



**Korespondenční Seminář Inspirovaný Chemickou Tematikou**

**Ročník 20 (2021/2022)**

**Série 4**



## **Anketa**

Milé řešitelky, milí řešitelé, jsme rádi, že se účastníte KSICHTu. Snažíme se, aby vám řešení úloh nepřineslo jen pochvalu vyučujícího chemie, protože jste řešili úlohy zrovna z jeho předmětu, ale aby vám seminář přinášel co nejvíce znalostí, možností k zamyšlení a snad i trochu zábavy. Potřebujeme proto znát váš názor. Byli bychom velmi rádi, kdybyste si našli chvílku na zodpovězení několika otázek<sup>1</sup>. Předem vám děkujeme za pomoc a přejeme vám hodně úspěchů nejen při řešení KSICHTích úloh.

## **Závěrečné KSICHTí soustředění**

Od 12. do 17. června se v Praze na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy uskuteční KSICHTí soustředění. Na programu budou přednášky z různých oblastí chemie a práce v laboratoři. Laboratorní úlohy se budeme snažit sestavit tak, aby si na své přišel jak začátečník, tak i zkušený chemik. Samozřejmě nebudou chybět ani hry na odregování. Ubytování a strava budou hrazeny. Máme kapacitu pro 30 účastníků, pokud se vás přihlásí víc, bude rozhodovat počet bodů po čtvrté sérii. Podrobnosti o soustředění vám zašleme e-mailem.

## **Prominutí přijímací zkoušky na PŘF UK**

Milé maturantky, milí maturanti, pokud chcete mít prominutou přijímací zkoušku na PŘF UK, podejte do 10. května žádost o upuštění od přijímací zkoušky. Pokud jste byli úspěšnými řešiteli v loňském roce, k žádosti přiložte kopii diplomu. Pokud máte z prvních tří sérií letošního ročníku KSICHTu víc než 50 % bodů, žádost podejte stejným způsobem, jako důvod uveďte úspěšné absolvování Korespondenčního semináře inspirovaného chemickou tematikou (KSICHT). Se studijním oddělením máme domluveno, že jim dodáme seznam letošních úspěšných řešitelů – maturantů (tj. řešitelů majících po třetí sérii alespoň 50 % bodů). Podrobnosti najdete na stránkách PŘF UK<sup>2</sup>.

## **Jarní výlet s KSICHTem**

Pokud to epidemiologická situace dovolí, KSICHTí výlet proběhne. Budeme vás včas kontaktovat s podrobnostmi.

---

<sup>1</sup> Odkaz na anketu vám bude zaslán e-mailem.

<sup>2</sup> <https://www.natur.cuni.cz/fakulta/uchazeci/bakalarske-studium/prijimaci-rizeni>

**Termín pro odeslání řešení 4. série:  
2. 5. 2022**

Elektronicky (PDF)	Papírově
<a href="http://ksicht.natur.cuni.cz/odeslani-reseni">http://ksicht.natur.cuni.cz/ odeslani-reseni</a>	<b>KSICHT</b> <b>Přírodovědecká fakulta UK</b> <b>Hlavova 2030</b> <b>128 43, Praha 2</b>

**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.<sup>3</sup> 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.

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

---

<sup>3</sup> 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.<sup>4</sup>
4. Nezkopíruješ **W'k'p<sub>e</sub>d<sub>i</sub>** českou ni anglickou ni v jazyku jiném psanou.<sup>5</sup>
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 výsledek bez výpočtu.
8. Neopíšeš nadbytek číslic z kalkulátoru svého.<sup>6</sup>
9. Nepožádáš o řešení bližního svého.
10. KSICHTí jméno důsledně šířiti budeš.

---

<sup>4</sup> 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.

<sup>5</sup> 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.

<sup>6</sup> Tzv. kalkulátorový syndrom: „Svět byl stvořen za 6,999999999942 dní.“ Toto není ani správná, ani přesná hodnota.

## Úvodníček

Drahé Ksicht'ačky, drazí Ksicht'áci,

jsme rádi, že se i v této komplikované době společně znovu setkáváme nad novou sérií. Dlouho jsem přemýšlel, jakým způsobem vám jednotlivé úlohy představit. Setkáte se tu totiž se starými známými, kteří vás provází již několikátou sérií, ale potkáte i úlohy zcela nové. Těžké je i najít společné téma, které by všechny úlohy svázalo dohromady. Každá z nich je totiž zcela osobitá a svým způsobem jedinečná. Nakonec jsem se rozhodl, že nejlepší bude se volně inspirovat pořadem O poklad Anežky České a nechat za jednotlivé úlohy mluvit jejich historické patrony: pět postav, které stojí bok po boku před vašimi zraky.

