



Korespondenční Seminář Inspirovaný Chemickou Tematikou

Ročník 20 (2021/2022)

Série 1



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 1. série:
8. 11. 2021**

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.

Podzimní výlet s KSICHTem

Pokud to epidemiologická situace dovolí, proběhne KSICHTí výlet v listopadu. Budeme Vás včas kontaktovat s podrobnostmi.

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 číslic z kalkulátoru 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. kalkulátorový syndrom: „Svět byl stvořen za 6,999999999942 dní.“ Toto není ani správná, ani přesná hodnota.

Úvodníček

Závada není na vašem přijímači. Nesnažte se srovnat obraz. Vysílání teď řídíme my, původní zakladatelé KSICHTu. Nastavujeme obraz horizontálně i vertikálně...

Nebojte se vlka nic, dostává se k vám téměř úplně normální KSICHTí brožurka, na jakou jste zvyklí. Plná úloh, které vám zajistí zábavu na dlouhé podzimní večery. Možná jste si ale všimli čísla 20 vedle slova ročník. Ano, je to tak. KSICHT slaví jubileum. Je to už mladý muž, který brzy bude smět pít alkohol i v Americe. A právě to nás zakladatele přilákalo. Řekli jsme si, že bychom se po letech mohli svému dítěti zase trochu víc věnovat a trávit s ním trochu víc času. Úlohy, které v této brožurce naleznete, tedy tvořili ti, kteří stáli u samotného zrodu KSICHTu.

Pojďme si při této příležitosti dovolit trochu toho sentimentu a zavzpomínat na samotné prehistorické začátky. Psal se rok 2001 a my byli dítka čerstvě vyvržená Běstvinou a Chemickou olympiádou, konečně v Praze na vysoké...

Tak takhle tedy ne, nebudeme vás nutit číst nějaké nudné paměti. Podíváme se ke kořenům KSICHTu zábavnou a interaktivní formou.

Věděli byste, z jakého seriálu pochází úvodní odstavec?

13 fun facts about KSICHT aneb vše, co jste kdy chtěli vědět o KSICHTu, ale báli jste se zeptat.

Vše, co si v následujících řádcích přečtete, je pravda, nic než pravda, ale ne úplně pravda. Dokážete mezi všemi těmi pravdivými informacemi nalézt jednu lež?

1. I když KSICHT má samozřejmě záměr vzdělávat mladé lidi v oblasti chemie a přírodních věd, neméně důležitou součástí byl od úplného začátku i sociální aspekt. K nápadu založit KSICHT mě vedla vnitřní úvaha podobná této: „Ti lidé na Běstvině (Letní odborné soustředění Běstvina pro úspěšné účastníky chemických a biologických olympiád, pro ty, co ještě neznají) jsou prostě skvělí, cítím se mezi nimi konečně jako doma, jsou tak nějak stejně divní jako já. Jak to jen zařídit tak, aby se tihle lidé mohli vídat častěji než jen jednou za rok na táboře?“
2. Inspirací pro vytvoření korespondenčního semináře byl dříve existující matematický korespondenční seminář Prase (Pražský Seminář). První reakce na myšlenku udělat něco podobného pro chemiky byly poměrně odmítavé – tohle funguje pro matematiku a fyziku, ale psát podobné úlohy v chemii přece nejde.
3. Celý nápad spatřil světlo světa (vyšel z mých úst, když jsem oslovil pár kamarádů) na Nuselském mostě. Neznáme už sice datum, ale známe aspoň místo. Všichni oslovení tuto myšlenku podpořili a nikdo toho dne neskočil.
4. Název KSICHT vzniknul téhož dne, uvnitř tramvaje 24 na Albertově. Nejprve byl vymyšlen název Korespondenční seminář inspirovaný chemickou

tematikou; když jsme zjistili, že zkratka vychází KSICHT, říkali jsme si, není to moc? Nebude to působit moc vulgárně? Budou lidi chtít něco takového řešit?

5. S projektem KSICHT jsme nejprve oslovili VŠCHT. Když si tehdejší proděkan Fakulty chemické technologie prof. Roda můj email přečetl, odpověděl na něj památným „Vážený pane Kysilko, váš ksicht se mi líbí.“ A tím to celé začalo.
6. První brožurky jsme vytvářeli velice sofistikovaným způsobem – text brožurky jsme vytiskli tak, aby se dvě strany vešly na jednu stranu A4. Ty se potom rozstříhaly a lepidlem nalepily na další A4 tak, aby tyto nové A4 po poskládání vytvořily brožurku se stranami textu ve správném pořadí. Tyto spleené A4 jsme poté okopírovali, brožurky ručně poskládali, ručně vložili do obálek a rozeslali řešitelům. A i když se způsob vytváření brožurky mezitím rozvinul a část s fyzickým lepidlem se eliminovala, tak ruční vkládání brožurek a řešení do obálek, z něhož vznikla tradiční událost, „obáلكování“, zůstává.
7. Na prvním KSICHTím výletě byl skoro stejný počet účastníků jako organizátorů. Navíc jsme byli ubytováni v hotelu.
8. Oblíbeným nápojem prvních KSICHTáků byla kofola. To se odrazilo i v proslulém sloganu „KSICHT – i když ho miluješ, stále je co řešit“.
9. Dnes již téměř zapomenutou hymnou KSICHTu je píseň Moonlight Shadow od Mikea Oldfielda. Aby se interpretace této písně kvalifikovala za KSICHTí hymnu, je třeba ji velice hlasitě vyřvávat.
10. Když po letech přešel KSICHT pod Přírodovědeckou fakultu UK, oslavili jsme to společnou večeří s doc. Gašem a doc. Trnkou. Jako dar jsme jim předali trička a kšiltovky s nápisem KSICHT. Když doc. Trnka přebíral kšiltovku s nápisem KSICHT, okomentoval to slovy: „Jen si říkám, jestli to není příliš sebekritické...“
11. KSICHT dal vzniknout hned několika manželstvím, a nepřímou tak zplodil desítky dětí.
12. Katedra učitelství a didaktiky chemie na Přírodovědecké fakultě UK vyučuje předmět KSICHT – tvorba didaktických úloh pro chemické soutěže. Pro jeho zvládnutí mají účastníci za úkol vytvořit úlohu, která projde recenzním řízením, a opravit došlá řešení. Je to způsob, jak budoucím učitelům rozšířit obzory toho, jak lze rozvíjet talentované studenty.
13. O KSICHTu se psalo i v odborných zahraničních žurnálech. Anglický článek popisující KSICHT v Journal of Chemical Education mluví o semináři zvaném Fast and Attractive Chemical Education, FACE, což je v překladu KSICHT.

Přeji vám tedy, ať si řešení této výroční série užijete stejně, jako jsme si my užili její tvorbu. A nezapomeňte si brožurku přečíst až úplně do konce ;-)

Za zakladatele KSICHTu

Jiří „Herby“ Kysilka

Seriál: Radioaktivita kolem nás

Autoři: Klára a Pavel Řezankovi

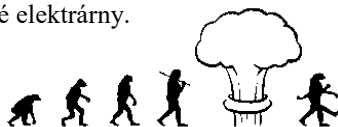
Slovo úvodem

Milá čtenářko, milý čtenáři,

letošní seriál si klade za cíl seznámit Tě s radioaktivitou v tom nejširším slova smyslu. V tomto, prvním, dílu se proto zaměříme na složení hmoty, konkrétně na elementární částice, na jejich reakce a také na ionizující záření. Získané informace využiješ při řešení úlohy č. 5. Druhý díl bude zaměřen na veličiny, kterými můžeme radionuklidy a radioaktivní záření popsat a na metody, které je umožňují detekovat. Ve třetím dílu se dozvíš, kde všude se využívá radioaktivní záření a radionuklidy. V posledním dílu pak pronikneme do útrob jaderné elektrárny.

1. díl: Elementární částice

Historické okénko



Počátek výzkumu v oblasti radionuklidů a vysokoenergetického záření spadá do roku **1895**, kdy Wilhelm Conrad Röntgen objevil tzv. paprsky X, později známé jako rentgenové záření, za jehož objev dostal v roce 1901 jako první Nobelovu cenu. Röntgen nelenil a hned paprskům vystavil ruku svojí manželky (obrázek 1)⁶, na které si můžete povšimnout i snubního prstenu. Společností byl tento objev široce přijat, a tak si mohli i štamgasti v hospodě nechat prosvítit ruku rentgenovým zářením. V lékařství byl tento objev neocenitelný, neboť umožňoval provádět operace přímo pod rentgenovým zářením. Škodlivé účinky tohoto vysokoenergetického, tzv. ionizujícího, záření na sebe ale nenechaly dlouho čekat a už o několik let později byly prováděny amputace rukou lékařů, kteří byli paprskům X příliš často vystaveni.



Obrázek 1.
Rentgenový
snímek ruky
Anny Berthy
Röntgenové

V roce **1896** vstupuje na scénu Antoine Henri Becquerel s objevem přirozené radioaktivity při studiu uranových solí. Objev zaujal manželku jeho kolegy, Marie Curie, která na toto téma začala vypracovávat dizertační práci.

První elementární částici, **elektron**, objevil v roce **1897** Joseph John Thomson, když interpretoval katodové paprsky⁷ jako proud negativně nabitých částic.

