



Korespondenční Seminář Inspirovaný Chemickou Tematikou

Ročník 20 (2021/2022)

Série 3



Chemie je všude: je ve vodě, je v půdě, je ve vzduchu a je i v nás samotných. Veškeré materiály jsou tvořeny chemickými látkami, chemické reakce nám každodenně pomáhají s tvarováním světa kolem nás a biochemické reakce nás vlastně utvářejí: katalytické reakce umožňují každodenní běh našich těl, neurotransmitery jsou nositeli našich emocí a naše DNA může dát vzniknout novým generacím. Avšak bez porozumění tajemným nebezpečnostem s chemií spojeným jsme jí vydáni napospas, proto stojí za to ji poznat blíže a hlouběji, aby se stala naším dobrým sluhou a ne obávaným pánem.

Proč řešit KSICHT?

Milí řešitelé, KSICHT je zde již 20. rokem proto, aby vám ukázal různá zákoutí chemie a přivedl vás k jejích objevování. V průběhu školního roku k vám doputují čtyři brožurky s úlohami z různých oblastí chemie, při jejichž řešení se naučíte mnoho nového a navíc si užijete kopu srandy, protože úkoly jsou mnohdy poněkud... neortodoxní. Prostřednictvím našeho seriálu se pak můžete seznámit s některými velkými chemickými tématy, která se vám pokusíme předstírat stravitelně, zábavně a užitečně. V letošním ročníku to bude seriál s názvem *Radioaktivita kolem nás*, který pro Vás připravili Klára a Pavel Řezankovi. V neposlední řadě můžete v každé brožurce sledovat osudy skutečně neohroženého komiksového hrdiny, a sice Zajíčka chemika.

Za normální situace pořádá KSICHT v průběhu ročníku dva výlety, na kterých je možné se setkat s ostatními řešiteli, s organizátory a autory úloh. Celý ročník je zakončen týdenním soustředěním na Přírodovědecké fakultě UK, kde si mimo jiné vyzkoušíte práci v laboratořích a vyslechnete přednášky předních českých a světových vědců. Kapacitu tohoto soustředění máme pro 30 řešitelů, rozhodovat bude celkové umístění po 4. sérii.

Mimo to získávají úspěšní řešitelé i možnost prominutí přijímacích zkoušek na PŘF UK a Univerzitě Palackého v Olomouci¹, a ti nejúspěšnější z vás mohou dosáhnout na motivační stipendium na PŘF UK nebo VŠCHT.

¹ KSICHT je brán jako předmětová soutěž v chemii podobná olympiádě.

Termín pro odeslání řešení 3. série:

28. 2. 2022

Elektronicky (PDF)	Papírově
http://ksicht.natur.cuni.cz/odeslani-reseni	KSICHT Přírodovědecká fakulta UK Hlavova 2030 128 43, Praha 2

Jak řešit KSICHT?

<http://ksicht.natur.cuni.cz/>

V každé brožurce je pro vás připraveno 5 úloh k vyřešení. Jsou mezi nimi zábavné hříčky i opravdové oříšky. Pokuste se poradit si s nimi, jak nejlépe umíte, ale pokud je nevyřešíte všechny, nic se nestane. Budeme rádi, když nám pošlete odpovědi byť jen na část úkolů, které úloha obsahuje. Dbejte však, aby vaše odpovědi byly srozumitelné a aby bylo zřejmé (zejména u výpočtů), jak jste k řešení dospěli.

Každou úlohu vypracujte **samostatně** na list formátu A4, na němž bude uvedeno **vaše jméno, název a číslo úlohy**. V případě, že posíláte úlohy přes webový formulář (námi preferovaný způsob odeslání), uložte každou úlohu do samostatného souboru PDF.² Pro kreslení chemických vzorců doporučujeme používat programy dostupné zdarma: MDL ISIS/Draw, ChemSketch (freeware s povinnou registrací) nebo Chemtool.

Vypracované řešení úlohy odešlete organizátorům nejpozději do data uvedeného na následující stránce elektronicky nebo papírově (rozhoduje čas na serveru KSICHTu či datum poštovního razítka).

Autoři poté vaše řešení opraví, ohodnotí je a pošlou vám je zpět společně s následující brožurkou a dalšími úlohami k řešení. Řešitelé, kteří získají alespoň 50 % bodů z celého ročníku, obdrží certifikát o úspěšném absolvování semináře.

Vaše umístění ve výsledkové listině je také kritériem pro účast na závěrečném soustředění, detaily k přihlašování uvedeme v brožurce čtvrté série.

V případě jakýchkoliv dotazů se na nás neváhejte obrátit na e-mail ksicht@natur.cuni.cz nebo v případě dotazu ohledně úlohy napište autorovi úlohy na jmeno.prijmeni@ksicht.natur.cuni.cz.

² Neposílejte naskenovaná řešení s výjimkou obrázků, text bývá špatně čitelný.

KSICHTí desatero řešení úloh

Vzhledem k tomu, že se opakovaně někteří řešitelé dopouští neodpustitelných či méně závažných prohřešků, kvůli kterým zbytečně přicházejí o body, vytvořili jsme pro Vás seznam zásad, kterých je dobré se držet.

1. Jen jeden KSICHT řešiti budeš.
2. Nebudeš si zoufat, že nevyřešíš všechno a správně.
3. Nebudeš se klanět Güghlu ni jiným vyhledávačům. Informaci svou si vždy ověříš.³
4. Nezkopíruješ W'k'p_ed_{ii} českou ni anglickou ni v jazyku jiném psanou.⁴
5. Pamatuj na den odeslání, že ti má být svatý. Čtyři týdny řešiti budeš, dne (před)posledního odesláno míti budeš.
6. Rukopis vlastnoruční nenaskenuješ, ale do obálky vložíš a poštou odešleš.
7. Neudáš výsledku bez výpočtu.
8. Neopíšeš nadbytek čísl z kalkulatoru svého.⁵
9. Nepožádáš o řešení bližního svého.
10. KSICHTí jméno důsledně šířiti budeš.

³ Smyslem korespondenčního semináře je také dát vám příležitost naučit se vyhledávat, třídit a kriticky vyhodnocovat dostupné informace. Proto můžete k řešení používat jakékoli tištěné i elektronické zdroje, se kterými je ale třeba správně zacházet – více v další poznámce.

⁴ Odevzdání textu získaného pomocí Ctrl+C, Ctrl+V není řešením úlohy. Tím má být vaše vlastní formulace odpovědi na otázky v úloze, kterou jste sestavili na základě informací dostupných klidně i na Wikipedii. Zejména u internetových zdrojů je třeba každý zdroj kriticky zhodnotit: zdaleka ne každá stránka, příspěvek na blogu či diskusním fóru obsahuje pravdivé informace.

⁵ Tzv. kalkulatorový syndrom: „Svět byl stvořen za 6,999999999942 dní.“ Toto není ani správná, ani přesná hodnota.

Úvodníček

Vážené divačky a diváci,

děkujeme, že jste pro svůj řešitelský zážitek zvolili náš korespondenční seminář. Pohodlně se prosím usadte u svých přijímačů, protože zimní KSICHTí olympiáda právě začíná. Čeká vás jedinečný zážitek, během kterého uvidíme ty největší borky a borce našeho autorského kolektivu zhodnotit to nejlepší z jejich mnohaleté odborné přípravy zhmotnělé do zadání jediné úlohy. Jejich karty jsou vsazeny na jedinou šanci, protože po odeslání brožurky již není možné cokoliv opakovat. Nyní už ale vidíme přicházet celý zástup našich špičkových duševních sportovců. Jako první jde v čele do dvoušroubovice spletený tandem Terezie Páníkové a Veroniky Vetýškové. Jde o velké naděje této soutěže, které pro nás mají přichystáno ještě nejedno tajemství. Hned za nimi mohou řešitelé spatřit Anetu Pospíšilovou rafinovaně zahalenou do vědeckých článků jen na několika místech letmo spojených pomocí citací a několika DOI indexů. Vprostřed zástupu pak hrdě pochoduje Pavel Řezanka, který jako nejzkušenější autor nese tradiční čestnou pochodeň ve tvaru hořícího zajíce. Jak všichni řešitelé dobře vědí, k zimní olympiádě neodmyslitelně patří také sníh a led. Naše výprava by proto nebyla kompletní bez specialistky v orientačním běhu fázovými diagramy, Lady Švecové. Doufejme, že její naděje neskončí při čtení vašich řešení jen u ledu. Celý špalír naší výpravy pak uzavírá Jiří Herby Kysilka, kterého mohou zkušenější řešitelé už z dálky dobře rozeznat podle délky jeho úloh. Spolu s Pavlem sice patří k několika málo matadorům, kteří se účastnili již prvního ročníku této soutěže, ale vždy nás dokáže něčím novým příjemně překvapit.

Spolu s odcházejícím Herbym se i toto slavnostní zahájení pomalu chýlí ke svému závěru. Skutečné olympijské souboje a s nimi spojené pocity vítězství i smutku na vás ale čekají v průběhu dalšího měsíce na dalších stránkách této brožurky. Přeji vám proto chemickému sportu zdar a rozloučím se s vámi KSICHTím mottem: *Není důležité zvítězit, ale včas odevzdat řešení.*

Honza Havlík

Seriál: Radioaktivita kolem nás

Autoři: Klára a Pavel Řezankovi

3. díl: Radioanalytické metody a další využití radioaktivního záření a radionuklidů

Milé čtenářky, milí čtenáři,

vzhledem k rozsáhlosti minulého dílu jsme se rozhodli zařadit, oproti plánu nastíněnému v prvním dílu, radioanalytické metody až do tohoto, třetího, dílu. Slibované využití radioaktivního záření a radionuklidů zde samozřejmě naleznete také.

Radioanalytické metody

Gama spektroskopie

Gama spektroskopie je nedestruktivní analytická metoda, jejímž principem je studium energie gama záření emitovaného radionuklidy přítomnými ve zkoumaném vzorku, například ve vzorku geologickém. Typicky se energie gama záření různých radionuklidů pohybují v rozmezí od 0,01 do 10 MeV. Závislost četnosti emitovaných fotonů na jejich energii je označována jako gama spektrum vzorku. Analyzovaný radionuklid je charakterizován energiemi vyzařovaného gama záření a jejich relativní intenzitou. Gama spektroskopii lze tedy využít pro kvalitativní i kvantitativní analýzu některých radionuklidů, jež se ve sledovaném systému nacházejí.

Energie gama záření emitovaného jednotlivými radionuklidy je určena rozdílem energií stavů jádra, které jsou jeho okolím ovlivňovány jen zanedbatelně. Proto jsou spektrální čáry v ideálním gama spektru velice úzké. Jejich experimentální šířka v naměřeném spektru je určena rozlišovací schopností použitého spektrometru. Z dostupných typů detektorů (ionizační komory, proporcionalní a Geigerovy-Müllerovy počítače, scintilační detektory) je dnes nejlepší rozlišení dosahováno polovodičovými detektory, viz 2. díl letošního seriálu.

Než gama foton emitovaný radionuklidem dorazí do detektoru, prochází vrstvami různých prostředí. Zde mohou probíhat sekundární interakce, které zeslabují tok gama fotonů a mění tvar gama spektra. Jednou z nich je **Comptonův rozptyl**, při kterém gama foton narazí do elektronu slabě vázaného v atomu. Gama foton přitom změní svůj směr šíření a část své energie předá elektronu. Úbytek energie fotonu závisí na úhlu, pod kterým se foton a elektron po srážce pohybují. Comptonův rozptyl proto vytváří ve spektru spojitý pozadí. Při **fotoelektrickém jevu** gama foton vyrazí z látky silně vázané elektrony z vnitřních hladin. Při jejich zpětném zaplňování elektrony z vyšších hladin se uvolňuje rentgenové záření. Je-li energie původního gama fotonu vyšší než 1,022 MeV, může proběhnout **tvorba**

páru tvořeného elektronem a pozitronem. Po ztrátě své kinetické energie může pozitron zaniknout při srážce s jiným elektronem. Přitom vzniká dvojice gama fotonů o energii 511 keV, které se šíří v navzájem přesně opačném směru. V dnešní době nalézá gama spektroskopie uplatnění například při studiu hornin, kdy lze s výhodou použít příruční gama spektrometry.

Mössbauerova spektroskopie

Mössbauerova spektroskopie zaznamenává velmi malé změny v energetických hladinách jader atomů v závislosti na jejich okolním prostředí. Jaderné interakce mohou způsobovat izomerní posun (analogie chemického posunu u NMR), kvadrupólové štěpení a magnetické (hyperjemné) štěpení známé také jako Zeemanův efekt. Velké energie a extrémně úzké linie použitého gama záření činí Mössbauerovu spektroskopii velmi citlivou technikou z hlediska rozlišení energetických změn, která je schopna odlišit změny až o 11 řádů menší, než je energie použitého záření.