Jako první se vám představí sympatický brýlatý pán, který již od prvního pohledu naplňuje představu anglického gentlemana. Byl ostatně nositelem *Order of Merit*. Dral by se na jazyk titul Sir, ale nabídku na rytířský titul opakovaně odmítl. Pro nadšence ve vašich řadách by k jeho bezpečné identifikaci měla stačit jednoduchá informace, že jde o jediného držitele dvou Nobelových cen za chemii. Přesto ještě dodáme, že jeho životní moto by mohlo znít: Sekvenovat, sekvenovat, sekvenovat!

Přímo proti němu stojí v mnoha ohledech jeho učiněný opak. Čerstvý padesátník plný životní síly, miliardář a businessman každým coulem, který ale nezapře ani svého nerdovského ducha. Je to člověk, který vás převezme na druhou stranu kontinentu, vytvoří pro vás tunel do srdce Země i vás doslova i obrazně vynese ke hvězdám.

Uprostřed skupiny stojí sice drobná postavou, avšak přirozeně v centru pozornosti, jediná dáma. Z jejích rysů je patrné, že se s ní život nemazlil. Přesto jako by se v jejích pronikavých očích odrazil lesk dvou Nobelových cen. Je to hrdá matka dvou nových prvků i dvou neméně slavných dcer.

Trochu mimo hlavní zástup pak stojí čtvrtý z patronů. Mohli bychom ho označit za ryzího Evropana. Ač po otci Rus a po matce Ital, strávil svá studia v Ženevě studiem botaniky a následně ho osud vlácel mezi Moskvou, Varšavou, Tartu a Voroněží. I přes to, že zemřel relativně mlád, jeho barevný odkaz s námi žije dodnes.

Posledním patronem pak není osoba ve fyzickém slova smyslu, ale spíše v právnickém. Je to organizace, která podporuje nadějně české výzkumníky formou mnoha typů ocenění s vysokým finančním ohodnocením. Z našich patronů je suverénně nejmladší. Ostatně vznikla teprve v roce 2010. I tak o ní ale patrně slyšel každý vědec, který u nás bádá v oblasti přírodních a technických věd.

Věřím, že díky těmto medailonkům slavných osobností už nyní bezpečně víte, na jaká témata se můžete připravit, a my se tak můžeme opět těšit na vaše často velmi důvtipná řešení.