Ale zpět k Marie Curie, která mezitím pokročila ve své dizertační práci a spolu se svým manželem Pierrem Curiem objevila v roce **1898** polonium a radium. Za svoje objevy, včetně přípravy 100 mg chloridu radnatého v roce 1902 z deseti tun

⁶ <https://thepetridish.my/2017/11/23/who-invented-the-x-ray/>

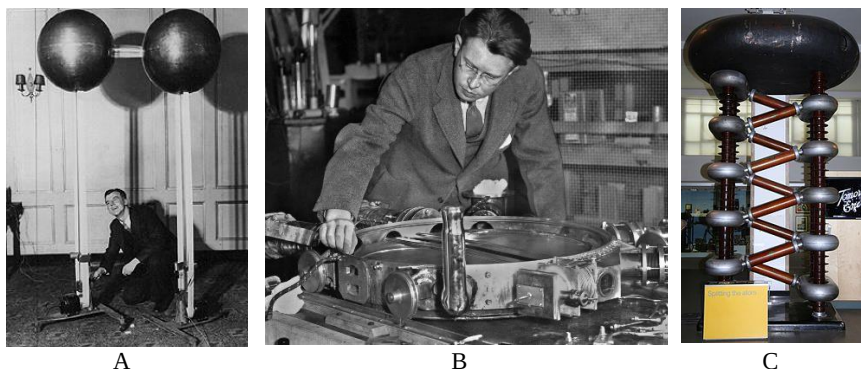
⁷ https://cs.wikipedia.org/wiki/Katodové_záření

smolince z Jáchymova⁸ a čistého radia v roce 1910, obdržela Nobelovy ceny roku 1903 a 1911. Stala se tak první ženou, které byla Nobelova cena udělena a je také zatím jedinou ženou, která má Nobelovy ceny v různých odvětvích (fyzika a chemie).

Za pojmenování různých typů radioaktivního záření vdčíme Ernestu Rutherfordovi, který v roce **1899** zavedl pojmy **alfa** a **beta** záření a v roce **1903** **gamma** záření. Roku **1907** pak alfa částice detekoval a určil, že se jedná o jádra helia.

O několik let později (**1913**) navrhl Frederick Soddy možnost existence téhož prvku s různými molekulovými hmotnostmi, tj. izotopů, což experimentálně potvrdil v roce **1914** Francis William Aston, když odseparoval izotopy neonu frakční destilací.

Následující roky se nesou ve znamení rozvoje instrumentálních technik, ať už to byl hmotnostní spektrograf roku **1919** (Francis William Aston), Van de Graaffův generátor roku **1929** (Robert Jemison Van de Graaff), cyklotron roku **1931** (Ernest Orlando Lawrence) anebo Cockcroft-Waltonův urychlovač částic v roce **1932** (John Douglas Cockcroft a Ernest Thomas Sinton Walton), které jsou uvedeny na obrázku 2.

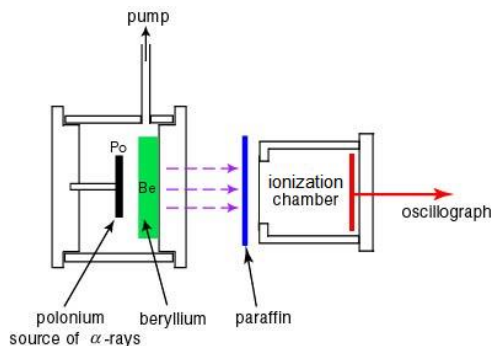


Obrázek 2. A) Van de Graaffův generátor (80 kV), B) cyklotron (1,22 MeV), C) Cockcroft-Waltonův urychlovač částic (1 MeV)

V roce **1932** ještě zůstaneme, neboť je významný experimentálním potvrzením **neutronu**, které provedl James Chadwick⁹. Využil k tomu polonium jako zdroj alfa záření, které dopadalo na beryliový terčik. Jadernou reakcí vznikl uhlík ^{12}C a neutron. Neutron po té dopadal na parafin, ze kterého vyrážel vysokoenergetický proton, který byl detekován v ionizační komoře (obrázek 3).

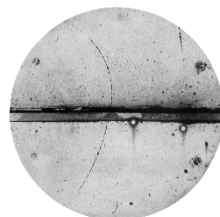
⁸ CURIEOVÁ, E., 1964. *Paní Curieová*. Mladá Fronta, Praha, předklad: Eva Sgallová, ISBN: 23-059-64.

⁹ Chadwick: *The existence of a Neutron*. Proc. Royal Soc. A, **1932**, 136, 692.



Obrázek 3. Schéma zařízení použité pro experimentální potvrzení neutronu

Roku **1932** bylo také popsáno objevení první antičástice, **pozitronu**, a to Carlem Davidem Andersonem. Potvrzení této částice předpovězené o 4 roky dříve Paulem Diracem spočívalo v průchodu kosmického záření mlžnou komorou přes olověnou desku (tmavý horizontální obdélník na obrázku 4)¹⁰. V důsledku přítomného externího magnetického pole (kolem komory byl magnet) dochází k zakřivení dráhy letu nabitých částic. Směr zakřivení závisí na náboji a poloměr zakřivení pak na poměru hmotnosti k náboji. Vertikální oblouk na obrázku tedy odpovídá pozitronu¹¹. V roce **1936** objevil Anderson i **mion**, částici s 207× větší hmotností než elektron.



Obrázek 4. Fotografie mlžné komory pořízená Andersonem při objevu pozitronu

Vraťme se nyní o dva roky zpátky do roku **1934**, ve kterém Enrico Fermi předpověděl existenci **neutrína** a objevil možnost štěpení uranu zpomalenými neutrony. V témže roce také dcera Marie Curie, Irène Joliot-Curie, připravila první umělé radionuklidy, za což dostala se svým manželem o rok později Nobelovu cenu.

Historické okénko zakončíme koncem třicátých let. Rok **1938** je považován za počátek atomového věku, neboť Otto Hahn prokázal, že se kromě lehkých prvků uvolňuje při štěpení uranu i velké množství energie. Roku **1939** připravil Glenn Theodore Seaborg první transuranový prvek, konkrétně neptunium. Během svého dalšího vědeckého působení objevil/připravil 10 prvků a více než 100 izotopů.

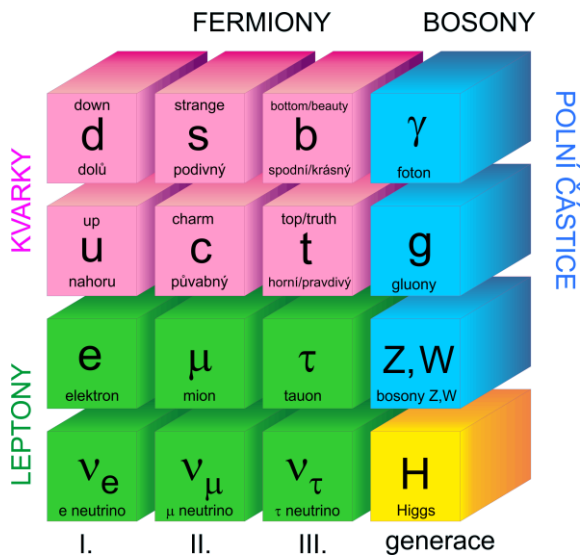
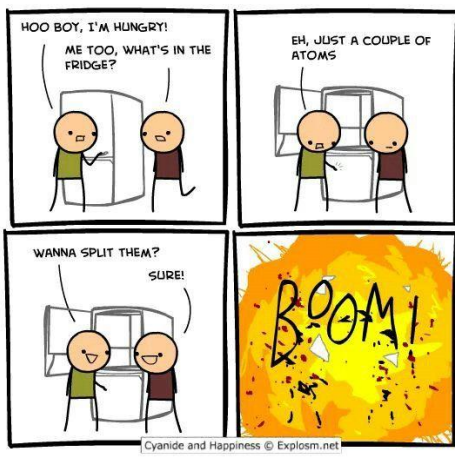
¹⁰ <https://en.wikipedia.org/wiki/Positron#/media/File:PositronDiscovery.png>

¹¹ Při zpětném studiu snímků jiných vědců bylo zjištěno, že se na nich důkazy o přítomnosti pozitronu také vyskytují, ale autoři je mylně identifikovali jako protony.

Složení hmoty

Podle současné teorie o vzniku vesmíru existuje hmota díky baryonové asymetrii¹². Ta zapříčinila, že po Velkém třesku, kdy nastala anihilace částic a antičástic, zůstala 1 částice z původních 10^9 částic a antičástic. Kdyby této asymetrie nebylo, veškerá hmota by při Velkém třesku anihilovala a vesmír, jak ho známe, by nikdy nevznikl.

Dle současného poznání můžeme elementární částice rozdělit na fermiony, které dále dělíme na kvarky a leptony (obrázek 5). U fermionů existují tři generace částic a jejich energie roste s rostoucí generací.



Obrázek 5. Standardní model elementárních částic

¹² Tento jev nebyl doposud plně vysvětlen a jeho složitost je nad rámec tohoto seriálu.

Kvarky

Stejně jako u leptonů, i u kvarků existují tři generace částic a antičástic, tj. celkem 12 kvarků. Tyto kvarky se skládají do částic, které dělíme na:

- hadrony
Jakákoliv částice obsahující kvarky a/nebo antikvarky. Hadrony jsou vždy bezbarvé.
- mezony
Mezony jsou podmnožinou hadronů a jsou složeny ze dvou valenčních kvarků¹³, jednoho kvarku a jednoho antikvarku.
- baryony
Baryony jsou podmnožinou hadronů a jsou složeny ze tří valenčních kvarků. Příkladem baryonů je proton a neutron.

Leptony

Mezi leptony řadíme elektron a neutrino ve třech generačních provedeních (viz obrázek 5) a jejich antičástice. Na rozdíl od elektronu, mionu a tauonu, které existují jednotlivě, osciluje neutrino mezi podobou elektronového, mionového a tauonového neutrina.

Bosony

Dosavadní výsledky vědeckého bádání ukazují, že veškeré pozorované jevy lze vysvětlit působením čtyř interakcí, které zprostředkovávají bosony.

- silná interakce
Síla krátkého dosahu (10^{-15} m, tj. ca průměr jádra atomu) působící pouze na „barevné“ částice, tj. kvarky. Bosony, které tuto interakci zprostředkovávají, se nazývají gluony („*glue*“ = lepidlo) a existuje jich 8. Gluony mají samy o sobě „barvu“, a proto mohou působit na sebe navzájem.
- elektromagnetická interakce
Síla působící mezi všemi částicemi s elektrickým nábojem. Na rozdíl od silné interakce má nekonečný dosah (síla klesá s druhou mocninou vzdálenosti) a je $137\times$ slabší než silná interakce. Bosony, které tuto interakci zprostředkovávají, se nazývají fotony a vytvářejí mezi nabitými tělesy elektromagnetické pole.

¹³ Kvarky, které přispívají k celkovým kvantovým číslům hadronu. Jsou to nevirtuální (tj. reálné) kvarkové komponenty hadronu.