Při emisi nebo absorpci gama záření dochází současně ke změně hybnosti daného jádra (tzv. zpětný ráz), protože musí být dodržen zákon zachování hybnosti. Pokud jádro, které je v klidu, emituje gama záření, je energie tohoto záření o trochu menší než energie daného přechodu. Naopak, aby mohlo jádro, které je v klidu, absorbovat gama záření, musí mít toto záření o trochu větší energii, než je energie tohoto přechodu, protože se část energie spotřebuje na hybnost absorbujícího jádra. To znamená, že jaderná rezonance (emise a absorpce stejného gama záření identickými jádry) je nepozorovatelná u volných jader, protože rozdíl energií emisního záření a energií potřebných k absorpci tohoto záření je příliš velký, takže emisní a absorpční spektra nevykazují takřka žádný překryv.

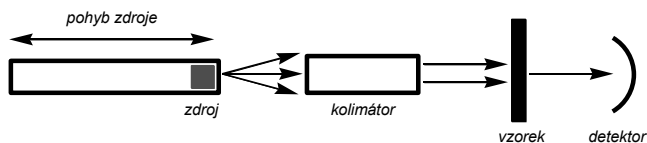
Pokud je ale jádro atomu začleněno do krystalové mřížky krystalu, nemůže podléhat zpětnému rázu. Když takovéto jádro emituje nebo absorbuje gama záření, dochází stále ke ztrátě energie, ale děje se to v kvantech ve formě tzv. fononů (kvazičástice šířící vibrační kvantum v krystalové mřížce). V průběhu emise gama záření může být emitován libovolný počet fononů včetně nuly, tj. nedojde ke zpětnému rázu a tento jev se označuje jako bezodrazový. Zákon zachování hybnosti je v tomto případě splněn změnou hybnosti celého krystalu, takže se žádná energie neztratí.

Většina emisních a absorpčních dějů v krystalu je bezodrazová, a tudíž je možné tuto metodu využít v praxi, neboť gama záření emitované jedním jádrem bude rezonančně absorbováno vzorkem obsahujícím jádra stejného izotopu a tato absorpce je měřitelná.

V základním provedení Mössbauerovy absorpční spektroskopie je pevný vzorek vystaven gama záření a je měřena intenzita paprsku prošlá vzorkem. Zdroj

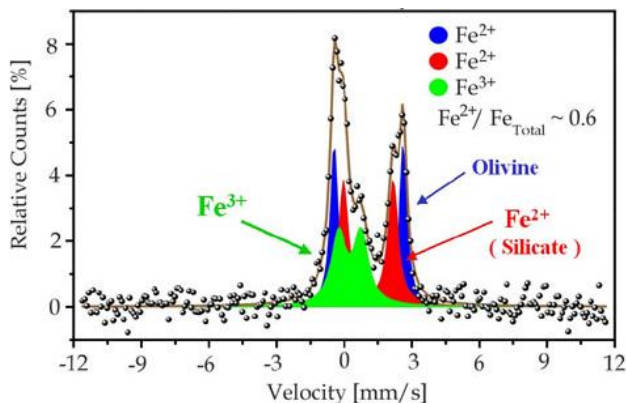
musí obsahovat stejné izotopy, jako jsou atomy v analyzovaném materiálu, které jsou cílem analýzy.

Pokud má emitující a absorbující jádro stejné chemické okolí, energie přechodu jsou identické a nastane rezonance za předpokladu, že jak zdroj, tak vzorek jsou v klidu. Změny v chemickém okolí se projeví jinou energií jaderných hladin zdroje a vzorku. Ačkoli jsou tyto energetické změny velmi malé, obvykle méně než několik μeV , jsou postačující na zaznamenání velké změny v absorpci způsobené posunem extrémně úzké linie gama záření. Aby se neekvivalentní jádra dostala zpět do rezonance, je třeba změnit energii gama záření, k čemuž se využívá Dopplerova efektu. V průběhu měření je měněna rychlost zdroje (obr. 1) tak, aby Dopplerovým efektem došlo k požadované změně energie emitovaného gama záření. Například pro ^{57}Fe jsou obvykle používány rychlosti 0 až $\pm 11 \text{ mm s}^{-1}$ (1 mm s^{-1} odpovídá $48,075 \cdot 10^{-9} \text{ eV}$).



Obrázek 1. Schéma Mössbauerova spektrometru

Ve výsledném spektru (obr. 2) je intenzita gama záření vynesena jako funkce rychlosti zdroje. Při rychlosti odpovídající rezonanční energetické hladině vzorku je část gama záření absorbována, což vede k poklesu měřené intenzity a odpovídajícímu poklesu signálu v daném místě spektrální křivky. Počet, pozice a intenzita těchto „negativních píků“ poskytuje informaci o chemickém okolí absorbujícího jádra a může být využita k charakterizaci vzorku.



Obrázek 2. Mössbauerovo spektrum zaznamenané na Marsu v kráteru Gusev 17. 1. 2004

Vhodný zdroj gama záření obsahuje radionuklid, který se rozpadá na požadovaný izotop. Příkladem může být ^{57}Co , který podléhá elektronovému záchytu za vzniku excitovaného atomu $^{57*}\text{Fe}$, který se deexcituje na základní stav vyzářením gama záření o příslušné intenzitě, a slouží tak ke stanovení železa v analyzovaném vzorku. Použitelné radionuklidy musí mít takový poločas rozpadu, aby bylo možné provést požadované měření, a emitované gama záření musí být nízkoeenergetické, aby byla frakce bezodrazového záření velká. Nejpoužívanější jsou ^{57}Fe , ^{129}I , ^{119}Sn a ^{121}Sb .

Ačkoli má Mössbauerova spektroskopie několik nevýhod, mezi které patří omezené množství gama zářičů a možnost analyzovat pouze pevné vzorky, její jedinečnost spočívá v její schopnosti zaznamenávat i nepatrné změny v chemickém okolí pozorovaného jádra včetně změn v oxidačním čísle, efektu různých ligandů na daný atom a magnetického okolí vzorku.

Jako analytický nástroj je Mössbauerova spektroskopie využívána v geologii při identifikaci vzorků obsahujících železo včetně meteoritů a vzorků dovezených z Měsíce. Měření *in situ* bylo využito například při analýze železo obsahujících kamenů na Marsu.

Jiným příkladem aplikace může být analýza chemických reakcí, ve kterých se používají přechodné kovy jako katalyzátory nebo činidla. Předmětem zkoumání jsou nejčastěji sloučeniny na bázi železa a cínu, přičemž z naměřených spekter lze porovnáním se standardy určit oxidační stav analyzovaných atomů a na základě kalibrační křivky provést kvantifikaci.

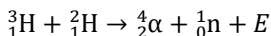
Analýza železa nalezla uplatnění i v bioorganické chemii při analýze proteinů a enzymů obsahujících železo. V těchto biologických vzorcích se určuje oxidační stav a množství přítomného železa. Jde zejména o ferritin a proteiny obsahující hem včetně cytochromů.

Neutronová aktivační analýza

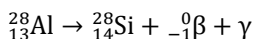
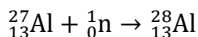
Jen některé nuklidy jsou přirozeně radioaktivní. U ostatních lze ale vyvolat radioaktivitu ozářením vzorku neutrony. Tohoto přístupu využívá neutronová aktivační analýza, jejíž princip spočívá v ozáření vzorku neutrony a následně detekci gama záření, případně alfa nebo beta částic vzniklých při rozpadu nově vzniklého nestabilního izotopu. Intenzita gama záření je přímo úměrná původní koncentraci analytu ve vzorku před ozářením.

Zdrojem neutronů může být například jaderný reaktor, ve kterém je umístěn vzorek, který pro zajištění homogenity ozařování rotuje a který je ostřelován neutrony o energii 0,001 eV až 0,55 eV, tj. tzv. tepelnými elektrony. Doba ozařování může být podle potřeby od několika sekund po několik dnů. Druhým používaným zdrojem neutronů jsou izotopové zdroje, např. uměle připravený ^{252}Cf ,

nebo směs radionuklidů emitujících α nebo γ záření ve směsi s ^9Be , které po přijetí tohoto záření produkuje neutrony. Používané jsou také neutronové generátory na bázi Cockcroftova-Waltonova urychlovače, ve kterém jsou deuteriové molekuly ionizovány v iontovém zdroji a následně elektrostatickým polem urychleny a zaostřeny na terčik obsahující tritium za vzniku α částice a neutronu:



Při stanovení hmotnosti například hliníku dochází po ozáření neutrony ke vzniku nestabilního ^{28}Al , který se rozpadá beta minus přeměnou na křemík, přičemž se vzniklá energie uvolní ve formě gama záření



Po skončení ozařování se vzorek vyjme z jaderného reaktoru a změří se emise gama záření. Počáteční aktivita vzorku na konci ozařování (A_0) závisí na počtu přítomných radioaktivních atomů, jejichž počet závisí na původním množství atomů před ozařováním a rychlosti rozpadu vzniklých radioaktivních atomů:

$$\frac{dN_{^{28}_{13}\text{Al}}}{dt} = \Phi\sigma N_{^{27}_{13}\text{Al}} - \lambda N_{^{28}_{13}\text{Al}},$$

kde Φ je intenzita neutronového toku, σ pravděpodobnost, že jádro ^{27}Al zachytí neutron, a λ rozpadová konstanta ^{28}Al . Integrací po dobu ozařování t_i lze vyjádřit počáteční aktivitu vzorku po skončení ozařování

$$A = \lambda N_{^{28}_{13}\text{Al}} = \Phi\sigma N_{^{27}_{13}\text{Al}}(1 - e^{-\lambda t_i}),$$

z níž lze vypočítat počet atomů přítomných před začátkem ozařování ($N_{^{27}_{13}\text{Al}}$).

Izotopová zředovací analýza

Mezi další metody vhodné pro analýzu neradioaktivních analytů patří izotopová zředovací analýza. Provedení spočívá v přípravě směsi obsahující známé množství radioaktivního analytu smísené se vzorkem obsahujícím analyt, jehož hmotnost je třeba stanovit. Po důkladné homogenizaci této směsi se z ní separuje analyt vhodnou analytickou separační metodou. Izolovaný analyt (m_c) obsahuje jak radioaktivní, tak neradioaktivní složku, neboť použitá separační metoda nedokáže rozlišit mezi radioaktivní a neradioaktivní formou analytu. Ze změřené aktivity izolovaného analytu (A_a) a z údajů o hmotnosti radioaktivního analytu (m_r) a vzorku a původní aktivitě radioaktivního analytu (A_r) lze spočítat hmotnost analytu ve vzorku (m_x), přičemž je do vztahu zahrnuta i výtěžnost dané separační metody, která většinou není přesně 100 %.

$$m_x = \frac{A_r}{A_a} m_c - m_r$$

Uvedená rovnice ale platí jen tehdy, pokud je doba analýzy zanedbatelně krátká vzhledem k poločas rozpadu použitého radioaktivního materiálu. V opačném případě je ještě potřeba zahrnout pokles aktivity vlivem přirozeného radioaktivního rozpadu.

Přehled používaných izotopů pro izotopovou zředovací analýzu je uveden v tab. 1.

Tabulka 1. Izotopy používané pro izotopovou zředovací analýzu

Izotop	Poločas rozpadu
³ H	12,33 r
¹⁴ C	5 730 r
³² P	14,28 d
³⁵ S	87,2 d
⁴⁵ Ca	162,7 d
⁵⁵ Fe	2,73 r
⁶⁰ Co	5,271 r
¹³¹ I	8,04 d

Výhodou metody izotopového zředování je, že pro stanovení množství analytu ve vzorku není nutné dosáhnout 100% výtěžnosti separace analytu. Významné použití proto tato metoda nalézá zejména při analýze složitých matic, kde je úplná výtěžnost analytu velmi obtížně dosažitelná.

Využití radioaktivního záření a radionuklidů

Energetika

Energii uvolňovanou při radioaktivních rozpadech lze přeměnit na elektrickou energii například pomocí radioizotopových generátorů anebo v jaderných elektrárnách.

- Radioizotopové generátory

Jednou z možností, jak zajistit dlouhodobý zdroj energie například pro průzkumné sondy ve vesmíru a na povrchu jiných planet, je využit radioizotopové generátory. Nejpoužívanější je z ²³⁸PuO₂, který generuje výkon o hodnotě 592 W/kg zmíněného oxidu, což při téměř 10% účinnosti konverze poskytuje 45 W/kg elektrického výkonu⁶. Výhodou tohoto zdroje je relativně dlouhý poločas rozpadu plutonia, a to 87,7 roku.

⁶ Viz úloha Energie 3× jinak (14. ročník, 2. série, 2. úloha)

- Jaderné elektrárny

Tím nejznámějším využitím radionuklidů jsou zřejmě jaderné elektrárny, kterým bude věnován 4. díl tohoto seriálu. Zde jen uvedeme srovnání energie získatelné z 1 tuny různých materiálů, viz tab. 2.

