izvesti pokus u skupini, odgovoriti na pitanja, obraditi izmjerene podatke i napisati zaključke.
- 3.) Jedan sat predviđen je za rješavanje zadataka iz priručnika i zadataka postavljenih na elektroničkoj platformi.
- 4.) Jedan sat predviđen je za prezentiranje samostalnih radova i rješavanje nekih nepoznanica.

### Uvod

Značajna primjena znanja o redoks-reakcijama jest u elektrokemiji. Elektrokemija je područje kemije koje proučava međudnose električne i kemijske energije, galvanske i elektrolizne članke.

Galvanski članci jesu uređaji u kojima se zbog spontanijh redoks-reakcija stvara električna struja. Elektrolizni članci uređaji su u kojima se zbivaju nespontane redoks-reakcije. U galvanskim se člancima električna struja proizvodi, a u elektroliznim člancima se troši.

Standardni elektrodni potencijal ( $E^0$ ) ili standardni redukcijски elektrodni potencijal mjera je za sposobnost oksidiranog oblika redoks sustava da primi elektron i snizi svoj oksidacijski broj.

Otkrića talijanskog liječnika i fizičara Luigija Galvanija (1737. – 1798.) i talijanskog fizičara Alessandra Voltea (1745. – 1827.) značajna su za razvoj elektrokemije.

Bez obzira na to je li riječ o galvanskim ili elektroliznim člancima, katoda je uvijek elektroda na kojoj se zbiva proces redukcije (jedinka od katode prima elektrone). Na anodi se istodobno uvijek zbiva proces oksidacije (jedinka anodi predaje elektrone).

Najvažniji galvanski članci jesu baterije, akumulatori i gorivi članci. Korozija metala uglavnom nastaje zbog stvaranja galvanskih članaka na površini metala.

Danas, u 21. stoljeću život je nezamisliv bez baterija i akumulatora. Baterije su sastavni dio mnogih uređaja, od obične džepne svjetiljke i dječjih igračkaka do audiouređaja, mobitela, prijenosnih računala i tableta. Akumulatori strujom pokreću sve automobilske motore, omogućuju rad mobilnih telefona, prijenosnih računala, a sastavni su dio sonde i-roboti koji istražuju susjedne planete i svemir.

Svaki galvanski članak sastoji se od 2 elektrode, vodiča, elektrolita i elektrolitskog mosta. Metal uronjen u otopinu odgovarajućih iona jest polučlanak ili elektroda. Da bi članak proizvodio struju, elektrolitne otopine moraju biti povezane, što se postiže elektrolitskim mostom koji omogućuje protok iona, a spojne žice protok elektrona.

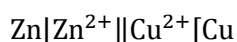
Napon članka ovisi o prirodi elektroda, koncentraciji iona u otopini i temperaturi pri kojoj članak proizvodi električnu struju. Napon članka ili razlika potencijala članka,  $E_{\text{čl}}$ :

$$E_{\text{čl}} = E_{\text{katoda}} - E_{\text{anoda}}$$

Dogovorena oznaka galvanskog članka jest:



Daniellov članak prikazuje se:



Mjerenjem električnog napona članka neke elektrode prema referentnoj elektrodi, a to je standardna vodikova elektroda, dobiju se standardni elektrodni potencijali,  $E_{cl}^0$ .

Tablica 12.1. Standardni redukcijski elektrodni potencijali

| Elektroda  | Elektrodna reakcija  | $E^0 / V$ | Elektroda                                    | Elektrodna reakcija  | $E^0 / V$ |
|--|--|-----------|--|--|-----------|
| $\text{Au}^{2+}, \text{Au}^+   \text{Pt}$                      | $\text{Au}^{2+} + e^- \rightleftharpoons \text{Au}^+$  | 1,8       | $\text{Fe}^{3+}   \text{Fe}$                 | $\text{Fe}^{3+} + 3 e^- \rightleftharpoons \text{Fe}$        | -0,037    |
| $\text{Au}^+   \text{Au}$                                      | $\text{Au}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Au}$   | 1,692     | $\text{Pb}^{2+}   \text{Pb}$                 | $\text{Pb}^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Pb}$        | -0,126    |
| $\text{Mn}^{3+}, \text{Mn}^{2+}   \text{Pt}$                   | $\text{Mn}^{3+} + e^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+}$                                       | 1,542     | $\text{Sn}^{2+}   \text{Sn}$                 | $\text{Sn}^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Sn}$        | -0,138    |
| $\text{MnO}_4^-$<br>$, \text{H}^+, \text{Mn}^{2+}   \text{Pt}$ | $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5 e^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$ | 1,507     | $\text{I}^-   \text{AgI}   \text{Ag}$        | $\text{AgI} + e^- \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{I}^-$ | -0,152    |
| $\text{Au}^{3+}   \text{Au}$                                   | $\text{Au}^{3+} + 3 e^- \rightleftharpoons \text{Au}$  | 1,498     | $\text{Ni}^{2+}   \text{Ni}$                 | $\text{Ni}^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Ni}$        | -0,257    |
| $\text{Au}^{3+}, \text{Au}^{2+}   \text{Pt}$                   | $\text{Au}^{3+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Au}^+$  | 1,401     | $\text{Co}^{2+}   \text{Co}$                 | $\text{Co}^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Co}$        | -0,28     |
| $\text{Cl}^-   \text{Cl}_2(\text{g})   \text{Pt}$              | $\text{Cl}_2(\text{g}) + 2 e^- \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$                                | 1,358     | $\text{Cd}^{2+}   \text{Cd}$                 | $\text{Cd}^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Cd}$        | -0,352    |
| $\text{Pt}^{2+}   \text{Pt}$                                   | $\text{Pt}^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Pt}$  | 1,18      | $\text{Cr}^{3+}, \text{Cr}^{2+}   \text{Pt}$ | $\text{Cr}^{3+} + e^- \rightleftharpoons \text{Cr}^{2+}$     | -0,407    |
| $\text{Br}^-, \text{Br}_2(\text{aq})   \text{Pt}$              | $\text{Br}_2(\text{aq}) + 2 e^- \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$                               | 1,087     | $\text{Fe}^{2+}   \text{Fe}$                 | $\text{Fe}^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Fe}$        | -0,447    |
| $\text{Hg}^{2+}   \text{Hg}$                                   | $\text{Hg}^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Hg}$  | 0,851     | $\text{Cr}^{3+}   \text{Cr}$                 | $\text{Cr}^{3+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Cr}$        | -0,744    |
| $\text{Ag}^+   \text{Ag}$                                      | $\text{Ag}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}$   | 0,799     | $\text{Zn}^{2+}   \text{Zn}$                 | $\text{Zn}^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Zn}$        | -0,762    |
| $\text{Hg}_2^{2+}   \text{Pt}$                                 | $\text{Hg}_2^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons 2\text{Hg}$                                       | 0,797     | $\text{Ti}^{3+}, \text{Ti}^{2+}   \text{Pt}$ | $\text{Ti}^{3+} + e^- \rightleftharpoons \text{Ti}^{2+}$     | -0,9      |
| $\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}   \text{Pt}$                   | $\text{Fe}^{3+} + e^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$                                       | 0,771     | $\text{Cr}^{2+}   \text{Cr}$                 | $\text{Cr}^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Cr}$        | -0,913    |
| $\text{ClO}_3^-, \text{OH}^-, \text{Cl}^-$<br>$  \text{Pt}$    | $\text{ClO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6 e^- \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 6\text{OH}^-$   | 0,62      | $\text{Mn}^{2+}   \text{Mn}$                 | $\text{Mn}^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Mn}$        | -1,185    |
| $\text{MnO}_4^-  $<br>$\text{MnO}_2   \text{Pt}$               | $\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e^- \rightleftharpoons \text{MnO}_2 + 5\text{OH}^-$   | 0,595     | $\text{Ti}^{2+}   \text{Ti}$                 | $\text{Ti}^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Ti}$        | -1,630    |
| $\text{I}^-   \text{I}_2   \text{Pt}$                          | $\text{I}_2 + 2 e^- \rightleftharpoons 2 \text{I}^-$   | 0,536     | $\text{Al}^{3+}   \text{Al}$                 | $\text{Al}^{3+} + 3 e^- \rightleftharpoons \text{Al}$        | -1,662    |
| $\text{Cu}^+   \text{Cu}$                                      | $\text{Cu}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Cu}$   | 0,521     | $\text{Mg}^{2+}   \text{Mg}$                 | $\text{Mg}^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Mg}$        | -2,372    |
| $\text{OH}^-   \text{O}_2(\text{g})   \text{Pt}$               | $\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O} + 4 e^- \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$           | 0,401     | $\text{La}^{3+}   \text{La}$                 | $\text{La}^{3+} + 3 e^- \rightleftharpoons \text{La}$        | -2,379    |
| $\text{Cu}^{2+}   \text{Cu}$                                   | $\text{Cu}^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Cu}$  | 0,342     | $\text{Na}^+   \text{Na}$                    | $\text{Na}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Na}$             | -2,71     |
| $\text{Cl}^-   \text{AgCl}   \text{Ag}$                        | $\text{AgCl} + e^- \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{Cl}^-$                                 | 0,222     | $\text{Ca}^{2+}   \text{Ca}$                 | $\text{Ca}^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Ca}$        | -2,868    |
| $\text{Cu}^{2+}, \text{Cu}^+   \text{Pt}$                      | $\text{Cu}^{2+} + e^- \rightleftharpoons \text{Cu}^+$  | 0,153     | $\text{Ba}^{2+}   \text{Ba}$                 | $\text{Ba}^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Ba}$        | -2,912    |
| $\text{Sn}^{4+}, \text{Sn}^{2+}   \text{Pt}$                   | $\text{Sn}^{4+} + 2 e^- \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+}$                                     | 0,151     | $\text{K}^+   \text{K}$                      | $\text{K}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{K}$               | -2,931    |
| $\text{H}^+   \text{H}_2   \text{Pt}$                          | $2\text{H}^+ + 2 e^- \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g})$                                  | 0         | $\text{Cs}^+   \text{Cs}$                    | $\text{Cs}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Cs}$             | -3,026    |
| $\text{D}^+   \text{D}_2   \text{Pt}$                          | $2\text{D}^+ + 2 e^- \rightleftharpoons \text{D}_2(\text{g})$                                  | -0,013    |  |  |           |

Prema dogovoru elektrodni potencijal vodikove elektrode iznosi 0 V pri svim temperaturama.

Po veličini standardnih redukcijskih potencijala određenih pomoću standardne vodikove elektrode sastavljen je elektrokemijski niz elemenata ili Voltin niz.

**Za spontane reakcije vrijedi:**

$$E_{\text{zl}} > 0$$

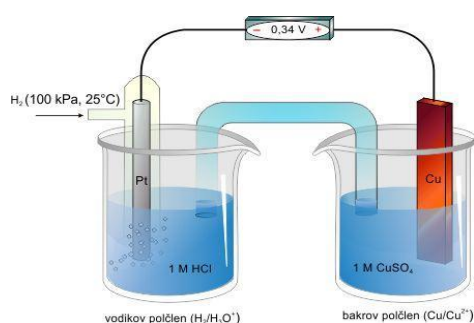
$$\Delta G < 0$$

$$\Delta G = z \cdot F \cdot E_{\text{zl}}$$

$z$  – broj elektrona izmijenjen u redoks-reakciji

$F$  – Faradayjeva konstanta

$\Delta G$  – promjena Gibbsove slobodne energije

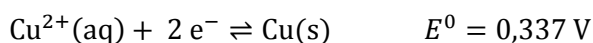


Slika 12.1. Određivanje standardnog redukcijskog elektrodnog potencijala bakrove elektrode pomoću standardne vodikove elektrode

### **Ponovimo ovisnost kemijskih svojstava metala o elektrodnim potencijalima**

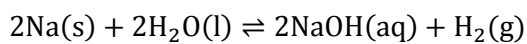
1. Što je standardni redukcijski elektrodni potencijal redoks sustava pozitivniji, to je njegov oksidirani oblik jači oksidans pa se lakše reducira.

Primjeri:

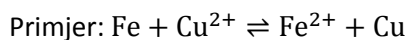


2. Što je standardni redukcijski i elektrodni potencijal negativniji, to je jače redukcijsko djelovanje metala i nemetalnih iona.

Primjer:



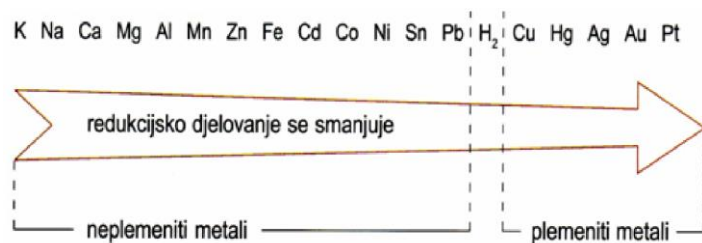
3. Reducirani oblik redoks para može reducirati oksidirani oblik redoks parova koji su u nizu redukcijskih potencijala pozitivniji od njega.



Pomoću vrijednosti redukcijskih potencijala može se razmatrati i spontanost drugih redoks-reakcija, primjerice metala ili kovina s kiselinama.

Metali s negativnim standardnim redukcijskim elektrodnim potencijalom reagiraju s HCl (aq) i HCl (konc.) i raz. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. (istiskuju vodik iz tih kiselina).

Metali s pozitivnim standardnim redukcijskim potencijalom reagiraju s konc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> HNO<sub>3</sub> (aq) i s HNO<sub>3</sub> (konc.)



Slika 12.2. Kemijska reaktivnost nekih metala u odnosu na vodik

### Uvodno razmišljanje o galvanskim člancima

Susrećemo li u svakodnevnom životu galvanske članke?

---

Što upotrebljavamo kada nestane električne energije? Pomoću kojih se električnih uređaja pokreću automobili?

