## Úloha II.E ... Posvítíme

7 bodů; (chybí statistiky)

*Tom ukazoval Radce, jak si vyrobit citronovou baterku. Zastrčil do citronu dva kovy, zinek a měď, připojil na ně voltmetr a ten ukázal nenulové napětí. Radku by zajímalo, proč tomu tak je, jenže když si od Toma půjčila voltmetr (vy si jej můžete půjčit např. v kabinetu fyziky vaší školy), tak zjistila, že doma nemá citron. Rozhodla se tedy improvizovat s jinými druhy ovoce. Vyzkoušejte to také a změřte, jak velké napětí generují alespoň tři různá ovoce, která si zvolíte. Doporučujeme například citron, jablko, švestku, ananas, broskev, můžete experimentovat i se zeleninou. Měření nezapomeňte několikrát zopakovat pro každý měřený druh ovoce, aby měla výpovědní hodnotu. Místo zinku můžete zvolit i jiné kovy, např. hliník nebo ocel. Můžou být ve formě drátků, plíšků apod. Před experimentem je dobré osmirkovat povrchy elektrod, abyste se zbavili případných oxidů vzniklých na povrchu kovu. Na čem závisí velikost napětí, které vaše zapojení generuje? Který z kovů je anoda a který katoda a proč? Jak lze zlepšit vlastnosti ovoce jako elektrolytu? Nakreslete do řešení schéma vaší aparatury a vyznačte směr toku elektronů.*

### *Teorie*

Nejprve si řekněme, z čeho se naše ovocná „baterka“ skládá. Jako každá baterka obsahuje elektrolyt neboli ovocnou šťávu či dužinu, ve které se pohybují ionty (částice s nenulovým nábojem) nesoucí náboj. Ionty putují k elektrodám – anodě a katodě. Anoda je vůči okolí záporná, tj. definujeme ji jako tu elektrodu, kterou elektrony odcházejí ven ze zařízení[1] (pomůcka: všimněme si lehké podobnosti s příponou *anti-* značící zápor či opak), a tudíž se v rámci baterky nabíjí kladně a jako důsledek do elektrolytu chemicky vylučuje kationty nebo nabaluje anionty, aby kladný náboj neutralizovala.

Elektrický proud nám jenom říká, kolik náboje proteče za daný čas. Materiály elektrod jsou povětšinou rozdílné, abychom zaručili, že se každá elektroda bude chovat jinak. Pokud připojíme voltmetr k elektrodám, tak nám naměří nějaké napětí způsobené chemickou reakcí elektrod ponořených v elektrolytu.

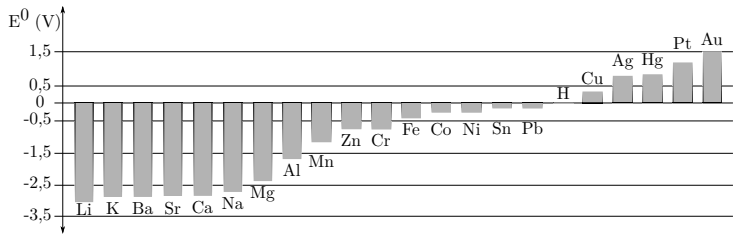
V tomto vzorovém řešení byla použita jako katoda měď a jako anoda zinek. Jak zjistíme, co je anoda a co je katoda? Nejjednodušší a celkem intuitivní je se po zapojení voltmetru na elektrody podívat, jaké číslo vyskočí na displeji. Pokud je kladné, znamená to, že máme voltmetr zapojený správně (voltmetr se zapojuje tak, že kabel vedený ke společné zdířce s nápisem „COM“ je svým koncem napojen na anodu a (obvykle červený) kabel ve zdířce pro měření stejnosměrného napětí[2] je sveden na katodu.) Při opačném zapojení by číslo na displeji voltmetru bylo záporné. Toto si můžete přezkoušet i proměřením např. tužkové baterie, kde je katoda jasně označena symbolem „+“.

Další, co nám pomůže určit povahu elektrod, je *elektrochemická řada napětí kovů*, někdy také známá pod názvem Beketovova řada napětí kovů, viz obrázek 1. Kovy jsou v ní seřazeny tak, že zleva doprava klesá ochota těchto kovů tvořit kladné ionty (tedy kationty) odštěpením elektronu ze svého elektronového obalu. Vodík je zde uveden jako kalibrační prvek, podle kterého se elektrochemické napětí určuje. Měď je napravo od zinku, tudíž její ochota stát se kationtem (odštěpit svůj elektron) je menší, než jakou má zinek, který tedy bude anodou (zinek bude uvolňovat elektrony). Podobně to funguje s jakoukoliv dvojicí kovů v této řadě – ten více

[1] Vzhledem k tomu, že elektrický proud zase definujeme jako tok kladného náboje, tedy *proti* toku elektronů, je anoda tou elektrodou, kterou do baterky proud *vchází*.