Tabulka 2. Energie získatelná z 1 tuny materiálů

1 tuna	Energie (MJ)
vody padající z výšky 1 km	0,09
geotermální páry z gejzírů	3
sluneční energie (Rakousko) 1 m ² / rok	3
rašeliny	7
lignitu	12
černého uhlí	29
ropy	43
uranu v lehkovodním reaktoru	$733 \cdot 10^3$
MOX ⁷ v lehkovodním reaktoru	$967 \cdot 10^3$
MOX v rychlém množivém reaktoru	$26 \cdot 10^6$
uranu v rychlém množivém reaktoru	$53 \cdot 10^6$
D ₂ O v termojaderném reaktoru	$586 \cdot 10^6$
thoria	$16 \cdot 10^9$

Zdravotnictví

- Radiofarmaka

Pro diagnostiku a terapii se využívají léčiva obsahující radionuklidy, tzv. radiofarmaka, která se většinou selektivně zachytí a zkoncentrují v určitém místě v pacientově těle.

Příkladem může být diagnostika nádorů pomocí **pozitronové emisní tomografie**, kdy se pacientovi podá 2-deoxy-2-¹⁸F-D-glukóza, která se selektivně hromadí v nádorech, neboť nádory mají mnohem větší spotřebu glukózy než ostatní orgány. Rozpadem ¹⁸F vzniká jednak kyslík, čímž dojde k přeměně léčiva na netoxickou a neradioaktivní glukózu, a jednak pozitron, který anihilací s elektronem dá vznik dvěma fotonům, které se šíří v přesně opačném směru⁸. Detektory, které jsou umístěny kolem pacienta, jsou pak schopny přesně určit místo, odkud tyto fotony vylétly, a tím i lokalizovat nádor.

⁷ směs převážně oxidů uranu a plutonia, které lze například získat přepracováním vyhořelého paliva

⁸ viz 1. díl letošního seriálu: „anihilace elektronu s pozitronem“

Léčba nádorů, kdy se využívá vzniklé energie a záření ke zničení rakovinových buněk, se pak provádí obdobně.

- Radioimunoanalýza

Radionuklidem značené látky lze využít v metodě ELISA⁹ pro studium tělních tekutin a pro stanovení biologických látek (hormony, enzymy, viry, ...). Detekce je pak prováděna měřením aktivity značených látek a lze dosáhnout meze detekce až 10^{-18} mol. Při této metodě nepřichází pacient do kontaktu s radioaktivní látkou.

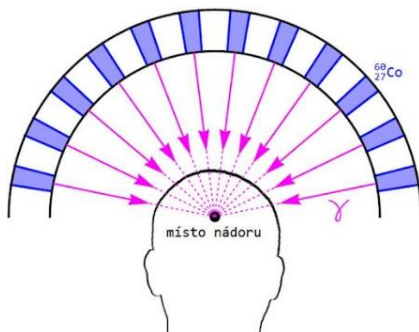
- Sterilizace materiálů

Pro lékařské účely (a nejen pro ně) je často potřeba, aby byl materiál sterilní. Toho se dá dosáhnout například ozářením gama zářením, které zahubí veškeré organismy. Výhodou tohoto typu sterilizace je možnost ji provádět i skrz neprodyšné obaly, tj. nehrozí, že by při balení materiálu po sterilizaci došlo ke kontaminaci, jak je tomu i jiných sterilizačních metod. Energie používaného záření není dostatečná pro vznik jaderných reakcí, takže materiál po sterilizaci je zcela nezávadný i z radiochemického hlediska.

- Léčba nádorů

Pro léčbu nádorů lze kromě výše zmíněných radiofarmak použít:

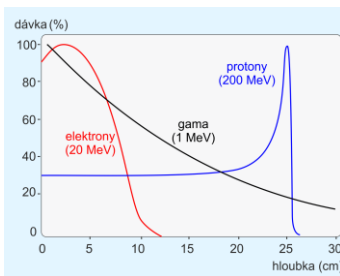
- brachyterapeutické zářiče: jehly a tuby naplněné radionuklidy, například ^{192}Ir produkujícím β^- , které se zavádí do těla pacienta do nádoru
- Leksellův gama nůž: zařízení obsahující stovky ^{60}Co gama zářičů, které jsou fokusovány na nádor v těle pacienta, viz obr. 3



Obrázek 3. Schéma Leksellova gama nože

⁹ <https://www.wikiskripta.eu/w/ELISA>

- protonovou terapii: analogie Leksellova gama nože, při níž se ale místo gama záření používají protony urychlené cyklotronem, které na rozdíl od gama záření ztrácí energii pouze v relativně úzké zóně (obr. 4), tj. škodlivé účinky na tkáň okolo nádoru jsou mnohem menší.



Obrázek 4. Porovnání dávek částic při průchodu lidským tělem

- Hormeze

Příznivé působení mírné zátěže (stresu, toxických látek, radiace, fyzické námahy) na živé organismy se nazývá hormeze. Využívá se například v radiačních lázních pro léčbu pohybového ústrojí. Nejznámější lázně jsou v ČR v Jáchymově, kde se využívá přírodní voda s radonem. Hormeze se také přirozeně uplatňuje u osob žijících v oblastech s vyšší přirozenou radiací, neboť pak mají nižší výskyt rakoviny než lidé v oblastech s nižší přirozenou radiací.

Zemědělství

- Potravinářství

Obdobně jako v lékařství se i v potravinářství využívá gama záření ke sterilizaci plodin, potravin anebo pro zpomalení klíčení. Sterilizováno je například jídlo kosmonautů. Sterilizace potravin (nejčastěji například suchých plodů – oříšků) gama zářením musí být označena na etiketě, pokud je provedena v EU. Ze strachu obyvatel z radioaktivity není již sterilizace gama zářením v zemích EU prováděna (ještě před několika lety bylo ozařování potravin prováděno i v ČR, nyní se již ozařují pouze nepotravinové výrobky, například lékařský materiál). Provádí se ale mimo země EU, neboť pak tato informace nemusí být na obale uvedena.

Z historického hlediska je zajímavé zmínit například cílené ozařování semen gama zářením za účelem vyvolání mutací v DNA. Takto například vznikla tvrdá italská pšenice semolina. Dnes už se používá cílená mutace, tj. geneticky modifikované potraviny.

- Chovatelství

Stejně jako ve zdravotnictví se využívá záření a radionuklidů i v chovatelství pro diagnostiku a léčbu. Další využití našlo gama záření při sterilizaci hmyzu pro snížení jeho populace. Namnožení samečků jsou sterilizováni, takže po páření se samicemi vzniknou neoplozená vajíčka, takže se další generace už nevytvoří.

- Hnojiva

Pro sledování osudu hnojiv v půdě lze využít například značení ^{32}P . Díky tomu je možné optimalizovat množství a případně typ použitých hnojiv.

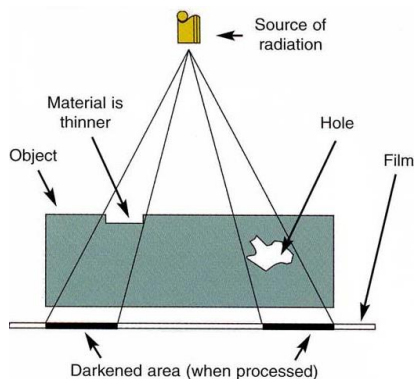
- Lesnictví

V lesnictví se využívá schopnosti záření degradovat polymery, takže když jsou následně použity jako obalový materiál pro sazeničky stromů, je možné je rovnou sázet i s obalem, neboť časem degraduje a nebrání stromku v růstu.

Průmysl

- Defektoskopie

Při zkoumání poruch materiálů dochází k prozařování zkoumaného materiálu gama zářením nebo neutrony (^{192}Ir , ^{60}Co , ^{75}Se). Využívá se řádově jiných polotlouštěk analyzovaného materiálu a vzduchu, takže je dokonce možné odhalit i skryté poruchy, například dutiny, viz obr. 5. Na podobném principu pracují bezpečnostní rentgeny například na letištích, jejich účel je ale jiný.



Obrázek 5. Schéma principu defektoskopie

- Kontrola opotřebení

Pokud do sledovaného materiálu (mazivo, chladicí kapalina, výstelka stěny vysoké pece, ...) přidáme radioaktivní látku, můžeme jednoduše sledovat úbytek toho materiálu pouhým měřením aktivity v čase. Nevýhodou je přítomnost daného radionuklidu, tudíž se tento princip používá tam, kde se nenacházejí při běžném provozu lidé.

- Výroba polymerů

Při výrobě polymerů dochází vlivem tření k hromadění elektrostatického náboje na jejich povrchu. Průchodem takto nabitého polymeru pod zářičem emitujícím částice s opačným nábojem dochází k neutralizaci.

- Tloušťkoměry a hladinoměry

Stejně jako lze sledovat zářením poruchy v materiálech, lze sledovat i tloušťky různých materiálů, případně výšky hladin v uzavřených nádobách. Výhodou je levné, rychlé, bezkontaktní a automatické měření, které lze použít i za extrémních podmínek (tlak, teplota, korozní prostředí), kdy nelze použít klasická měřidla.

- Radiační polymerace

Alternativou ke klasické radikálové polymeraci může být radiační polymerace, při které jsou radikály generovány ionizujícím zářením. Další využití nalézá ionizující záření při následném zesíťování vyrobených polymerů, což vede k větší mechanické pevnosti.

- Barvení skel

Ozáření skla způsobí jeho zabarvení (odstíny žluté, hnědé, kouřové, ametystové), což se využívá zejména pro estetické účely, viz např. Nová scéna Národního divadla v Praze nebo obloží stěn ve stanici metra B Jinonice (obr. 6)



Obrázek 6. Barevná skla ve stanici metra Jinonice vzniklá ozářením

- **Stavebnictví**

Kromě již zmíněné defektoskopie se využívají neutronové vlhkoměry pro bezkontaktní měření vlhkosti ve stavbách nebo materiálech. Principem je tvorba rychlých neutronů reakcí α částic generovaných z ^{241}Am s ^9Be . Pokud je v analyzovaném materiálu voda, dojde ke zpomalení neutronů, což umožní jejich detekci. Tyto vlhkoměry se používají i v zemědělství pro stanovení množství vody v půdě.

- **Bezpečnost**

Ačkoli je už zakázáno je prodávat, stále se ještě mohou používat požární hlásiče na bázi ^{241}Am s poločasem rozpadu 432 roků. V hlásiči je ho obsaženo 290 ng ve formě oxidu. Principem je detekce změny proudu procházejícího mezi kovovými destičkami s vloženým napětím v přítomnosti prachových částic.

Archeologie

Pro datování lze použít řadu radionuklidů, nejznámější je ^{14}C s poločasem rozpadu 5700 roků, který slouží k datování materiálů obsahujících organický uhlík. Stáří materiálů lze stanovit až do desetinásobku poločasu rozpadu, tj. v případě uhlíku do 57 000 let s přesností na desítky let. Vypočtený čas odpovídá okamžiku, kdy organický materiál přestal vyměňovat CO_2 s okolím, ať už fotosyntézou anebo dýcháním.

Umělecké památky

Pro ochranu uměleckých památek před plísní, hmyzem a dalšími organismy se využívá ozáření gama zářením, tj. princip je shodný se sterilizací. Velká ozařovna je například v Roztokách u Prahy (obr. 7).



Obrázek 7. Interiér ozařovny uměleckých předmětů v Roztokách u Prahy

Zadání úloh 3. série 20. ročníku KSICHTu

Úloha č. 1: Tajní agenti, část první

(8 bodů)

Autorky: Terezie Pániková, Veronika Vetýšková



Je šest hodin večer a vy bloumáte setmělými pražskými Dejvicemi. Váš řídící agent vám odpoledne zavolal, že se agentu Helixovi podařilo zachytit informaci: dnes v 18:10 proběhne předání zprávy týkající se tajného projektu Králik ve sněhu. Řekli vám, že si máte obléci bílý plášť a zadumaně se procházet po Technické ulici před budovou B VŠCHT Praha. Zřejmě musí jít o opravdu tajnou operaci, protože jste dosud nedostali žádné další informace. Tak jste tady a nevíte, co se bude dít dál.

Najednou od metra přicupitá žena v tmavém kostýmku se spoustou nákupních tašek. Roušku na obličej, sluneční brýle na očích a klobouk do čela. Jak rychle prochází okolo vás, trochu do vás šlouchne jednou z tašek. Zavoní od ní zvláštní parfém. Omluví se a rychle cupitá dál. Říkáte si, kam asi může jít? Že by utíkala do Národní technické knihovny vrátit knížky? Zamyšleně si vrátíte ruce do kapes. A hele! Copak to je? To musí být ta zpráva – pytlíček se dvěma zkumavkami! Na větší zkumavce s průhlednou tekutinou uvnitř je nějaký nápis, který se vám v tom šeru nepodaří přečíst. Na druhé, menší, ale prázdné zkumavce je napsáno velkými písmeny UAGAAAAAAAAAAAAAAAAA. Co teď s tím? Ještě že máte na VŠCHT kamarádku Petru, která je zapálená vědkyně a pracuje i po večerech. Zavoláte ji a cobydup už s ní procházíte turniketem do budovy a do její laborky. Jste totiž rebelové a nenahlásili jste se na vrátnici.

