

# Olympiáda mladých vedcov 2009

## Zadanie experimentálnej úlohy

---

Olympiáda mladých vedcov  
Doc. František Kundracik  
Katedra experimentálnej fyziky FMFI UK  
Mlynská dolina F2  
842 48 Bratislava



# Antokyány

## Kúzelné farbivá

Denne sa stretávame s množstvom zaujímavých predmetov a javov. Niektoré z nich dávajú svoju výnimočnosť okato najavo, iné nás tichúčko míňajú bez toho, aby sme si ich výnimočnosť všimli. V tohtoročnej úlohe „domáceho kola“ súťaže IJSO Vám predstavíme jednu s takýchto zvláštnych rastlín – červenú kapustu. Ako zistíte, okrem vynikajúcej prílohy k pečenému kuriatku môže poslúžiť aj ako pomôcka k zaujímavým pokusom z fyziky, chémie aj biológie. To, čo robí pre nás kapustu zaujímavou, je jej farba, presnejšie v kapuste obsiahnuté farbivá – antokyány.

Pri vypracovaní riešenia nám opíšte, ako ste riešili jednotlivé úlohy a čo ste zistili. Nezabudnite tiež zodpovedať na všetky otázky, ktoré sa v texte k úlohám vyskytli. Aby ste na nič nezabudli, všetky úlohy a otázky sú vytlačené na zelenom podklade.

### Čo budete potrebovať?

V prvom rade budete potrebovať malú hlávku červenej kapusty, alebo aspoň zopár jej listov, najlepšie z povrchu hlávky (sú najviac sfarbené). Ďalej budete potrebovať asi 2 dl bežného kvasného octu (asi ho máte aj doma v 8% koncentrácii, lebo ho občas treba pri varení, a predáva sa v potravinách). Ešte budete musieť navštíviť aj drogériu, kde si kúpte najmenej balenie sódy (niekedy sa používa ako prídavok do prania na zmäkčenie vody). Ak sa Vám nepodarí sódu kúpiť, nevádi. Iba o trochu horšie Vám poslúži aj niekoľko lyžičiek sódy bikarbóny, ktorá sa predáva v potravinách a používa sa ako prísada do cesta na koláče a zákusky. Ďalej si kúpte plochú 4,5V batériu alebo miesto nej môžete použiť aj iný napäťový zdroj s podobným napätím.

Ostatné veci, ktoré budete potrebovať, nájdete pravdepodobne doma: žiletku alebo skalpel, asi 0,5 m tenkého medeného alebo hliníkového drôtu, jednu ceruzku s klasickou grafitovou tuhou, sadu malých (asi 0,5 dl alebo 0,1 dl) pohárikov, papierovú vreckovku a kuchynskú soľ.

Pri niektorých úlohách budete potrebovať mikroskop a ampérmeter – tu Vám pomôžu učitelia vo Vašej škole. Ak sa k týmto prístrojom nebudete môcť dostať, neúfajte. V príslušnej časti riešenia nám to napíšte a odpovede na príslušné otázky sa pokúste nájsť v encyklopédiách a učebniciach.

## Pátrame po antokyánoch v kapuste.

V prvej časti sa pokúsime nájsť, kde sú antokyány v kapuste skryté. Taktiež skúsime zistiť, čo sa s farbivami deje v kyslom (ocot) a zásaditom (sóda alebo sóda bikarbóna) prostredí.

### Úloha.

Pripravte si čo najtenší mikroskopický preparát z kapustného listu. Na podložné sklíčko ho dajte do kvapky čistej vody a prikryte ho krycím sklíčkom. Pozorujte bunky kapusty, ktoré obsahujú farbivo a svoje pozorovanie zakreslite.



*Rada profesorky Sproutovej: Ak nenájdete lepší spôsob, sú dve metódy, ako získať tenký preparát vhodný pre mikroskopické pozorovanie. Jednou možnosťou je urobiť žiletkou tenký rez naprieč kapustným listom. Druhou možnosťou je narezať kúsok listu „pozdĺžne“ tak, že na jednej strane rezu je vrchná strana listu a na druhej strane rezu spodná. Prstami alebo pomocou pinzety potom oddialte vrchnú a spodnú časť listu. Ak sa všetko podarí, list sa rozlúpane a jeden z kúskov sa bude postupne stenšovať, až na jeho konci budú iba povrchové bunky listu.*

### Otázky.

1. Kde sa farbivo nachádza? Je v medzibunkových priestoroch, alebo v bunkách?
2. Farbivo sa nachádza v povrchovej vrstve, alebo v mezenchýme?
3. Ak sa farbivo nachádza v medzibunkových priestoroch, zasahuje v niektorých oblastiach aj do vnútra buniek? Ak sa farbivo nachádza v bunke, nachádza sa v celom obsahu bunky alebo len v jej nejakej organelle? Ak sa nachádza v organelle, napíšte o akú organelu ide.