---

---

---

Što se događa sa željezom u vlažnoj atmosferi?

---

Koja se vrsta kemijskih reakcija događa u elektrokemijskim procesima?

---

Zašto se istosmjerne struje zovu galvanske struje?

---

### GALVANSKI ČLANCI

#### ZADATAK :

- Izmjeriti napone galvanskih članaka cink – olovo, cink – bakar i olovo – bakar digitalnim voltmetrom. Učenici izvode pokus u skupini.
- Odrediti koja je elektroda pozitivni, a koja negativni pol galvanskog članka te na kojoj se elektrodi događa oksidacije, a na kojoj redukcija.
- Usporediti eksperimentalne i računске vrijednosti napona navedenih galvanskih članaka.

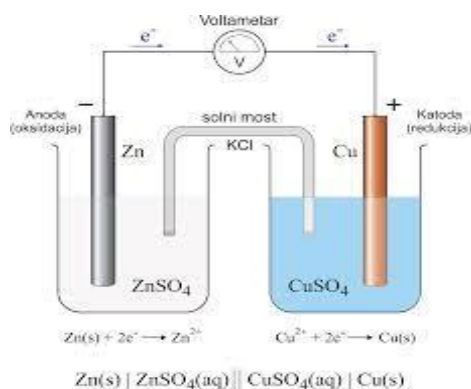


### POKUS: Određivanje napona galvanskih članaka

**Pribor:** 6 čaša od 250 mL, 1 čaša od 100 mL, U-cijev za elektrolitski most, stakleni štapić, pločice ili žice od cinka, olova i bakra, digitalni voltmetar, dvije spojne žice i zaštitne rukavice.

**Kemikalije:** otopine  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  i  $\text{CuSO}_4$  koncentracije 1 mol/L, želatina, KCl (s), destilirana voda.

Pripremite galvanske članke prema slici:



Slika 12.3. Galvanski članak Zn – Cu ili Daniellov članak

U jednu čašu od 250 mL ulijte 150 mL otopine  $\text{ZnSO}_4$  i uronite odgovarajuću očišćenu cinkovu pločicu. Drugi polučlanak  $\text{Cu}(\text{s})|\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$  pripremite na isti način.

Tako dobivene polučlanke spojite žicama i voltmetrom u galvanski članak. Zatim polučlanke povežite elektrolitskim mostom.

Elektrolitski most (solni most) načinite tako da u čaši od 100 mL pripremite (oko 80 mL) sol želatine u koji dodate nešto zasićene otopine kalijeva klorida. Dobivenim solom napunite U-cijev do vrha i ostavite da gel očvrstne.

#### Podsjetnik za nastavnika:

Kada se elektrolitski most ne upotrebljava, krajeve cijevi uronite u vodu jer inače gel dehidrira pa pri ponovnom uranjanju u elektrolit ostane mjehurić zraka koji sprječava prolaz električnoj struji.

Kad sve dijelove članka povežete, izmjerite digitalnim voltmetrom razliku potencijala između elektroda ili napon članka.

Zabilježite rezultat mjerenja, odredite anodu i katodu i napišite anodnu i katodnu reakciju u ispitivanom članku.

#### Između dva mjerenja valja most dobro isprati destiliranom vodom.

Istim postupkom koji ste primijenili kod pripreme galvanskog članka Zn – Cu pripremite i galvanske članke Pb – Cu i Zn – Pb te izmjerite njihov napon i ustanovite koja je elektroda negativan, a koja pozitivan pol članka.

**Opažanja, rezultati mjerenja i analiza eksperimenta:**

Tablica 12.2. Rezultati mjerenja:

| Galvanski članci                      |         |         |         |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|
|                                       | Zn – Cu | Pb – Cu | Zn – Pb |
| izmjereni napon galvanskog članka u V |         |         |         |
| anodna reakcija                       |         |         |         |
| katodna reakcija                      |         |         |         |
| $E_{cl}$ (izračunati)                 |         |         |         |

Opišite i objasnite opažanja u eksperimentima. Što zaključujete nakon mjerenja?

---

---

---

---

Koje se reakcije zbivaju na pozitivnoj elektrodi ili katodi i na negativnoj elektrodi ili anodi u navedenim galvanskim člancima?

---

---

Prikažite shematski galvanski članak Pb – Cu.

---

Objasnite redoks-reakcije na elektrodama u galvanskom članku Pb – Cu i napišite izjednačenu ukupnu reakciju koja se zbiva u tom članku.

---

---

---

Izračunajte pomoću standardnih redukcijskih elektrodnih potencijala razliku potencijala navedenih članaka,  $E_{cl}^0$ .

Standardne redukcijske elektrodne potencijale upotrebljivanih elektroda u ovoj vježbi pogledajte u tablicu 12.1.

$$E^0(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = 0,337 \text{ V}$$

$$E^0(\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}) = -0,126 \text{ V}$$

$$E^0(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0,76 \text{ V}$$

Usporedite eksperimentalne i računске vrijednosti napona navedenih galvanskih članaka.

---

---

Objasnite razliku teorijski izračunatih i eksperimentalno određenih napona članka.

---

Objasnite zašto u pokusu kao elektrolitnu otopinu nismo mogli upotrijebiti otopinu  $\text{PbSO}_4$ , već  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$ .

---

Nacrtajte galvanski članak Pb – Cu:

**ZAKLJUČAK:**

**ZADATCI :**

1. Naznačite elektrode, elektrolite, elektrolitski most te smjer i orijentaciju putovanja elektrona u galvanskom članku Zn – Pb (na slici ).

|   |   |
|---|---|
|   | $E_{\text{čl}} = E_{\text{katoda}} - E_{\text{anoda}}$ $E_{\text{čl}} = -0,126 \text{ V} - (-0,76 \text{ V})$ $E_{\text{čl}} = 0,646 \text{ V}$ <p>Redoks proces jest spontan jer je napon članka pozitivna vrijednost.</p> |
| Grafički prikaz galvanskog članka Zn – Pb |   |

2. Korištenjem brojčanih podataka u Voltinom nizu treba odgovoriti na pitanja :

a) Može li platina reducirati srebrove ione u vodenoj otopini?

$$E^0(\text{Pt}^{2+}/\text{Pt}) = 1,18 \text{ V}$$

*Ne može jer je standardni redukcijski potencijal platine pozitivniji od srebrova.*

b) Hoće li klor reducirati brom u vodenoj otopini?

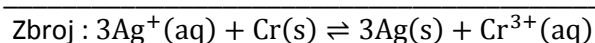
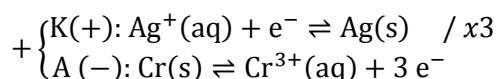
*Neće jer je klor jači oksidans od broma.*

c) Može li u vodenoj otopini krom reducirati srebrove ione u elementarno srebro?

$$E^0(\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}) = -0,74 \text{ V}$$

*Može jer je krom jači reducens od srebra.*

d) Tvrdnju pod c) potkrijepite jednadžbama koje se zbivaju na elektrodama u galvanskom članku sastavljenom od navedenih polučlanaka.

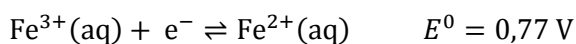
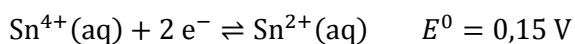


e) Izračunajte razliku potencijala članka. Što možete zaključiti iz rezultata?

$$E_{\text{čl}} = E_{\text{katoda}} - E_{\text{anoda}} = 0,80 \text{ V} - (-0,74 \text{ V}) = 1,54 \text{ V}$$

*Pozitivna vrijednost napona članka upućuje da su opisani procesi spontani i da takav članak proizvodi električnu struju.*

3. Pomoću standardnih redukcijskih potencijala:



Utvrđite je li redoks-reakcija:  $\text{Sn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Sn}^{4+}(\text{aq}) + 2\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$  spontana.

$$E_{\text{čl}} = E_{\text{katoda}} - E_{\text{anoda}}$$

$$E_{\text{čl}} = 0,62 \text{ V}$$

*Reakcija je spontana.*

4. U tablici su navedene vrijednosti standardnih redukcijskih potencijala nekih polučlanaka:

*Tablica 12.2. Standardni redukcijski potencijali nekih polučlanaka*

| Reakcija u polučlanku   | Standardni redukcijski potencijal, $E^0/\text{V}$ |
|---|---|
| $\text{Li}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}(\text{s})$      | - 0,34  |
| $\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}(\text{s})$ | - 1,66  |
| $\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb}(\text{s})$ | - 0,13  |
| $\text{Br}_2(\text{l}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Br}^-(\text{aq})$ | 1,07  |
| $\text{F}_2(\text{g}) + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{F}^-(\text{aq})$   | 2,85  |

Odaberite točnu tvrdnju:

- a) Elementarni litij najjači je oksidans.
- b) Elementarno olovo može reducirati aluminijske ione iz otopine.
- c) Brom je jači oksidans od fluora.
- d) Fluor je jači oksidans od broma.

5. Shematski je prikazan galvanski članak koji se sastoji od kobaltove i aluminijske elektrode:



a) Što označava jedna okomita crta, a što dvije okomite crte?

*Crta označava granicu elektroda – elektrolit, a dvostruka crta elektrolitski most.*

b) Odredite koja je od elektroda anoda, a koja katoda.

*Al – anoda, a elektroda od kobalta jest katoda.*

c) Koncentracija kojih se iona povećava u otopini?

*Povećava se koncentracija  $\text{Al}^{3+}$  - iona.*

d) Masa koje se elektrode tijekom redoks-reakcije povećava?

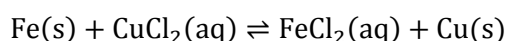
*Povećava se masa kobaltove elektrode.*

6. Za jedan pokus potreban je bakrov(II) klorid visoke čistoće. Hoćemo li tu sol vaditi iz bočice srebrnom ili niklenom žlicom?

*Sol ćemo vaditi srebrnom žlicom jer će s niklenom doći do spontane redoks-reakcije.*

7. Što se može dogoditi kada se pločica željeza uroni:

a) u otopinu bakrova(II) klorida?



*Iz otopine bakrova(II) klorida izlučivat će se bakar jer je standardni redukcijski potencijal bakra pozitivniji od standardnog redukcijskog potencijala željeza.*

b) u otopinu magnezijeva nitrata?

Napišite odgovarajuće jednadžbe reakcija i objasnite svoje odgovore.

$$E^0(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}) = 0,337 \text{ V}, E^0(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = -0,440 \text{ V}, E^0(\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}) = -2,36 \text{ V}.$$

*Ništa se neće dogoditi jer je standardni redukcijski potencijal željeza pozitivniji od standardnog redukcijskog potencijala magnezija.*

8. Shematski prikaz olovnog akumulatora glasi:  $\text{Pb}|\text{Pb}^{2+}|\text{H}_2\text{SO}_4|\text{Pb}^{2+}|\text{PbO}_2$ .

Rabeći standardne redukcijske elektrodne potencijale iz elektrokemijskog niza elemenata izračunajte standardni potencijal jedne ćelije olovnog akumulatora.



$$E_{\text{ćl}} = E_{\text{katoda}} - E_{\text{anoda}}$$

$$E_{\text{ćl}} = 1,69 \text{ V} - (-0,126 \text{ V}) = 1,816 \text{ V}$$

9. Korozija željeznih cijevi koje su pod zemljom sprečava se uvođenjem šipki, najčešće od magnezija. To je tzv. katodna zaštita od korozije. Pri tome se zbivaju sljedeće reakcije:



Objasnite kako na ovaj način možemo zaštititi željezo od hrđanja. Što je ovdje katoda, a što anoda? Objasnite izraz katodna zaštita.

*Zbog elektronegativnijeg elektrodnog potencijala magnezija postat će anoda galvanskog članka.*

*Katodna zaštita bazira se na činjenici da metal uključen u strujni krug kao katoda ne korodira. Željezo se štiti pomoću magnezija. Električnim spajanjem željeza s magnezijem stvara se galvanski članak u kome je zaštićeni predmet katoda, a neplemeniti metal anoda.*

**Utvrđite svoje znanje iz galvanskih članaka pomoću sadržaja na web adresi:**

<http://www.kentchemistry.com/moviesfiles/Units/Redox/voltaiccellII20.htm> (kolovoz 2016.)

### **Zadaci za samostalni rad**

1. Saznajte više o zbrinjavanju potrošenih elektrokemijskih izvora električne energije.

Saznajte više o teškim metalima koji se rabe u baterijama i akumulatorima i napravite plakat koji će ostale učenike poticati na njihovo pravilno i odgovorno prikupljanje s ciljem zaštite okoliša i uštede prirodnih sirovina.

2. Istražite građu i način rada litij-ionskih baterija

Većina novih elektronskih uređaja, mobiteli i prijenosna računala koriste punjive litij - ionske baterije, litij-ionske akumulatore i novije litij-ionske polimerne akumulatore. Potražite u medijima o prednosti tih uređaja.

3. Istražite građu i način rada automobila s gorivnom ćelijom

Svi proizvođači automobila u svijetu dizajniraju, ispituju i proizvode automobile s pogonom na vodik kao alternativno gorivo. Takvi su automobili opremljeni gorivnom ćelijom. Ona je zapravo galvanski članak u kojem vodik „sagorijeva“ u vodu. Čine je vodik i kisik koji se zasebno pod tlakom dovode na elektrode uronjene u otopinu kalijeva hidroksida. Na anodi se oksidira vodik iz spremnika, a na

katodi se reducira kisik iz zraka. Napon je članka 1,23 V. Gorivni su članci ekološki izvori električne struje.

4. Potražite na internetskim stranicama podatke o hibridnim električnim automobilima

Zbog promjenljive cijene nafte i nesigurne opskrbe naftom proizvode se hibridni električni automobili. Istražite i napišite kratki pisani rad o prednostima hibridnih električnih automobila u odnosu na konvencionalne automobile s unutarnjim izgaranjem?