Víte, že jste měli obdržet tajnou zprávu. A měli jste být oblečení v bílém plášti. Takže původní příjemce je asi chemik! Ha! A jak je ta zpráva v oné průhledné tekutině zapsaná? Vzpomenete si, že proteiny a nukleové kyseliny (RNA i DNA) jsou polymerní molekuly, jejichž jednotlivé stavební bloky mají jednopísmenné zkratky, a mohou tedy tvořit slova. To je sice hezké, ale jak poznáte, jestli jde o protein či nějakou nukleovou kyselinu?

1. Petra vám vytrhne větší zkumavku z ruky a jde s ní do druhé místnosti. Za chvíli se vrátí a řekne vám. „Poměr absorpance při vlnové délce 260 nm ku absorbanci při 280 nm (A_{260}/A_{280}) je 2.“ Kterou biomolekulu máte ve zkumavce a proč? Jak se jmenuje přístroj, kterým se měří absorpance?

2. Tato metoda vám nedokázala určit přesně typ biomolekuly.

a) Jak se liší (strukturně a funkčně) DNA od RNA (3 rozdíly)? A jaké jsou 3 typy RNA, které se podílejí na přenosu informace zakódované v DNA do proteinů? Napište u každého 2 charakteristiky (jak vypadá nebo k čemu slouží).

b) Podle nápisu na menší zkumavce odhalte, o který typ biomolekuly jde.

Začínáte si uvědomovat, že biopolymery jsou ideální pro kódování tajných zpráv. Ti vědci jsou ale hlavičky ☺.

3. Molekulu, ve které je zapsaná zpráva, musíte přeložit do stabilnější molekuly. Do které? A jak se nazývá enzym, který to pro vás udělá?

4. Ve vaší nukleové kyselině se nyní vyskytují jedny z nejznámějších nevazebných interakcí. Které to jsou a kde se uplatňují?

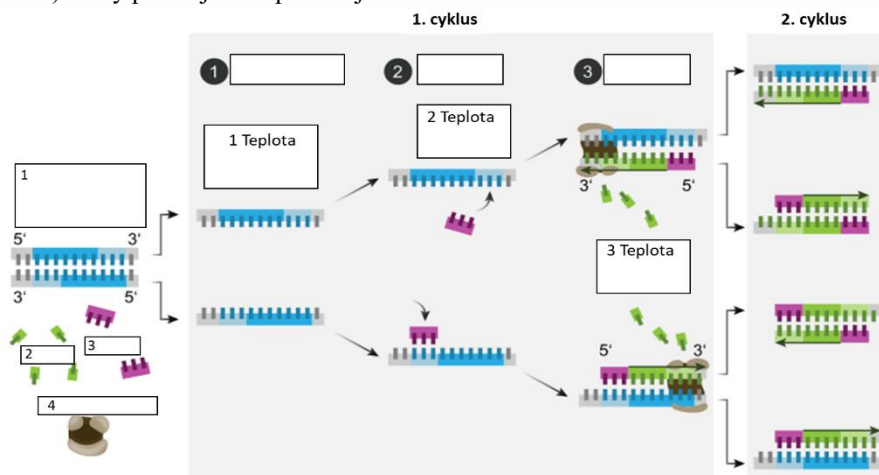
Tento překlad chvíli trvá, tak máte chvíli čas povídat si s Petrou. Petra říká, že bývá často v laborce dlouho do večera. Někdy protože ji hrozně zajímá, jak její experiment vyjde, a nechce ho odložit na druhý den, jindy tam musí zůstat, protože některé nudné reakce trvají dlouho a ona tam s nimi musí být, i když nechce.

5. Než začnete zjišťovat, jaká je ve vaší molekule zakódována zpráva, musíte tuto molekulu namnožit, abyste jí měli dostatečné množství.

a) Jak se jmenuje metoda, která se na to nejčastěji používá?

Nápověda: Kvůli koronavirové pandemii se stala tato metoda velice známou i pro laickou veřejnost.

b) Jaký přístroj na to potřebujete?



Obrázek 1. Schéma reakce

- c) Doplňte názvy 4 základních molekul, které k reakci potřebujete, do prázdných čtverců (1-4) v levé části schématu (Obrázek 1).
- d) Do pravé části schématu doplňte do prázdných čtverců názvy kroků 1-3. Uveďte u každého přibližné rozmezí teplot (1-3 teplota), které se používají, a vysvětlete jednou či dvěma větami, proč právě tyto teploty.

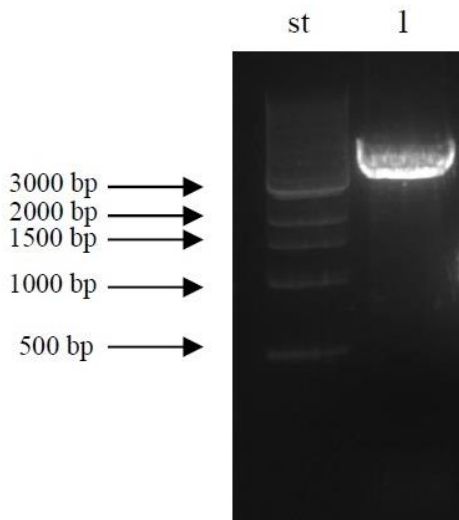
Petra vám podá ochranné brýle z čirého plastu. Čekali jste spíše tmavé, jako správní agenti, ale v těchto si přijdete ještě více cool.

6. Máte vaší kódové molekuly habaděj. Ale z množící reakce v roztoku zbyla spousta jiných molekul, které by vám při čtení sekvence překážely. Musíte je tedy z roztoku odstranit. A použijete k tomu cosi, co se tváří jako gel. Cože, gel?

- a) Napište, jaký polysacharid se nejčastěji používá na přípravu gelu pro separaci nukleových kyselin.

Separace znamená, že oddělíme různě velké molekuly DNA od sebe a zároveň „zakoncentrujeme“ stejně velké molekuly na jednom místě (proužku).

- b) Jakou „hybnou silou“ tato separace probíhá (inspirujte se názvem metody)?



Obrázek 2. Vizualizace separované DNA. st – standard párů bází (DNA o známé hmotnosti koupená už takto namíchaná). 1 – váš neznámý vzorek.

Petra vloží gel do přístroje s kamerou, zavře dvířka a něco zmáčkne. Ukáže se vám na obrazovce gel (Obrázek 2). Na gelu vidíte jenom jeden výrazný proužek. To bude naše molekula! Otevře dvířka, vyřízne proužek z gelu skalpelem a pomocí speciální soupravy na extrakci DNA z gelu naši molekulu „vylouhuje“ do čisté vody.

Ale jak to, že ten proužek pořád vidí? Nukleové kyseliny přece nemají žádnou barvu. Petra použila speciální barvičku, která se odborně nazývá interkalační činidlo, protože interkaluje (vnoří se) mezi vlákna dvoušroubovice. Petra říká, že používá Ethidium Bromid (EtBr). Nesmíte tedy na gel sahat bez rukavic!

- c) Kterou vlnovou délku použijete k „rozsvícení“ EtBr a kterou vlnovou délku vidíte? A proč máte ty brýle? Jak se nazývá jev, kterým EtBr „svítí“? Čím je EtBr nebezpečný?
7. Váš vzorek po přečištění vypadá jako průhledná tekutina. Ve vaší zkumavce je 30 μl této tekutiny. Použijete zase ten skvělý přístroj, který měří absorbanci a vyjde vám $A_{260} = 1,8$. Petra vám řekne, že normálně při absorbanci 1 při 260 nm je koncentrace DNA 50 $\mu\text{g/ml}$. Vypočítejte, kolik jste celkově získali DNA v μg . Uvažujte, že je mezi absorbancí a koncentrací přímá úměra.

Ted' jste připraveni přečíst si konečně zprávu! Ale ouha. Na chodbě za dveřmi laboratoře slyšíte zvuky. Ale vždyť Petra říkala, že v budově už nikdo není? Rychle se schováte do přístrojového kamrlíku a už se ozve klepání na dveře. Kdo tam bude a co se bude dít dál? Co se skrývá v tajné zprávě? Dozvíte se v dalším dílu KSICHTu!

Úloha č. 2: Novinková

(8 bodů)

Autor: Aneta Pospíšilová



Povánoční doba řadu z nás přivádí k úvahám o svém zdraví. Jak zklidnit bolavý žaludek? Shodit přebytná kila? Zmírnit kocovinu? Jelikož jsme chemici a tyto problémy jsou zjevně biochemické, měli bychom na to jít vědecky. Jenže klasické

studijní zdroje jako učebnice, vysokoškolská skripta a naučné slovníky moc jednoduchých a praktických rad nedávají. Kde tedy zjistit, co vědci zjistili?

Ptát se přímo vědců je zdlouhavé, samotné vědecké studie jsou těžkopádné a špatně dostupné, a tak se k vědeckým novinkám často dostáváme spíše skrz zprostředkované informace v médiích. Jenže těch je hodně, liší se kvalitou a často jsou protichůdné. Jak se tedy dobrat k tomu, co skutečně vědci zjistili? Ukážeme si to na příkladu „zaručených léků na kocovinu“.

1. Ne všechny zprávy, které se odvolávají na „výzkum“ nebo „vědce“, je možné brát vážně. Je potřeba, aby zpráva jednoznačně odkazovala na vědeckou studii, ze které informaci přejímá. Ideální způsob je přímý odkaz na stránky vydavatelství, kde je článek uveřejněn, nebo přesná citace, zahrnující zpravidla jména autorů, název časopisu, ročník, číslo, strany a identifikátor DOI. Studie lze ale dohledat i z neúplných informací, např. podle jmen autorů, názvu časopisu a klíčových slov.

a) Přečtěte si následující zprávy o léčbě kocoviny. V každé je tvrzení, které se údajně opírá o vědecký výzkum. Určete, zda je z informací ve zprávě možné dohledat výchozí vědeckou studii.

- 1) https://www.tyden.cz/rubriky/zdravi/americti-vedci-zjistili-co-nejlepe-zabira-na-kocovinu_192073.html
- 2) <https://stars24.cz/lifestyle/zdravi/4265-jak-zahnat-kocovinu-vedci-zverejnili-rady-ktere-zarucene-funguji>
- 3) <https://www.rehabilitace.info/zdravotni/jak-se-vyporadat-s-kocovinou-neverte-mytum/>
- 4) https://www.vimcojim.cz/magazin/clanky/o-zdravi/Aktualni-problem--kocovina.-Jak-ji-zabranit-nebo-ji-alespon-zmirnit_s10012x19043.html
- 5) <https://wave.rozhlas.cz/finsti-vedci-mozna-odhalili-lek-na-kocovinu-testovali-ho-na-devatenacti-8277747>
- 6) https://www.idnes.cz/technet/veda/vedci-opijeli-potkany-aby-zjistili-proc-mame-kocovinu.A110119_152114_tec_technika_mla

- b) Pokud ano, výchozí vědeckou studii citujte podle normy ISO 690. S vytvořením citace vám pomůže Google Scholar.
2. Ne všechny vědecké studie jsou si rovny. Za věrohodné se obvykle považují ty, které vyšly v recenzovaných časopisech a prošly takzvaným *peer review*.
- a) Vysvětlíte, co je *peer review* a jakou roli v něm mají následující aktéři: autor, recenzent, editor.
- b) Vyšly vámi nalezené studie o kocovině v recenzovaných časopisech?
3. Ani všechny studie z recenzovaných časopisů si nejsou rovny. Vědecké časopisy se liší kvalitou, která se ale těžko měří. Za rozumný ukazatel kvality se považuje tzv. impakt faktor, který ukazuje, jak relevantní a kvalitní jsou práce zveřejněné v daném časopise z pohledu jiných vědců.
- a) Vysvětlíte, jak se impakt faktor počítá.
- b) Jaký impakt faktor mají časopisy, kde jsou zveřejněny vámi nalezené studie?
4. Že vědci něco zjistili a publikovali to v kvalitním časopise, ještě neznamená, že to bude platné v praxi. V případě farmacie rozeznáváme studie *in silico*, *in homo*, *in vivo* a *in vitro*.
- a) Vysvětlíte, co tyto pojmy znamenají a očísľujte je podle relevance pro lékařskou praxi.
- b) Zařaďte vámi vyhledané vědecké studie o léčbě kocoviny do jedné z těchto kategorií.
5. Máte vy nebo někdo z vašeho okolí zaručený lék na kocovinu? Pošlete nám svůj tip a zkuste najít vědeckou studii, která se vaší metodou zabývá.