[2] Neměřte proud, vedlo by to ke zkratu baterie, jelikož ampérmetr má minimální odpor.

vpravo bude katoda, tudíž k sobě bude přitahovat kationty vzniklé v elektrolytu, aby vyvážily přitékají elektrony z anody.




Obr. 1: Elektrochemická řada kovů, nebo též graf *standardních redoxních potenciálů*. Slovo „standardní" označuje hodnoty platné za dané pokojové teploty a tlaku. Potenciály jsou „redoxní", protože chemické reakce, o kterých hovoříme, se nazývají oxidačně-redukční. Výsledné napětí článku sestaveného ze dvou kovů (ve vhodném elektrolytu) je dáno rozdílem uvedených hodnot.

Jak vlastně celá ovocná baterka funguje? Pokud bychom ji zapojili do obvodu, protékal by jím proud. Elektrický proud není nic jiného než tok elektronů, tudíž se musí někde stát, že buď v dužině ovoce anebo na elektrodách se nějaký elektron utrhne z atomu a pohybuje se vodičem, či elektrolytem. Jak jsme již zmínili, elektrony se odtrhují z atomů anody (která se tím stává kladná vůči elektrolytu, protože odcházející elektrony se sebou odnesou záporný náboj). Kam tyto elektrony odcházejí? Odcházejí naším obvodem tvořeným voltmetrem na katodu. To, že zinek jako správná anoda odevzdá elektrony, je způsobeno interakcí elektrody a elektrolytu (tedy kovu a ovoce). Například v citronu se vyskytuje kyselina citronová, která reaguje se zinkem. Elektrolyt však reaguje i s katodou a může na ní chemickou reakcí kompenzovat příchozí záporný náboj, jak už bylo zmíněno výše.

Je důležité neplést si tento jev s elektrolýzou: v elektrolýze se proud přivádí na elektrody a následně i do elektrolytu externím zdrojem. V našem případě je zdrojem samotné ovoce, což je přesně opačný princip než u elektrolýzy. Navíc u elektrolýzy mohou obě elektrody být ze stejného materiálu. Anoda a katoda se však nazývají stejně podle toho, kterou proud vtéká do a vytéká ze zařízení.

### *Měření*

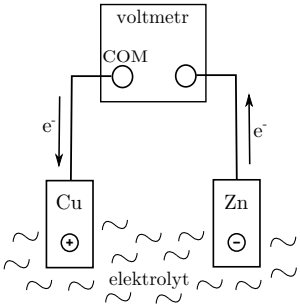
Budeme potřebovat multimetr, dva kovy, které jsme ideálně zbavili povrchových nečistot, abychom zvýšili účinnost chemické reakce s elektrolytem, a ovoce či jiné plodiny, pro které chceme naši teorii otestovat. Zapojíme naše ovoce podle obrázku 2.

Pokud chceme ještě lepší výsledky, tak je dobré z ovoce vymačkat šťávu či z jeho dužiny udělat pyré. Tím dosáhneme větší pohyblivosti částic v elektrolytu.

Výsledky pro jednotlivá měření můžete vidět v tabulce 1. Kromě generovaného napětí tam můžeme vidět i hodnotu pH ovoce, ke kterému se v tomto řešení vrátíme podrobněji později. Zde je spočtená i směrodatná odchylka $\sigma$ měřená podle vzorce

$$\sigma = \sqrt{\frac{(U_1 - \overline{U})^2 + (U_2 - \overline{U})^2 + (U_3 - \overline{U})^2 + \cdots + (U_n - \overline{U})^2}{N(N-1)}},$$

kde $N$ je počet měření pro jedno ovoce, $\overline{U}$ je aritmetický průměr napětí měřených pro stejné ovoce a $U_1, U_2, U_3, \ldots$ jsou jednotlivé hodnoty napětí naměřené pro konkrétní ovoce. Z těchto




Obr. 2: Schéma zapojení s vyznačeným tokem elektronů.

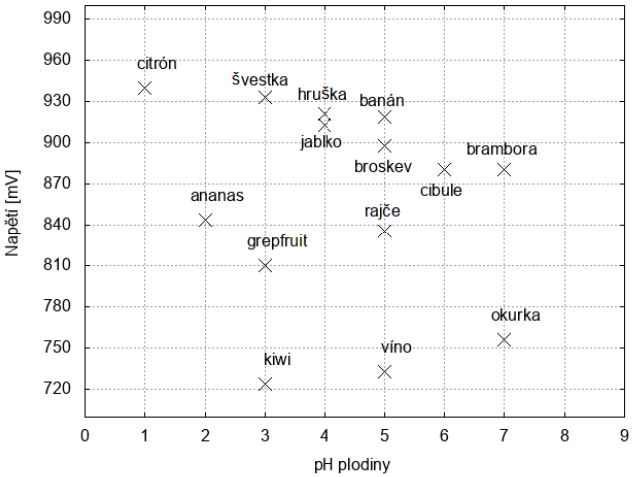
výpočtů určíme relativní chybu jako podíl hodnoty směrodatné odchylky $\sigma$ a aritmetického průměru hodnot pro dané ovoce $\sigma/\overline{U} = \delta U_i$. Ta nám říká něco o přesnosti našeho pokusu vzhledem k aritmetickém průměru hodnot.