- slabá interakce

Síla velmi krátkého dosahu (10^{-18} m, tj. menší, než je vzdálenost dvou nukleonů v jádře atomu), která působí na všechny částice včetně neutrin. Je zprostředkovávána bosony W^+ , W^- a Z^0 . Oproti silné interakci je $10^6 \times$ slabší. Typickým příkladem působení této interakce je rozpad neutronu.

- gravitační interakce

Síla působící na všechny částice, nicméně její vliv je za běžných podmínek naprosto nevýznamný, neboť je $6 \cdot 10^{39}$ slabší než silná interakce. Stejně jako elektromagnetická interakce má nekonečný dosah a také klesá s druhou mocninou vzdálenosti. Je zprostředkovávána hypotetickým gravitonem, jehož existenci se zatím (na rozdíl od gravitačních vln) nepodařilo prokázat.

Složení hmoty – současnost

V současném vesmíru se vyskytují převážně částice tzv. 1. generace a bosony, tzv. polní částice, které jsou zodpovědné za interakci mezi částicemi (tabulka 1).

Tabulka 1. Vlastnosti¹ fermionů tzv. 1. generace a bosonů

			energie ² (MeV)	spin	náboj	leptonové číslo	baryonové číslo	interakce ³	
Fermiony	Kvarky	u (nahoru)	2,2	1/2	+2/3	0	1/3	G, E, S, W	
		d (dolů)	4,7	1/2	−1/3	0	1/3	G, E, S, W	
	Leptony	e [−] (elektron)	0,511	1/2	−1	1	0	G, E, W	
		ν _e (neutrino)	<10 ^{−7}	1/2	0	1	0	W	
Bosony		foton	0	1	0	0	0	E	
		gluony	0	1	0	0	0	0	S
		Z	91 200	1	0	0	0	0	W
		W ⁺	81 400	1	+1	0	0	0	W
		W [−]	81 400	1	−1	0	0	0	W
		H	125 000	−	0	0	0	0	−

¹ Pro antičástice ($\bar{u}$, $\bar{d}$, e^+ (pozitron), β^+ , $\bar{\nu}_e$) jsou hodnoty náboje, leptonového a baryonového čísla opačné k odpovídajícím částicím

² Klidová energie, $1 \text{ MeV} = 1,602176 \cdot 10^{-13} \text{ J} \triangleq 1,782663 \cdot 10^{-30} \text{ kg} = 0,001073544 \text{ u}$
($u = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$)

³ G: gravitační, E: elektromagnetická, S: silná, W: slabá

Pro fermiony platí Pauliho vylučovací princip, který pravděpodobně znáte ze školy, kde byl zmiňován v souvislosti s výstavbovým principem elektronového obalu, a zní: Žádné dva fermiony nemohou existovat ve stejných energetických kvantových stavech v rámci jedné částice. Tj. fermiony na stejné energetické hladině nemohou mít v jedné částici stejné spinové kvantové číslo, které pro fermiony nabývá hodnoty buď $+1/2$ nebo $-1/2$. To je například důvod, proč mohou být v jednom elektronovém orbitalu nejvýše 2 elektrony. A z tohoto důvodu bylo

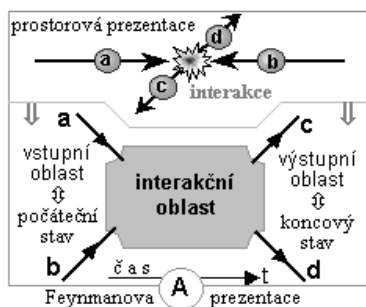
také pro kvarky zavedeno další kvantové číslo, konkrétně **barva**, která může být buď **červená**, **zelená** anebo **modrá**.

A proč vědci vybrali jako kvantové číslo zrovna barvu? Zjistili, že se baryon (mimochoodem, proton a neutron jsou také baryony) skládá ze tří valenčních kvarků. Například v baryonu uuu (třikrát kvark „nahoru“) by se mohly kvarky lišit pouze spinem, což znamená, že by alespoň dva kvarky měly stejný spin, a neplatil by tak Pauliho vylučovací princip. Zavedli proto další kvantové číslo a hledali nějakou vlastnost, která v makrosvětě nabývá tří hodnot. Zvolili barvu, protože všechny barvy lze připravit kombinací tří základních barev: červené, zelené a modré. Pro bosony, tj. částice s celočíselným spinem, naopak Pauliho vylučovací princip neplatí.

Je třeba rovněž zmínit, že se Pauliho vylučovací princip netýká pouze elementárních částic, ale všech částic. Tj. například i proton, který má spin $\frac{1}{2}$, je fermionem. Naopak α částice, tj. jádro helia ${}^4\text{He}^{2+}$, je bosonem, neboť jsou v jeho jádře spárovány jak spiny protonů, tak neutronů.

Feynmanovy diagramy¹⁴

Interakce mezi částicemi lze popsat různými způsoby, nicméně se osvědčil zápis pomocí Feynmanových diagramů zavedených v roce 1948. Diagramy znázorňují nejen reaktanty a produkty, ale i procesy, ke kterým dochází při interakci částic (obrázek 6). Rovnými plnými čarami jsou vyznačeny fermiony, přičemž šipky neznázorňují směr pohybu, ale to, zda se jedná o částici nebo antičástici. Směřuje-li šipka ve směru toku času, jedná se o částici (zleva doprava)¹⁵, v opačném případě o antičástici. Bosony (obrázek 8) jsou pak v diagramu vyznačeny vlnovkou (fotony), spirálou (gluony) anebo čárkovaně (W a Z bosony).



Obrázek 6. Prostorová a Feynmanova prezentace reakce $a + b \rightarrow c + d$

¹⁴ Obrázky a části textů jsou převzaty z <https://astronuklfyzika.cz/strana2.htm>

¹⁵ V některých případech se Feynmanovy diagramy kreslí s tokem času zdola nahoru, viz například obrázek 7.

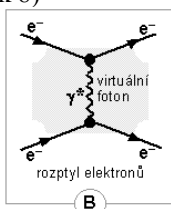
Interakční oblast reprezentuje možné procesy, které mohou nastat. Skládá se z interakčních vrcholů – průsečíků křivek reaktantů a produktů s částicemi zprostředkovávajícími interakci. V interakčních vrcholech jsou splněny **zákony zachování energie, hybnosti, elektrického náboje, leptonového i baryonového čísla**. Tj. například součet leptonových čísel reaktantů musí být roven součtu leptonových čísel částic zprostředkovávající interakci a zároveň i součtu leptonových čísel produktů. Vnitřní křivky mezi interakčními vrcholy v interakční oblasti odpovídají virtuálním částicím a nelze je jakkoli měřit nebo detekovat. Detekovat je možné jenom vystupující částice.



Obrázek 7. Interakční vrcholy pro (zleva doprava) elektromagnetickou interakci mezi elektrony (e) zprostředkovanou fotonem, silnou interakci mezi kvarky (q) zprostředkovanou gluonem (g), slabou interakci mezi kvarky (q) zprostředkovanou W a Z bosony a slabou interakci mezi leptony (l) zprostředkovanou W a Z bosony. V tomto jediném případě v tomto dílu seriálu je čas orientován zdola nahoru.

Pojďme se nyní podívat na konkrétní příklady, které nám tuto nepříliš jednoduchou problematiku pomohou osvětlit. Čas bude v následujících diagramech směřovat zleva doprava.

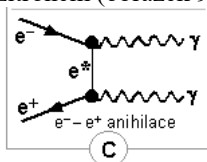
- rozptyl elektronů (obrázek 8)



Obrázek 8. Schéma pružného rozptylu dvou elektronů: $e^- + e^- \rightarrow e^- + e^-$

Náboje jsou v diagramu uvedeny jen pro upřesnění, obvykle se nepoužívají, neboť nejsou potřeba. Zda jde o elektron nebo pozitron se pozná ze směru šípky.

- anihilace elektronu s pozitronem (obrázek 9)



Obrázek 9. Schéma anihilace pozitronu a elektronu: $e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$

Tento typ anihilace je v podstatě jediný, při kterém vzniká pouze energie. Při anihilaci například protonu s antiprotonem vznikají kromě energie i částice. Tato anihilace je zajímavá i tím, že nemůže vzniknout jen jeden foton, neboť by nebyl splněn zákon zachování hmotnosti. Většinou je totiž hybnost reaktantů nulová, což má za následek, že dva vzniklé fotony se od sebe vzdalují pod úhlem 180° , tj. letí přímo od sebe. Tohoto jevu se využívá v pozitronové emisní tomografii, která bude detailně probírána ve třetím dílu letošního seriálu. Pozitron s elektronem nemusí při setkání vždy nutně anihilovat, může dojít mimo jiné k pružnému rozptylu¹⁶. V takovém případě je pak diagram analogický k obrázku 7.

Ionizující záření

Dle Atomového zákona č. 263/2016 Sb. platného od 1. 1. 2017 je ionizující záření definováno jako přenos energie v podobě částic nebo elektromagnetických vln vlnové délky nižší nebo rovnající se 100 nm s frekvencí vyšší nebo rovnající se $3 \cdot 10^{15}$ Hz, který je schopen vytvářet ionty.

Mohlo by se zdát, že se jedná o rozhodnutí nějakého úředníka¹⁷, kterému se líbilo číslo 100. Ale není tomu tak. Vlnová délka 100 nm odpovídá ca 13,6 eV, což je energie potřebná k ionizaci vodíku ve vodě. A protože jsme my, lidé, tvoření převážně z vody, jedná se o takové záření, které je schopno nám ublížit. Ionizaci vody vzniknou radikály, které mají na lidské tělo škodlivé účinky. Je potřeba podotknout, že záleží pouze na energii záření, nikoli na množství. Libovolně velká intenzita viditelného záření ionizaci nezpůsobí, naopak jeden jediný gama foton může způsobit ionizaci, která potenciálně vede ke vzniku nádoru a úmrtí. Šance je ale velmi malá.