Úloha č. 3: Záření kolem nás

(8 bodů)

Autor: Pavel Řezanka



Píp, píp, píp, píp, rozezněl se do ticha zvuk alarmu. Zajíček se polekaně probudil ve své noře, kterou nechal před nedávnem obložit silnou vrstvou olova, a nevěřícně hleděl na displej digitálního dozimetru, na kterém byla zobrazena hodnota $0,01 \mu\text{Sv}$.¹⁰ „To přeci není možné, vždyť jsem ho tu měl včera celý den, když jsem byl venku, a nic nenaměřil,“ pomyslel si Zajíček.

1. Vysvětlíte, jak je možné, že dozimetr naměřil nenulovou hodnotu.

Předpokládejte, že Zajíčkova nora je dokonale odstíněna a že se před vstupem do nory důkladně celý umyl.

Zajíčkovi trvalo hodnou chvíli, než se uklidnil. Pak ale vylezl z nory a zamířil na zahrádku. „Dnes si dopřeji něco extra,“ pomyslel si a zamířil k záhonu se špenátem. Natrhal celou hrst, ale pak se zarazil. „Co když je radioaktivní?“ I nelenil a připojil se k internetu. Zjistil, že zdrojem záření by ve špenátu mohl být draslík, kterého tam je 6 g/kg . Konkrétně tedy jeho izotop ^{40}K s poločasem rozpadu $1,277 \cdot 10^9$ roku.

2. a) Vypočítejte¹¹, kolik atomů radionuklidu ^{40}K je přítomno v 80 g špenátu (Zajíčkova snídaně), víte-li, že ^{40}K je v přírodě zastoupen $0,0117 \%$ vůči všem izotopům draslíku.

- b) Vypočítejte aktivitu (v Bq) zajíčkovy snídaně. Jiné zdroje záření než ^{40}K zanedbejte.

Poznámka: Aktivitu (A) lze vypočítat z počtu atomů (N) a poločasu rozpadu ($T_{1/2}$) takto:

$$A = \frac{N \cdot \ln 2}{T_{1/2}}$$

Dále Zajíček našel, že ^{40}K se z $89,28 \%$ rozpadá β rozpadem uvolňujícím záření o energii $1,31109 \text{ MeV}$ a z $10,72 \%$ elektronovým zachytem produkujícím gama záření o energii $1,5049 \text{ MeV}$.

3. Diskutujte, zda může Zajíček při výpočtu ozáření zanedbat gama záření vznikající při rozpadu ^{40}K .

Nápověda: Kromě pravděpodobnosti vzniku gama záření při rozpadu ^{40}K uvažujte i pronikavost gama záření Zajíčkovým tělem, tj. vyhledejte si polotloušťku pro gama záření dané energie a daný materiál. Zajíčka můžete aproximovat koulí vody o průměru 24 cm .

¹⁰ Vysvětlení jednotky viz druhý díl letošního seriálu.

¹¹ U všech výpočtů uvádějte postup. Pokud bude u dané otázky uveden pouze výsledek, nebude otázka obodována, i když byla hodnota správná.

Zajíček perfekcionista se rozhodl počítat s oběma typy rozpadů, takže nejprve vypočítal vážený průměr jejich energií. Pak tuto energii přepočítal¹² na J a vynásobil ji aktivitou¹³, čímž získal energii uvolněnou za jednu sekundu (J/s). Výsledek vynásobil radiačním váhovým faktorem¹⁴ pro beta minus záření a vydělil svojí hmotností, tj. 4 kg, čímž získal ekvivalentní dávkový příkon (I_0) v Sv/s.

4. Postupujte stejně jako Zajíček a vypočtete hodnotu ekvivalentního dávkového příkonu Zajíčkovy snídaně, tj. 80 g špenátu.
5. Zajíček ve svém výpočtu předpokládal, že vzniklé β záření je tělem úplně pohlceno a ven z těla nepronikne žádné. Diskutujte, zda je tento předpoklad oprávněný. Postupujte podobně jako v otázce 3.

Zajíček ale stále nebyl spokojený, neboť chtěl vypočítat ekvivalentní dávku. Zjistil, že vylučování draslíku z těla se řídí kinetickou rovnicí prvního řádu

$I = I_0 \cdot e^{-\frac{t \cdot \ln 2}{T_{1/2}}}$ a že biologický poločas ($T_{1/2}$) draslíku ve špenátu je 24 dní, tj. po požití špenátu se polovina v něm obsaženého draslíku vyloučí z těla za 24 dní. Zbývalo tedy „jen“ integrovat¹⁵ zmíněnou rovnici od doby požití ($t = 0$) po nekonečný čas ($t = \infty$).

6. Pomozte Zajíčkovi a vypočtete hodnotu ekvivalentní dávky H_T (v μSv), kterou Zajíček obdrží po požití 80 g špenátu.

„To je o hodně víc, než kolik ukazoval dozimetr po probuzení,“ pomyslel si Zajíček. „Ale zas je to za kdovíkolik dní,“ uklidnil se Zajíček. Než se pustil do snídaně, podíval se znovu na dozimetr. Po zhruba hodině strávené venku na něm svítila hodnota 0,04 μSv .

7. Co je hlavním zdrojem záření, které způsobilo, že na dozimetru Zajíček naměřil hodnotu 0,03 μSv od doby, co vylezl ze své nory?

Zajíček byl však již poučený, a tak ho tato hodnota nevylekala a s chutí se dal do jídla a přemýšlel nad hádankou, kterou našel na internetu.

„Máš čtyři dortíky, první obsahuje alfa zářič, druhý beta zářič, třetí gama zářič a čtvrtý neutronový zářič. Předpokládej stejnou energii i aktivitu všech čtyř. Jeden máš spolknout, další dát do kapsy, třetí držet v dlaní na délku paže a čtvrtý poslat nepříteli. Co uděláš s jednotlivými dortíky, abys dostal co nejmenší ekvivalentní dávku?“

8. Jaké zní správné řešení hádanky? Řešení odůvodněte.

¹² Převod viz první díl letošního seriálu pod tabulkou 1.

¹³ Výsledek otázky 2b.

¹⁴ Viz druhý díl letošního seriálu.

¹⁵ Použijte například <https://www.wolframalpha.com/> nebo vztah po integraci vyhledejte.

Úloha č. 4: Zasněžená

(9 bodů)

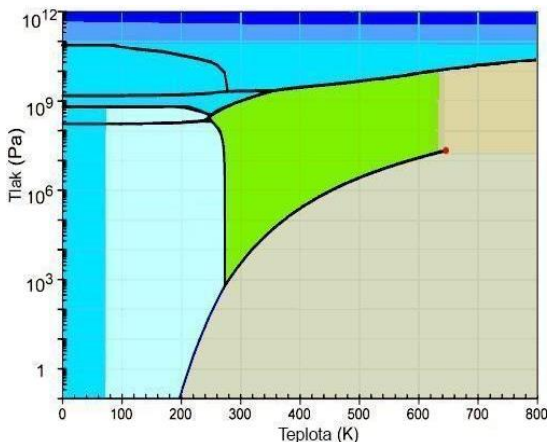
Autorky: Lada Švecová a Tatiana Nemirovich



Konečně nasněžilo! Vyjdeme na zápraží s horkým čajem v ruce (kapalná fáze) a podíváme se na sněh ležící na zemi (pevná fáze). Navíc je ve vzduchu přítomná vodní pára (plynná fáze).

Jak už možná tušíte, v této úloze se seznámíme s tématem fázových rovnováh. Následně se také podíváme, kdy jejich zákonitosti můžeme potkávat v běžném životě. Zaměříme se přitom na životadárnou tekutinu – vodu.

Všechny možné fáze a podmínky, za kterých existují, se obecně znázorňují ve formě takzvaných fázových diagramů. Fázový diagram vody je uveden na obrázku 1.



Obrázek 1. Fázový diagram vody

1. Stručně diagram popište:

- Co znázorňují modré, hnědé a zelené oblasti?
- Jak nazýváme tři základní hraniční křivky (mezi modrými a šedou, šedou a zelenou a zelenou a modrými oblastmi)?
- Jak označujeme průsečík křivek zmíněných v bodě b)?
- Co je to kritický bod? Čím se liší voda v podkritickém a nadkritickém stavu?
- Označte v grafu všechny oblasti, křivky i body zmíněné v bodech a)-d). Zakreslete, v jakém bodě by se soustava nacházela při tlaku 9 GPa a teplotě $-223\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pozn.: Pokud řešení píšete ručně, stačí, když diagram zhruba načrtnete a popíšete tento náčrtek.

V otázce 1e) jste vyznačili skupenský stav, který nejspíš v přírodě běžně nepotkáváte. Jde o jednu z takzvaných exotických fází vody, které jsou v diagramu znázorněné různými odstíny modré. Každá z nich je stabilní za jiných podmínek. Mimo čisté fáze známe i směsné krystaly. Takové směsné krystaly vznikají za nižších teplot a vyšších tlaků, jejich struktura obsahuje dutiny, do kterých se umístí různé molekuly, jako může být například methan. Vzniklá sloučenina pak má podobu bílých krystalů, kterým se říká hydrát methanu neboli „hořící led“.

2. a) Kde se s „hořícím ledem“ setkáme?

b) Která exotická fáze je zmíněna v románu *Cat's Cradle* od Kurta Vonneguta?

Hydrát methanu obsahuje v základní buňce 8 molekul CH_4 na 46 molekul H_2O . Předpokládejme, že došlo ke zvýšení teploty a tento hydrát methanu se rozložil.

3. Jaký objem methanu se uvolní z 1 kg hydrátu methanu? (použijte hodnotu molárního objemu ideálního plynu za 25°C , $V_m = 24 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$)

Existenci rovnovážného množství fází za daných podmínek lze popsat pomocí tzv. Gibbsova zákona fází – viz rovnici (1): s udává počet složek (každá čistá chemická látka představuje jednu složku) a f počet fází v soustavě (pevná, kapalná, plynná). v udává počet stupňů volnosti (počet stavových veličin, které lze měnit, aniž by se změnil počet fází).

$$v = s + 2 - f \quad (1)$$

Aby nějaká veličina mohla být použita jako stupeň volnosti, musí být takzvaně intenzivní. Obecně se termodynamické veličiny dělí na intenzivní (neboli vnitřní) a extenzivní (neboli vnější). Extenzivní veličiny závisí na velikosti termodynamického systému, vnitřní veličiny jsou na velikosti termodynamického systému nezávislé.

4. Rozhodněte, které z následujících veličin jsou intenzivní a které extenzivní: objem, koncentrace, tlak, hustota, hmotnost, látkové množství.

Když už rozumíme všem proměnným ve fázovém zákoně a orientujeme se ve fázovém diagramu vody, můžeme se podívat na všechny situace, které mohou nastat při zkoumání fázových rovnováh jednosložkového systému – čisté vody.

5. Spočítejte, kolik termodynamických veličin lze změnit, abychom zachovali rovnováhu systému, pokud:

a) máme vodu jen v kapalně fázi.

b) máme v rovnováze kapalnou vodu a nad ní nasycenou vodní páru.

c) je v rovnováze kapalná voda, vodní pára i led.

Kde v diagramu se v situacích z bodu a) – c) nacházíme?

Zajímavého využití fázových rovnováh lze dosáhnout i při rozpouštění pevných látek ve vodě. Jde o využití takzvaných koligativních vlastností roztoků.

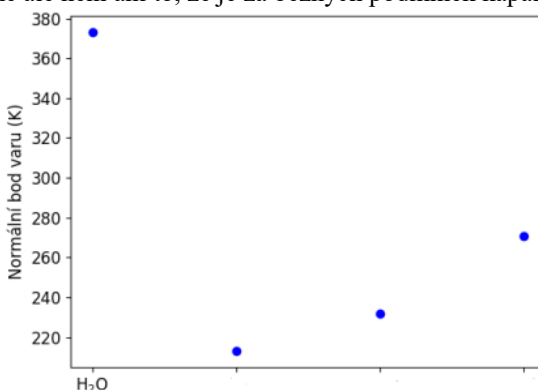
Pokud vlastnosti roztoku nezávisí na druhu rozpuštěné látky (tedy ani na velikosti, náboji apod.), ale jen na počtu částic, označujeme je jako **koligativní**. Jednou z disciplín, které využívají koligativní vlastnosti, je **kryoskopie**, která se zabývá snížením bodu tuhnutí vlivem rozpuštění látky v roztoku. Řídí se rovnicí (2), kde ΔT označuje změnu teploty tání, K_K označuje kryoskopickou konstantu, která vyjadřuje vlastnosti rozpouštědla, a i počet částic, na které rozpuštěná látka A disociuje.

$$\Delta T = i \cdot K_K \cdot \frac{m_A}{M_A \cdot m_{\text{rozpuštědla}}} \quad (2)$$

Těchto vlastností se v zimě hojně využívá hlavně při posypu silnic. Představte si, že máme k dispozici dvě soli: chlorid sodný a chlorid vápenatý.