S přáním krásného a klidného jara,

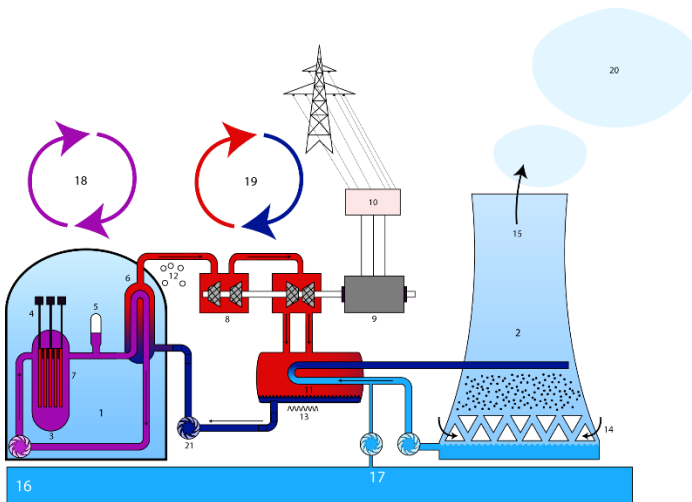
Honza Havlík

## Seriál: Radioaktivita kolem nás

Autoři: Klára a Pavel Řezankovi

### 4. díl: Jaderná elektrárna

Jaderná elektrárna je zařízení k výrobě elektrické energie z jaderné energie. Základními prvky takové elektrárny (obr. 1) jsou jaderný reaktor (č. 3), primární, sekundární a terciární (chladičí) okruh (č. 18 a 19; záleží na typu použitého reaktoru, některé starší elektrárny mají pouze primární okruh, novější pak mají sekundární a případně i terciární okruhy), parogenerátor (č. 6), parní turbíny (č. 8), elektrické generátory (č. 9) a chladičí věže (č. 2). Část jaderné energie se v jaderném reaktoru přemění na tepelnou energii, kterou chladivo v primárním okruhu odvádí ven z aktivní zóny. V parogenerátoru na rozhraní primárního a sekundárního okruhu dojde k výměně tepla mezi chladivem primárního okruhu a vodou sekundárního okruhu, která je přeměněna na páru. Její kinetická energie roztáčí parní turbínu, jejíž hřídel pohání generátor. Ten převádí točivou mechanickou energii na energii elektrickou. Pára vystupující z turbíny je v kondenzátoru přeměněna na kapalinu a míří zpět do parogenerátoru. Voda, která se takto v kondenzátoru ohřeje, může být použita k vyhřívání, nebo odchází do chladičí věže. Z chladičí věže pak odchází jen čistá pára do ovzduší (někteří lidé se mylně domnívají, že jde o komíny vypouštějící kouř, ale reálně jde o zkondenzovanou páru, tedy vlastně mlhu) a čistá teplá voda do vodního toku.

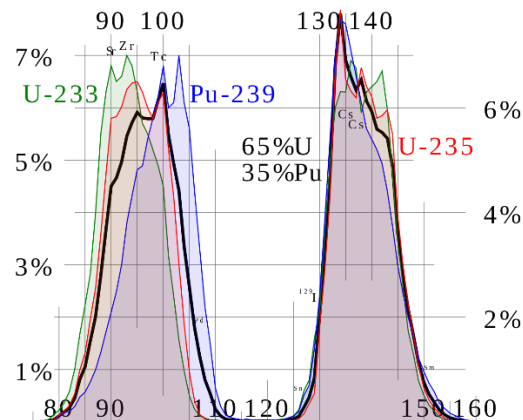


Obrázek 1. Schéma jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem (nejběžnější uspořádání). <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=351340>

Nejzajímavější částí jaderné elektrárny je jaderný reaktor. Co si ale pod tímto označením představit? Běžně pod pojmem jaderný reaktor myslíme pouze jeden jeho typ, a to **štěpný jaderný reaktor**. Ten získává energii štěpením těžkých jader, hlavně izotopů  $^{235}\text{U}$  a  $^{239}\text{Pu}$ . Druhým typem jsou **fúzní jaderné reaktory**, které energii získávají naopak slučováním lehkých jader hlavně deuteria a tritia. V tomto oboru probíhá výzkum již desítky let, ale do vyvinutí komerčního zařízení je ještě daleko. Vedou se diskuze, jestli k tomuto cíli lidstvo vůbec někdy dospěje. Třetím typem, který většinou není ani nazýván reaktorem, je **radioizotopový termoelektrický generátor**. Ten je založen na přirozeném rozpadu těžkých jader, například izotopu  $^{238}\text{Pu}$ . Pro běžnou výrobu elektrické energie sice z důvodu nízkého výkonu využíván není, ale uplatnění nachází jako dlouhodobý a bezúdržbový zdroj elektrické energie například ve vesmírných sondách.<sup>7</sup>

V tomto díle seriálu se budeme věnovat pouze štěpným jaderným reaktorům (dále jen jaderným reaktorům).

V jaderném reaktoru dochází ke štěpení jader paliva neutrony, přičemž se uvolňuje jaderná energie. Nejčastěji využívaným izotopem je  $^{235}\text{U}$ , a tak si štěpnou reakci vysvětlíme na něm. Zachycením neutronu jádrem izotopu  $^{235}\text{U}$  dojde k jeho rozštěpení. Při něm dochází ke vzniku dvou a více štěpných produktů, nejčastěji jde o jádra izotopů  $^{95}\text{Kr}$  a  $^{139}\text{Ba}$ . Tyto produkty odnášejí většinu jaderné energie ve formě energie kinetické, která se při brzdění uvnitř paliva přemění na energii tepelnou. Při štěpení jádra izotopu  $^{235}\text{U}$  může dojít ke vzniku v podstatě jakéhokoliv izotopu, který má nukleonové číslo menší než izotop  $^{235}\text{U}$  (obr. 2).



Obrázek 2. Pravděpodobnostní funkce vznikajících štěpných produktů v tepelném jaderném reaktoru pro různá paliva v závislosti na jejich nukleonovém čísle

<sup>7</sup> Viz 2. úloha ve 2. sérii 14. ročníku KSICHTu.