Ionizující záření můžeme rozdělit na korpuskulární (částicové), kam spadá záření α (jádra helia, tj. ${}^4\text{He}^{2+}$), β^- (elektrony) β^+ (pozitrony), neutronové (neutrony) a na fotonové záření, kam řadíme gama záření (vzniká v jádře atomu), rentgenové záření (vzniká v elektronovém obalu) a brzdné záření (vzniká zpomalením nabitých částic, například rychle letícího elektronu v hmotě).

Druhé rozdělení ionizujícího záření je na přímo ionizující, kam spadá α , β^- , β^+ záření a na nepřímo ionizující záření, kam řadíme fotonové a neutronové záření, které způsobuje ionizaci interakcí s atomy a jádry atomů.

¹⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Bhabha_scattering

¹⁷ Je třeba podotknout, že jiné státy mají tuto hranici jinde a například v USA ji různé agentury stanovují odlišně (FCC stanovuje hranici 124 nm a EPA 38 nm).

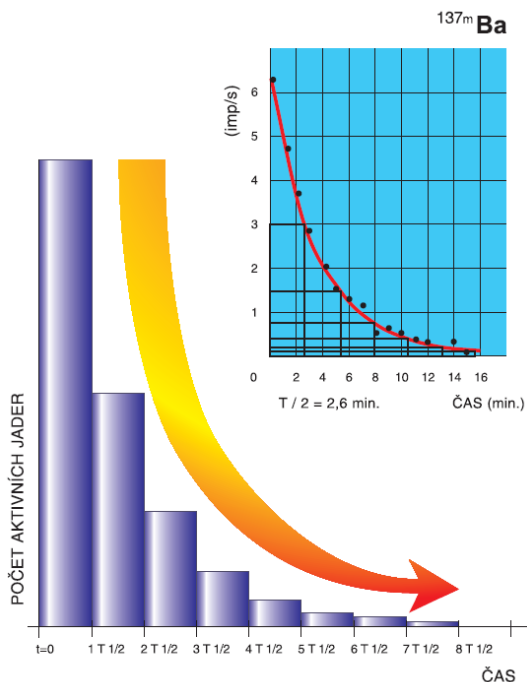
Mononukleární reakce

Poznámka na úvod: v tomto seriálu budeme používat následující značení atomů: ${}^A_ZX^{\text{valence}}$, kde A je nukleonové číslo (součet protonového (Z) a neutronového (N) čísla a X je značka daného atomu. Valenci většinou uvádět nebudeme.

V jaderných reakcích uvedených níže nejsou bilancovány náboje a valenční elektrony. V jaderných reakcích je takovýto způsob zápisu běžný, a pokud vznikne například kladně nabitý atom, většinou dojde časem k pohlcení elektronu z prostředí za vzniku elektroneutrálního atomu. Energii uvolněnou při jaderných reakcích většinou odnášejí v podobě kinetické energie vzniklé lehké částice.

Mononukleární reakce můžeme popsat kinetikou prvního řádu, což v praxi znamená, že za dobu, kterou nazveme poločas rozpadu ($T_{1/2}$), se rozpadne polovina původních jader (N_0) daného radionuklidu (obrázek 10). Obecně tedy zbyde N jader v čase t .

$$N = N_0 e^{\frac{-t \cdot \ln 2}{T_{1/2}}}$$



Obrázek 10. Schematické znázornění kinetiky prvního řádu, kterou se řídí rozpad radionuklidů

- přeměna α

Tento typ přeměny převažuje pro atomy s protonovými čísly 83-92, kdy dochází k vypuzení α částice z jádra atomu. Energie vzniklých α částic je nepřímo úměrná poločasů rozpadu. Výsledný atom má o 4 nižší atomové číslo a o 2 nižší protonové číslo.



- přeměna β^-

Tento typ přeměny převažuje pro atomy s protonovými čísly 71-82, kdy dochází k emisi elektronu z jádra atomu, který je označován jako beta minus. Výsledné jádro má stejné nukleonové číslo, ale o jedna vyšší protonové číslo.



Při této reakci vzniká kromě elektronu i antineutrino, čímž je splněn zákon zachování leptonového čísla.

- přeměna β^+

Při této přeměně dochází k emisi pozitronu, který následně anihiluje s elektronem (obrázek 9). Všimněte si, že tentokrát dochází k emisi neutrina.



- elektronový záchyt

Při této reakce dochází k vytrhnutí elektronu z elektronového obalu, nejčastěji z vnitřní vrstvy, tj. slupky K, a jeho pohlcení jádrem.

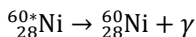
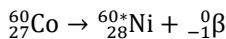


Chybějící elektron ve vnitřní slupce je nahrazen některým z elektronů z vyšší vrstvy, čímž dojde k uvolnění energie, která může být buď spotřebována na vyrazení valenčního elektronu (tzv. Augerův elektron, častější jev pro atomy s $Z < 33$) anebo se vyzáří jako foton (v tom případě se jedná o rentgenové záření, častější jev pro atomy s $Z \geq 33$).

- přeměna gama

Při přeměně gama dochází k emisi vysokoenergetických fotonů, které mohou vzniknout:

- A) deexcitací vzbuzeného jádra (označeného * u nukleonového čísla) vytvořeného předchozí jadernou reakcí (a to prakticky okamžitě za 10^{-16} až 10^{-13} s).



- B) izomerickým přechodem s měřitelnou dobou života, kdy se mění jen vnitřní energie jádra. V tomto případě se jádro označuje písmenem *m* (metastabilní) u nukleonového čísla.



Takovéto radionuklidy lze využít jako čisté gama zářiče.

V obou výše zmíněných příkladech ale může dojít i k tomu, že není přebytečná energie vyzařena ve formě gama záření, ale je přenesena na elektron (nejčastěji vnitřní ze slupky K), který je tak vyražen z atomu. Vzniklá vakance se zaplní způsobem uvedeným u elektronového zachytu, tj. buď je z atomu vyražen Augerův elektron anebo foton odpovídající rentgenovému záření.

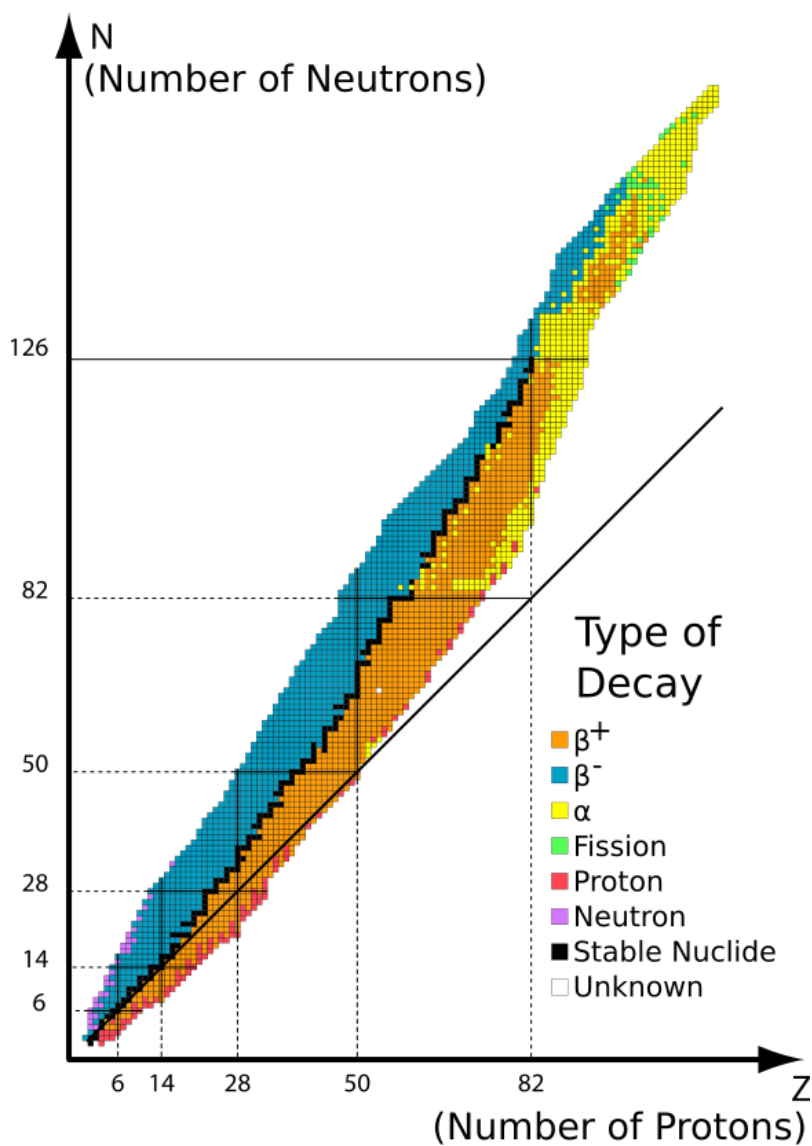
Spontánní přeměny jader

Jádra s $Z \geq 92$ mohou kromě výše uvedených přeměn podléhat i štěpení, při kterém vznikají dvě „lehká“ jádra a neutrony. Příklady jsou uvedeny v tabulce 2. Neceločíselné počty uvolněných neutronů jsou způsobeny různými možnostmi rozpadu daných jader.

Tabulka 2. Jaderné charakteristiky vybraných nuklidů

Nuklid	Poločas (rok)	Podíl štěpení na rozpadu	Počet uvolněných neutronů
${}^{235}\text{U}$	$7,04 \cdot 10^8$	$2,0 \cdot 10^{-9}$	1,86
${}^{238}\text{U}$	$4,47 \cdot 10^9$	$5,4 \cdot 10^{-7}$	2,07
${}^{239}\text{Pu}$	$2,41 \cdot 10^4$	$4,4 \cdot 10^{-12}$	2,16
${}^{240}\text{Pu}$	$6,57 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^{-8}$	2,21
${}^{250}\text{Cm}$	$6,90 \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^{-1}$	3,31
${}^{252}\text{Cf}$	2,64	$3,1 \cdot 10^{-2}$	3,73

Na závěr tohoto seriálu přikládáme obrázek 11, na kterém jsou znázorněny známé izotopy i s typy spontánní přeměny. U uměle připravených radionuklidů může docházet i k vyloučení neutronů a protonů z jádra, viz fialově a červeně označené radionuklidy.