6. a) Spočítejte, o kolik °C klesne bod tuhnutí vody při aplikaci 25 g NaCl (uvažujte jeho plnou disociaci) na chodník, na kterém leží 3 l sněhu (uvažujte čistou H_2O). Na systém pohlížejte jako na homogenní roztok.
 $\rho(\text{voda}) = 1 \text{ g/ml}$; $K_K(\text{H}_2\text{O}) = 1,86 \text{ (K kg)/mol}$
- b) O kolik klesne bod tuhnutí ve stejné situaci při použití stejného množství CaCl_2 ?
- c) Zhodnoťte, která sůl je vhodnější. Proč tomu tak je?

I když vodu většinou vnímáme jako něco obyčejného, mezi ostatními chemickými látkami má velmi výjimečné postavení. Jistě už jste slyšeli například o její anomální hustotě – led je lehčí než kapalná voda. Nejvyšší hustotu má při 4 °C. Samozřejmě ale není ani to, že je za běžných podmínek kapalná.



Obrázek 2. Teploty varu hydridů 16. skupiny

7. a) Jaké znáte další základní hydridy 16. skupiny periodické tabulky, které chybí v grafu 2?
- b) Popište graf 2. V jakém skupenství se Vámi určené hydridy za běžných podmínek vyskytují?
- c) Proč je tedy voda kapalná?

Úloha č. 5: Třetí úloha na nervy – Synapse

(11 bodů)

Autor: Jiří „Herby“ Kysilka

Jednoho dne Jeremy v kuchyni popíjel svou ranní kávu, což ho přivedlo k myšlence: „Jak je možné, že tolik různých přírodních i umělých látek dokáže tak výrazně ovlivnit náš mentální stav? Všechny ty stimulanty, halucinogeny, antidepresiva, neurotoxiny, prášky na spaní – jak to všechno funguje?“ Napadlo ho, že by to všechno mohlo souviset s tím, jakým způsobem mezi sebou neurony komunikují. Možná všechny tyhle látky nějak vstupují do komunikace mezi nimi a ovlivňují ji... Rozhodl se, že se chce o komunikaci mezi neurony dozvědět víc. Přidáte se k němu?



Nacházíme se právě v polovině našeho seriálu úloh na nervy. Seznámili jsme se s **neurony** – základními stavebními jednotkami nervové soustavy. Neurony jsou polarizované buňky – svými dendrity signál přijímají a skrze axon jej v podobě **akčního potenciálu** posílají dál. Co se však děje dál, ve chvíli, kdy akční potenciál doputuje na konec axonu?

V třetím díle seriálu prozkoumáme právě toto místo zvané **synapse**, kde se dva neurony setkávají, aby si spolu mohly “povídat”. Právě díky složitým vzorcům komunikace mezi neurony zvládá naše nervová soustava spoustu úžasných věcí. Synapse jsou také často místem, na které cílí různé farmaceutické přípravky, drogy a jedy – látky, které různým způsobem ovlivňují naše fungování a náš stav vědomí. Pochopení dějů probíhajících na synapsi nám ale také připraví půdu pro pochopení toho, jak se naše nervová soustava může měnit na základě prožité zkušenosti – tedy, jak si můžeme zapamatovat své zkušenosti a učit se.

Když si mezi sebou dva neurony potřebují předat nějaké informace, jaké možnosti se jim nabízejí? Bylo by možné buňky spojit přímo elektricky – zajistit, aby došlo k přímému spojení membrán a elektrický vzruch se tak mohl šířit na další buňku. I takové spojení v našem těle najdeme – například buňky hladkého svalstva srdečního svalu srdce jsou spolu propojené právě tímto způsobem. Svalové buňky jsou také elektricky aktivní, takže v určitém ohledu je jejich funkce podobná funkci neuronů.

Většina nervových buněk v našem těle však není propojená takhle přímo elektricky – většina našich synapsí je chemická. V takovém případě mezi sebou nejsou membrány obou buněk spojeny přímo – nachází se mezi nimi tzv. **synaptická šterbina**. Vrátit se od rychlého elektrického přenosu zpátky k staré dobré vlhké chemii určitě něco stojí. Příroda však málokdy dělá zbytečné věci,

takže se můžeme spolehnout na to, že návrat k chemii přinese i velkou spoustu výhod.

1. Které z následujících vět popisují elektrickou synapsi a které chemickou? Přiřaďte.

1. Rychlost přenosu signálu se zde zpomalí, protože spoléháme na pomalý proces difuze chemického posla mezi dvěma membránami.

2. Přenos signálu je zde téměř okamžitý.

3. Přenos nervového vzruchu probíhá obousměrně – první buňka může předat signál druhé a naopak.

4. Přenos nervového vzruchu má jasnou směrovost – první buňka předává signál druhé, ale ne obráceně.

5. Tento druh synapse usnadňuje souběžnou synchronní aktivitu buněk.

6. Tento druh synapse umožňuje pouze prosté předání nemodifikovaného signálu dál.

7. Tento druh synapse dovoluje velkou rozmanitost reakcí, neboť široká škála receptorů na cílové buňce může vytvořit spoustu různých krátkodobých i dlouhodobých efektů.

8. Tento druh synapse umožňuje jak zvýšení, tak snížení pravděpodobnosti, že druhý neuron pošle signál dál.

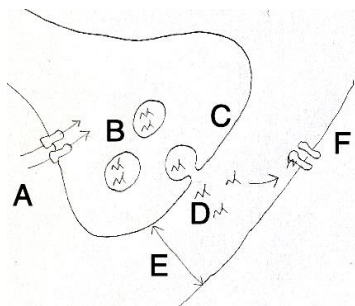
9. Tento druh synapse umožňuje sumaci signálů v prostoru i v čase, kdy druhý neuron může vyhodnotit složitou souhru vstupních signálů a na základě nich se rozhodnout, jak sám zareaguje.

10. Tento druh synapse umožňuje dlouhodobou proměnu vnitřní biochemie druhého neuronu – například změnu množství určitého receptoru či syntézu nového receptoru.

Pokud se vám podařilo správně přiřadit vlastnosti k jednotlivým typům synapse, asi už tušíte, že pro nás budou chemické synapse mnohem zajímavější a pochopení jejich funkce nám osvětlí mnohé z toho, co naše nervová soustava dokáže.

Jak taková chemická synapse vypadá? Pojdme se seznámit s několika základními pojmy a strukturami.

2. K následujícím pojmům přiřaďte písmenka z obrázku a následující krátké odstavce, které jednotlivé struktury popisují.¹⁶



Neurotransmitter, presynaptická membrána, presynaptický terminál, postsynaptická membrána, synaptická štěrbin, synaptický váček.

1. Axon se zde rozšiřuje, membrána zde obsahuje napětově řízené vápnaté kanály a uvnitř je schovaná veškerá chemická mašinerie, která je třeba pro rychlé uvolnění neurotransmiteru.
2. Je to asi 20-40 nm široký prostor, jehož geometrie je přísně řízena komplexní infrastrukturou adhezních proteinů a jehož chemické složení je vysoce regulováno.
3. Je to malá molekula, která po uvolnění ze synaptického váčku putuje přes synaptickou štěrbinu k membráně cílové buňky, kde se váže na receptory a ovlivňuje tak chování cílové buňky. Buňky mají různé mechanismy, které zajistí, aby byla tato molekula velice krátce po přenosu signálu opět odstraněna.
4. Je to malá organela, která ve svém vnitřním prostoru obsahuje dávku neurotransmiteru. Na její membráně je přítomný v-SNARE protein. Díky němu dokáže tato organela za vhodných podmínek splynout s presynaptickou membránou a svůj obsah uvolnit do synaptické štěrbin.
5. Tato membrána obsahuje receptory, které po navázání molekuly neurotransmiteru mohou způsobit buď okamžité krátkodobé změny membránového potenciálu, nebo dlouhodobě změnit kaskády biochemických reakcí, a tak ovlivnit své budoucí chování.
6. Tato membrána v sobě obsahuje molekuly t-SNARE proteinů, které jsou připraveny vytvořit komplex s v-SNARE proteiny z membrány synaptických váčků, a umožnit tak uvolnění neurotransmiteru.

¹⁶ Pozn.: Nenechte se vyděsit neznámými zkratkami. Pokuste se v-SNARE a t-SNARE protein brát jako nová slova, jejichž přesný význam úplně nepotřebujete znát – vše, co o nich potřebujete vědět, se dozvíte při řešení úlohy. Pro nenechavce: 'v' a 't' v předponě znamenají vesicle a target (váček a cíl – cílová membrána). To je ještě možná poslední trochu užitečná informace. SNARE je zkratka Soluble NSF Attachment Protein REceptor, NSF je N-ethylmaleimide-Sensitive Factor. Zkratka ve zkratce. Říkal jsem vám, že to nepotřebujete vědět, měli jste mi věřit ;-). Dejte na má slova – biochemie bude mnohem stravitelnější, pokud některé zkratky budete brát prostě jako nová slova a nebudete hned chtít vědět, co každá ta zkratka znamená.

Přechod od elektrického šíření k chemickému však znamená určité zpomalení. Je to naprosto zřejmé, když srovnáme typickou rychlost šíření vzruchu po myelinizovaném axonu – 100 m/s (rychlost nejrychlejších vlaků), a typickou rychlost difuze chemického posla – neurotransmiteru – 0,02 m/s (přibližně rychlost mravence). Abychom si to uvedli do perspektivy, pojďme srovnat čas potřebný pro překonání délky axonu a čas potřebný pro překonání délky synaptické štěrby.

3. Spočítejte čas, který nervový vzruch potřebuje pro překonání axonu délky 10 cm, a čas, který molekula neurotransmiteru potřebuje pro překonání synapse délky 20 nm.

Co přesně se na synapsi děje? Akční potenciál přicházející na konec axonu spustí celou řadu procesů, které nakonec vyústí v přijetí informace postsynaptickou buňkou – což v tomto konkrétním případě povede ke vzniku excitačního postsynaptického potenciálu. Jak celý tento proces probíhá?

4. Spojte začátky a konce vět v následující tabulce tak, aby dávaly smysl. Věty seřadte tak, aby na sebe časově i logicky navazovaly.

A. Když synaptický váček splyne s presynaptickou membránou,	1. otevrou se napěťově řízené vápenaté kanály.
B. Když se neurotransmiter ocitne v synaptické štěrbině,	2. otevře svůj kationtový kanál a způsobí tak excitační postsynaptický potenciál.
C. Když akční potenciál přicházející po axonu presynaptického neuronu způsobí depolarizaci membrány,	3. doputuje difuzí k postsynaptické membráně.
D. Když ionotropní receptor v postsynaptické membráně naváže molekulu neurotransmiteru,	4. synaptický váček splyne s presynaptickou membránou.
E. Když se otevrou napěťově řízené vápenaté kanály,	5. propojí jako zip v-SNARE a t-SNARE proteiny v membráně váčku a buňky.
F. Když se v-SNARE a t-SNARE proteiny obou membrán propojí,	6. začne vápník masivně pronikat dovnitř presynaptického terminálu.
G. Když na sebe protein synaptotagmin naváže vápenatý ion,	7. neurotransmiter se vylije do synaptické štěrby.

Vědecké bádání je někdy zajímavou detektivní prací, a nejinak tomu bylo při objevování synapse. Náš detektiv, „Sherlock“ Katz (vlastním jménem sir Bernard Katz) se pomocí svého důvtipu o synapsích dozvěděl něco, co o nich do té doby nikdo nevěděl. Co to bylo? Pojďme zapátrat spolu s ním.

Katz se jal studovat speciální druh synapse zvaný nervosvalová ploténka – je to místo, kde se motorický neuron setkává se svalovou buňkou. Svalová buňka dokáže vytvářet a měnit membránový potenciál podobně jako neuron, pro naše účely tedy nikterak neuškodí, když si budete postsynaptickou buňku představovat jako druhý neuron. Neurotransmitterem nervosvalové ploténky je acetylcholin – a už v dobách

Katze se vědělo, že když se tato látka nalije na svalovou tkáň, způsobí její stažení. Katz se však rozhodnul, že se celému tomuto procesu podívá na zoubek.

Katz si do média na Petriho misce připravil preparát motorického neuronu spojeného se svou svalovou buňkou a umístil elektrody na obě buňky tak, aby mohl měřit napětí/potenciál na presynaptické i postsynaptické membráně. Mohl vyslat elektrický vzruch po motorickém axonu a mohl libovolně ovlivňovat složení okolního prostředí.