Teraz vyskúšame, aký vplyv má na farbivo v bunkách kyslé prostredie.

### Úloha.

Pijavým papierom odsajte vodu spod podložného sklíčka a z opačnej strany než ste odsávali vodu pridajte kvapku 8 % kyseliny octovej pod podložné sklíčko. Presvedčte sa, že kvapka sa dostala až k rezu listu kapusty. Ak jedna kvapka nestačila, pridajte ďalšie kvapky. Pozorujte zmeny, ktoré sa udiali po pridaní kyseliny octovej.

### Otázky.

1. Nastala zmena v zafarbení buniek? (ak áno, napíšte čas za ktorý k zmene došlo. Ak k zmene nedošlo, zapíšte čas ako dlho ste preparát pozorovali. Čas udávajte v minútach a sekundách).
2. Akú farbu má teraz pôvodne fialové farbivo, ak zmena nastala?.

## Olympiáda mladých vedcov 2009

### Zadanie experimentálnej úlohy

---

Nakoniec vyskúšame vplyv zásaditého prostredia (sóda alebo sóda bikarbóna). Na to si ale pripravte roztok sódy alebo sódy bikarbóny. Do 1 dl vody pridajte plnú kávovú lyžičku sódy (sódy bikarbóny) a rozpustite ju. Rozpúšťa sa však pomaly. Ak sa roztok začína zakaľovať, je to znakom, že ďalšia sóda sa už nebude rozpúšťať.

#### Úloha a otázky.

Pripravte druhý preparát a postupujte tak isto ako v predchádzajúcej úlohe, len namiesto kyseliny pridajte zásaditý roztok.

1. Nastala zmena v zafarbení buniek? (ak áno, napíšte čas za ktorý k zmene došlo. Ak k zmene nedošlo, zapíšte čas ako dlho ste preparát pozorovali. Čas udávajte v minútach a sekundách).
2. Akú farbu má teraz pôvodne fialové farbivo, ak zmena nastala?

Mnohé informácie o antokyánoch sa dajú nájsť aj v učebniciach a v encyklopédiách. Vyhľadajte ich a odpovedzte na nasledujúce otázky. Ak ste nemali k dispozícii mikroskop, vyhľadajte odpovede aj na otázky, ktoré sme položili vyššie.

#### Otázky.

1. Asi koľko druhov antokyánov je dnes známych?
2. Vysvetlite pôvod tohto slova.
3. V akých orgánoch rastlín sa nachádzajú tieto farbivá?
4. Napíšte predpokladané funkcie týchto farbív.
  - v listoch
  - v kvetoch
  - v dozretých plodoch. Prečo je pre rastlinu výhodné, keď nedozreté plody nie sú zafarbené?
  - akú funkciu majú pre živočíchov (aj človeka), ktoré ich prijímajú v potrave? Čo spôsobujú látky, proti ktorým takto pôsobia?
5. vysvetlite, prečo sa listy na stromoch v blízkosti pouličných lúčok farbja neskôr ako tie, ktoré nie sú pri umelom osvetlení? (aký faktor spôsobuje farbenie listov na jeseň?)
6. Sú antokyány v listoch tvorené zámerne, alebo ich prítomnosť je len dôsledkom rozkladania chlorofylu?
7. Po ich vyizolovaní z rastliny možno pozorovať pod ultrafialovým svetlom zaujímavý jav. Podobný jav vykazuje aj chlorofyl. Napíšte názov tohto javu.

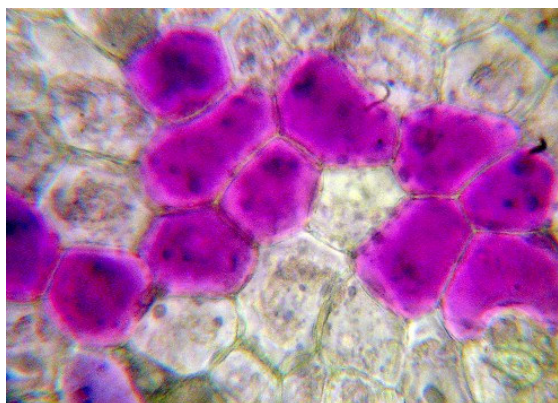
#### Autorské riešenie.