Kromě štěpných produktů se uvolňují nejčastěji dva až tři rychlé neutrony (se střední kinetickou energií kolem 2 MeV), které buď přímo (v rychlém reaktoru), nebo po zpomalení moderátorem (v tepelném reaktoru, většina používaných jaderných reaktorů) zajišťují štěpení dalších jader  $^{235}\text{U}$ , tedy štěpnou řetězovou reakci. Dále část jaderné energie odchází ve formě gama záření a také dochází k uvolnění neutronů.

## Konstrukce tepelného jaderného reaktoru

### Palivo

Nezákladnější součástí jaderného reaktoru je palivo (štěpitelný materiál), které bývá uloženo do *palivových tyčí* tvořících *palivové soubory* (často jsou zaměňovány pojmy palivo, palivová tyč a palivový soubor), někdy také nazývané jako *palivové kazety*. Část reaktoru, do které se umísťuje palivo, a tedy kde probíhá štěpná reakce, se nazývá *aktivní zóna*.

Palivo je využíváno buď v kovové, nebo oxidické formě (ve vývoji je i palivo ve formě nitridů nebo karbidů).

- Oxidické palivo

Častější varianta paliva, protože oxidy mají vyšší bod tání, než odpovídající kovy. Jelikož již jsou v oxidické formě, tak nemohou hořet.

Nejčastěji se používá oxid uraničitý.

Nověji se pak využívá takzvané MOX (*mixed oxide*) palivo tvořené nejčastěji směsí oxidu plutoničitého a oxidu uraničitého. Může se také použít směs oxidu plutoničitého a oxidu thoričitého, případně oxidu uraničitého a oxidu thoričitého.

MOX palivo je možné využívat v klasických lehkovodních reaktorech používajících nízkoobohacený uran, jelikož mají tato paliva obdobné vlastnosti. Obecně se ale do reaktoru nepoužije pouze MOX palivo, ale nahradí se jím až třetina paliva ze samotného oxidu uraničitého.

$\text{PuO}_2$  pro MOX palivo se získává při přepracování vyhořelého paliva z  $\text{UO}_2$ , čímž je možné snížit množství jaderného odpadu. Je možné použít také  $\text{PuO}_2$  určený pro jaderné zbraně.  $\text{UO}_2$  je ale v kombinaci s  $\text{PuO}_2$  používán buď ochuzený, nebo přírodní, ne tedy přepracovaný.

- Kovové palivo

Výhodou paliva ve formě kovů je jejich výrazně vyšší tepelná vodivost, tedy nižší pravděpodobnost jeho přehřátí. Většinou jde o slitiny, ale existuje i varianta z čistého kovového uranu. Ve slitinách s uranem bývá používán

hlíník, zirkonium, křemík, molybden nebo hydrid zirkonia. Tyto slitiny mohou být taktéž tvořeny s plutoniem, případně dalšími aktinoidy.

Zajímavé je například palivo UZrH (pro TRIGA reaktor), které má záporný teplotní koeficient reaktivity, což znamená, že s rostoucí teplotou aktivní zóny klesá jeho reaktivita. To významně snižuje možnost, že by došlo k roztavení aktivní zóny.

Palivo je možné použít jak v pevné formě, tak v kapalně formě.

- Pevné palivo

Pro komerční reaktory, ale i pro většinu výzkumných, se využívá palivo v pevné formě. Mezi jeho výhody patří mechanická odolnost a jednoduchá manipulace.

Nejčastější formou jsou peletky (obr. 3), což jsou válečky o průměru 10 až 15 mm a výšce až 15 mm. Finální tvar se liší podle výrobce. Peletky se naskládají jedna na druhou do palivové tyče.

Jinou formou je sférické palivo (velikost v řádech jednotek milimetrů), které je tvořeno několika vrstvami, které zajišťují požadované fyzikální i chemické vlastnosti. Značnou výhodou je, že jak štěpitelný materiál, tak štěpné produkty jsou uzavřeny ve velmi odolných vrstvách, což zvyšuje jadernou bezpečnost těchto paliv.

Jde například o TRISO (obr. 3) a QUADRISO palivo. Částice těchto paliv bývají volně nasypány do grafitových matic (hranoly s šestihraným průřezem nebo koule).