5. Saznajte više o uređajima za kontrolu količine alkohola u dahu

Za analizu alkohola u dahu danas se uspješno primjenjuje redoks–reakcija na bazi gorivoga članka. Istražite rad tih uređaja i pripremite kratko izlaganje.

6. Proširite i ponovite gradivo o olovnim akumulatorima

- Ponovite sastavne dijelove olovnog akumulatora te redoks–reakcije prilikom pražnjenja i punjenja olovnog akumulatora.
- Istražite ako se iz nekih razloga automobil ne vozi dulje vrijeme, što valja činiti da akumulator sasvim ne propadne.
- Istražite što se može očekivati da će se dogoditi s akumulatorom ako se automobil cijele zime ostavi na parkiralištu.

## 13. FARADAYEVI ZAKONI

### Redoslijed aktivnosti:

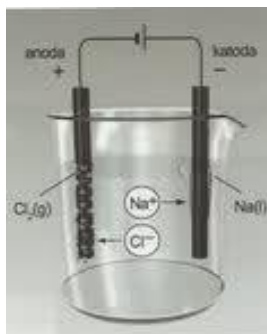
- 1.) Jedan sat potreban je za obnavljanje učeničkog znanja o elektroliznim člancima. Na tom satu nastavnik može izabrati neke od RCWT tehnika rada.
- 2.) Sljedeća dva sata učenici će izvesti pokus u skupini, odgovoriti na pitanja, obraditi izmjerene podatke i napisati zaključke.
- 3.) Jedan sat predviđen je za rješavanje zadataka iz priručnika i zadataka postavljenih na elektroničku platformu.

### Uvod

Elektroliza je elektrokemijski proces koji se zbiva u elektroliznom članku, pri čemu narinuti istosmjerni napon uzrokuje reakcije redukcije i oksidacije. Kod elektrolize se električna energija pretvara u kemijsku energiju.

Metalne elektrode mogu sudjelovati u procesu elektrolize, a kemijski inertne elektrode izrađuju se od grafita ili od platine.

Od više mogućih reakcija pri elektrolizi na elektrodi se zbiva ona za koju je potrebna manja energija.



Slika 13.1. Elektroliza taline natrijevog klorida

Pri elektrolizi vodenih otopina vrijedi:

- **na katodi** će se reducirati vodik iz molekula vode ako su kao kationi u elektrolitu prisutni alkalijski, zemnoalkalijski ili  $\text{Al}^{3+}$  ioni
- **na anodi** će se oksidirati kisik iz molekula vode ako su kao anioni u elektrolitu prisutni složeni anioni ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), a od jednostavnih iona samo fluoridni ion,  $\text{F}^-$ .

Jedinica električnog naboja = 1 C (kulon) = 1 A s (amper sekunda)

Električni naboj jednoga mola elektrona jest Faradayeva konstanta,  $F$ .

$$F = 96\,500 \text{ C mol}^{-1} = 96\,500 \text{ A s mol}^{-1} = 26,8 \text{ A h mol}^{-1}.$$

**I. Faradayev zakon** kazuje da je množina tvari koja se pri elektrolizi izluči na bilo kojoj elektrodi proporcionalna električnom naboju koji prođe kroz elektrolit.

$$Q = I \cdot t \qquad n = \frac{Q}{z \cdot F}$$

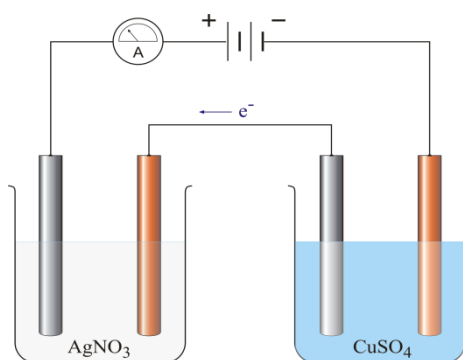
gdje je  $z$  = broj elektrona koji se izmijeni u reakciji, a  $F$  = Faradayeva konstanta i iznosi 96 487 C/mol.



**II. Faradayev zakon** kaže da su množine tvari izlučene na elektrodama serijski spojenih elektrolizera istom količinom naboja obrnuto proporcionalne broju izmijenjenih elektrona u tim reakcijama.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

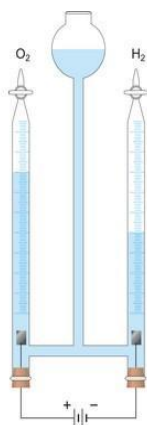
Michael Faraday (1791. – 1867.) jedan je od najvećih znanstvenika svih vremena. Proučavajući između ostalog djelovanje električne struje na elektrolite otkrio je zakone elektrolize.



Slika 13.2. Faradayevi zakoni elektrolize

#### Uvodno razmišljanje o elektroliznim člancima

1. Što je potrebno da se sastavi laboratorijski uređaj za elektrolizu?
2. Opišite što će nastati elektrolizom taline NaCl.
3. Objasnite zašto su drugačiji polariteti katode i anode pri elektrolizi u odnosu na galvanski članak.
4. Najniži napon koji valja primijeniti da bi elektroliza bila moguća jest napon razlaganja.
5. U svakidašnjem životu primjer za primjenu elektrolize jest punjenje olovnog akumulatora.



Slika 13.3. Hoffmanov aparat za elektrolizu

#### Zadatak:

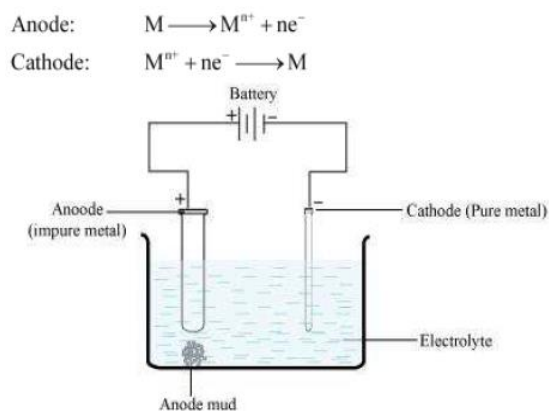
- Eksperimentalno utvrditi kako se tijekom elektrolize mijenja masa elektroda.
- Obraditi i objasniti izmjerene podatke i odgovoriti na postavljena pitanja.

### POKUS 1: Elektroliza otopine bakrova(II) sulfata s topljivom anodom

**Pribor:** čaša od 250 mL, 2 bakrene pločice 2 x 6 cm, 2 krokodil štipaljke, 2 spojne žice, izvor istosmjerne struje od 12 V (ispravljač), stalak s dvije kleme za elektrode

**Kemikalije:** otopina bakrova(II) sulfata ( $\text{CuSO}_4$ ) = 1 mol/L zakiseljena sa sumpornom kiselinom, digitalna vaga.

**Koristite zaštitne naočale i zaštitne rukavice**



Slika 13.4. Aparatura za elektrolizu otopine bakrova(II) sulfata s topljivom anodom

U čašu od 250 mL s otopinom bakrova(II) sulfata uronite izvagane bakrene elektrode.

Elektrode spojite s izvorom struje i ostavite da elektroliza teče oko 10 minuta. Nakon toga elektrode dobro operite vodovodnom i destiliranom vodom te alkoholom i ostavite da se osuše.

Ponovno izvažite i utvrdite promjenu masa.

Rezultate eksperimenta unesite u tablicu.

Tablica 13.2. Izmjerene mase elektroda prije i nakon elektrolize

|        | Masa prije elektrolize<br>$m_1/g$ | Masa nakon elektrolize<br>$m_2/g$ | Razlika masa<br>$(m_2 - m_1)/g$ | Trajanje elektrolize, $t/s$ |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| katoda |                                   |                                   |                                 |                             |
| anoda  |                                   |                                   |                                 |                             |

**Razmislite i odgovorite na pitanja:**

1. Opišite i objasnite opažanja. Što zaključujete nakon mjerenja?

---

---

---

---

Analizirajte rezultate eksperimenta i prikažite ih jednadžbama kemijskih reakcija.

---

---

---

---

katoda (-):

anoda (+):

---

Ukupna reakcija:

Na kojoj se elektrodi bakar izlučuje, a na kojoj se otapa.

---

Objasnite što će nastati ako se elektrolizira  $\text{CuSO}_4$  (aq), a elektrode su od grafita.

Prikažite promjene na elektrodama parcijalnim jednadžbama oksidacije i redukcije te napišite jednadžbu ukupne kemijske reakcije.

---

---

katoda (-):

anoda (+):

---

Ukupna reakcija:

---

## POKUS 2: Elektroliza otopine bakrova(II) sulfata s topljivom anodom – prošireni pokus

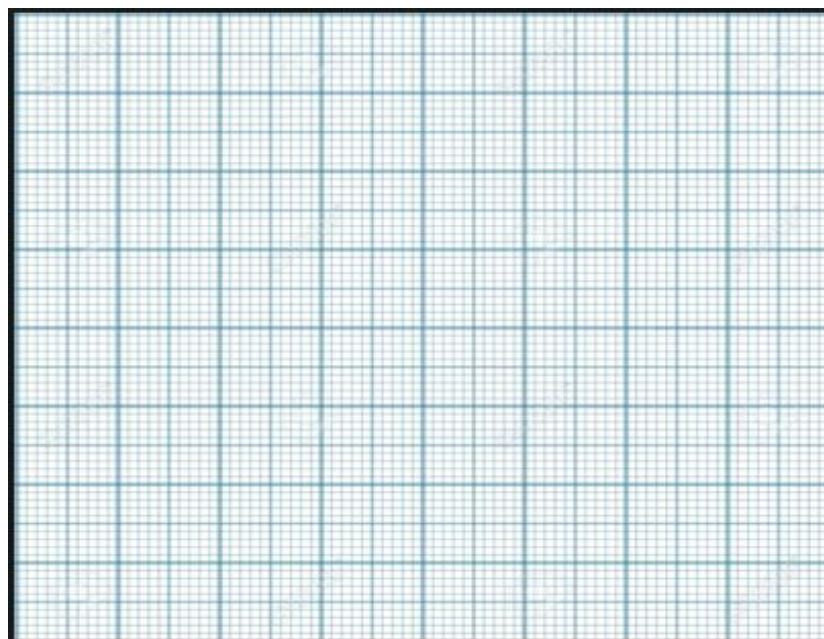
Radi daljnjeg ispitivanja elektroliza se može provoditi različito vrijeme. Eksperiment se radi po uputama opisanim za početni eksperiment. Rezultate rada unesite u tablicu 13.3.

Tablica 13.3. Rezultati mjerenja masa bakra i trajanje elektrolize

|                                       |    |    |
|---------------------------------------|----|----|
| Napon / V                             | 12 | 12 |
| Masa katode prije elektrolize $m_1/g$ |    |    |
| Masa katode nakon elektrolize $m_2/g$ |    |    |
| Razlika masa katode $(m_2-m_1)/g$     |    |    |
| Masa anode prije elektrolize $m_1/g$  |    |    |
| Masa anode nakon elektrolize $m_2/g$  |    |    |
| Razlika masa anode $(m_2-m_1)/g$      |    |    |
| Trajanje elektrolize $t/min$          | 20 | 30 |

Na temelju praćenja pokusa utvrdite kako se odnose mase bakra izlučene na katodi i vrijeme elektrolize te prikažite rezultate mjerenja grafički. Na os apscise unesite vrijeme elektrolize, a na os ordinate odgovarajuću masu bakra.

Hoće li masa bakra izlučena na katodi biti jednaka masi bakra koji se otopi na anodi ako je anoda od čistog bakra?



Grafički prikaz rezultata mjerenja (uzeti sva tri mjerenja)

Crtež laboratorijske aparature za elektrolizu:



**Zaključak:**

---

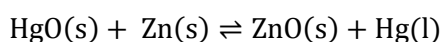
---

---

---

**ZADATCI:**

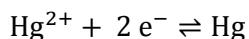
1. Baterija digitalnog sata proizvodi električnu struju kemijskom reakcijom koju prikazuje jednačina:



a) Koja se jedinica reducirala u navedenoj reakciji prikazanoj jednačinom kemijske reakcije?



b) Prikažite reakciju koja se odvija na (+) polu baterije digitalnog sata.



c) U navedenoj bateriji nalazi se po 1 g obaju reaktanata. Dokažite računom koji će od reaktanata odrediti vrijeme rada trajanja baterije. ( $M_r(\text{HgO})=216,6$ )

$$m(\text{HgO}) = 1 \text{ g}$$

$$n(\text{HgO}) = \frac{m(\text{HgO})}{M(\text{HgO})} = 0,00462 \text{ mol}$$

$$m(\text{Zn}) = 1 \text{ g}$$

$$n(\text{Zn}) = \frac{m(\text{Zn})}{M(\text{Zn})} = \frac{1 \text{ g}}{65,38 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0153 \text{ mol}$$

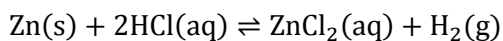
Vrijeme rada baterije određuje HgO.

d) Izračunajte koliko će sati ova baterija proizvoditi električnu struju od 0,20 mA.

$$Q = I \cdot t$$

$$t = \frac{z \cdot n \cdot F}{I} = 1 \text{ 238 h}$$

2. Debljina sloja cinka nanesenog elektrolitičkim putem na željeznu pločicu određena je mjerenjem razvijenog plinovitog vodika iz reakcije cinka s kiselinom:



Iz sljedećih podataka izračunajte debljinu sloja pocinčane željezne pločice. Pločica je veličine 1,50 x 2,00 cm. Volumen suhog vodika iznosi 30 mL pri temperaturi 25 °C i tlaku 747 mmHg. Gustoća cinka iznosi 7,11 g cm<sup>-3</sup>.

$$n(\text{Zn}) = n(\text{H}_2)$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{p(\text{H}_2) \cdot V}{R \cdot T} = 1,21 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(\text{Zn}) = 1,21 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

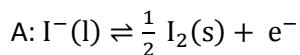
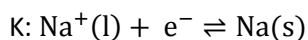
$$m(\text{Zn}) = n \cdot M = 1,21 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 65,38 \text{ g mol}^{-1} = 79,11 \cdot 10^{-3} \text{ g}$$

$$V(\text{Zn}) = \frac{m(\text{Zn})}{\rho(\text{Zn})} = 10,98 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3$$

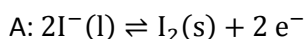
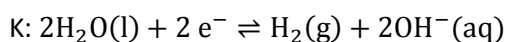
$$\text{Debljina sloja, } d = \text{volumen cinka} / \text{površina pločice} = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$$

3. Na primjeru natrijevog jodida jednadžbama pokažite da elektroliza taline i vodene otopine nekog elektrolita ne mora dovesti do istih reakcija na katodi i anodi.