Pri pohľade okom na rez listom vidno, že farbivo je pri vonkajšej strane listov. Ako ukázali mikroskopické pozorovania, bunky na úplnom povrchu (kde sú aj prieduchy) farbivo neobsahujú.

Najviac sa osvedčila príprava preparátu „rozlúpnutím“ listu. Fotky preparátu v mikroskope:

## Olympiáda mladých vedcov 2009

### Zadanie experimentálnej úlohy



Z toho, čo sa dalo vidieť, je farbivo pravdepodobne rozptýlené v celej bunke (cytoplazme), nie iba v jednej organelle, hoci v učebniciach sa obvykle spomínajú vakuoly ako miesta obsahujúce farbivá. Preparát v octe a sóde zmení farbu do modra (sóda bikarbóna) a červená (ocot).

Odpovede na ďalšie záverečné otázky:

1. Antokyánov, ktoré patria medzi flavonoidy, je známych cca 600 druhov
2. Anthos = kvet, = modrý
3. Tieto farbivá sa nachádzajú v každom orgáne rastlinného tela – plody, listy, kvety, stonky, korene, stopky
- 4.

**List:** (1) ochrana pred nadmerným UV žiarením, chránia chlorofyl – rastliny v tródoch majú často čerbvené listy celý rok (2) u rastlín, ktoré žijú v tieni pomáhajú využívať svetelné lúče odrazené od zeme, čím zvyšujú využitie slnečného žiarenia – napr. begónia, (3) na jeseň asi chránia listy, keď sú tieto listy oslabené

**Kvety:** svojimi farbami lákajú opelovačov (aj biele kvety môžu byť včelami alebo iným hmyzom vnímané ako farebné)

**Dozreté plody:** keďže obsahujú dozreté semená lákajú zvieratá, ktoré tieto plody požierajú a rozširujú ich semená. **Nedozreté plody** (často krát sfarbené na zeleno) obsahujú ešte nedozreté semená a tak zbytočne nepriťahujú pozornosť zvierat.

**Funkcia pre živočíchov:** v organizme živočíchov pôsobia ako vychytávače voľných radikálov. Voľné radikály sú nebezpečné, pretože vytvárajú poškodenie DNA a tkanív a dnes sa predpokladá, že sa voľné radikály zúčastňujú na chorobách: rakovina, diabetes mellitus, Alzheimerova choroba atď.

5. Pretože syntézu antokyánov v listoch stromov nespôsobuje zmena počasia (nástup mrazov), ale úbytok svetla. Stromy v blízkosti lúčov majú dostatok svetla v porovnaní s tými, ktoré ho nemajú (sú ďaleko od lúčov)

6. Jedna z teórií hovorila, že antokyány vznikajú ako odpadový produkt pri degradácii chlorofylu.

Dnes sa už vie, že tieto farbivá sú rastlinou syntetizované zámerne.

7. Fluorescencia

## Ako súvisí farba s pH?

V druhej časti nájdeme odpoveď na otázku, ako závisí farba antokyánov obsiahnutých v kapuste od pH prostredia, v ktorom sa nachádzajú. Najprv si však pripravíme výluh z červenej kapusty, v ktorom budú farbivá rozpustené.

Nakrájajte nadrobno niekoľko listov červenej kapusty a v hrnci ich zalejte malým množstvom (0,3 až 0,5 l) vody. Zmes povarte asi 10 minút a nechajte vychladnúť. Potom tmavofialovú kvapalinu zlejte do pripravenej nádoby.

Olympiáda mladých vedcov 2009  
Zadanie experimentálnej úlohy

Úloha.

Vyššie uvedeným postupom si pripravte výluh z červenej kapusty.



*Rada od Ronalda Weasleyho: Pripravený výluh zafarbí tričko, obrus aj koberec spôsobom, ktorý Vašu mamu nepoteší. S roztokom preto manipulujte na vhodnom mieste (pracovná doska v kuchyni, igelitový obrus) a rozliatu kvapalinu ihneď dosucha utrite. Môže sa totiž zažrať aj do plastov. Potom už iba môžete dúfať, že Vaša mama ovláda kúzla, ako takéto ťľaky odstrániť.*

Aby sme mohli zistiť, ako závisí farba od pH, musíme si najprv ujasniť, čo to pH vlastne je.

Iste viete, že podľa jednej z prvých teórií o kyselinách a zásadách (Arrheniova teória), sú kyseliny látky schopné vo vodnom roztoku odštiepovať protón  $H^+$ , ktorý ďalej reaguje s vodou za vzniku  $H_3O^+$ . Zásady sú zasa látky schopné vo vodnom roztoku odštiepovať skupinu  $OH^-$ .