Toto byla Katzova první pozorování:

- Když vyslal vzruch po axonu motorického neuronu, po krátké době naměřil nárůst membránového potenciálu i na postsynaptické membráně.
- Všiml si však zvláštní věci, když žádný vstupní vzruch nevysílal. Membránový potenciál postsynaptické buňky nezůstával konstantně na klidové hodnotě, ale objevovaly se tu jakési **minivýkyvy**, které připomínaly zmenšeninu nárůstu membránového potenciálu, který pozoroval dříve při vyslání vzruchu. Tyto minivýkyvy se objevovaly náhodně a měly všechny stejnou velikost.
- Katz se chtěl přesvědčit, že nejde jen o nějakou chybu měření, vycházející například z jeho experimentálního uspořádání, změřil tedy klidový potenciál i na membráně presynaptického neuronu, kde ovšem žádné minivýkyvy nepozoroval.

Možná už tušíte, co tato prvotní pozorování znamenala, pro tuto chvíli ale budeme Katzův experiment následovat dále a sledovat, jak se vše postupně vyjasní.

Díky tomu, že byly buňky umístěny v médiu na Petriho misce, mohl Katz libovolně ovlivňovat složení tohoto média, tj. vnějšího prostředí, ve kterém se buňky nacházely. Katz se rozhodl, že bude v médiu měnit koncentraci vápenatých iontů.

5. Jak se změní velikost postsynaptického potenciálu, když se zvýší koncentrace vápenatých iontů v extracelulárním prostředí? Uvažujte, že všechny ostatní podmínky (například velikost přichozího vzruchu) zůstávají stejné.

Katz ovšem objevil zajímavý jev, když snížil koncentraci vápenatých iontů na velice nízké hodnoty. Když za takových podmínek vyslal vzruch, pozoroval, že se na postsynaptické membráně objevují pouze malé výkyvy membránového potenciálu pozitivním směrem. Při bližším zkoumání si všiml, že velikosti těchto výkyvů jsou celočíselnými násobky minivýkyvů, které dříve pozoroval, když byly obě buňky v klidu.

V tu chvíli Katz zvolal „Heuréka!“, nebo si to určitě aspoň pomyslel. Uvědomil si, na co všechna jeho pozorování poukazují, a předpověděl existenci jedné ze synaptických struktur. Její existence byla prokázána až o mnoho let později pomocí elektronové mikroskopie. Katzova předtucha, kterou tehdy nazval **kvantová hypotéza**, tak byla potvrzena.

6. Jakou strukturu Katz předpověděl? (Napovím vám, že jste se s ní již v této úloze setkali.) Vysvětlíte, jaká úvaha ho k této předpovědi vedla. Náповěda – když si vzpomenete na napěťově řízené sodné iontové kanály z minulého dílu, možná si vzpomenete, že se mohou náhodně otevřít i za klidového membránového potenciálu. Podobný náhodný jev, který probíhá i v klidovém stavu, je ve hře i zde.

Katz dále zkoušel, jak se projeví přidání neurotoxických látek do média. Některé z těchto látek způsobují svalovou paralýzu, jiné mohou vyvolávat křeče. Podíváme se na působení tří z nich.

- Kurare blokuje receptor acetylcholinu, který se tím pádem nemůže aktivovat navázáním acetylcholinu.
- Neostigmin blokuje enzym acetylcholinesteráza, který štěpí acetylcholin a jehož úkolem je acetylcholin rychle odstranit ze synaptické šterbiny.
- Botulin štěpí SNARE proteiny a zabraňuje tak splnutí synaptického váčku s presynaptickou membránou.

7. Které toxiny způsobují svalovou paralýzu a které mohou vyvolávat křeče? Co se stane s minivýkyvy naměřenými v klidovém stavu po přidání jednotlivých toxinů do média? Vysvětlíte.

Acetylcholin je hlavním excitačním neurotransmiterem periferní nervové soustavy – to znamená, že jeho působení zvyšuje pravděpodobnost vzniku vzruchu i na postsynaptickém neuronu. Kromě excitačních neurotransmiterů máme i inhibiční neurotransmitery – jejich vyloučení do synaptické šterbiny naopak snižuje pravděpodobnost, že na postsynaptickém neuronu vznikne vzruch. Naše nervová soustava využívá čtyři hlavní neurotransmitery – kromě již zmíněného acetylcholinu ještě glycín, glutamát a kyselinu gamma-aminomáselnou (GABA).

8. Nakreslete vzorce zmíněných čtyř hlavních neurotransmiterů. Které dva se nacházejí převážně v centrální nervové soustavě a které dva převážně v periferní? Které dva jsou excitační a které dva inhibiční?

Řešení úloh 2. série 20. ročníku KSICHTu

Úloha č. 1: Aktinoidová

(7 bodů)

Autor: Adam Jaroš

1. 111, jde o roentgenium. Pohled do periodické tabulky nám prozradí, že nejde o jediný prvek pojmenovaný po slavných vědcích. Zejména od poloviny aktinoidů a dále nalezneme například einstenium, mendelevium, rutherfordium nebo bohrium.
2. Nejčastěji se vyskytující nuklid polonia je ^{210}Po , který během rozpadu vyzařuje alfa částice. Je tak nutné myslet na ochranu proti radiaci. Zároveň však mnozí řešitelé opomenuli, že má jít koneckonců o topení a je tak třeba využít i teplotně odolný materiál – pouhé gramy polonia se dokážou zahřát i na $500\text{ }^{\circ}\text{C}$! Olověný obal by se vám tedy snadno roztavil. Mezi příhodné materiály jste tak zařadili například karbid křemíku nebo speciální skla obsahující těžké kovy.
3. Vzhledem k tomu, že smrtelná dávka začíná kolem 1 Sv , bylo by třeba sníst alespoň 10 milionů banánů (v závislosti na tom, jak rychlá smrt by byla žádoucí).
4. Dojde k beta mínus rozpadu, při kterém se jeden z neutronů přemění na proton, elektron a elektronové antineutrino dle rovnice



Nový prvek byl pojmenován neptunium, jelikož jeho o protonové číslo nižší soused byl pojmenován po planetě Uran, a tento nově objevený po planetě následující, Neptunu. Planety byly pro změnu pojmenovány po bozích z římské mytologie.

5. $\text{NpCl}_4 + 4\text{NaF} \rightarrow \text{NpF}_4\downarrow + 4\text{NaCl}$
6. Jde o oxokation, který je analogický ke známějšímu uranylu UO_2^{2+} , a to NpO_2^{2+} . Jeho vznik znemožňuje, aby došlo ke sražení/vykrytalování fluoridu šestimocného neptunia, protože zůstává rozpuštěný v roztoku.
7. Jde o ^{239}Pu .
8. Dosazením do rovnice zákona radioaktivního rozpadu dle rovnice

$$N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}} t} = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{2,3} 1} = 0,74 N_0$$

zjistíme, že poměr množství původního izotopu neptunia a vznikajícího izotopu plutonia je $0,74 : 0,26$, tedy přibližně $3 : 1$.

Otázka 1 – 0,5 bodu, 2 – 0,5 bodu, 3 – 1 bod, 4 – 1 bod, 5 – 1 bod, 6 – 1 bod, 7 – 1 bod, 8 – 1 bod. Celkem 7 bodů.

Úloha č. 2: Kontrola kvality léčiv – Disoluce

(9 bodů)

Autor: Jiří Špánek

1. Jak je zmíněno v úvodu, disoluční média simulují prostředí trávicího traktu. Konkrétně tedy žaludek, dvanáctník a střeva.
2. Nejprve vypočítáme novou čistotu standardu:

$$p_{\text{Std}} = \frac{100 - 7,58}{100} \cdot 99,3 = 91,77306 \doteq 91,8 \%$$

Pomocí nové čistoty pak přepočítáme navážku (trojčlenka):

$$m_{\text{Std}} = \frac{15,3}{91,8} \cdot 100 = 16, \bar{6} \doteq 16,7 \text{ mg}$$

3. V běžné praxi se používá reverzní fáze z několika důvodů:
 - a) Nižší náklady spojené s rutinním měřením – voda a její roztoky jsou výrazně levnější než organická rozpouštědla.
 - b) Snadnější manipulace, jelikož organická rozpouštědla jsou často těkavější. U takto přesných analýz, které se většinou měří za normální teploty, není vhodné používat těkavější organická rozpouštědla, u kterých by mohlo docházet ke změně složení mobilní fáze v průběhu měření.
 - c) Pro léčiva, resp. jejich účinné látky, je důležité, aby byla rozpustná ve vodě, a mohla tak v biologickém prostředí těla účinkovat. Použití převážně nepolárních rozpouštědel by u některých léčiv mohlo vyvolat srážení a vzniklá sraženina by pak byla naší metodou nezměřitelná a mohla by poškodit HPLC systém.
4. Pokud máme pík vzorku (resp. standardu) u konce měřicího času a potřebujeme, aby se objevil dřív, tak musíme u reverzní fáze snížit polaritu použité mobilní fáze. V tomto případě tedy zvýšíme poměr ACN ve směsi.
5. Pomocí údajů z úkolu dopočítáme ředící faktor standardu:

$$d_{\text{Std}} = \frac{15}{1} \cdot \frac{200}{2} = 1500$$

Poté dosadíme do vzorce všechny hodnoty uvedené v úkolu, včetně dříve spočítaných hodnot čistoty a navážky:

$$x_{\text{dis}} = \frac{16,7 \cdot 91,8 \cdot 900 \cdot 52305}{1500 \cdot 65327 \cdot 10} \doteq 73,647 \doteq 74 \%$$

Z výsledku tedy vidíme, že vzorek nesplňuje specifikaci $Q \geq 85 \%$.

6. Nejprve vypočítáme průměr všech 3 hodnot x :

$$\bar{x} = \frac{86,2 + 85,1 + 89,7}{3} = 87 \%$$

Dále pak sumu čtverců odchylek od průměru:

$$\sum (x - \bar{x})^2 = (86,2 - 87)^2 + (85,1 - 87)^2 + (89,7 - 87)^2 = 11,54 \%$$

Nakonec už pouze dosazujeme do dodaných vztahů:

$$\sigma = \sqrt{\frac{11,54}{2}} = 2,402$$

$$s_{rel} = \frac{2,402}{87} \cdot 100 \doteq 2,761 \doteq 2,8 \%$$

Vzorek by splnil požadavky na validaci metody, která je $s_{rel} \leq 5 \%$.

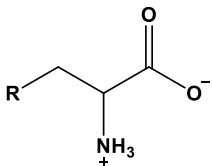
*Otázka 1 – 1 bod, 2 – 2 body, 3 – 1 bod, 4 – 1 bod, 5 – 2 body, 6 – 2 body.
Celkem 9 bodů.*

Úloha č. 3: Na vodě

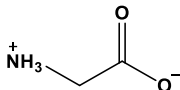
(9 bodů)

Autorka: Veronika Vetýšková

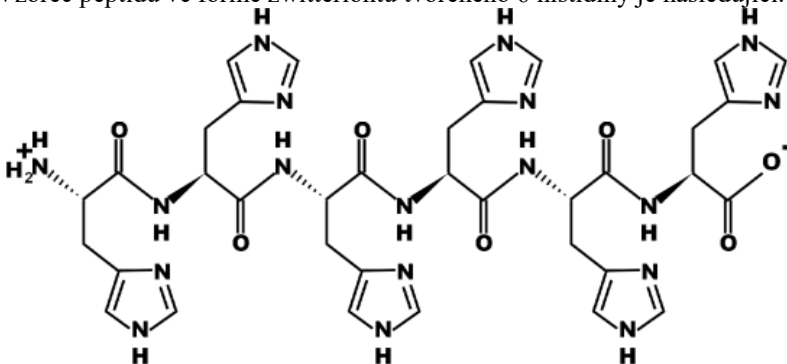
1. Obecný vzorec α -aminokyselin ve formě zwitteriontu je následující.



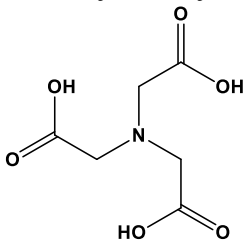
2. Glycin není chirální, a proto není ani opticky aktivní.



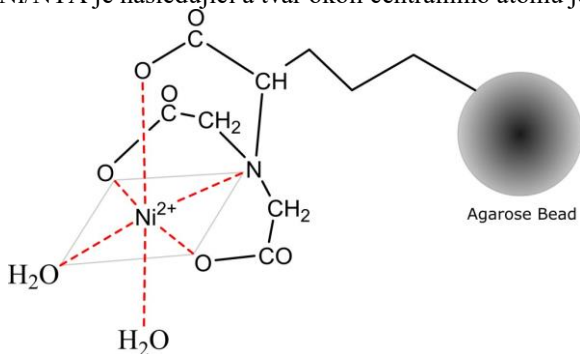
3. Vzorec peptidu ve formě zwitteriontu tvořeného 6 histidiny je následující.



4. Další ionty používané při metaloafinitní chromatografii jsou: Zn^{2+} , Cu^{2+} , Ca^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+} .
5. NTA je nitrilotrioctová kyselina. Její vzorec je následující.



Komplex Ni/NTA je následující a tvar okolí centrálního atomu je oktaedr.