Elektroliza taline NaI:

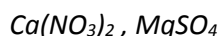


Elektroliza vodene otopine NaI:



4. Od sljedećih soli: AlCl<sub>3</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub>, CaI<sub>2</sub>, CuCl<sub>2</sub>, AgNO<sub>3</sub> izdvojite one iz kojih se u procesu elektrolize vodenih otopina mogu dobiti:

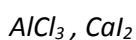
a) vodik i kisik



b) metal i kisik



c) vodik i halogeni element



d) metal i halogeni element



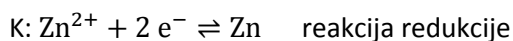
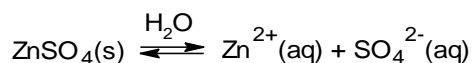
5. Koliko sati treba provoditi elektrolizu otopine cinkovog sulfata da se električnom strujom od 10 A dobije 2 kg cinka?

$$I = 10,0 \text{ A}$$

$$m(\text{Zn}) = 2 \text{ kg} = 2000 \text{ g}$$

$$t = ?$$

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{n \cdot z \cdot F}{I} = \frac{m \cdot z \cdot F}{M \cdot I} = \frac{2000 \text{ g} \cdot 2 \cdot 96485 \text{ C mol}^{-1}}{65,39 \text{ g mol}^{-1} \cdot 10,0 \text{ A}} = 590212,6 \text{ s} = 163,94 \text{ h}$$



*Potrebno vrijeme: 164 sata.*

6. Električna struja od 5,00 A prolazi 30 minuta kroz otopinu cinkove soli. Masa je cinka izlučenog na katodi 3,048 g. Izračunajte relativnu atomsku masu cinka.

$$I = 5,00 \text{ A}$$

$$t = 30,00 \text{ min} = 1800 \text{ s}$$

$$m(\text{Zn}) = 3,048 \text{ g}$$

$$Ar(\text{Zn}) = ?$$

$$M = \frac{m \cdot z \cdot F}{t \cdot I} = \frac{3,048 \text{ g} \cdot 2 \cdot 96485 \text{ C mol}^{-1}}{1800 \text{ s} \cdot 5,00 \text{ A}} = 65,35 \text{ g mol}^{-1}$$

$$\text{R: } Ar(\text{Zn}) = 65,35$$

7. U prvom od dvaju serijskih spojenih elektroliznih članaka vodena je otopina cinkova klorida, a u drugom vodena otopina kromova(III) nitrata. Kolika je masa kroma koji se izluči na katodi drugoga elektrolizera ako se u prvom elektrolizeru (u istom vremenu) na anodi razvije množina klora 1,2 mola?

$$n(\text{Cl}_2) = 1,2 \text{ mol}$$



2. Faradayev zakon:

$$\frac{n(\text{Cr})}{n(\text{Cl}_2)} = \frac{2}{3}$$

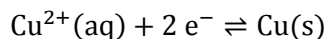
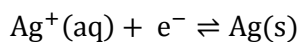
$$n(\text{Cr}) = \frac{2}{3} \cdot n(\text{Cl}_2) = 0,8 \text{ mol}$$

$$m(\text{Cr}) = n(\text{Cr}) \cdot M(\text{Cr}) = 41,6 \text{ g}$$

*Masa kroma: 41,6 g*

8. Zadana su serijski spojena dva elektrolizna članka kojima protječe jednaka struja. U prvom se nalazi otopina  $\text{Ag}^+$ , a u drugom otopina iona  $\text{Cu}^{2+}$ .

a) Napišite jednadžbe redukcije koje se zbivaju na katodama pojedinih elektroliznih članaka.



b) U kakvom su međusobnom odnosu množina jednog mola elektrona u pojedinim elektroliznim člancima i množine izlučenih metala katodnom redukcijom?

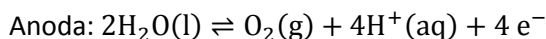
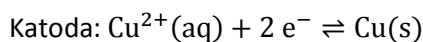
$$n(\text{e}^-) = n(\text{Ag}) = 2 \cdot n(\text{Cu})$$

c) U kakvom su međusobnom odnosu množine izlučenih metala reakcijama redukcije na katodama elektroliznih članaka ako je elektroliznim člancima protekao električni naboj koji odgovara Faradayevoj konstanti? Primjerice:  $n(\text{Ag})/n(\text{Cu})=?$

$$\frac{n(\text{Ag})}{n(\text{Cu})} = \frac{1 \text{ mol}}{0,5 \text{ mol}} = 2$$

9. Vodena otopina bakrova(II) sulfata podvrgnuta je elektrolizi. Koliko će grama bakra, odnosno kisika nastati tijekom elektrolize ako je kroz elektrolizni članak prolazila električna struja od 5 A u vremenu od 1,5 sata? Analizirajte zadatak i objasnite ga Faradayevim zakonom elektrolize.

Reakcije oksidacije i redukcije:



Jednadžba nas uči da su za stvaranje jednog mola bakra potrebna dva mola elektrona, a za naš zadatak to znači:

$$n(\text{Cu}) = \frac{Q}{z \cdot F} = \frac{I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$m(\text{Cu}) = \frac{I \cdot t \cdot M(\text{Cu})}{z \cdot F} = \frac{5 \text{ A} \cdot 5400 \text{ s} \cdot 63,55 \text{ g mol}^{-1}}{2 \cdot 96500 \text{ C mol}^{-1}} = 8,89 \text{ g}$$

Iz jednadžbe reakcije vidi se da su za stvaranje jednog mola molekula plinovitog kisika potrebna četiri mola elektrona:

$$n(\text{O}_2) = \frac{Q}{z \cdot F} = \frac{I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$m(\text{O}_2) = \frac{I \cdot t \cdot M(\text{O}_2)}{z \cdot F} = \frac{5 \text{ A} \cdot 5400 \text{ s} \cdot 32,00 \text{ g mol}^{-1}}{4 \cdot 96500 \text{ C mol}^{-1}} = 2,24 \text{ g}$$

$$m(\text{Cu}) = 8,89 \text{ g}, m(\text{kisika}) = 2,24 \text{ g.}$$





**KVANTNA  
FIZIKA I KEMIJA**



## 14. FOTOELEKTRIČNI UČINAK

### Redoslijed aktivnosti:

1.) Jedan sat potreban je za raspravu na zadanu temu. Učenici se moraju pripremiti za temu o kojoj trebaju raspravljati. Nastavik će zamoliti učenike da u pet minuta na papir napišu u obliku natuknica sve što znaju o solarnim pločama. Nakon pet minuta grupe od pet učenika raspraviti će i napisati na papir A3 formata svoje saznanja. Nakon rasprave predstavnik grupe prezentirat će odgovore koje će nastavnik objesiti na ploču.

Nastavnik pokreće diskusiju o principu funkcioniranja solarnih ploča, od kojih su materijala napravljene i kako se sunčeva energija pretvara u toplinsku, odnosno električnu energiju te koliko su zastupljene u Hrvatskoj, Europi, svijetu u usporedbi s konvencionalnim oblicima dobivanja električne energije. Najbolje ideje koje opisuju rad napišu se na ploču u obliku natuknica.

2.) Sljedeća tri sata učenici će pomoću virtualnog pokusa proučiti fotoelektrični učinak, odgovoriti na pitanja i obraditi izmjerene podatke te napisati zaključke.

3.) Nakon toga jedan sat predviđen je za izradu i prezentaciju seminar-eseja i odgovaranje na pitanja pod „Proučite i napišite samostalni rad“. Tijekom njega učenici istražuju na internetu, mogu raspravljati međusobno ili s nastavnikom.

4.) Dva sata predviđena su za rješavanje numeričkih zadataka iz priručnika i zadataka postavljenih na elektroničku platformu.

### Uvod

Fotoelektrični učinak ili efekt pojava je izbijanja elektrona iz metala pod djelovanjem elektromagnetskog zračenja. Otkrio ga je Heinrich Herz 1887. prilikom izvođenja pokusa za dokazivanje postojanja elektromagnetskih valova.

J. J. Thompson i P. Lenard 1899. dokazali su da se pri fotoefektu izbacuju negativno nabijene čestice – elektroni.

Albert Einstein 1905. objašnjava fotoefekt primjenom Planckove hipoteze o kvantima energije; kvantizira elektromagnetsko polje i uvodi čestice svjetlosti kasnije nazvane fotoni.

Za fotoefekt potrebni su fotoni energije od nekoliko elektronvolti do preko 1 MeV i kemijski elementi visokog atomskog broja.

Proučavanje fotoefekta dovelo je do važnog otkrića kvantne prirode svjetlosti i elektrona te do stvaranja ideje dvojne prirode svjetlosti, to jest da svjetlost pokazuje svojstva vala i čestice. Osim toga došlo se do novih pojmova kao što je fotovodljivost, fotootpornost, fotonaponski efekt i fotoelektrokemijski efekt.

Proučavajući fotoelektrični efekt uočene su sljedeće činjenice:

- porast intenziteta svjetlosti uzrokuje porast broja fotoelektrona, ali ne i porast njihove maksimalne kinetičke energije;
- crvena svjetlost ne uzrokuje izbacivanje elektrona bez obzira na intenzitet.

Te karakteristike fotoelektričnog efekta bile su u kontradikciji s očekivanjima klasične fizike. Izbacivanje elektrona iz materijala neovisno o intenzitetu izvora elektromagnetskog zračenja

ukazuje na to da se radi o interakciji dviju čestica. Jedna čestica (foton) predaje svu svoju energiju drugoj čestici (elektronu). Elektroni izbačeni s metalne natrijeve površine mjere se kao električna struja.

Analiza podataka dobivenih fotoelektričnim efektom pokazala je da je energija izbačenih elektrona proporcionalna s frekvencijom upadne svjetlosti. To se dobro uklapalo s Planckovom pretpostavkom o diskretnoj vrijednosti energije:

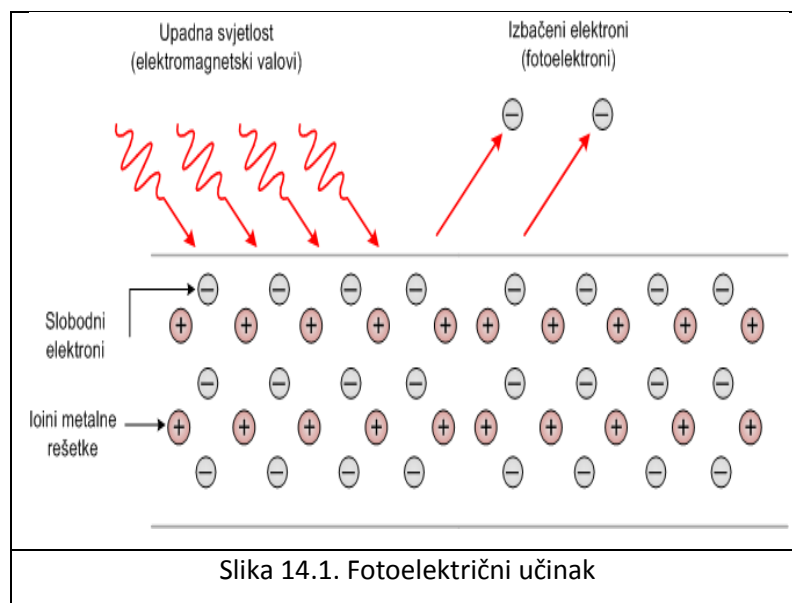
$$E = h \cdot f$$

pri čemu je  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$

Minimalna energija potrebna za izbacivanje elektrona s površine zove se izlazni rad  $W_i$  i ovisi o vrsti korištenog metala.

$$W_i = h \cdot f_g$$

Granična frekvencija,  $f_0$  najmanja je frekvencija elektromagnetskog vala koja izaziva fotoefekt. Obasjamo li metal elektromagnetskim valom frekvencije jednake graničnoj frekvenciji, elektroni će izaći iz unutrašnjosti metala na površinu metala, ali neće imati nikakvu brzinu gibanja.



Slika 14.1. Fotoelektrični učinak

Tablica 14.1. Izlazni rad elemenata

| Element  | $W_i/eV$ | Element | $W_i/eV$ | Element | $W_i/eV$ | Element            | $W_i/eV$ |
|----------|----------|---------|----------|---------|----------|--------------------|----------|
| Aluminij | 4,08     | Berilij | 5,0      | Kadmij  | 4,07     | Kalcij             | 2,9      |
| Ugljik   | 4,81     | Cezij   | 2,1      | Kobalt  | 5,0      | Bakar              | 4,7      |
| Zlato    | 5,1      | Željezo | 4,5      | Olovo   | 4,14     | Magnezij           | 3,68     |
| Živa     | 4,5      | Nikal   | 5,01     | Niobij  | 4,3      | Kositar            | 2,3      |
| Platina  | 6,35     | Selenij | 5,11     | Srebro  | 4,26     | Srebro monokristal | 4,73     |
| Natrij   | 2,28     | Uranij  | 3,6      | Cink    | 4,3      |                    |          |

Obasjamo li metal svjetlošću frekvencije veće od granične, razlika energije koja se potrošila na savladavanje izlaznog rada elektrona i energije kojom je obasjan metal, potrošit će se na ubrzanje elektrona kojim će napustiti površinu metala.