Napríklad, ak vlejeme  $HCl$  do vody, prebehne nasledujúca reakcia nazývaná disociácia  $HCl$  vo vode:  $HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$

Voda sa môže správať aj ako kyselina aj ako zásada:  $H_2O + H_2O \leftrightarrow H_3O^+ + OH^-$ , a preto je disociovaná len nepatrne (len 1 molekula z  $10^7$  molekúl). Táto reakcia sa tiež nazýva autoprotolýza vody.

Koncentrácia iónov  $H_3O^+$  (t.j.  $c(H_3O^+) = 0,0000001 \text{ mol/dm}^3 = 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$ ) sa vo vode rovná koncentrácii  $OH^-$  a takýto roztok nazývame neutrálnym a má  $pH = 7$ .

Ak do vody vlejeme silnú kyselinu alebo zásadu, uvoľnia do nej obrovské množstvo protónov  $H^+$  resp skupín  $OH^-$  (v porovnaní s čistou vodou). Pri výpočte  $pH$  v takomto prípade môžeme množstvo pôvodných iónov zanedbať. Ak máme napríklad roztok kyseliny, ktorý má  $pH = 3$  (t.j.  $c(H_3O^+) = 0,001 \text{ mol/dm}^3 = 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ ) a zriedime ho 10x, koncentrácia iónov  $H_3O^+$  klesne tiež 10x na hodnotu  $c(H_3O^+) = 0,0001 \text{ mol/dm}^3 = 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$  a  $pH$  zriedeného roztoku bude 4. Rovnako možno postupovať aj so zásadami, ich  $pH$  sa však pri riedení znižuje. Samozrejme, riedením kyseliny alebo zásady nikdy nemožno prekročiť hranicu  $pH = 7$  (prirodzená koncentrácia iónov  $H_3O^+$  vo vode).



*Odporúčanie Hermiony Grangerovej: Otázka výpočtu  $pH$  je zaujímavá a viac sa o nej dozviete v prílohe na konci tejto úlohy. Ak máte na to chuť a elán, Hermiona rozhodne odporúča si prílohu preštudovať.*

Olympiáda mladých vedcov 2009  
Zadanie experimentálnej úlohy

Úlohy.

1. Do pohárikov si pripravte sériu piatich kyslých roztokov kuchynského octu (8%). Do prvého pohárika dajte asi 0,5 dl čistého octu, ktorého pH je približne 3. Do väčšej nádoby nalejte rovnaké množstvo octu a doplňte ho deviatimi dávkami rovnakého množstva vody. Takto získaným roztokom naplňte druhý pohárik a vypočítajte pH roztoku. Veľkú nádobu vypláchnite vodou, nalejte do nej asi 0,5 dl zriedeného roztoku octu, doplňte deviatimi dielmi vody a takto pokračujte ďalej.
2. Do ďalších pohárikov si pripravte sériu zásaditých roztokov pracej sódy (alebo sódy bikarbóny ak ste praciú sódu nezohnali). Najprv si pripravte nasýtený roztok pracej sódy (sódy bikarbóny). Rozpúšťa sa pomaly, treba ju trpezlivo miešať. Začnite tým, že do 2 dl vody dajte 2 kopcovité lyžičky sódy a po rozpustení sódu pridávajte. Keď sa roztok začne zakaľovať, znamená to, že jeho koncentrácia sa blíži k nasýtenej. Po vytrvalom miešaní sa ešte časť sódy rozpustí a roztok spriehľadnie. Nasýtený roztok pracej sódy (sódy bikarbóny) má pH približne 11 (9). Postupným zriedňovaním si pripravte roztoky s nižším pH.
3. Do každého pohárika s pripraveným roztokom pridajte rovnaké množstvo (asi 5 ml t.j. 2 kávové lyžičky) kapustového výluhu a zamiešajte.

Farba roztokov sa zmenila v závislosti od pH roztoku. Všimnite si, že farba roztokov sa ešte niekoľko minút ustalaľuje, kým získa definitívny odtieň.

Otázka.

Zapíšte si farbu roztokov v závislosti od ich pH. Môžete využiť nasledujúcu tabuľku. Farebné poháriky odfoťte a fotografiu priložte k riešeniu.

Číslo pohárika	1	2	3	4	5
pH roztoku octu	3				
Farba roztoku					

Číslo pohárika	6	7	8	9	10
pH roztoku pracej sódy (sódy bikarbóny)					11 (9)
Farba roztoku					

# Olympiáda mladých vedcov 2009

## Zadanie experimentálnej úlohy

---

Autorské riešenie:

Pracia sóda (pol kila) sa dá kúpiť v drogérii za cca 1,2 EUR. Sóda bikarbóna sa dá kúpiť za podobnú sumu v potravinách. Podobne je to s octom.