Obrázek 3. Palivová peleta  $\text{UO}_2$  (vlevo) a částice paliva TRISO (vpravo). Jádru TRISO částice je tvořeno  $\text{UO}_2$ , první vrstva je pyrolytický uhlík, druhá je karbid křemíku a třetí opět pyrolytický uhlík

- **Kapalné palivo**

Jde o kapaliny, ve kterých je rozpuštěno jaderné palivo.

Jednou ze zásadních výhod je schopnost kapalného paliva uvolňovat plynný xenon ( $^{135}\text{Xe}$  je neutronový jed vznikající při štěpné reakci). V pevném palivu tento plyn tvoří okluze a palivo je pak třeba častěji měnit. Reaktory s kapalným palivem tak umožňují vyšší vyhoření paliva, čímž se zvyšuje jeho účinnost a zároveň snižuje množství radioaktivního odpadu.

Značný výzkum probíhá v případě reaktorů chlazených roztavenými solemi obsahujícími rozpuštěné palivo. Další možnosti jsou reaktory s vodnými roztoky uranových solí (například síran uranylu), s kapalnými kovy nebo slitinami. Tyto reaktory však existují zatím pouze jako výzkumné o malém výkonu.

### **Moderátor**

Další zásadní součástí tepelného jaderného reaktoru je moderátor, jehož účelem je zpomalit rychlé neutrony na rychlost molekul okolí (tzv. rychlost při teplotě okolí) pomocí srážek neutronů s jádry atomů moderátoru. Většina štěpení v tepelném reaktoru totiž probíhá pomocí tzv. tepelných neutronů (energie přibližně 0,025 eV). Rychlé reaktory moderátor neobsahují, jelikož v nich většina štěpení probíhá rychlými neutrony (těchto reaktorů pro výrobu energie nebo například odsolování mořské vody je však provozováno jen pár).

Ideální moderátor by měl neutron zpomalit na rychlost při teplotě okolí hned při první srážce a neměl by neutrony absorbovat.

Nejlepšími moderátory z pohledu zpomalení první srážkou, jsou prvky, jejichž jádro má hmotnost blízkou hmotnosti neutronu. Ideálním moderátorem je tedy vodík, který ale není vhodný jak z bezpečnostních důvodů, tak proto, že jde o plyn. Velmi vhodná je tedy voda, jelikož obsahuje v molekule dva atomy vodíku a je zároveň možné ji použít jako chladivo. Další výhodou vody je, že při vysokém výkonu při havarijních podmínkách dojde k jejímu odpaření, a tím přestanou být neutrony zpomalovány a štěpná reakce se zastaví.

Z pohledu neabsorbování neutronů je výhodnější deuterium, respektive těžká voda. Ta se však díky své vysoké ceně používá jen omezeně. Její výhodou však je možnost použití paliva s přírodním zastoupením  $^{235}\text{U}$ , tedy cca 0,72%. Těžkovodní reaktor býval například blok A1 v elektrárně v Jaslovských Bohunicích. Komerčně úspěšný je kanadský těžkovodní reaktor CANDU.

Dále se jako moderátor používá grafit nebo beryllium. Grafit byl hojně využíván v minulosti (například v černobylské elektrárně). Jeho nevýhodami je, že je hořlavý a že moderuje neutrony trvale, a tedy i při havarijních podmínkách,

a štěpná reakce tak probíhá dál. Beryllium se kvůli své toxicitě a vysoké ceně nepoužívá v komerčních reaktorech.

### Řídicí tyče

Pro řízení výkonu jaderného reaktoru se využívají řídicí (absorpční) tyče. Tyto tyče obsahují absorbátor (bór, kadmium, hafnium, stříbro, indium a další prvky), tj. látku silně absorbující neutrony. Jejich zasunutím do reaktoru dojde k absorpci neutronů, a tím ke zpomalení, nebo úplnému zastavení štěpné reakce. Podle toho, k čemu jsou jednotlivé tyče používány, se dělí na regulační, kompenzační, havarijní, vyrovnávací a zónové. Navzájem se liší materiálem absorbátoru, jeho množstvím a rozložením v tyči.

- Regulační tyče

Využívají se pro průběžné upravování výkonu reaktoru s cílem udržet výkon reaktoru na zvolené hodnotě. Tyto tyče jsou ovládány automaticky na základě změn výkonu. Jejich přítomnost v reaktoru způsobuje nehomogenitu prostorového rozložení neutronového toku v aktivní zóně. Při konstrukci reaktoru je třeba toto reflektovat, většinou se využívá velké množství regulačních tyčí, což umožňuje regulaci neutronového toku tak, aby byl co nejrovnoměrnější.