Einstein je objasnio fotoelektrični efekt 1905. korpuskularnom teorijom svjetlosti kvantizirajući elektromagnetsko polje, a Millikan je 1914. eksperimentalno pokazao da postoji granična frekvencija ispod koje nema fotoefekta i na taj način potvrdio Einsteinovu teoriju.

Einsteinova relacija koja opisuje fotoelektrični efekt:

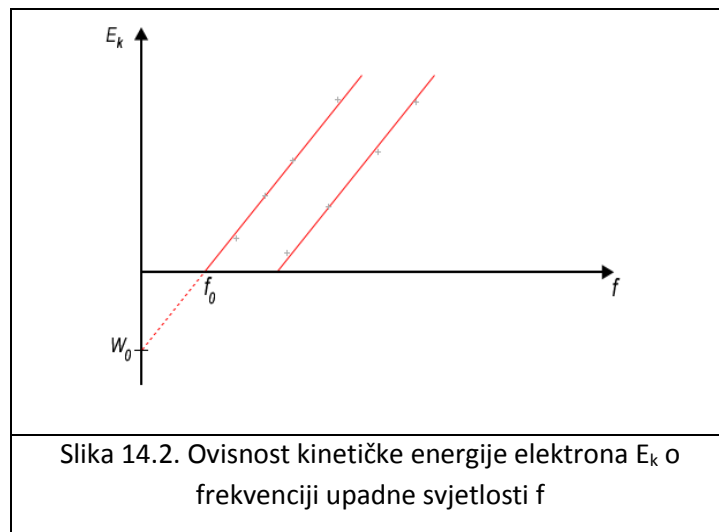
$$h \cdot f = W_i + \frac{m \cdot v_{max}^2}{2}$$

Millikan je prvi pokazao da napon zaustavljanja, odnosno maksimalna kinetička energija ovisi samo o frekvenciji svjetlosti.

Ako se na anodu priključi negativan napon, električna se struja smanjuje i pada na vrijednost nula pri tzv. naponu zaustavljanja  $U_z$ . Mjereći napon zaustavljanja određujemo maksimalnu brzinu i kinetičku energiju fotoelektrona:

$$\frac{m \cdot v_{max}^2}{2} = e \cdot U_z$$

gdje je  $e = 1,605 \cdot 10^{-19}$  C.



Što je intenzitet svjetlosti kojim obasjamo metal veći, veći je broj emitiranih elektrona pa je i fotostruja veća.

Smanjivanjem napona smanjuje se i fotostruja. Kada napon padne na nulu, fotostruja ne iščezne, što znači da fotoelektroni i dalje izlaze iz katode.

Foton je čestica mase mirovanja jednaka nuli, a giba se u vakuumu brzinom svjetlosti, tj.

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}.$$

Elektron je čestica mase mirovanja  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$  kg, brzine gibanja  $v$ .

$$E = m \cdot c^2 \quad m = \frac{E}{c^2} = \frac{h \cdot f}{c^2}$$

Količina gibanja fotona:

$$m \cdot c = \frac{h \cdot f}{c^2} \cdot c \qquad p_{\text{fotona}} = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Pojava da se zračenjem nekog metala povećava broj elektrona koji probijaju potencijalnu barijeru i izlijeću iz površine metala zove se vanjski fotoelektrični efekt.

Pojava da se zračenjem nekih tvari (najčešće poluvodiča) oslobađaju elektroni iz valentne vrpce i prelaze u vodljivu vrpcu, čime se povećava električna vodljivost te tvari, zove se unutrašnji fotoelektrični učinak.

Fotovodljivost je optička i električna pojava kada materijali kao što su poluvodiči (selenij, germanij, silicij) postaju vodljivi zbog apsorpcije elektromagnetskog zračenja.

Primjena: solarne ćelije, fotodiode, fotovodljivi materijali u fotokopirnim aparatima, digitalni fotoaparati, fotomultiplikator, fotoelektronska spektroskopija, kserografija...

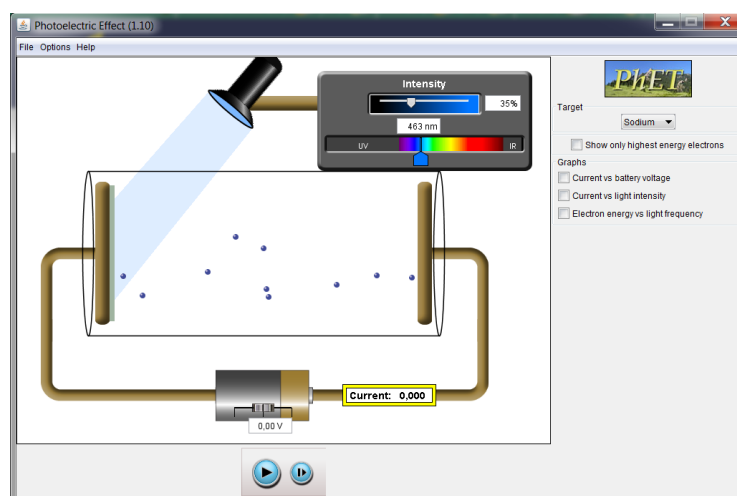
### Zadatak:

- Ispitati kako intenzitet svjetlosti, a time gustoća fotona utječe na izbijanje elektrona iz metala.
- Odrediti koja maksimalna valna duljina, odnosno minimalna frekvencija svjetlosti utječe na pojavu fotoefekta kod različitih metala.
- Ispitati kako kinetička energija fotoelektrona ovisi o intenzitetu svjetlosti.
- Ispitati kako kinetička energija fotoelektrona ovisi o frekvenciji svjetlosti.
- Odrediti eksperimentalno Planckovu konstantu.

### VIRTUALNI POKUS:

U bilo koju tražilicu na internetu upišite:

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/photoelectric>



Slika 14.2. Phet simulacija

1. Otvorite Phet simulaciju. Mišem pomaknite klizač i izaberite područje na kojem se nalazi crvena svjetlost. Povećajte intenzitet svjetlosti s 0 % do 100 %. Ima li svjetlost dovoljno energije za izbijanje elektrona iz metala?

---

2. U gornjem izborniku „Options“ izaberite „Show fotons“. Pomaknite klizač slijeva nadesno da povećate intenzitet zračenja svjetlosti. Što postavka intenziteta fotona kontrolira?

---

3. Pomaknite intenzitet zračenja fotona na 0 % i provjerite mijenja li se nešto ako mijenjate boje svjetlosti. Krenite od IR-područja preko crvene, žute, zelene, plave, ljubičaste do UV-područja.

---

4. Odabran vam je metal Sodium (Natrij). Pomaknite intenzitet zračenja na 50 %. Pomoću klizača za promjenu valne duljine, odnosno frekvencije zračenja pronađite najveću valnu duljinu kod koje se pojavljuje izbijanja elektrona. Očitajte jakost struje u strujnom krugu.

**Ako ne mogu klizačem namjestiti vrijednost, neka ga upišu u kućici i pritisnu enter.**

---

a) Na toj valnoj duljini mijenjajte intenzitet zračenja svjetlosti od 0 % do 100 %. Što se mijenja? Što ostaje stalno kod izbijenih elektrona?

---

---

---

5. Postavite intenzitet svjetlosti na 30 %. Pomičite klizač prema manjim valnim duljinama. Promatrajte izbijene elektrone, ima li ih? Promatrajte njihovo gibanje. Mijenja li se električni napon i električna struja. Što se mijenja, a što ostaje isto?

---

---

---

a) Ponovite isti postupak samo povećajte intenzitet zračenja fotona na 60 %. Što se promijenilo u usporedbi s mjerenjem na 30 % intenziteta zračenja, a što je ostalo jednako?

---

---

---

6. Postavite uvjete da je intenzitet zračenja 50 %. Namjestite valnu duljinu svjetlosti pri kojoj je jedva došlo do izbijanja elektrona iz metala natrija.

a) Izračunajte frekvenciju fotona i izrazite je u SI.

**Tu frekvenciju nazivamo granična frekvencija fotoelektričnog učinka.**

b) Izračunajte energiju fotona u eV.

**Izračunata energija naziva se izlazni rad. To je minimalna energija kojom je potrebno obasjati metal da dođe do izbijanja elektrona iz metala.**

c) Kolika je električna struja u električnom strujnom krugu fotoćelije?

---

d) Imaju li elektroni nekakvu brzinu gibanja s jedne elektrode do druge?

---

e) Kolika je kinetička energije elektrona izbijenih iz metala?

---

f) Gdje se nalaze elektroni koji su izbijeni energijom fotona koja je jednaka izlaznom radu?

---

7. Postavite valnu duljinu svjetlosti na 430 nm. Intenzitet zračenja neka bude 50 %.

a) Izračunajte energiju fotona u eV.

b) Uočite brzinu kojom elektroni izlijeću iz metala. Usporedite energiju fotona ovog zadatka s energijom fotona prethodnog zadatka. Odakle dodatna energija gibanja elektrona koji su izbijeni pomoću fotona?

---

c) Kako kinetička energija ovisi o energiji zračenja i izlaznom radu metala?

---

---

d) Koliku kinetičku energiju imaju elektroni obasjani ljubičastom svjetlošću (430 nm)?



8. Postavite intenzitet zračenja na 50 %, valnu duljinu svjetlosti na 200 nm (UV-područje). Neka napon baterije ostane 0 V. Povećavajte polako napon baterije od 0 V do + 5 V.

a) Promatrajte izbijene elektrone, njihovo gibanje i brojnost te električnu struju. Što opažate?

---

---

b) Desna elektroda (anoda) \_\_\_\_\_ elektrone izbijene iz metala?

c) Kako je nabijena anoda u fotoćeliji?

---

d) Povećajte intenzitet zračenja s 50 % na 100 %, napon +5 V, valna je duljina svjetlosti 200 nm. Što opažate?

---

9. Valna duljina svjetlosti neka bude 200 nm, intenzitet zračenja 50 %, ali sada polako mijenjajte napon od 0 V prema -5 V.

a) Promatrajte izbijene elektrone, njihovo gibanje i brojnost te električnu struju. Što opažate?

---

---

---

b) Lijeva elektroda (katoda) \_\_\_\_\_ elektrone izbijene iz metala?

c) Kako je nabijene katoda u fotoćeliji?

---

d) Povećajte intenzitet zračenja s 50 % na 100 %, napon -5 V, valna je duljina svjetlosti 200 nm. Što opažate?

---

---

---

10. Ostavite valnu duljinu svjetlosti na 200 nm, intenzitet zračenja na 50 %. Pokušajte pronaći razliku električnih potencijala između ploča fotoćelije, odnosno električnog napona koji jedva zaustavlja elektrone da stignu na anodu fotoćelije.

a) Zapišite iznos električnog napona.

---

**Taj se napon naziva napon zaustavljanja ( $U_z$ ).**

b) Kako prepoznajete da je to točna vrijednost koju tražimo? Kakva električna struja mora biti u tom slučaju?

---

c) Postoji li neka poveznica s kinetičkom energijom izbijenih elektrona i naponom zaustavljanja? Ako postoji, koja?

---

---

d) Kako su povezane kinetička energija gibanja izbijenih elektrona i električna potencijalna energija?

---

---

---

---

**Mjereći napon zaustavljanja određujemo maksimalnu brzinu i kinetičku energiju fotoelektrona.**

e) Ako biste još više povećali frekvenciju zračenja, odnosno smanjili valnu duljinu svjetlosti, bi li prethodno izmjerena vrijednost za napon zaustavljanja imala istu vrijednost? Objasnite zašto? Provjerite.

---

---

---

11. Samostalno izračunajte sljedeće vrijednosti za natrij pri valnoj duljini 200 nm:

a) Frekvenciju zračenja svakog pojedinog fotona svjetlosti u eV.

b) Energiju svakog pojedinog fotona svjetlosti.

c) Graničnu frekvenciju za fotoelektrični učinak metala natrija.

d) Izlazni rad metala natrija u eV.

e) Maksimalnu kinetičku energiju izbijenih elektrona.

12. Razmislite o tome što ste dosada ispitali na metalu natrija. Kakve zaključke možete zapisati? Što ste naučili o fotoelektričnom učinku?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**ZADACI ZA SAMOSTALAN RAD U VIRTUALNOM EKSPERIMENTU:**

1. Za svaki metal (natrij, cink, bakar, platinu, kalciji i nepoznati metal) odredite maksimalnu valnu duljinu, odnosno graničnu frekvenciju potrebnu za pojavu fotoelektričnog učinka. Intenzitet zračenja postavite na 100 %. Uključite „*Show only highest energy electrons*“. Izračunajte energiju zračenja, odnosno izlazni rad metala. Zapišite podatke u tablicu.

Tablica 14.2. Maksimalna valna duljina, odnosno granična frekvencija zračenja koja izaziva fotoelektrični učinak

| Metal     | $\lambda_M$ /nm | $\lambda_M$ /m | $f_g$ /Hz | $W_i$ /J | $W_i$ /eV |
|-----------|-----------------|----------------|-----------|----------|-----------|
| Natrij    |                 |                |           |          |           |
| Cink      |                 |                |           |          |           |
| Bakar     |                 |                |           |          |           |
| Platina   |                 |                |           |          |           |
| Kalcij    |                 |                |           |          |           |
| Nepoznati |                 |                |           |          |           |

2. Za svaki metal izaberite valnu duljinu zračenja 130 nm. Tu valnu duljinu, odnosno frekvenciju ne mijenjajte za pojedinu vrstu metala. Uključite „*Show only highest energy electrons*“. Ispitajte ovisnost kinetičke energije izbijenih elektrona o intenzitetu zračenja. Mijenjajte intenzitet zračenja i odredite napon koji zaustavlja elektrone. Podatke upišite u tablice i grafički prikažite ovisnost intenziteta zračenja o zaustavnom naponu.