Po namiešaní kyslých (ocot) a zásaditých (pracia sóda) roztokov sa dajú získať nasledujúce farby:



Samostatne stojaci pohárik je čistá vodovodná voda. Ako vidno, trikrát zriedený roztok pracej sódy (štvrtý sprava, pH=8) má už podobnú farbu, ako čistá voda.

Všimnite si posledný pohárik vpravo, je žltozelený. Jeho farba sa časom menila až sa po niekoľkých minútach ustálila na žltej. Podobne sa mierne zmenili aj ružovkasté odtiene. Všimnite si farby pohárikov nižšie pri výsledkoch elektrolýzy.

Ak sa na výrobu zásaditých roztokov použila sóda bikarbóna, výsledok bol takýto:



Ako vidíte, až do zelenej farby sa nedá dostať, pH nasýteného roztoku je nižšie.

pH	farba
3	červená
4	ružová
5	ružovofialová
6	fialovoružová
7	fialová
8	fialová
9	modrá
10	zelená
11	žltozelená až žltá

## Ako na pH pomocou elektrolýzy

V tretej časti budeme ovplyvňovať pH roztokov elektrolýzou. Ako iste viete, v kvapalinách vedú elektrický prúd ióny. Kladné ióny sa presúvajú k zápornej elektróde a záporné ióny sa presúvajú ku kladnej elektróde. Po istej dobe sa tak zmení rozloženie iónov v roztoku, a tým aj rozloženie pH.

Čistá voda je však veľmi zlý vodič. Preto budeme robiť elektrolýzu roztoku kuchynskej soli (NaCl). Tým pridáme do vody obrovské množstvo iónov  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$ . Tie budú dobre viesť elektrický prúd a budú sa presúvať k príslušným elektródam.

### Úloha.

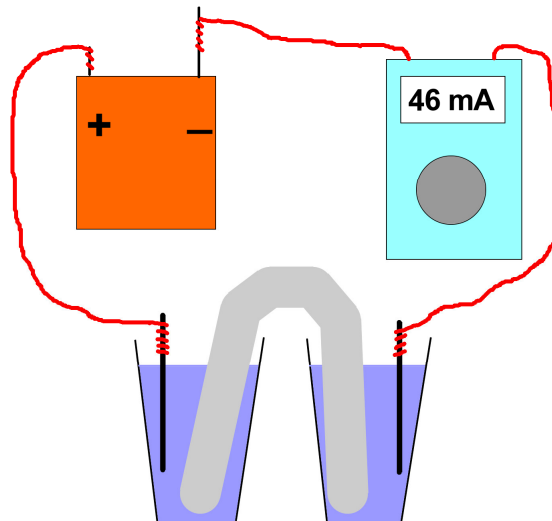
Pripravte si asi 2dl roztoku NaCl. Do 2 dl vody pridajte 2-3 kávové lyžičky soli a rozmiešajte.

Pri elektródach prebiehajú chemické reakcie. Ak by ste použili elektródy z obyčajného kovu (meď, železo a podobne), rýchlo by sa pokryli rôznymi zlúčeninami alebo by sa rozpustili. Preto treba elektródy vyrobiť z inertného materiálu. Profesionáli používajú platinové elektródy, ktoré ale asi nebudete mať k dispozícii. Inertným je však aj uhlík (grafit), ktorý sa používa ako tuha v ceruzkách.

### Úloha.

Rozštiepte pozdĺžne grafitovú ceruzku a vyberte z nej dva kúsky tuhy o dĺžke 3-5 cm, ktoré použijete ako elektródy.

Do dvoch pohárikov nalejte asi 0,5 dl slaného roztoku a pridajte do nich asi 5 ml (2 kávové lyžičky) kapustového výluhu. Roztok má v oboch pohárikoch fialovú farbu. Do jedného pohárika vložíme pri experimente kladnú elektródu, do druhého zápornú. Aby medzi pohárikmi mohol pretekať elektrický prúd, spojíme ich takzvaným „slaným mostíkom“. Je to papierová vreckovka zrolovaná do trubičky (tyčinky), ktorú namočíme do slaného roztoku. Mokrú papierovú tyčinku ohneme a vložíme koncami do pohárikov (pozrite obrázok nižšie). Cez takýto mostík sa môžu ióny ľahko pohybovať, pričom sa obsahy pohárikov priamo nemôžu premiešať.