Obrázek 11. Typ spontánní přeměny izotopů; *Fission* = štěpení

Zadání úloh 1. série 20. ročníku KSICHTu

Úloha 1: Šifrovaná III (skleněná)

(7 bodů)

Autoři: Karel Berka a Pavla Perlíková

Dnešní stav dostupnosti chemických informací, kdy stačí kliknout myši a můžeme prohlížet údaje o molekulách a reakcích nashromážděných za několik století po celém světě, je výsledkem dlouhodobého vývoje a nebyl by možný bez pokroku v pochopení chemie samotné, využití rozvoje informatiky a prudkého nárůstu možností počítačového zpracování, ukládání a přenosu dat. Ani se nechce věřit, jak pomalu to alchymii všechno začalo...



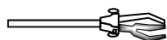
Alchymisté byli kromě šifer známi i tím, že pro své bádání používali prapodivného nádobí.

1. Jaké chemické nádobí znázorněné v ilustračním obrázku alchymisté používali k odpařování?

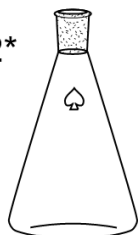
Chemické nádobí se nicméně stále vyvíjí, a tak jeho typů dnes známe mnohem víc. Na následujících obrázcích je znázorněno různorodé chemické nádobí.

2. Pomocí názvů chemického nádobí vyplňte tabulku na následující straně. Nádobí označené hvězdičkou má dvouslovný název – do křížovky uveďte přídavné jméno a první písmeno podstatného jména. U ostatních se uvádí vždy jen podstatné jméno. Písmeno CH berte jako dvě samostatná písmena.
3. Přiřaďte nádobí č. 7, 12, 14, 18 k následujícím laboratorním operacím:
 - a) titrace,
 - b) destilace,
 - c) extrakce,
 - d) filtrace.
4. V kříženích tajenky najdete devatenáct písmen. Přeskládejte co nejvíce z nich do (co nejdelších) slov či vět popisujících něco chemického. Poskládáte jich tolik, abyste v nich měli dohromady alespoň deset písmen?

1



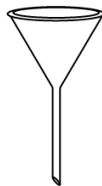
2*



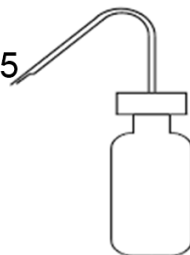
3*



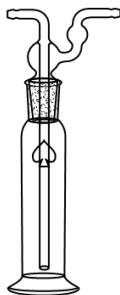
4



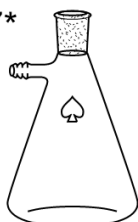
5



6



7*



8



9*



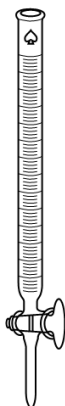
10*



11



12



13



14*



15



16*



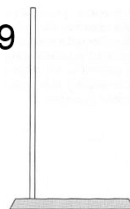
17



18

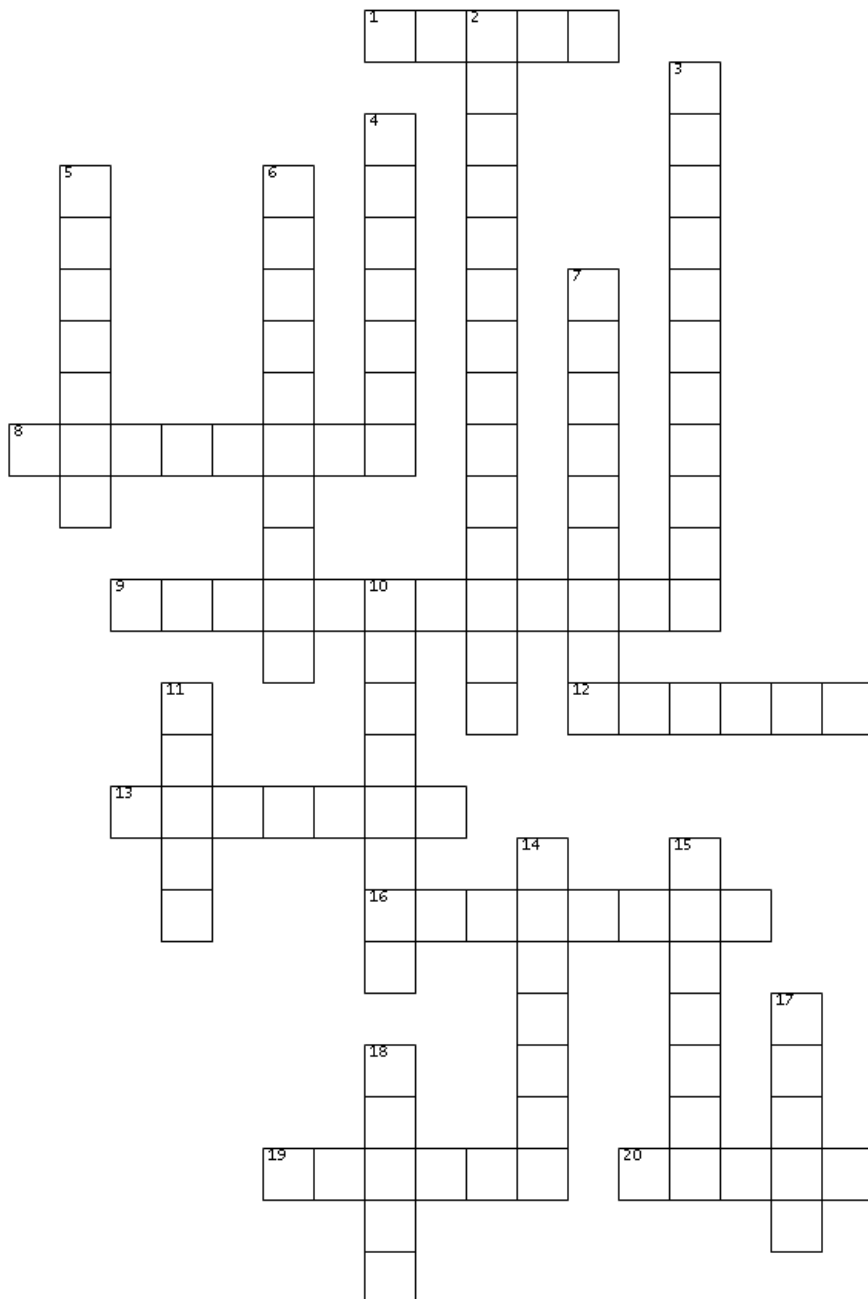


19



20





Úloha č. 2: Není PES jako pes**(9 bodů)**

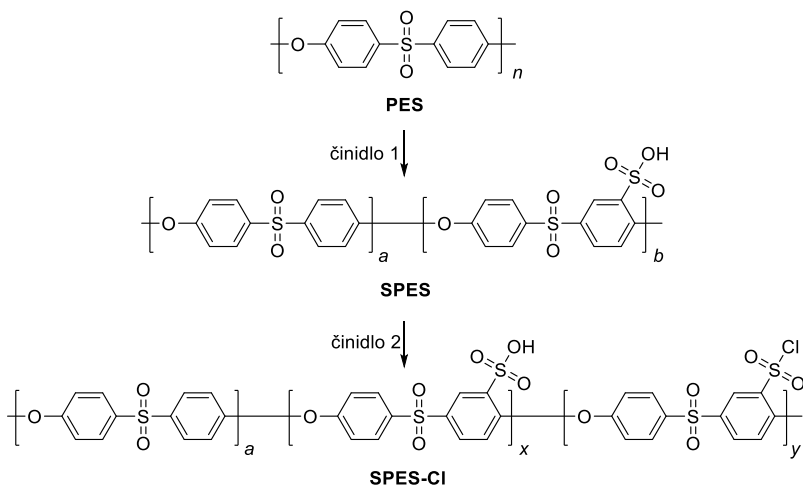
Autoři: Michal Řezanka a Pavla Perlíková



*Psa jste již jistě někdy viděli. Víte ale, co je to PES?
Možná Vám tato zkratka utkvěla nedávno v paměti jako
Protiepidemický systém ČR. Ten nás ale zajímat dnes nebude.
My se zaměříme na chemický PES.*

Zkratka PES se v chemii mimo jiné používá pro označení polymeru polyethersulfonu, který nachází využití například v membránách pro čištění vod. V uvedené aplikaci však často u membrán dochází k zarůstání povrchu membrány biofilmem (tzv. biofouling). V této úloze si ukážeme, jak lze výše uvedenému jevu zabránit.

Aby bylo možné na polymer kovalentně navázat nanočástice zabraňující růstu bakterií, je nejdříve nutné polymer derivatizovat. V prvním kroku je do struktury zavedena jako funkční skupina sulfonová kyselina, která je následně halogenována (obrázek 1). Jak už tak v organické chemii bývá, reakce neprobíhají 100%, a tak vznikají kopolymery.



Obrázek 1. Schéma modifikace PES

1. Napište vzorce čidel 1 a 2.

Za účelem charakterizace derivatizovaného polymeru byla provedena elementární analýza. Tato metoda je založena na spálení vzorku za vysoké teploty (1150 °C) v proudě kyslíku, následně kvantifikaci plyných produktů (CO₂, H₂O,

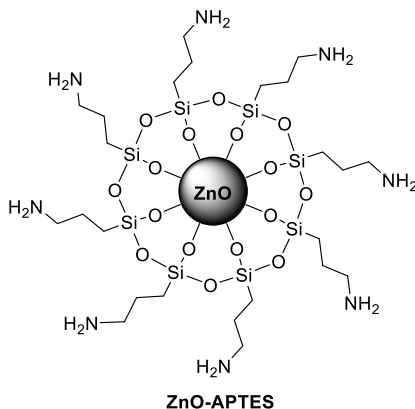
N_2 a SO_2) a přepočtu na procentuální (hmotnostní) zastoupení jednotlivých prvků ve vzorku (**tabulka 1**).