Tablica 14.3. Ovisnost intenziteta zračenja o zaustavnom naponu

| $\lambda =$ | nm      |         |         | $f =$   |         |           | Hz |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|----|
| metal       | NATRIJ  | CINK    | BAKAR   | PLATINA | KALCIJ  | NEPOZNATO |    |
| $I/\%$      | $U_z/V$ | $U_z/V$ | $U_z/V$ | $U_z/V$ | $U_z/V$ | $U_z/V$   |    |
| 0           |         |         |         |         |         |           |    |
| 10          |         |         |         |         |         |           |    |
| 20          |         |         |         |         |         |           |    |
| 30          |         |         |         |         |         |           |    |
| 40          |         |         |         |         |         |           |    |
| 50          |         |         |         |         |         |           |    |
| 60          |         |         |         |         |         |           |    |
| 70          |         |         |         |         |         |           |    |
| 80          |         |         |         |         |         |           |    |
| 90          |         |         |         |         |         |           |    |
| 100         |         |         |         |         |         |           |    |

|   |   |
|---|---|
|   |   |
| Slika 14.2. Grafički prikaz ovisnost intenziteta zračenja o zaustavnom naponu | Slika 14.3. Grafički prikaz ovisnost maksimalne kinetičke energije o intenzitetu zračenja |

**ZAKLJUČAK:**

Ovisi li zaustavni napon kojim se zaustavljaju elektroni o intenzitetu zračenja?

Ovisi li kinetička energija o intenzitetu zračenja?

3. Ispitajte ovisnost energija izbačenih elektrona svakog metala u ovisnosti valne duljine (frekvencije) zračenja svjetlosti. Za svaki materijal pronadite zaustavni napon za 10 različitih valnih duljina (frekvencija) koji uzrokuje emisiju elektrona.

a) Natrij

Tablica 14.4. Ovisnost kinetičke energije izbačenih elektrona natrija i valne duljine (frekvencije) zračenja svjetlosti

|     | $\lambda_M$ /nm | $\lambda_M$ /m | $f_g$ /Hz | $U_Z$ /V | $E_f$ /J | $h$ /J s | $E_K$ /J |
|-----|-----------------|----------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 1.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 2.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 3.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 4.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 5.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 6.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 7.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 8.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 9.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 10. |                 |                |           |          |          |          |          |

Nacrtajte grafički prikaz ovisnosti zaustavnog napona (maksimalne kinetičke energije) o frekvenciji zračenja.

|  |  |
|--|--|
|  | <p><i>Iz grafa odredite izlazni rad za Na u J i eV:</i></p><br><br><br><br><br><p><i>Izračunajte srednju vrijednost za Planckovu konstantu iz tablice:</i></p> |
|--|--|

b) Cink

Tablica 14.5. Ovisnost kinetičke energije izbačenih elektrona cinka i valne duljine (frekvencije) zračenja svjetlosti

|     | $\lambda_M$<br>/nm | $\lambda_M$ /m | $f_g$ /Hz | $U_Z$<br>/V | $E_f$ /J | $h$ /J s | $E_K$ /J |
|-----|--------------------|----------------|-----------|-------------|----------|----------|----------|
| 1.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 2.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 3.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 4.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 5.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 6.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 7.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 8.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 9.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 10. |                    |                |           |             |          |          |          |

Nacrtajte grafički prikaz ovisnosti maksimalne kinetičke energije o frekvenciji zračenja.

|  |   |
|--|---|
|  | <p>Iz grafa odredite izlazni rad za Zn u J i eV:</p> <p>Izračunajte srednju vrijednost za Planckovu konstantu iz tablice:</p> |
|--|---|

c) Bakar

Tablica 14.6. Ovisnost kinetičke energije izbačenih elektrona bakra i valne duljine (frekvencije) zračenja svjetlosti

|     | $\lambda_M$<br>/nm | $\lambda_M$ /m | $f_g$ /Hz | $U_Z$<br>/V | $E_f$ /J | $h$ /J s | $E_K$ /J |
|-----|--------------------|----------------|-----------|-------------|----------|----------|----------|
| 1.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 2.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 3.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 4.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 5.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 6.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 7.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 8.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 9.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 10. |                    |                |           |             |          |          |          |

Nacrtajte grafički prikaz ovisnosti maksimalne kinetičke energije o frekvenciji zračenja.

|  |   |
|--|---|
|  | <p>Iz grafa odredite izlazni rad za Cu u J i eV:</p> <p>Izračunajte srednju vrijednost za Planckovu konstantu iz tablice:</p> |
|--|---|

d) Platina

Tablica 14.7. Ovisnost kinetičke energije izbačenih elektrona platine  
i valne duljine (frekvencije) zračenja svjetlosti

|     | $\lambda_M$<br>/nm | $\lambda_M$ /m | $f_g$ /Hz | $U_Z$<br>/V | $E_f$ /J | $h$ /J s | $E_K$ /J |
|-----|--------------------|----------------|-----------|-------------|----------|----------|----------|
| 1.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 2.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 3.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 4.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 5.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 6.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 7.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 8.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 9.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 10. |                    |                |           |             |          |          |          |

Nacrtajte grafički prikaz ovisnosti maksimalne kinetičke energije o frekvenciji zračenja.

|  |   |
|--|---|
|  | <p>Iz grafa odredite izlazni rad za Pt u J i eV:</p> <p>Izračunajte srednju vrijednost za Planckovu konstantu iz tablice:</p> |
|--|---|



e) Kalcij

Tablica 14.8. Ovisnost kinetičke energije izbačenih elektrona kalcija i valne duljine (frekvencije) zračenja svjetlosti

|     | $\lambda_M$<br>/nm | $\lambda_M$ /m | $f_g$ /Hz | $U_Z$<br>/V | $E_f$ /J | $h$ /J s | $E_K$ /J |
|-----|--------------------|----------------|-----------|-------------|----------|----------|----------|
| 1.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 2.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 3.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 4.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 5.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 6.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 7.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 8.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 9.  |                    |                |           |             |          |          |          |
| 10. |                    |                |           |             |          |          |          |

Nacrtajte grafički prikaz ovisnosti maksimalne kinetičke energije o frekvenciji zračenja.

|  |   |
|--|---|
|  | <p>Iz grafa odredite izlazni rad za Ca u J i eV:</p> <p>Izračunajte srednju vrijednost za Planckovu konstantu iz tablice:</p> |
|--|---|

f) nepoznati metal

Tablica 14.9. Ovisnost kinetičke energije izbačenih elektrona nepoznatog metala i valne duljine (frekvencije) zračenja svjetlosti

|     | $\lambda_M$ /nm | $\lambda_M$ /m | $f_g$ /Hz | $U_Z$ /V | $E_f$ /J | $h$ /J s | $E_K$ /J |
|-----|-----------------|----------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 1.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 2.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 3.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 4.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 5.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 6.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 7.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 8.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 9.  |                 |                |           |          |          |          |          |
| 10. |                 |                |           |          |          |          |          |

Nacrtajte grafički prikaz ovisnosti zaustavnog napona (maksimalne kinetičke energije) o frekvenciji zračenja.

|  |  |
|--|--|
|  | <p>Iz grafa odredite izlazni rad za nepoznati metal u J i eV:</p> <p>Izračunajte srednju vrijednost za Planckovu konstantu iz tablice:</p> |
|--|--|

4. Iz grafičkog prikaza svakog pojedinog metala očitajte tražene vrijednosti i zapišite u tablicu.

Izlazni rad materijala (doduše negativne vrijednosti) određuje se kao vrijednost gdje pravac ovisnosti zaustavnog napona o frekvenciji siječe ordinatu.

Usporedite svoje eksperimentalne vrijednosti s teorijskim vrijednostima.

Odredite pogrešku pri računanju.

Tablica 14.10. Eksperimentalna, izračunata i teorijska vrijednost izlaznih radova za ispitivane metale

| Metal     | $W_{i.exp}/J$ | $W_{i.exp}/eV$ | $W_{i.teo}/eV$ | % pogreške |
|-----------|---------------|----------------|----------------|------------|
| Natrij    |               |                |                |            |
| Cink      |               |                |                |            |
| Bakar     |               |                |                |            |
| Platina   |               |                |                |            |
| Kalcij    |               |                |                |            |
| Nepoznati |               |                |                |            |

Eksperimentalna Planckova konstanta jednaka je nagibu pravca. Usporedite svoje eksperimentalne vrijednosti s teorijskim vrijednostima.

Odredite pogrešku pri računanju.

Tablica 14.11. Eksperimentalna i teorijska vrijednost Planckove konstante

| Metal     | $h_{exp}/Js$ | $h_{teo}/Js$ | % pogreške |
|-----------|--------------|--------------|------------|
| Natrij    |              |              |            |
| Cink      |              |              |            |
| Bakar     |              |              |            |
| Platina   |              |              |            |
| Kalcij    |              |              |            |
| Nepoznati |              |              |            |

Odredite koji je to nepoznati materijal.

---

Opišite kako biste ga pronašli?

---

---

**Proučite i napišite samostalni rad:**

1. Objasnite kako nastaje „atmosferska prašina“ ili blijeda izmaglica iznad površine Mjeseca.
2. Ima li neke negativne konotacije fotoefekta? Ako ima, koje?
3. Kako sve možemo iskoristiti fotoelektrični učinak?
4. Objasnite tko je otkrio i što je kserografija?
5. Fotoučinak i obnovljivi izvori energije, primjena u svakodnevnom životu.

**ZADATCI:**

1. Povećanjem intenziteta zračenja svjetlosti koje pada na metalnu površinu

- a) raste kinetička energija elektrona
- b) raste maksimalna potencijalna energija elektrona
- c) *raste broj emitiranih elektrona*
- d) ništa se ne mijenja.

2. Fotoelektrični efekt jest pojava:

- a) *izbijanja elektrona iz metala pomoću elektromagnetskog zračenja*
- b) izbijanja fotona iz metala pomoću temperature
- c) koja nema nikakvu primjenu u svakodnevnom životu
- d) koja ne ovisi o vrsti metala.

3. Fotoelektroni se izbijaju s metalne površine samo kad upadna svjetlost ima dovoljno

- a) veliku snagu
- b) *veliku frekvenciju*
- c) veliku brzinu
- d) veliku amplitudu.

4. Kako se mijenja maksimalna brzina izbijanja elektrona iz pocinčane ploče kad raste intenzitet ultraljubičaste svjetlosti kojim je ploča obasjana?

- a) Smanji se.
- b) Poveća se.
- c) *Ne mijenja se.*
- d) I smanji se i poveća, ovisno o temperaturi cinka.

5. Označimo li energiju fotona koji izaziva fotoelektrični efekt s  $E$ , kinetičku energiju izbačenih elektrona s  $K$ , a izlazni rad s  $A$ , fotoelektrični efekt može se opisati jednadžbom

- a)  $E = K - A$
- b)  $E = K + A$
- c)  $K = E + A$
- d)  $K = A - E$

6. Mijenja li se energija fotona prolaskom kroz sredstvo indeksa loma  $n$  prema energiji koju foton ima u vakuumu? Zaokružite točan odgovor.

- a) *Energija fotona u sredstvu i vakuumu jednaka je.*
- b) Energija fotona u sredstvu je  $n$  puta veća nego u vakuumu.
- c) Energija fotona u sredstvu je  $n$  puta manja nego u vakuumu.
- d) Energija fotona u sredstvu je  $n^2$  puta manja nego u vakuumu.
- e) Energija fotona u sredstvu je  $\sqrt{n}$  puta manja nego u vakuumu.

7. Katoda obasjana ultraljubičastom svjetlošću emitira elektrone. Smanjimo li intenzitet svjetlosti:

- a) tada se broj emitiranih elektrona i maksimalna kinetička energija povećavaju.
- b) tada se broj emitiranih elektrona i maksimalna kinetička energija smanjuju.
- c) tada se broj emitiranih elektrona povećava, ali im maksimalna kinetička energija ostaje jednaka.
- d) *tada se broj emitiranih elektrona smanjuje, ali im maksimalna kinetička energija ostaje jednaka.*
- e) tada se ne mijenja broj elektrona ni njihova kinetička energija.

8. Elektroni će biti emitirani s neke metalne površine uvijek kada upadno elektromagnetno zračenje ima:

- a) manju frekvenciju od granične frekvencije.
- b) veći intenzitet od nekog najmanjeg intenziteta.
- c) manji intenzitet od nekog najmanjeg intenziteta.
- d) veću valnu duljinu od granične valne duljine.
- e) *manju valnu duljinu od granične valne duljine.*

9. Koliki broj fotona po sekundi emitira svjetlosna žarulja jakosti 100 W ako znamo da je njena efikasnost 4,80 %. Pretpostavite da je valna duljina svjetlosti 600 nm.

- a)  $6,34 \cdot 10^{18}$  fotona/s
- b)  $3,11 \cdot 10^{18}$  fotona/s
- c)  $25,3 \cdot 10^{18}$  fotona/s
- d)  $14,5 \cdot 10^{18}$  fotona/s.

10. Energija je fotona 7,80 eV. Koja valna duljina odgovara toj energiji fotona?

- a) 100 nm
- b) 151 nm
- c) 173 nm
- d) 159 nm

11. Koja je najveća valna duljina svjetlosti koja može izazvati fotoelektrični učinak ako je izlazni rad tog metala 2,20 eV.