Olympiáda mladých vedcov 2009  
Zadanie experimentálnej úlohy

Úloha.

Pomocou tenkého drôtika zapojte batériu, elektródy a ampérmeter tak, ako je znázornené na obrázku. Ak je všetko tak, ako má byť, spozorujete, že z elektród sa uvoľňujú plyny. Po chvíľke sa elektrický prúd ustáli. Zapíšete si jeho hodnotu. Ak sa veľkosť prúdu neustále mení, zapíšete si približnú priemernú hodnotu. Elektrolýzu nechajte prebiehať aspoň pol hodinu, aby sa farba roztokov výrazne zmenila. Poznačte si dobu trvania elektrolýzy.

Ak nemáte k dispozícii ampérmeter, nevadí. Vynechajte ho a pri ďalších výpočtoch predpokladajte, že ukazoval hodnotu, ako ampérmeter na obrázku.



*Varovanie profesora Snapa: Plyn, ktorý sa uvoľňuje na jednej z elektród je toxický! Vo Vašom experimente sa ho však uvoľní iba veľmi malé množstvo, ktoré Vám neublíži. Plyn veľmi zapácha, takže Váš nos Vás upozorní v dostatočnom časovom predstihu, že by ste mali vyvetrať. Je však pravdepodobnejšie, že uvoľneného plynu bude tak málo, že budete mať problém zacítiť jeho zápach.*

Otázky.

1. Aké chemické reakcie prebiehajú pri elektródach? Aké plyny sa pri elektródach uvoľňujú?
2. Ako a v ktorých miestach sa mení farba roztokov počas elektrolýzy?
3. Situáciu, keď sa už farba roztokov výrazne zmenila, zdokumentujte fotografiou. Tú priložte k riešeniu.
4. Vysvetlite, prečo sa farba roztokov zmenila práve týmto spôsobom.

Po skončení elektrolýzy (keď sa už farba roztokov výrazne zmenila) vyberte z pohárikov elektródy a taktiež slaný mostík. Roztoky v pohárikoch zamiešajte, aby ste dosiahli rovnomerné sfarbenie.

Úloha.

Porovnaním farby roztokov po elektrolýze s farbami skôr pripravených kyslých a zásaditých roztokov odhadnite pH v roztokoch po elektrolýze.

Elektrický prúd tvoria najmä presúvajúce sa ióny  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$ . Sú to jednomocné ióny, preto pre presunutí jedného z nich od elektródy k elektróde prejde ampérmetrom náboj jedného elektrónu  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C. Ak doba elektrolýzy bola  $t$  sekúnd a prúd v ampéroch bol  $I$ , celkovo sa počas elektrolýzy presunulo  $N = I \cdot t / e$  iónov. Predpokladajme, že polovica z tohto počtu boli ióny  $\text{Na}^+$  a druhá polovica  $\text{Cl}^-$ . V každom poháriku teda pribudlo  $N/2$  iónov danej polarít, ktoré sa zneutralizovali na elektródach. Užitočnejšie je vedieť, koľko mólov iónov príslušnej polarít pribudlo

## Olympiáda mladých vedcov 2009 Zadanie experimentálnej úlohy

v pohárikoch:  $n_i = (N/2)/N_A$ , kde  $N_A = 6.10^{23} \text{ mol}^{-1}$  je Avogadrova konštanta. Keďže tieto ióny spôsobili zmenu pH, môžeme odhadnúť aj zmenu veľkosti pH presunom iónov. Ak objem pohárika bol  $V$  (v  $\text{dm}^3$ ), potom koncentrácia presunutých iónov teda  $c_i = n_i / V \text{ mol/dm}^3$ . Podľa počtu núl za desatinnou čiarkou hodnoty  $c_i$  možno odhadnúť zmenu pH spôsobenú elektrolyzou (napr.  $c_i = 0,0002$  zodpovedá pH približne 4).

### Úloha.

Vyššie uvedeným postupom odhadnite pH v pohárikoch po skončení elektrolyzy. Porovnajete výsledok s hodnotami pH určenými z farby roztokov. Pokúste sa vysvetliť zhodu/nezhodu vypočítanej hodnoty s pozorovanou.