Tabulka 1. Procentuální (hmotnostní) zastoupení jednotlivých prvků ve vzorku

Vzorek	% C	% H	% N	% S
PES	?	?	?	?
SPES	58,06	3,25	0,00	15,50
SPES-Cl	57,49	3,16	0,00	15,34

- Vypočtete procentuální hmotnostní zastoupení C, H, N a S ve výchozím polymeru (**PES**).
- Vypočtete procentuální zastoupení výchozí „monomerní“ jednotky (*a*) a sulfonované „monomerní“ jednotky (*b*) v **SPES**. (tzn. $a + b = 100 \%$)
- Vysvětlete, proč je v **SPES-Cl** nižší zastoupení uhlíku než v **SPES**.

Na **SPES-Cl** byly následně sulfonamidovou vazbou navázány nanočástice ZnO s aminoskupinami na povrchu (**ZnO-APTES**), viz obrázek 2.



Obrázek 2. Struktura ZnO -APTES

- Níže uvedenými metodami (**tabulka 2**) lze prokázat, že po reakci jsou ve výsledném produktu přítomny nanočástice **ZnO-APTES** (že se například nevymyly při čistících operacích). Ke každé metodě vyberte vždy jednu z indicií ve výstupech z přístrojů, ze které by bylo možné usuzovat na přítomnost **ZnO-APTES** ve vzorku. Výsledkem tedy budou dvojice jako například 1-y nebo 2-k.

Tabulka 2. Metody pro určení přítomnosti **ZnO-APTES**.

Metoda		Popis indicie	
1	SEM-EDX	a	Ve spektru budou detekovatelné zinečnaté ionty
2	IR	b	Procentuální hmotnostní zastoupení dusíku ve vzorku nebude nulové
3	XPS	c	Topografická detekce nanočástic ZnO, popřípadě i prvková analýza Si, N či Zn
4	ss-NMR	d	Ve spektru budou patrné fragmenty ZnO-APTES
5	TGA-IR	e	Objeví se nové píky pro charakteristickou vazebnou energii prvků Si, N, Zn ve sloučeninách
6	EA	f	Zvýší se nespalitelný podíl a ve spektru plyných produktů rozkladu identifikujeme sloučeniny N
7	ICP-MS	g	Přítomnost signálů ²⁹ Si nebo nové signály ¹³ C
8	SIMS	h	Objeví se absorpční pásy vibrační vazeb Si-O-Si

6. Po potvrzení struktury finální membrány vyzkoušíme její účinnost. Membrána má velikost pórů 10-40 nm. Odpovězte, zda by touto membránou prošly v čistírně odpadních vod: a) mikroplasty; b) metabolity ibuprofenu; c) SARS-CoV-2 virus; d) *Escherichia coli*; e) inzulin. Odpověď zdůvodněte.

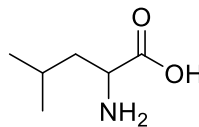
Jednou z metod, která se používá pro zjištění antibakteriální aktivity membrány, je experiment, při kterém se vzorek položí na agar s bakteriemi a zjišťuje se, jestli se pod vzorkem vytvořily kolonie bakterií a jestli se kolem vzorku případně tvoří inhibiční zóna bez bakterií.

7. Jaký charakter by měla mít inhibiční zóna kolem naší membrány, pokud chceme, aby si zachovala své antibakteriální vlastnosti co nejdéle?

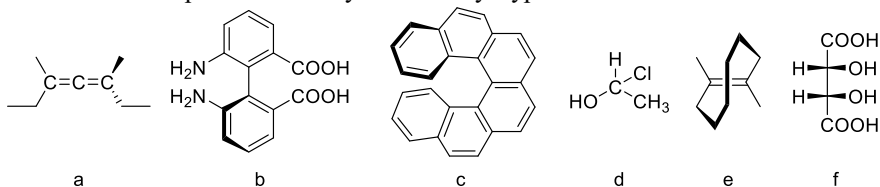
Úloha č. 3: Chirální elektroforetická separace**(10 bodů)**

Autor: Pavel Řezanka

Molekuly se shodným sumárním a konstitučním vzorcem, lišící se prostorovým uspořádáním (konfigurací) na jednom nebo více stereogenních centrech (obvykle na tzv. asymetrických uhlíkových atomech = chirálních centrech), jsou nazývány stereoizomery. Existují dvě významné třídy stereoizomerů: enantiomery a diastereoizomery. Chirální molekuly, které se k sobě mají jako zrcadlové obrazy (na všech centrech chiralitity mají opačnou konfiguraci), jsou nazývány enantiomery. Každý enantiomer z dvojice enantiomerů je chirální.¹⁸



1. Kromě asymetrických atomů zmíněných výše existují i další typy chiralit. Jde o axiální chiralitu, planární chiralitu a helicitu. Ke každé struktuře znázorněné na obrázku 1 přiřaďte některý z těchto čtyř typů.



Obrázek 1. Struktury látek s některým z typů chiralit

2. Jsou všechny molekuly uvedené na obrázku 1 chirální? Pokud ne, uveďte, které nejsou a proč tomu tak je.

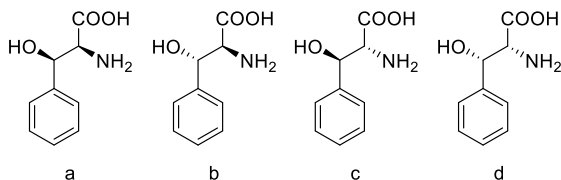
Chirální látky najdeme i mezi potravinářskými přídatnými látkami, které jsou označovány tzv. E-číslem (ččkem). E-příklad E270 je kyselina mléčná.

3. Jaké je E-číslo látky na ilustračním obrázku v úvodu úlohy? Odpovídá toto E-číslo racemické směsi (tj. stejnému zastoupení *R* a *S* derivátu), *R* derivátu a nebo *S* derivátu? Vysvětlete, proč se používá daná forma sloučeniny.
4. Látka na ilustračním obrázku se vyznačuje tím, že její *R* forma chutná sladce a její *S* forma hořce. Proč tomu tak je?

Různá chuť není jediná rozdílná vlastnost enantiomerů. Například jeden enantiomer léčiva může mít žádoucí účinky, zatímco druhý enantiomer žádné, anebo může být dokonce pro tělo škodlivý. Proto se dnes na trh uvádějí většinou už jen léčiva obsahující jen jeden z enantiomerů. Způsobů, jak získat čistý enantiomer je několik. Významnou metodou je chirální separace, kdy dojde k oddělení jednotlivých enantiomerů.

¹⁸ <http://www.hplc.cz/Chiral/index.htm>; upraveno

5. Které dvojice molekul uvedených na obrázku 2 lze od sebe odseparovat pouze chirální separací?

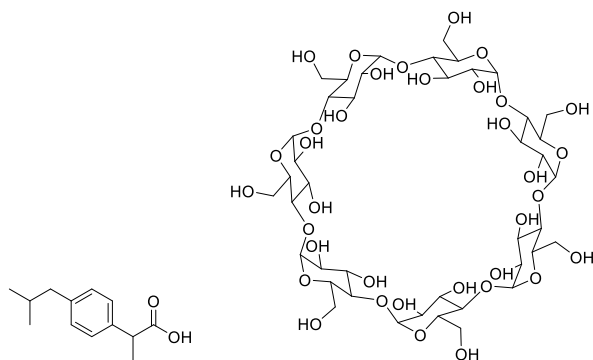


Obrázek 2. Struktury stereoizomerů

I přes veškerou snahu se může stát, že je v léčivu kromě požadovaného enantiomeru přítomen v malém množství i opačný enantiomer. V takovém případě je potřeba stanovit jeho množství, k čemuž může být využita například kapilární elektroforéza¹⁹, ve které je do systému přidáván chirální selektor (látko umožňující chirální separaci). Chirální selektor je přidáván ve formě jediného enantiomeru, což vede po interakci se směsí enantiomerů analytu ke vzniku diastereomerů²⁰, které se již liší některými svými vlastnostmi i v achirálním prostředí.

Touto vlastností může být například konstanta stability komplexu enantiomer–chirální selektor. Zastoupení volného a vázaného enantiomeru se pak bude lišit pro jednotlivé enantiomery, což vyústí v jejich rozdílné chování.

Pojďme se nyní podívat na modelový příklad, a to separaci ibuprofenu (analyt) β -cyklodextrinem (chirální selektor). Struktury těchto látek jsou uvedeny na obrázku 3.



Obrázek 3. Struktura ibuprofenu a β -cyklodextrinu

¹⁹ Podrobnosti k této metodě naleznete například v KSICHTím seriálu: <https://ksicht.natur.cuni.cz/pdf/ksicht-13-4.a5.pdf>

²⁰ Látky lišící se na alespoň jednom chirálním centru, ale ne na všech

6. Kolik asymetrických atomů uhlíku má β -cyklodextrin?

Aby byly enantiomery ibuprofenu co nejvíce separovány, je třeba zvolit vhodnou koncentraci β -cyklodextrinu, kterou označíme $[C]_{\max R}$. Tu lze vypočítat podle vztahu (1).

$$[C]_{\max R} = \sqrt{\frac{\mu_f}{\mu_C K_S K_R}} \quad [\text{mol L}^{-1}] \quad (1)$$

μ_f je elektroforetická pohyblivost²¹ analytu bez přítomnosti chirálního selektoru, μ_C je elektroforetická pohyblivost komplexu analyt–chirální selektor²², K_S je konstanta stability komplexu *S* enantiomer analytu–chirální selektor a K_R je konstanta stability komplexu *R* enantiomer analytu–chirální selektor.

Výše uvedené proměnné se získají sérií experimentů, kdy je opakovaně analyzován ibuprofen s různou koncentrací β -cyklodextrinu, a to včetně nulové koncentrace.

7. Vypočítejte hodnotu μ_f podle vztahu (2) za předpokladu, že při analýze bez přítomnosti β -cyklodextrinu byl migrační čas (*t*) ibuprofenu 12,19 minuty, vložené napětí (*U*) na kapiláru 20 kV, délka celé kapiláry (*L*) 58,5 cm a její efektivní délka (*l*) 50 cm. Výsledek uveďte v jednotkách $\text{m}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$.

$$\mu = \frac{L \cdot l}{U \cdot t} \quad (2)$$

Analýzou naměřených dat byly získány následující hodnoty: $K_S = 400$, $K_R = 350$, $\mu_C = 3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$.