- a) 417 nm
- b) 257 nm
- c) 564 nm
- d) 610 nm

12. Ako se frekvencija fotona prepolovi, što se dogodi s energijom fotona?

- a) Udvostruči se.
- b) *Prepolovi se.*
- c) Utrostruči se.
- d) Učetverostruči se.
- e) Ne mijenja se.

13. Kolika je granična frekvencija za metal čiji je izlazni rad 6,22 eV?

- a)  $1,50 \cdot 10^{15}$  Hz
- b)  $2,01 \cdot 10^{15}$  Hz
- c)  $3,01 \cdot 10^{15}$  Hz
- d)  $5,20 \cdot 10^{15}$  Hz

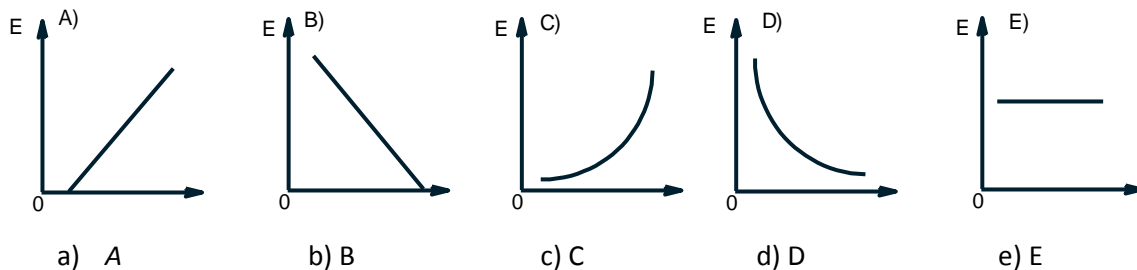
14. Svjetlom valne duljine 310 nm obasjava se metal čiji je izlazni rad 3,8 eV. Kolika je maksimalna kinetička energija izbačenih fotoelektrona?

- a)  $0,62 \cdot 10^{-19}$  J
- b)  $0,21 \cdot 10^{-19}$  J
- c)  $0,48 \cdot 10^{-19}$  J
- d)  $0,33 \cdot 10^{-19}$  J

15. Zraka bijele svjetlosti određene frekvencije obasjava metal izlaznog rada 2,20 eV i izaziva fotoelektrični učinak. Maksimalna kinetička energija fotoelektrona iznosi 0,25 eV. Kolika je frekvencija svjetlosti?

- a)  $2,05 \cdot 10^{14}$  Hz
- b)  $1,02 \cdot 10^{14}$  Hz
- c)  $2,50 \cdot 10^{14}$  Hz
- d)  $5,92 \cdot 10^{14}$  Hz

16. Koji graf prikazuje ovisnost maksimalne kinetičke energije  $E$  o frekvencije svjetlosti kojom obasjavamo metal?



17. Koji graf prikazuje ovisnost maksimalne kinetičke energije o intenzitetu zračenja svjetlosti kojom obasjavamo metal?

- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E

18. U odnosu na fotoelektrični učinak što će izazvati povećanje maksimalne kinetičke energije izbačenih fotoelektrona?

- a) Povećanje broja fotona u sekundi koji udare u površinu metala.
- b) Korištenje fotona čija je frekvencija manja od granične frekvencije.
- c) *Povećanje frekvencije svjetlosti kojom se obasjava površina metala.*
- d) Upotrijebiti metal koji ima veći izlazni rad.
- e) Upotrijebiti metal koji ima veću otpornost.

19. Kolika je najmanja frekvencija elektromagnetnog zračenja potrebna da izbije elektrone iz metala čiji je izlazni rad  $8,202 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ? Koji je to metal?

$$W_i = 8,202 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 5,11 \text{ eV}$$

*To je zlato.*

$$f_0 = ?$$

$$W_i = h \cdot f_0$$

$$f_0 = \frac{W_i}{h} = \frac{7,527 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}} = 1,238 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

20. Granična valna duljina za emisiju elektrona s obasjane metalne površine iznosi 350 nm. Kolika će biti maksimalna kinetička energija izbačenih elektrona ako metal obasjamo zračenjem valne duljine 210 nm?

$$\lambda_0 = 350 \text{ nm} = 350 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$\lambda = 210 \text{ nm} = 210 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$E_K = ?$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{210 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 1,429 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

$$f_0 = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{350 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 8,57 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$E_f = E_K + W_i$$

$$E_K = E_f - W_i = h \cdot f - h \cdot f_0$$

$$E_K = h \cdot (f - f_0)$$

$$E_K = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot (1,429 \cdot 10^{15} \text{ Hz} - 8,57 \cdot 10^{14} \text{ Hz})$$

$$E_K = 3,79 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

21. Izračunajte frekvenciju svjetlosti koja izbacuje elektrone s površine metala za koje je zaustavni napon 5 V. Granična je frekvencija za taj metal  $3,2 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ . Koliki je izlazni rad iskazan u elektronvoltima?

$$U = 5 \text{ V}$$

$$f_0 = 3,2 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$W_i = ?$$

$$W_i = h \cdot f_0 = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 3,2 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$W_i = 2,12 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,32 \text{ eV}$$

$$E_f = E_K + W_i$$

$$E_K = E$$

$$E_K = e \cdot U = 1,605 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 5 \text{ V} = 8,025 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$f = \frac{W_i + E_K}{h} = \frac{2,12 \cdot 10^{-19} \text{ J} + 8,025 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}} = 1,53 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

22. Pod djelovanjem ultraljubičaste svjetlosti frekvencije  $1,86 \cdot 10^{15}$  Hz izlijeću elektroni iz nekog metala brzinom  $950 \text{ km s}^{-1}$ . Izračunajte izlazni rad elektrona iz tog metala u elektronvoltima.

$$f = 1,86 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

$$v = 950 \text{ km s}^{-1} = 950 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

$$W_i = ?$$

$$E_f = E_K + W_i$$

$$W_i = E_f - E_K$$

$$W_i = h \cdot f - \frac{m \cdot v^2}{2} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 1,86 \cdot 10^{15} \text{ Hz} - \frac{9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (950 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1})^2}{2}$$

$$W_i = 1,232436 \cdot 10^{-18} \text{ J} - 4,11043625 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 8,21 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 5,11 \text{ eV}$$

23. Pri osvjetljavanju kobaltove pločice ultraljubičastim zračenjem napon koji zaustavlja elektrone iznosi  $5,2 \text{ V}$ . Ako istim zračenjem obasjamo pločicu nepoznata metala, zaustavni je napon  $8,1 \text{ V}$ .

a) Koliki je izlazni rad nepoznatog metala ako je izlazni rad za kobalt  $5,0 \text{ eV}$ ?

b) Koji je to metal?

$$U_1 = 5,2 \text{ V}$$

$$W_{i1} = 5,0 \text{ eV}$$

$$U_2 = 8,1 \text{ V}$$

b) To je cesij.

$$W_{i2} = ?$$

a)  $E_K = E$

$$E_{K1} = e \cdot U_1 = 1,605 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 5,2 \text{ V} = 8,346 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 5,2 \text{ eV}$$

$$E_f = E_K + W_i = 5,2 \text{ eV} + 5,0 \text{ eV} = 10,2 \text{ eV}$$

$$E_{K2} = e \cdot U_2 = 1,605 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 8,1 \text{ V} = 1,300 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 8,1 \text{ eV}$$

$$W_i = E_f - E_K = 10,2 \text{ eV} - 8,1 \text{ eV} = 2,1 \text{ eV}$$

24. Izlazni rad za volfram iznosi  $4,5 \text{ eV}$ . Elektromagnetno zračenje nepoznate valne duljine izbacuje iz volframa fotoelektrone koji ulijeću u prostor gdje postoji ukršteno električno i magnetno polje. Električno polje iznosi  $12 \text{ kV m}^{-1}$ , a magnetno  $0,04 \text{ T}$ . Vektori brzine fotoelektrona, magnetnog i električnog polja međusobno su okomiti. Fotoelektroni koji su izbačeni najvećom brzinom ne skreću u tim poljima, već se gibaju po pravcu. Kolika je valna duljina nepoznatog elektromagnetnog zračenja?

$$W_i = 4,5 \text{ eV} = 7,223 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E = 12 \text{ kV m}^{-1} = 12 \cdot 10^3 \text{ V m}^{-1}$$

$$B = 0,04 \text{ T}$$

$$\lambda = ?$$

$$F_e = F_B$$

$$E \cdot e = e \cdot v \cdot B$$

$$v = \frac{E}{B} = \frac{12 \cdot 10^3 \text{ V m}^{-1}}{0,04 \text{ T}} = 3 \cdot 10^5 \text{ m s}^{-1}$$

$$E_K = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^5 \text{ m s}^{-1})^2}{2} = 4,099 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$

$$E_f = W_i + E_K$$

$$f = \frac{W_i + E_K}{h} = 1,152 \cdot 10^{19} \text{ J}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = 2,60 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 260 \text{ nm}$$





## LITERATURA

- [1] Atkins, P., W., Clugstone, M., J., Načela fizikalne kemije, Školska knjiga, Zagreb, 1992.
- [2] Brković, N., Zbirka zadataka iz fizike, LUK.d.o.o., Zagreb, 2001.
- [3] Habuš, A., [et.al], Opća kemija 1 i 2 priručnik za nastavnike uz udžbenike Opća kemija 1 i Opća kemija 2 za prvi i drugi razred gimnazije, Profil International, Zagreb, 2014.
- [4] Herak, M., [et.al], Osnove fizikalne kemije, Školska knjiga, Zagreb 1990.
- [5] Košutić, K., Zbirka zadataka iz fizikalne kemije, Zavod za fizikalnu kemiju, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2016.
- [6] Nothig Hus, D., Herak, M., Novosel, F., Opća kemija 2, Školska knjiga, Zagreb, 2007.
- [7] Paar, V., Šips, V., Fizika 2, udžbenik za 2. razred gimnazije, Školska knjiga, Zagreb, 2007.
- [8] Paar, V., Šips, V., Zbirka riješenih zadataka Fizika 2, Školska knjiga, Zagreb, 2003.
- [9] Petrić, Lj., Cindrić, Z., Petreski, A., Opća kemija 2, zbirka riješenih primjera i zadataka iz opće kemije 2, Profil, Zagreb, 2009.
- [10] Petrić, N., Vojnoić, I., Martinac, V., Tehnička termodinamika, Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu, Split, 2007.
- [11] Potter, E., C., Elektrokemija, osnove i primjena, Školska knjiga, Zagreb, 1968.
- [12] Sikirica, M., Korpar Čolig, B., Praktikum iz opće kemije, Školska knjiga, Zagreb, 2005.
- [13] Sikirica, M., Metodika nastave kemije, Školska knjiga, Zagreb, 2003.
- [14] Sikirica, M., Stehiometrija, Školska knjiga, Zagreb, 1995.
- [15] Sikirica, M., Zbirka kemijskih pokusa za osnovnu i srednju školu, Školska knjiga, Zagreb, 2011.
- [16] Bryan, J., The Photoelectric Effect, URL:  
<http://studylib.net/doc/7318728/photoelectric-effect-virtual-lab> (13. 4. 2016.)
- [17] Halapa, M. Zadaci iz matematike i fizike. URL: [www.halapa.com/fizpdf/8fs101.pdf](http://www.halapa.com/fizpdf/8fs101.pdf) (16. 5. 2016.)
- [18] Halapa, M. Zadaci iz matematike i fizike. URL: [www.halapa.com/fizpdf](http://www.halapa.com/fizpdf) (16. 5. 2016.)
- [19] Halapa, M. Zadaci iz matematike i fizike. URL: [www.halapa.com/fizpdf/15fs061.pdf](http://www.halapa.com/fizpdf/15fs061.pdf) (16. 5. 2016.)
- [20] Halapa, M. Zadaci iz matematike i fizike. URL: [www.halapa.com/fizpdf/15fs141.pdf](http://www.halapa.com/fizpdf/15fs141.pdf) (16. 5. 2016.)
- [21] Hasanović, M., Osnove termokemije. URL:  
<http://documents.tips/documents/osnove-termokemije.html> (15. 12. 2014.)
- [22] LeMaster, R., PhET Interactive Simulations, URL:  
<https://phet.colorado.edu/en/simulations/category/neww> (11. 2. 2016.)
- [23] Mlinarević, V., Učitelj i odrednice uspješnog poučavanja. 2002. URL:  
[https://bib.irb.hr/datoteka/505871.505871.Ucitelji\\_i\\_odrednice\\_uspjesnog\\_poucavanja.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/505871.505871.Ucitelji_i_odrednice_uspjesnog_poucavanja.pdf) (11. 3. 2016.)

- [24] Myers Park High School, PROBLEM SET Light and the Photoelectric Effect, URL:  
<http://myersparkphysics.cmswiki.wikispaces.net/file/view/PROBLEM+SET+Light+and+the+Photoelectric+Effect.docx> (23.5.2016.)
- [25] Nacionalni kurikulum nastavnog predmeta Fizika, Prijedlog. URL:  
<http://public.mzos.hr/Default.aspx?art=14337> (17.2.2016.)
- [26] Nacionalni kurikulum nastavnog predmeta Kemija, Prijedlog. URL:  
<http://public.mzos.hr/Default.aspx?art=143377> (19.2.2016.)
- [27] Schaefer, B., PhotoElectric,Effect,Tutorial, URL:  
<https://allinonehighschool.files.wordpress.com/2013/06/day-168-photoelectric-lab.pdf>  
 (20. 4. 2016.)
- [28] Virtualni pokusi:  
<http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/simDownload/index4.html>  
 (19. 2. 2016.)