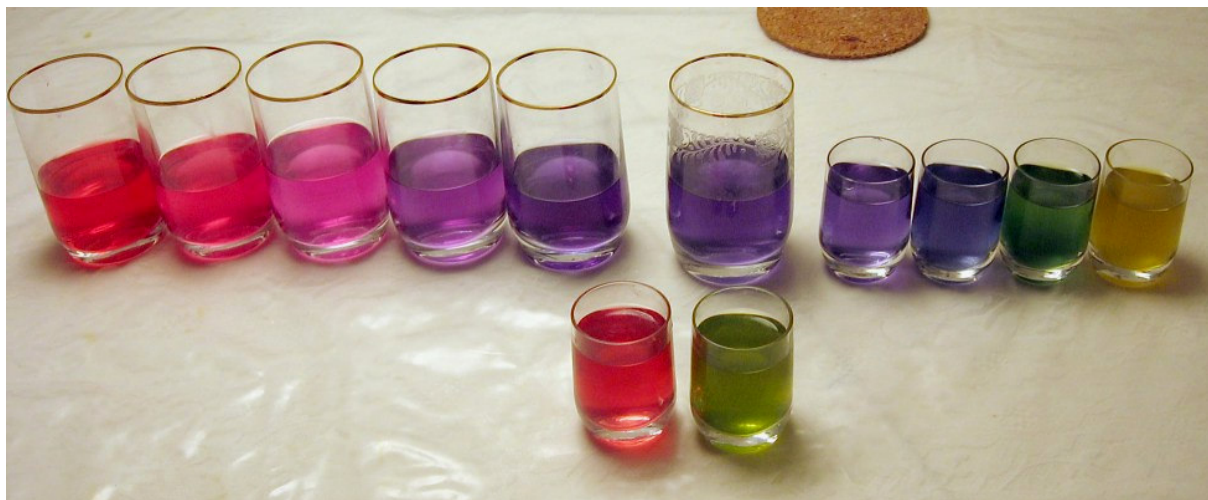
### Autorské riešenie:

Po zapojení obvodu sa na kladnej elektróde začal uvoľňovať chlór (bublinky a slabý zápach). Na ďalšom obrázku vidno, ako sa v okolí kladnej elektródy mení pH smerom ku kyslému prostrediu a v okolí zápornej elektródy smerom k zásaditému:



Na fotke nie je vidieť ampérmeter, ktorým tiekol prúd 40 mA.

Po pol hodine elektrolyzy sme porovnali farbu pohárikov s predtým pripravenými roztokmi so známym pH:



## Olympiáda mladých vedcov 2009

### Zadanie experimentálnej úlohy

---

Všimnite si posledný pohárik vpravo, je žltý (na fotke v druhej časti bol tesne po namiešaní žltozelený) – ustálenie farieb chce asi 10 minút.

Odhadnuté pH (porovnaním farieb): 4 (kladná elektróda) a 11 (záporná elektróda).

Prúd, ktorý tiekol pri elektrolýze sa ustálil na cca 40 mA. Postupom uvedeným v zadaní dostávame:

$$N = 0,04 \text{ A} \cdot 1800 \text{ s} / 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 4,5 \cdot 10^{20} \text{ častíc. } n_i = N/2 / N_A = 0,000375 \text{ mol.}$$

Objem vody v pohárikú bol  $V = 0,03 \text{ dm}^3$ .

Koncentrácia iónov v pohárikú je  $c_i = 0,000375/0,03 = 0,0125 \text{ mol/dm}^3$ . Čiže odhadnuté pH v pohárikoch je pH = 2 (kladná elektróda) a pH = 14 – 2 = 12 (záporná elektróda). Zatiaľ čo pri zápornej elektróde dáva výpočet podobnú hodnotu ako výsledok experimentu (žltozelená farba indikuje pH  $\geq 11$ ), pri kladnej elektróde je roztok omnoho menej kyslý, než vyšlo z výpočtu (výpočet: pH = 2, pozorovanie: pH = 4).

Pri zápornej elektróde sa totiž každý pricestovaný ión  $\text{Na}^+$  neutralizuje a vyvolá vznik NaOH so súčasným uvoľňovaním plynného vodíka.



Takže tu výpočet dáva správne výsledky (ak sú rovnaké pohyblivosti iónov a prešiel rovnaký počet iónov  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$ ).

Na kladnej elektróde nesúhlas neprekvapuje, tam sa pricestované ióny  $\text{Cl}^-$  neutralizujú a uvoľňujú vo forme plynu  $\text{Cl}_2$ . Teda vlastne by ani žiadna zmena pH nemala nastať. Časť iónov  $\text{Cl}^-$  však ostáva v roztoku za vzniku kyselín HCl a HClO. Keďže sa však iba malá časť iónov  $\text{Cl}^-$  použije na pokles pH, toto nedosiahne hodnotu 2, ale iba vyššiu hodnotu 4.

Želáme Vám veľa zábavy pri riešení úloh. Svoje riešenie nezabudnite včas poslať organizátorom súťaže IJSO.