8. Vypočítejte optimální koncentraci chirálního selektoru pro dosažení nejvyššího rozlišení dle vztahu (1).

Výše uvedené analýzy byly prováděny v pufru o pH 7.

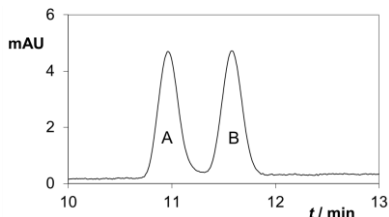
9. Napište, jaká forma ibuprofenu (neutrální nebo aniontová) je z většiny při tomto pH v roztoku zastoupena, víte-li, že $\text{p}K_A$ ibuprofenu je 4,91.10. Použijte vztah (2) pro výpočet migračního času ibuprofenu (v minutách) při velké koncentraci β -cyklodextrinu. Předpokládejte, že všechny ibuprofen bude v komplexu s β -cyklodextrinem, tj. jeho elektroforetická pohyblivost bude μ_C . Využijte výše uvedené hodnoty.

²¹ Viz KSICHTí seriál: <https://ksicht.natur.cuni.cz/pdf/ksicht-13-4.a5.pdf>

²² Předpokládá se, že se tato veličina významně neliší pro jednotlivé enantiomery, což platí pro většinu analytů.

11. Určete, který ze signálů na obrázku 4 odpovídá *R* a který *S* enantiomeru ibuprofenu. Využijte informace z předchozího textu.

Nápověda: Porovnejte migrační časy volného a vázaného ibuprofenu.



Obrázek 4. Vzorový elektroforegram se signálem²³ A a B

12. V praxi někdy signály nevypadají tak pěkně jako na obrázku 4, ale tzv. chvostují, tj. doběhová strana (pravá) klesá pomaleji než náběhová. Jaké je při chvostování signálů nejvhodnější pořadí migrace majoritně a minoritně zastoupeného enantiomeru? Tj. který by měl procházet detektorem jako první? Zdůvodněte.

Migrační časy lze ovlivnit řadou faktorů²⁴, a tak lze docílit i záměny pořadí migrace jednotlivých enantiomerů.

13. Uveďte a zdůvodněte alespoň jeden faktor elektroforetické analýzy, který povede k záměně pořadí migrace jednotlivých enantiomerů. Tj. za jakých podmínek musíme analýzu provést, aby došlo k popsanému jevu?

²³ Pokud si nejste jisti, co že je to ten signál, neboli pík, podívejte se například do seriálu <https://ksicht.natur.cuni.cz/pdf/ksicht-13-3-a5.pdf>

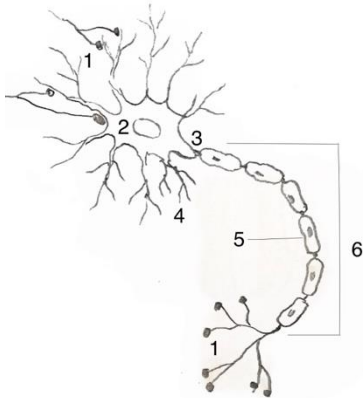
²⁴ Faktory obecně ovlivňující migrační časy mohou být například hodnota vloženého napětí, teplota a pH.

Úloha č. 4: První úloha na nervy – Neuron

(11 bodů)

Autor: Jiří „Herby“ Kysilka

Nervová soustava organismům umožňuje důmyslným způsobem reagovat na důležité informace z vnitřního i vnějšího prostředí. Je to takový náš vnitřní superpočítač, který má prsty v podstatě ve všem, co během života děláme. Jak ale tenhle superpočítač funguje na molekulární bázi? Ať vám série čtyř Úloh na nervy neleze „na nervy“, ale umožní nahlédnout přírodě pod pokličku – od samotných základů přenosu signálu až po molekulární podstatu toho, jak se vůbec můžeme učit nové věci.



Obrázek 1. Struktura neuronu

Jak takový typický neuron vypadá? Základem neuronu (obrázek 1) je (A). V (A) se, jako u jiných buněk, nachází jádro, cytoplasma s cytoskeletem a organelami. Zároveň zde neuron vyhodnocuje a sčítá signál, který přijímá prostřednictvím (B), což jsou jemné výběžky, napojené na jiné neurony. Příchozí signály mohou být excitační nebo inhibiční a v některých případech jeden neuron zpracovává klidně tisíce vstupů. Na místě zvaném (C) se potom rozhoduje, jestli pošle signál k dalším buňkám. Neuron potom signál přenáší po (D), což je jeden dlouhý výběžek, na jehož konci neuron předává signál další buňce na místě zvaném (E), kde má výběžek

kontakt s (B) nebo (A) dalších neuronů. (D) může mít délku až kolem jednoho metru. Aby byl na tak velkou vzdálenost přenos dostatečně rychlý, vytvořila příroda u obratlovců kolem (D) obal zvaný (F). Ten výrazně urychluje přenos signálu, což nejspíš přineslo obratlovcům značné evoluční výhody.

1. K písmenkům v textu přiřaďte názvy z následujícího seznamu a odpovídající čísla na obrázku:

axon, axonový hrbol, dendrity, myelinová pochva, soma, synapse

Naše nervy se někdy přirovnávají k elektrickému vedení. Jak uvidíme, tak podstata signálu přenášeného v nervech je vsutku elektrická, tam však analogie s naším elektrickým vedením také končí. Na rozdíl od kovových drátů, kde dochází k proudění elektronů, v našich nervech k žádnému podélnému přenosu náboje nedochází. Příroda u nás zvolila elegantnější řešení. Využívá takzvaného membránového potenciálu – malého napětí na buněčné membráně neuronu. Abychom pochopili, jak takové napětí na membráně vzniká, připomeneme si dva fyzikální jevy – elektrostatiku a difusi.

2. Elektrostatická síla popisuje působení mezi elektrickými náboji. Pokud v oblasti A převažuje kladný náboj a v oblasti B záporný náboj, vznikne mezi nimi elektrické pole s určitým elektrickým potenciálem. Kterým směrem se v tomto poli budou pohybovat kladné ionty a kterým směrem záporné?
3. Difusi si dovede představit každý, kdo někdy kápnul trochu barevného roztoku (například inkoustu) do vody. Barvivo se nejprve nahromadí v určité oblasti s vysokou koncentrací. Co se však stane, pokud necháme nádobu stát dostatečně dlouho (ne tak dlouho, aby úplně vyschla, vy vtipálci)? Jakým směrem se bude látka pohybovat mezi oblastí s vysokou koncentrací a oblastí s nízkou koncentrací této látky?
4. Dokázali byste jev difuze vysvětlit na mikroskopické úrovni? Vycházejte z toho, že molekuly rozpuštěné látky se v roztoku pohybují náhodným způsobem.

Nyní toto základní porozumění aplikujeme na modelový systém, který se bude čím dál více blížit reálné buňce. Představme si buňku jako prostor ohraničený buněčnou membránou. Ta odděluje vnitřek buňky – intracelulární prostor – od vnějšku buňky – extracelulárního prostoru. Základem obou prostorů je voda, v níž jsou rozpuštěné různé látky; nás teď budou zajímat především ionty. Koncentrace jednotlivých iontů se bude v obou prostorech lišit a reálná membrána bude pro různé ionty různě propustná.

5. Z jakého základního materiálu je buněčná membrána vyrobena (opomineme-li pro tuto chvíli proteiny, které jsou v ní také přítomné)?

Díky různým koncentracím a různě propustnosti membrány pro ionty vzniká na membráně určité elektrické napětí – membránový potenciál. Protože elektrické napětí je relativní veličinou, potřebujeme jej k něčemu vztáhnout – v tomto případě k extracelulárnímu prostoru. Membránový potenciál tedy udává, jak je prostor uvnitř buňky nabitý relativně vůči prostoru vně buňky.

6. Vnitřek buňky je za normálních klidových podmínek oproti vnějšku buňky nabitý záporně. Jaké znaménko tedy bude mít klidový membránový potenciál?

Velikost membránového potenciálu typického neuronu se pohybuje v řádu desítek milivoltů. K vytvoření takového potenciálu je třeba vytvořit pouze minimální vychýlení od elektrostatické rovnováhy – roztoky na obou stranách tedy zůstávají téměř elektricky neutrální. Postačí na druhou stranu membrány přesunout jeden iont ze sta tisíc. To je pro představu zhruba podobné, jako když jeden jediný rodilý Hradečák přijede do Pardubic.

Abychom opravdu pochopili, jak membránový potenciál vzniká, pojďme se nejprve podívat na situaci, kdy membránový potenciál nevzniká. Mějme membránu pro ionty zcela nepropustnou. Je-li vně i uvnitř buňky 10mM roztok KCl, je membránový potenciál nulový. Ovšem i pokud máme koncentraci KCl vně buňky 10 mM a koncentraci KCl uvnitř buňky 100 mM, bude membránový potenciál stále nulový.

7. Vysvětlete, proč je v obou výše zmíněných případech membránový potenciál nulový, i když se v druhém případě koncentrace KCl na obou stranách membrány liší.

Zatím docela nuda, že. Je na čase představit si další hráče, díky kterým začne být celá situace mnohem zajímavější – iontové kanály. Iontové kanály jsou transmembránové proteiny, které procházejí buněčnou membránou. Můžete si je představit jako soudečky zapuštěné do membrány (obrázek 2), kterými prochází pór propojující extracelulární a intracelulární prostor.



Obrázek 2. Struktura buněčné membrány s iontovým kanálem

A teď to nejzajímavější – tyto iontové kanály dokážou selektivně vybírat ion, který propustí. Jak uvidíme v dalších dílech seriálu, takovýchto iontových kanálů je celá řada a plní mnoho různých funkcí – některé se otevírají v závislosti na membránovém potenciálu, jiné po navázání určitých signálních molekul. Pojďme se na ně podívat trochu blíže. Připomeňme si, že iontové kanály jsou proteiny, což znamená, že jsou tvořeny řetězcem aminokyselin, jejichž postranní řetězce určují tvar a vlastnosti celé molekuly proteinu. Tyto postranní řetězce mohou být elektricky neutrální nebo kladně či záporně nabitě.