**Slike:**

- Slika šibice - <https://pixabay.com/en/match-match-head-sticks-matches-549106/>; (Srpanj 2016.)
- Slika otopina - <http://www.quadrafire.com/Shopping-Tools/Blog/Think-Safety-First-for-the-Holidays.aspx>; (Srpanj 2016.)
- Elektrokemija - <http://btc-times.com/hr/kako-rudarstvo-pro%C5%A1iruje-%C4%87e-ograni%C4%8Diti-potro%C5%A1nju-elektri%C4%8Dne-energije-bitcoin/>; (Srpanj 2016.)
- Fotoelektrični učinak - [http://www.energetskeobnove.com/category/obnovljivi\\_izvori\\_energije/](http://www.energetskeobnove.com/category/obnovljivi_izvori_energije/)
- Slika 8.2.1. Pribor i postupak pri razrijeđivanju otopina - Seminar: priprema i sastav otopina; FKIT; (Kolovoz 2016.)
- Slika 9.2. a) Volumetrijsko posuđe
- E. Generalić, [http://www.periodni.com/enig/volumetrijske\\_metode\\_analize.html](http://www.periodni.com/enig/volumetrijske_metode_analize.html) (Svibanj 2016.)
- Slika 9.2. b) pravilan način očitavanja razine tekućine u odmjernom posuđu.
- E. Generalić, <http://glossary.periodni.com/glossary.php?en=parallax> (Svibanj 2016.)
- Slika 12.1. E. Generalić,  
<http://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=Faradayevi+zakoni+elektrolize> (Lipanj 2016.)
- Slika 12.1. E. Generalić,  
<http://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=Faradayevi+zakoni+elektrolize> (Lipanj2016.)
- Slika 12.1. E. Generalić,  
<http://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=Faradayevi+zakoni+elektrolize> (Lipanj, 2016.)
- Slika 13.1.  
<https://www.google.hr/search?q=slike+o+kemijskom+priboru&espv=2&biw=1366&bih=638&tbnisch&imgil=OewGpMiz6eEfGM%253A%253Ba3uM3ZMeQKw1FM%253Bhttps%25253>  
 (Srpanj 2016.)

Slika 13.2.

<https://www.google.hr/search?q=slike+o+kemijskom+priboru&espv=2&biw=1366&bih=638&tbn=isch&imgil=OewGpMiz6eEfGM%253A%253Ba3uM3ZMeQKw1FM%253Bhttps%25253>

(Srpanj 2016.)

Slika 13.3.

<https://www.google.hr/search?q=slike+o+kemijskom+priboru&espv=2&biw=1366&bih=638&tbn=isch&imgil=OewGpMiz6eEfGM%253A%253Ba3uM3ZMeQKw1FM%253Bhttps%25253>

(Srpanj 2016.)

Slika 14.1. Fotoelektrični učinak

<http://nedeljko-begovic.com/teorija/kf.html> (Kolovoz 2016.)

Slika 14.2. Ovisnost kinetičke energije elektrona  $E_k$  o frekvenciji upadne svjetlosti  $f$

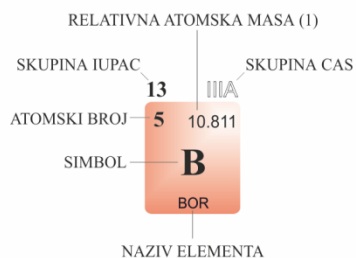
[https://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Fotoelektrisk\\_effekt4.png](https://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Fotoelektrisk_effekt4.png) (Svibanj 2016.)

Periodni sustav elemenata

E. Generalic, [http://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=periodni\\_sustav\\_elementa](http://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=periodni_sustav_elementa) (Kolovoz 2016.)

# PERIODNI SUSTAV ELEMENATA

| PERIODA | SKUPINA                           |                                    |                                     |  |                                  |                                     |                                  |                                   |                                     |                                       |                                     |                                      |                                     |                                    |                                       |                                      |                                       |                                      |                                  |                                   |                                  |                                 |                                 |                               |                                 |                                   |                                 |                                  |                                |                                   |
|---------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
|         | 1 IA                              |                                    |                                     |  |                                  |                                     |                                  |                                   |                                     |                                       |                                     | 13 IIIA                              | 14 IVA                              | 15 VA                              | 16 VIA                                | 17 VIIA                              | 18 VIIIA                              |                                      |                                  |                                   |                                  |                                 |                                 |                               |                                 |                                   |                                 |                                  |                                |                                   |
| 1       | 1 1.0079<br><b>H</b><br>VODIK     |                                    |                                     |  |                                  |                                     |                                  |                                   |                                     |                                       |                                     | 5 10.811<br><b>B</b><br>BOR          | 6 12.011<br><b>C</b><br>UGLJIK      | 7 14.007<br><b>N</b><br>DUŠIK      | 8 15.999<br><b>O</b><br>KISIK         | 9 18.998<br><b>F</b><br>FLUOR        | 10 20.180<br><b>Ne</b><br>NEON        |                                      |                                  |                                   |                                  |                                 |                                 |                               |                                 |                                   |                                 |                                  |                                |                                   |
| 2       | 3 6.941<br><b>Li</b><br>LITIJ     | 4 9.0122<br><b>Be</b><br>BERILIJ   |                                     |  |                                  |                                     |                                  |                                   |                                     |                                       |                                     |                                      | 13 26.982<br><b>Al</b><br>ALUMINIJ  | 14 28.086<br><b>Si</b><br>SILICIJ  | 15 30.974<br><b>P</b><br>FOSFOR       | 16 32.065<br><b>S</b><br>SUMPOR      | 17 35.453<br><b>Cl</b><br>KLOR        | 18 39.948<br><b>Ar</b><br>ARGON      |                                  |                                   |                                  |                                 |                                 |                               |                                 |                                   |                                 |                                  |                                |                                   |
| 3       | 11 22.990<br><b>Na</b><br>NATRIJ  | 12 24.305<br><b>Mg</b><br>MAGNEZIJ |                                     |  |                                  |                                     |                                  |                                   |                                     |                                       |                                     |                                      | 19 39.098<br><b>K</b><br>KALIJ      | 20 40.078<br><b>Ca</b><br>KALCIJ   | 21 44.956<br><b>Sc</b><br>SKANDIJ     | 22 47.867<br><b>Ti</b><br>TITANIJ    | 23 50.942<br><b>V</b><br>VANADIJ      | 24 51.996<br><b>Cr</b><br>KROM       | 25 54.938<br><b>Mn</b><br>MANGAN | 26 55.845<br><b>Fe</b><br>ŽELJEZO | 27 58.933<br><b>Co</b><br>KOBALT | 28 58.693<br><b>Ni</b><br>NIKAL | 29 63.546<br><b>Cu</b><br>BAKAR | 30 65.38<br><b>Zn</b><br>CINK | 31 69.723<br><b>Ga</b><br>GALIJ | 32 72.64<br><b>Ge</b><br>GERMANIJ | 33 74.922<br><b>As</b><br>ARSEN | 34 78.96<br><b>Se</b><br>SELENIJ | 35 79.904<br><b>Br</b><br>BROM | 36 83.798<br><b>Kr</b><br>KRIPTON |
| 4       | 37 85.468<br><b>Rb</b><br>RUBIDIJ | 38 87.62<br><b>Sr</b><br>STRONCIJ  | 39 88.906<br><b>Y</b><br>ITRIJ      | 40 91.224<br><b>Zr</b><br>CIRKONIJ     | 41 92.906<br><b>Nb</b><br>NIOBIJ | 42 95.96<br><b>Mo</b><br>MOLIBDEN   | 43 (98)<br><b>Tc</b><br>TEHNECIJ | 44 101.07<br><b>Ru</b><br>RUTENIJ | 45 102.91<br><b>Rh</b><br>RODIJ     | 46 106.42<br><b>Pd</b><br>PALADIJ     | 47 107.87<br><b>Ag</b><br>SREBRO    | 48 112.41<br><b>Cd</b><br>KADMIJ     | 49 114.82<br><b>In</b><br>INDIJ     | 50 118.71<br><b>Sn</b><br>KOSITAR  | 51 121.76<br><b>Sb</b><br>ANTIMON     | 52 127.60<br><b>Te</b><br>TELURIJ    | 53 126.90<br><b>I</b><br>JOD          | 54 131.29<br><b>Xe</b><br>KSENON     |                                  |                                   |                                  |                                 |                                 |                               |                                 |                                   |                                 |                                  |                                |                                   |
| 5       | 55 132.91<br><b>Cs</b><br>CEZIJ   | 56 137.33<br><b>Ba</b><br>BARIJ    | 57-71<br><b>La-Lu</b><br>Lantanoidi | 72 178.49<br><b>Hf</b><br>HAFNIJ       | 73 180.95<br><b>Ta</b><br>TANTAL | 74 183.84<br><b>W</b><br>VOLFRAM    | 75 186.21<br><b>Re</b><br>RENIJ  | 76 190.23<br><b>Os</b><br>OSMIJ   | 77 192.22<br><b>Ir</b><br>IRIDIJ    | 78 195.08<br><b>Pt</b><br>PLATINA     | 79 196.97<br><b>Au</b><br>ZLATO     | 80 200.59<br><b>Hg</b><br>ŽIVA       | 81 204.38<br><b>Tl</b><br>TALIJ     | 82 207.2<br><b>Pb</b><br>OLOVO     | 83 208.98<br><b>Bi</b><br>BIZMUT      | 84 (209)<br><b>Po</b><br>POLONIJ     | 85 (210)<br><b>At</b><br>ASTAT        | 86 (222)<br><b>Rn</b><br>RADON       |                                  |                                   |                                  |                                 |                                 |                               |                                 |                                   |                                 |                                  |                                |                                   |
| 6       | 87 (223)<br><b>Fr</b><br>FRANCIJ  | 88 (226)<br><b>Ra</b><br>RADIJ     | 89-103<br><b>Ac-Lr</b><br>Aktinoidi | 104 (267)<br><b>Rf</b><br>RUTHERFORDIJ | 105 (268)<br><b>Db</b><br>DUBNIJ | 106 (271)<br><b>Sg</b><br>SEABORGIJ | 107 (272)<br><b>Bh</b><br>BOHRIJ | 108 (277)<br><b>Hs</b><br>HASSIJ  | 109 (276)<br><b>Mt</b><br>MEITNERIJ | 110 (281)<br><b>Ds</b><br>DARMSTADTIJ | 111 (280)<br><b>Rg</b><br>RENDGENIJ | 112 (285)<br><b>Cn</b><br>KOPERNICIJ | 113 (...)<br><b>Uut</b><br>UNUNTRIJ | 114 (287)<br><b>Ff</b><br>FLEROVIJ | 115 (...)<br><b>Uup</b><br>UNUNPENTIJ | 116 (291)<br><b>Lv</b><br>LIVERMORIJ | 117 (...)<br><b>Uus</b><br>UNUNSEPTIJ | 118 (...)<br><b>Uuo</b><br>UNUNOKTIJ |                                  |                                   |                                  |                                 |                                 |                               |                                 |                                   |                                 |                                  |                                |                                   |

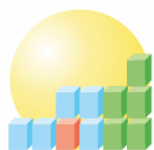


Metali: Alkalijski metali, Zemnoalkalijski metali, Prijelazni metali, Lantanoidi, Aktinoidi

Polumetali

Nemetali: Halkogeni elementi, Halogeni elementi, Plemeniti plinovi

AGREGATNO STANJE (25 °C; 101 kPa):  
Ne - plinovito, Fe - čvrsto, Hg - tekuće, Tc - sintetski



www.periodni.com

## LANTANOIDI

|                                  |                                 |                                       |                                    |                                   |                                   |                                   |                                     |                                  |                                     |                                  |                                 |                                 |                                   |                                   |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 57 138.91<br><b>La</b><br>LANTAN | 58 140.12<br><b>Ce</b><br>CERIJ | 59 140.91<br><b>Pr</b><br>PRASEODIMIJ | 60 144.24<br><b>Nd</b><br>NEODIMIJ | 61 (145)<br><b>Pm</b><br>PROMETIJ | 62 150.36<br><b>Sm</b><br>SAMARIJ | 63 151.96<br><b>Eu</b><br>EUROPIJ | 64 157.25<br><b>Gd</b><br>GADOLINIJ | 65 158.93<br><b>Tb</b><br>TERBIJ | 66 162.50<br><b>Dy</b><br>DISPROZIJ | 67 164.93<br><b>Ho</b><br>HOLMIJ | 68 167.26<br><b>Er</b><br>ERBIJ | 69 168.93<br><b>Tm</b><br>TULIJ | 70 173.05<br><b>Yb</b><br>ITERBIJ | 71 174.97<br><b>Lu</b><br>LUTECIJ |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|

## AKTINOIDI

|                                  |                                 |                                       |                                 |                                   |                                   |                                   |                                |                                   |                                     |                                     |                                  |                                    |                                   |                                     |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 89 (227)<br><b>Ac</b><br>AKTINIJ | 90 232.04<br><b>Th</b><br>TORIJ | 91 231.04<br><b>Pa</b><br>PROTAKTINIJ | 92 238.03<br><b>U</b><br>URANIJ | 93 (237)<br><b>Np</b><br>NEPTUNIJ | 94 (244)<br><b>Pu</b><br>PLUTONIJ | 95 (243)<br><b>Am</b><br>AMERICIJ | 96 (247)<br><b>Cm</b><br>KURIJ | 97 (247)<br><b>Bk</b><br>BERKELIJ | 98 (251)<br><b>Cf</b><br>KALIFORNIJ | 99 (252)<br><b>Es</b><br>EINSTEINIJ | 100 (257)<br><b>Fm</b><br>FERMIJ | 101 (258)<br><b>Md</b><br>MENDEVIJ | 102 (259)<br><b>No</b><br>NOBELIJ | 103 (262)<br><b>Lr</b><br>LAWRENCIJ |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|

(1) Atomic Weights of the Elements 2007, Pure Appl. Chem., 81, No. 11, 2131-2156 (2009)

Copyright © 2013 Eni Generalić