*Kolektív autorov: Renáta Dörnhöferová, Zuzana Kováčiková,  
František Kundracik a Martin Plesch*

## Príloha: Čo je pH a ako sa dá vypočítať?

Iste viete, že podľa jednej z prvých teórií o kyselinách a zásadách (Arrheniova teória), sú kyseliny látky schopné vo vodnom roztoku odštiepovať protón  $\text{H}^+$ , ktorý ďalej reaguje s vodou za vzniku  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

Zásady sú zasa látky schopné vo vodnom roztoku odštiepovať skupinu  $\text{OH}^-$ .

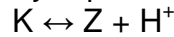
Potom, ak vlejeme napr. HCl do vody, prebehne nasledujúca reakcia nazývaná disociácia HCl vo vode:  $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$

Nevýhoda Arrheniovej teórie spočíva v tom, že platí iba o vodných roztokoch kyselín a zásad, preto Brønsted prišiel s novou, aj keď veľmi podobnou teóriou, ktorá hovorí: Kyseliny sú častice (molekuly, ióny, ...) schopné odovzdávať  $\text{H}^+$  iným molekulám alebo iónom. Zásady sú látky schopné od iných častíc prijímať protóny  $\text{H}^+$ .

Olympiáda mladých vedcov 2009  
Zadanie experimentálnej úlohy

---

Môžeme tiež povedať, že každá kyselina má svoju spriaznenú zásadu, od ktorej sa líši iba o protón(y) vodíka  $H^+$ .



Voda sa môže správať aj ako kyselina aj ako zásada:  $H_2O + H_2O \leftrightarrow H_3O^+ + OH^-$  a preto je disociovaná len nepatrne (len 1 molekula z  $10^7$  molekúl). Táto reakcia sa tiež nazýva autoprotolýza voda.

Koncentrácia iónov  $H_3O^+$  (t.j.  $c(H_3O^+) = 0,0000001 \text{ mol/dm}^3 = 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$ ) sa rovná koncentrácii  $OH^-$  a takýto roztok nazývame neutrálnym a má  $pH=7$ .

$pH$  silných kyselín vypočítame ako  $pH = -\log c(H_3O^+)$

a silných zásad ako  $pOH = -\log c(OH^-)$ .

Pritom platí:  $pH + pOH = 14$   $pH =$  od 0 do 14

$pH = 1$  až  $6$  majú kyslé roztoky,  $pH = 7$  neutrálne,  $pH = 8$  až  $14$  majú zásadité roztoky.

Príklad:

a.) Koncentrácia roztoku silnej kyseliny chlorovodíkovej je  $c = 0,001 \text{ mol/dm}^3$ .

Vypočítajte aké je  $pH$  roztoku.

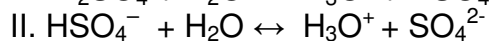
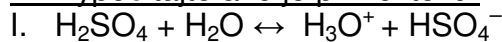
$$c(HCl) = c(H_3O^+) = 0,001 \text{ mol/dm}^3 = 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$pH = -\log c(H_3O^+) = -\log 10^{-3} = -(-3) = 3$$

Výsledok:  $pH$  roztoku kyseliny chlorovodíkovej je 3, t.j. roztok je veľmi kyslý.

b.) Koncentrácia roztoku silnej kyseliny sírovej je  $c = 0,005 \text{ mol/dm}^3$ .

Vypočítajte aké je  $pH$  roztoku.



$$C(H_3O^+) = 2 \cdot c(H_2SO_4) = 2 \cdot 0,005 \text{ mol/dm}^3 = 0,01 \text{ mol/dm}^3 = 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$$

$$pH = -\log c(H_3O^+) = -\log 10^{-2} = -(-2) = 2$$

Výsledok: Kyselina sírová je dvojsýtna kyselina (má dva vodíky, ktoré vie odštiepiť), a preto pri reakcii s vodou vzniká dvojnásobné množstvo oxóniových kationov  $H_3O^+$ .  
 $pH$  roztoku kyseliny sírovej je 2 t.j. roztok je veľmi kyslý.

c.) Koncentrácia roztoku  $NaOH$  je  $c = 0,001 \text{ mol/dm}^3$ .

Vypočítajte  $pH$  roztoku.

$$c(NaOH) = c(OH^-) = 0,001 \text{ mol/dm}^3$$

$$p(OH^-) = -\log c(OH^-) = -\log 0,001 = -\log 10^{-3} = -(-3) = 3$$

$$pH = 14 - pOH \Rightarrow pH = 14 - 3 = 11$$

Výsledok: roztok  $NaOH$  má  $pH=11$  a je zásaditý.