| Ovoce | pH | $U_1$ | $U_2$ | $U_3$ | $U_4$ | $U_5$ | $\overline{U}$ | $\sigma^2$ | $\delta U_i$ [%] | $u_\mathrm{v}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| citrón | 1 | 944 | 940 | 934 | 945 | 938 | 940,20 | 4,04 | 0,43 | 7,522 |
| ananas | 2 | 845 | 840 | 841 | 846 | 848 | 844,00 | 2,30 | 0,27 | 6,752 |
| grepfruit | 3 | 810 | 815 | 800 | 806 | 821 | 810,40 | 13,06 | 1,61 | 6,483 |
| švestka | 3 | 930 | 940 | 925 | 938 | 934 | 933,40 | 7,36 | 0,79 | 7,467 |
| kiwi | 3 | 717 | 730 | 723 | 732 | 719 | 724,20 | 8,74 | 1,21 | 5,794 |
| hruška | 4 | 913 | 912 | 920 | 941 | 923 | 921,80 | 27,34 | 2,97 | 7,374 |
| jablko | 4 | 910 | 916 | 921 | 914 | 904 | 913,00 | 8,20 | 0,90 | 7,304 |
| banán | 5 | 915 | 930 | 921 | 917 | 912 | 919,00 | 9,70 | 1,06 | 7,352 |
| rajče | 5 | 847 | 855 | 823 | 821 | 834 | 836,00 | 44,00 | 5,26 | 6,688 |
| broskev | 5 | 900 | 901 | 910 | 887 | 895 | 898,60 | 14,26 | 1,59 | 7,189 |
| hroznové víno | 5 | 727 | 734 | 736 | 726 | 745 | 733,60 | 11,86 | 1,62 | 5,869 |
| cibule | 6 | 892 | 886 | 903 | 890 | 834 | 881,00 | 146,00 | 16,57 | 7,048 |
| brambory | 7 | 896 | 872 | 890 | 880 | 867 | 881,00 | 12,08 | 3,31 | 7,048 |
| okurka | 7 | 755 | 760 | 740 | 783 | 743 | 756,20 | 58,54 | 7,74 | 6,050 |

Tab. 1: Tabulka výsledků jednotlivých měření. Veškerá napětí jsou uvedena v mV. Poslední sloupec $u_\mathrm{v}$ obsahuje možné systematické odchylky voltmetru.

*Závěr*

Jak můžete vidět, generovaná napětí pro různé typy ovoce a zeleniny jsou různá. Může to záviset například i na pH neboli kyselosti ovoce či zeleniny. S klesajícím pH je daná látka kyselejší. Kyselost nám vlastně říká, s jakou pravděpodobností se kyselina rozdělí na ionty a kolik kladných iontů vodíku je kyselina schopna poskytnout do chemické reakce v baterii – čím větší kyselost (tedy menší hodnota pH), tím více je oněch kationtů. V našem experimentu byla




Obr. 3: Graf výsledků měření. Na ose $x$ je vyneseno pH a na ose $y$ průměrná hodnota naměřeného napětí pro dané ovoce

hodnota pH změřena lakmusovými papírky (papírky napuštěné lakmusem, což je látka, která se při kontaktu zbarví podle pH látky, se kterou interaguje). Přesnost je v rámci jednotek pH.

Hodnoty napětí v milivoltech jsou naměřeny multimetrem. Chyba tohoto přístroje je nejvýše ±0,8% (z průměru napětí) s výrobcem udávanou přesností na 4 desetinná místa. Naměřená data byla vždy měřena pro jedno konkrétní ovoce, tudíž je rozdíl v naměřených napětích minimální. Pokud byste použili pro každé měření jiný kus ovoce, pravděpodobně byste také naměřili větší rozdíl generovaných napětí při každém měření.

Odchylka měření mohla být dále způsobena mimo jiné také tím, že elektrody se mohly pokrývat látkami vzniklými během chemické reakce v baterii (tomu šlo zabránit například osmirkováním elektrod smirkovým papírem po každém měření). V elektrolytu také probíhala chemická reakce, která snižovala koncentraci kyseliny v elektrolytu, tudíž napětí na voltmetru po ponoření elektrod klesalo velmi rychle.

Pokud si chcete o (nejen) ovocných bateriích něco přečíst, doporučujeme krátký článek zde `http://fyzmatik.pise.cz/64-elektrina-z-citronu.html`.

***Pavla Trembulaková***
`pavlat@vyfuk.mff.cuni.cz`

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence navštivte `http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/`.