6. Komplex Ni/NTA je nejčastěji vyvazován imidazolem, který k němu má vyšší afinitu než histidin. Histidin se tedy vyváže z komplexu a celý protein je eluován ven z kolony. Místo histidinu zůstane na koloně navázaný imidazol.
7. a) Při této vlnové délce absorbují aromatické aminokyseliny (tryptofan, tyrosin a fenylalanin).
b) Peptidová vazba je detekovatelná kolem 200 nm.
8. Pro výpočet je potřeba Lambertův-Beerův zákon.

$$A = c \cdot l \cdot \varepsilon$$

$$c = \frac{A}{l \cdot \varepsilon}$$

$$c = \frac{0,125}{1 \cdot 101} = 0,001 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

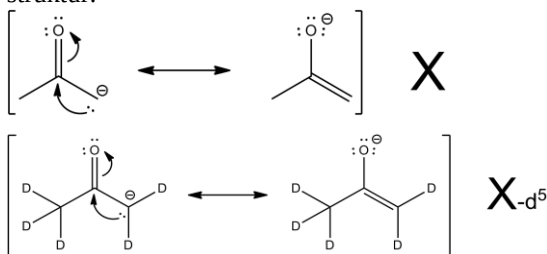
9. a) SDS-PAGE je elektroforéza v polyakrylamidovém gelu v přítomnosti dodecylsírany sodného (SDS).
b) Proteiny o větších molekulových hmotnostech budou putovat gelem pomaleji v porovnání s proteiny o menších molekulových hmotnostech.
c) „Barvení“ (detekce) proteinů se nejčastěji provádí pomocí Coomassie Brilliant Blue, popřípadě stříbrem.
10. Protein na gelu pořízeném pomocí SDS-PAGE a obarveném barvivem Coomassie Brilliant Blue je c) hovězí sérový albumin (BSA) o molekulové hmotnosti 66,5 kDa, což odpovídá proužku na gelu o hodnotě 63 kDa.

Otázka 1 – 0,5 bodu, 2 – 0,75 bodu, 3 – 0,5 bodu, 4 – 0,25 bodu, 5 – 1,5 bodu, 6 – 1 bod, 7 – 1 bod, 8 – 1,5 bodu, 9 – 1 bod, 10 – 1 bod. Celkem 9 bodů.

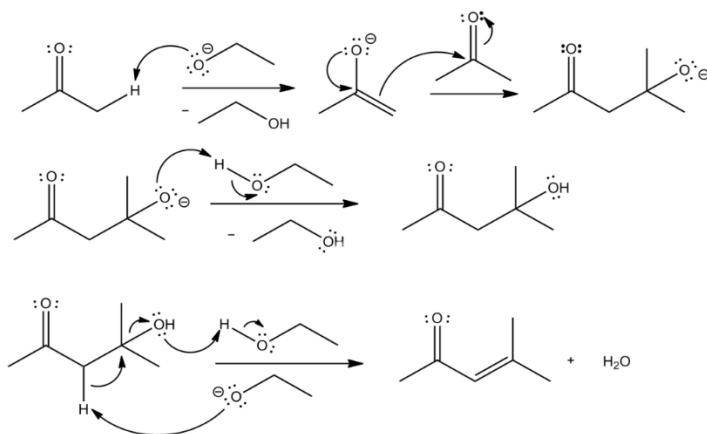
Úloha č. 4: Kinetická isotopová**(9 bodů)**

Autor: Vojtěch Laitl

- Isotopy stejného prvku se liší počtem neutronů v atomovém jádře (počet protonů v jádře i elektronů v atomové obalu musí být zachován). Tato odlišnost se projevuje jejich rozdílnou hmotností.
- Podstatou vzniku chemické sloučeniny je její stabilizace, tedy pokles energie jejích atomů oproti jiným stavům, které mohou během reakce zaujmout. Transitní stav je ale naproti tomu definovaný jako struktura odpovídající maximální energii dosažitelné v průběhu celé reakce. Jeho vznik tedy neodpovídá mechanismu vzniku reálné molekuly, jakou by bylo možné zachytit; jde pouze o teoretickou strukturu.
- Z popisu reakce víme, že došlo k přenosu vodíkového protonu (H^+), případně deuteriového iontu (D^+), na ethanolátový ion. Hlavním produktem **X**, respektive **X- d^5** tedy musí být organický anion. Vzhledem k resonanci s karbonylovou skupinou můžeme pro každý z nich navrhnout více rovnocenných správných struktur:



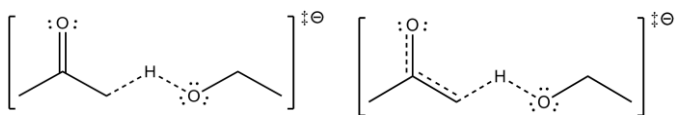
- Reakce, kterou jsme dosud popisovali, se nazývá enolizace a je prvním krokem takzvané aldolové kondenzace:



Jejím konečným produktem je konjugovaný keton, enon. Pokud v závislosti na podmínkách nedochází ke konečné eliminaci vody, nazýváme přeměnu aldolizační reakcí, produktem by byl v našem případě takzvaný ketol (struktura na konci druhého řádku zapsaného mechanismu).

- Isotopy se, jak víme, z chemického hlediska liší pouze hmotností. Atom deuteria ^2D je oproti svému běžnějšímu isotopu protiu (vodíku, ^1H) těžší. Jeho přenos mezi dvěma molekulami si tedy vyžádá vynaložení větší energie a bude probíhat pomaleji. I bez explicitního výpočtu tedy lze správe usoudit, že aceton bude s ethoxidem reagovat rychleji než jeho d^6 -analog.
- Strukturu tranzitního stavu navrhneme podobně jako v řešeném příkladu s uvážením, že vzniká nová vazba ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}---\text{H}$) současně se zánikem vazby ($\text{H}_3\text{CC}(\text{O})\text{CH}_2---\text{H}$). Podle toho, jakou rezonanční strukturu produktu (otázka 3) využijeme, můžeme znázornit i posun elektronů ke karbonylové skupině. Neměli bychom však zapomenout znázornit náboj celé struktury.

Zcela správná jsou tak například následující řešení:



- Substituce těžším isotopem obecně posouvá vibrační frekvence vazeb k nižším hodnotám, protože těžší atomy se kolem chemické vazby pohybují pomaleji. Frekvence $6,5 \times 10^{13}$ Hz tedy náleží vazbě C-D a $8,5 \times 10^{13}$ Hz vazbě C-H. Pro úplnost dodejme, že obdobné výsledky spektroskopických měření se často uvádějí jako takzvaný vlnčet. Jde o počet vln na jednotkovou délku a pro elektromagnetické záření jej získáme jako $\frac{6,5 \times 10^{13}}{c} \doteq 216670 \text{ m}^{-1} = 2166,7 \text{ cm}^{-1}$ pro vazbu C-D, respektive $\frac{8,5 \times 10^{13}}{c} \doteq 283333 \text{ m}^{-1} = 2833,3 \text{ cm}^{-1}$ pro vazbu C-H.
- Výše jsme si připravili údaje potřebné k tomu, abychom kinetický isotopový efekt mohli určit z definice:

$$\text{KIE} = \exp \left(\frac{h \cdot 8,5 \times 10^{13} - 6,5 \times 10^{13}}{2 \cdot k_B \cdot 300} \right) \doteq 4,96 \doteq 5.$$

Vidíme tedy, že enolizace deuterioacetonu probíhá přibližně pětikrát pomaleji. Výsledek dobře souhlasí s odhadem, který jsme učinili při řešení otázky 5.

Otázka 1 – 0,75 bodu, 2 – 1 bod, 3 – 1 bod, 4 – 2 body, 5 – 1 bod, 6 – 1,75 bodu, 7 – 1 bod, 8 – 0,5 bodu. Celkem 9 bodů.

Úloha č. 5: Druhá úloha na nervy – Neuron

(14 bodů)

Autor: Jiří „Herby“ Kysilka

V úloze byl poněkud nepřesně používán termín „kapacitance“. Pro českou terminologii by byl správnější termín „kapacita“. Omlouváme se, pokud to někoho zmátlo.

1. Sodné ionty začnou proudit dovnitř buňky, takže roste jejich koncentrace uvnitř buňky, zatímco jejich koncentrace vně buňky klesá. To vede k vzrůstu hodnoty membránového potenciálu – dostává se k méně záporným hodnotám.
2. Musí v reakci na změnu membránového potenciálu změnit svou konformaci – svůj tvar.
3. Když se otevře dostatečné množství napětově řízených kanálů, začnou sodné kationty proudit po svém koncentračním i elektrickém gradientu dovnitř buňky, což vede ke zvyšování membránového potenciálu. Vyšší membránový potenciál vede k tomu, že se otevírá více sodných kanálů, což vede k pozitivní zpětné vazbě a membránový potenciál nadále stoupá. Tato pozitivní zpětná vazba je důvodem, proč už potom není cesty zpět.
4. Sodné ionty přestanou masivně proudit do buňky a nárůst membránového potenciálu se zastaví. Zavřený kanál se stále ještě může otevřít, kdežto inaktivní se nemůže otevřít, dokud opět nedojde k jeho aktivaci.
5. Po otevření draselných kanálů začnou draselné ionty proudit ven z buňky po svém koncentračním gradientu, což povede k rychlejšímu klesání membránového potenciálu.
6. Oba typy iontových kanálů by se otevřely současně, což by vedlo k protisměrnému proudění iontů. Vlivy obou těchto dějů na membránový potenciál by se kompenzovaly a membránový potenciál by se příliš neměnil, takže by akční potenciál nemohl vůbec vzniknout.
7. Lokální výkyv membránového potenciálu způsobí nárůst potenciálu i v blízkém okolí. Tento nárůst způsobí otevření sodných kanálů i v tomto blízkém okolí, kde tak vznikne nový akční potenciál. Takto se akční potenciál postupně šíří dál.
8. Dokud jsou sodné kanály inaktivované, není možné akční potenciál vytvořit vůbec. Když jsou otevřené draselné kanály, akční potenciál sice vytvořit jde, ale je to mnohem náročnější, protože proud draselných iontů působí proti jeho vzniku.
9. Když se akční potenciál šíří z místa A přes místo B do místa C, tak by se teoreticky mohl šířit z místa B zpět do místa A a dále opačným směrem. Avšak díky tomu, že místo A je po určitou dobu ve své refrakční periodě a není možné v něm působením místa B po tuto dobu vyvolat akční potenciál, k tomuto zpětnému chodu nedochází.

10. a) Pokud **zvýšíme** odpor membrány, uniká menší množství náboje neproduktivním směrem přes membránu a změna potenciálu bude mít větší dosah po délce axonu.
- b) Pokud **snížíme** kapacitanci membrány, bude membrána mít menší tendenci zadržovat náboj, a tím pádem se bude rychleji depolarizovat, což povede k rychlejšímu šíření změny potenciálu v čase.
11. Odpor membrány zvýšíme tak, že snížíme množství iontových kanálů. Membrána bude mít nejvyšší odpor, pokud zde nebudou žádné iontové kanály.
12. Větší tloušťka membrány sníží kapacitanci membrány. Větší tloušťka totiž zvětší vzdálenost mezi opačně nabitými ionty na obou stranách membrány, takže i přitažlivá síla mezi nimi bude menší. Proto začnou převažovat odpudivé síly mezi sousedními stejně nabitými ionty na membráně. Membrána tím pádem nebude mít tak velkou tendenci na svém povrchu náboje držet a bude snazší ji depolarizovat.
13. Akční potenciál vzniká na nemyelinizovaném úseku a dál se pasivně šíří větší rychlostí na myelinovaném úseku. Po délce myelinizovaného úseku jeho intenzita klesá, ale je stále ještě dostatečná na to, aby na dalším Ranvierově zářezu mohl díky přítomným iontovým kanálům vzniknout nový akční potenciál. Šíření se zde sice trochu zpomalí, ale síla signálu se obnoví a může pasivně putovat přes další myelinizovaný úsek. Vzhledem tak „skáče salta“ z jednoho Ranvierova zářezu na druhý, proto se tento proces někdy nazývá saltatorní vedení. Pokud by na axonu nebyly Ranvierovy zářezy, vzruch by se šířil pouze několik milimetrů, načež by změna potenciálu klesla k nule. Signál by se tak vůbec nedostal na druhý konec axonu.
14. Nejznámějším příkladem demyelinizační choroby je roztroušená skleróza (*sclerosis multiplex*).

Otázka 1 – 1 bod, 2 – 0,5 bodu, 3 – 1,5 bodu, 4 – 0,5 bodu, 5 – 0,5 bodu, 6 – 1 bod, 7 – 1 bod, 8 – 1 bod, 9 – 1,5 bodu, 10 – 1 bod, 11 – 0,5 bodu, 12 – 1 bod, 13 – 2 body, 14 – 1 bod. Celkem 14 bodů.

Zajíček chemik