8. Jak byste navrhli iontový kanál, který selektivně propustí kationty, ale ne anionty?

9. Na jakém principu by bylo možné vytvořit iontový kanál, který propustí sodné kationty, ale ne draselné kationty? Postačí přibližná myšlenka, přesnější princip, který příroda využívá, se dozvíte v řešení.

Vraťme se tedy k našemu modelovému případu membrány, která odděluje extracelulární a intracelulární prostor. Až doteď byla membrána pro ionty nepropustná. Co se však stane, pokud do membrány přidáme iontové kanály selektivně propouštějící draselné ionty?

10. Pokud je koncentrace KCl vně buňky 10 mM a koncentrace KCl uvnitř buňky 100 mM, kterým směrem se budou draselné ionty pohybovat? Který fyzikální jev je za tento proces zodpovědný?

Draselné ionty se však nebudou tímto směrem pohybovat až do úplného vyrovnaní koncentrací K^+ na obou stranách membrány. Ani zdaleka. Mnohem dříve tomu zabrání jiný fyzikální jev. Vzpomeňte, že membrána je stále nepropustná pro Cl^- ionty, jejichž koncentrace tedy zůstávají stejné jako na začátku.

11. O jaký fyzikální jev jde?

Dva fyzikální jevy, které jsme dříve zmínili, tedy budou působit proti sobě, až do dosažení rovnováhy. Mírné vychýlení od elektroneutality na obou stranách membrány povede k tomu, že na povrchu membrány bude na jedné straně mírně převažovat kladný náboj a na druhé straně záporný náboj. Tak vznikne membránový potenciál. Při dané intracelulární a extracelulární koncentraci konkrétního iontu, v tomto případě draselného, tento potenciál nazýváme Nernstův potenciál pro draselný ion. A můžeme ho dokonce spočítat pomocí rovnice:

$$E(K^+) = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[K^+]_{\text{extra}}}{[K^+]_{\text{intra}}},$$

kde $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ je molární plynová konstanta, T je teplota v kelvinech, z je valence iontu, $F = 96\,485,3 \text{ C mol}^{-1}$ je Faradayova konstanta.

12. Jaký je Nernstův potenciál draselného iontu v našem modelovém případě? Koncentrace uvažujte stejné jako v předchozím případě.

Nernstův potenciál pro daný ion tedy vyjadřuje, k jakému membránovému potenciálu by se membrána dostala, pokud by byla pro daný ion propustná. Čím dále se membránový potenciál nachází od Nernstova potenciálu pro daný ion, tím silněji bude ion tažen přes membránu, pokud se otevrou jemu odpovídající kanály.

Jak to vypadá v reálném lidském neuronu? Pro pochopení většiny neurobiologických jevů nám postačí brát v potaz čtyři nejdůležitější hráče – ionty sodné, draselné, chloridové a vápenaté (tabulka 1).

Tabulka 1. Extracelulární a intracelulární koncentrace vybraných iontů spolu s jejich Nernstovým potenciálem při tělesné teplotě

Ion	Koncentrace extracelulární (mM)	Koncentrace intracelulární (mM)	Nernstův potenciál při 37 °C (mV)
K ⁺	5	100	-80
Na ⁺	145	5	+90
Cl ⁻	140	10	-70
Ca ²⁺	2	0,0002	+123

13. Pokud je klidový potenciál neuronu přibližně -70 mV, který ion bude mít největší tendenci procházet membránou v případě, že se jeho iontové kanály otevřou? Věděli byste, k čemu se tento ion v nervových buňkách využívá?
14. Možná vás zaujalo, že koncentrace draselných iontů je mnohem větší uvnitř buňky než vně buňky, zatímco s koncentrací sodných iontů se to má přesně obráceně. Náhoda? Nemyslím si. Dokázali byste zjistit, jak naše nervové buňky tento rozdíl koncentrací zajišťují? A co je pro jeho udržení třeba dodávat?

Úloha č. 5: Neutron

(8 bodů)

Autoři: Klára a Pavel Řezankovi



The properties of the penetrating radiation emitted from beryllium (and boron) when bombarded by the α -particles of polonium have been examined.

It is concluded that the radiation consists, not of quanta as hitherto supposed, but of neutrons, particles of mass 1, and charge 0.

James Chadwick (1932); The existence of a neutron; Proceedings of the Royal Society A. 136 (830): 692–708.

Zajíček Chemik odložil dočtený článek a zamyslel se: „Aha, takže James Chadwick nebyl první, kdo provedl experiment, při kterém vznikaly volné neutrony. Byl ale první, kdo provedený experiment vysvětlil a prokázal přítomnost neutronů. Jak se mu to ale povedlo?“

Část A – objev neutronu

„Nejprve nechal alfa částice vzniklé rozpadem polonia 210 dopadat na beryllium,“ začal s úvahami Zajíček.

1. Zapište jadernými reakcemi provedený experiment (viz obrázek 3 v seriálu v této brožurce), tj. alfa rozpad polonia 210 a reakce beryllia s alfa částicí.

„To by mě zajímalo,“ zamyslel se Zajíček, „jak rychlé byly neutrony, které vyletovaly z beryllia.“

2. Pomozte Zajíčkovi a vypočtete energii uvolněnou při reakci beryllia s alfa částicí. Předpokládejte, že kinetická energie reaktantů je nulová. Hmotnost alfa částice je $6,64466 \cdot 10^{-27}$ kg. Další potřebné hmotnosti naleznete v literatuře²⁵. Energii vyjádřete v megaelektronvoltech (MeV), převod z kg viz poznámka 2 pod tabulkou 1 v seriálu v této brožurce.

²⁵ <https://atom.kaeri.re.kr/nuchart/>

Předpokládejme, že se veškerá uvolněná energie přemění na kinetickou energii neutronu. Ty podle jejich kinetické energie dělíme na:

- chladné neutrony; $E < 0,002 \text{ eV}$
- tepelné neutrony; $E = 0,002\text{-}0,5 \text{ eV}$
- rezonanční neutrony; $E = 0,5\text{-}1000 \text{ eV}$
- neutrony středních energií; $E = 1\text{-}500 \text{ keV}$
- rychlé neutrony; $E = 0,5\text{-}10 \text{ MeV}$
- neutrony s vysokými energiemi; $E = 10\text{-}50 \text{ MeV}$
- neutrony s velmi vysokými energiemi; $E > 50 \text{ MeV}$

3. Do které skupiny byste zařadili neutron, jehož energii jste spočítali v otázce 2?

4. Vypočtete rychlost (v km/s) daného neutronu²⁶. Kolika % rychlosti světla tato rychlost odpovídá?

„Tak to je tedy pořádná rychlost,“ zůstal s otevřenou tlamou zírat Zajíček. Pak se ale vrátil k samotnému experimentu a začal přemýšlet, jak mohl Chadwick detekovat neutrální částice.

5. Jakým způsobem se Chadwickovi podařilo detekovat neutrony, které jsou neutrální, a tudíž nezaznamenané klasickými detektory (například ionizačními)?

Ještě jedna věc nedala Zajíčkovi spát, a to, proč neutrony neobjevili jiní vědci už dříve, resp. jak tedy interpretovali daný pokus.

6. Co míní Chadwick slovem „quanta“ zmíněným v ilustračním textu z Chadwickova článku? Tj. co podle jiných vědců vznikalo v daném experimentu?

²⁶ Relativistické efekty zanedbejte.

Část B – vlastnosti neutronu

Neutron Zajíčka tak zaujal, že si o něm začal hledat informace. Překvapilo ho, že jsou volné neutrony (tj. nevázané v jádrech atomů) nestabilní s poločasem rozpadu 10,2 min. I ponořil se do dané problematiky hlouběji a zjistil, že při rozpadu neutronu dochází k přeměně jednoho kvarku na jiný.

7. K přeměně mezi kterými kvarky dochází při rozpadu neutronu?

„Přeci se ale jen tak nemůže jedna částice přeměnit v druhou,“ přemítal Zajíček. „Pak by neplatil zákon zachování náboje a další zákony,“ pokračoval úvahami.

8. Vysvětlete Zajíčkovi, o jaký typ radioaktivní přeměny²⁷ se jedná a jaká síla²⁸ se zde projevuje na rozdíl od některých jiných radioaktivních přeměn.

Po objasnění rozpadu neutronu napadla Zajíčka otázka, proč tedy existují atomy, když je neutron nestabilní.

9. Odpovězte na Zajíčkovu otázku, tj. proč je volný neutron nestabilní částicí, ale neutron v atomech je stabilní?

Zajíčka problematika nestability neutronu tak pohltila, že začal procházet odborné publikace a v rozporu se svými vědomostmi načerpanými z různých učebnic našel informaci, že poločas rozpadu neutronu není vždy konstantní.

10. Diskutujte, jaké podmínky by musely nastat, aby byl poločas rozpadu neutronu delší než výše uvedených 10,2 minuty, tj. aby byl neutron stabilnější. Uveďte alespoň dvě rozdílné podmínky.

Nápověda: Využijte například analogii s Le Chatelierovým principem platným pro chemické reakce.

11. Neutrony s delším poločasem rozpadu skutečně existují. Kde se nacházejí?

²⁷ Viz kapitola **Mononukleární reakce** v seriálu v této brožurce.

²⁸ Viz kapitola **Bosony** v seriálu v této brožurce.

Závěrníček

Úvodní odstavec je parafrází na znělku sci-fi seriálu Krajní meze. Četl jej svým krásným hlubokým hlasem herec Radovan Lukavský.

Zkratka KSICHT nevznikla náhodou – tvůrci názvu KSICHT jsou tedy vlastně dva lidé – matematik Martin Tancer přišel s tím, že „něco by mohlo být KSICHT, je tam korespondenční seminář a CH jako chemie,“ následně po pár minutách Helena Handrková přišla se zkratkou „Korespondenční seminář inspirovaný chemickou tematikou“, kterou již důvěrně znáte. Část o tom, že jsme nejprve měli trochu pochybnosti, zda název není příliš urážející, je ovšem pravdivá.

Zajíček chemik