- Kompenzační tyče

V průběhu času jaderné palivo vyhořívá (snižuje se množství štěpného izotopu), čímž se mění reaktivita reaktoru. Pro kompenzaci tohoto efektu jsou na začátku kampaně (po výměně jaderného paliva v reaktoru) do reaktoru zasunuty kompenzační tyče a v průběhu času jsou postupně vysouvány. Oproti regulačním tyčím je pohyb kompenzačních tyčí pozvolnější, ale zato dlouhodobý.

V tlakovodních reaktorech se spolu s kompenzačními tyčemi využívá změny koncentrace kyseliny borité (sloužící pro absorpci neutronů) v chladicí vodě. Jak postupně palivo vyhořívá, tak je cíleně snižována koncentrace kyseliny borité.

- Havarijní tyče

V případě potřeby okamžitého zastavení štěpné reakce jsou použity havarijní tyče, které jsou umístěny mimo aktivní zónu reaktoru. V případě havárie je potřeba, aby se do aktivní zóny dostaly co nejrychleji. V některých typech reaktorů jsou havarijní tyče umístěné nad aktivní zónou, kde je drží elektromagnet. To je výhodné v případě, že dojde k přerušení dodávky elektrického proudu, pak totiž havarijní tyče samovolně zapadnou do aktivní zóny. V jiných reaktorech jsou havarijní tyče naopak umístěny

zespoda reaktoru a jsou do něj v případě potřeby vstřelovány. To umožní ještě rychlejší zasunutí, a tím rychlejší zastavení štěpné reakce.

V případě kanadského reaktoru CANDU ACR-1000 je přítomen ještě další bezpečnostní systém, a to možnost vpuštění kapalného  $GdNO_3$  do moderátoru. Gadolinium patří mezi takzvané neutronové jedy, tedy velmi dobře absorbuje neutrony, čímž napomůže k velmi rychlému zastavení štěpné reakce.

- Vyrovnávací a zónové tyče

V případě velkých reaktorů, a tedy velkých aktivních zón, dochází k prostorovým oscilacím koncentrace  $^{135}Xe$ . Ten velmi dobře absorbuje neutrony, čímž způsobuje nerovnoměrný neutronový tok v reaktoru. Ke zmírnění tohoto efektu jsou využívány vyrovnávací a zónové tyče.

### Chladivo

Při štěpné reakci je část energie uvolněna ve formě tepelné energie, která zahřívá palivové soubory. Aby nedošlo k jejich poškození vlivem nadměrného zahřívání, je třeba teplo od palivových souborů odvádět. K tomu se využívá chladivo. Ohřáté chladivo se odvádí mimo aktivní zónu reaktoru, kde dochází k převodu tepelné energie na elektrickou. Podle použitého chladiva pak jednotlivé reaktory pojmenováváme (tab. 1), přičemž nejčastěji je používána lehká voda ( $H_2O$ ) a těžká voda ( $D_2O$ ), méně pak oxid uhličitý, helium, roztavené soli či olovo.

Tabulka 1. Šest základních typů komerčních jaderných reaktorů

Typ reaktoru	Stát provozovatele	Palivo	Chladivo	Moderátor
Tlakovodní (PWR)	USA, FRA, JPN, RUS, CHN	obohacený $UO_2$	voda	voda
Varný (BWR)	USA, JPN, SWE	obohacený $UO_2$	voda	voda
Těžkovodní (PHWR)	CAN, IND	přírodní $UO_2$	těžká voda	těžká voda
Plynem chlazený (AGR, Magnox)	GBR	přírodní (kovový) uran, obohacený $UO_2$	oxid uhličitý	grafit
Lehkovodní grafitový (RBMK)	RUS	obohacený $UO_2$	voda	grafit
Rychlý množivý (FBR)	RUS	MOX	tekutý sodík	není

## Reaktorová nádoba

Vnější hranici reaktoru tvoří reaktorová nádoba. Nejčastěji jde o tlakovou nádobu válcovitého tvaru s odstranitelným víkem pro výměnu paliva. Většinou je tvořena ocelí, ale například pro reaktory s grafitovým moderátorem je nutné přímo na místě postavit reaktorovou nádobu z železobetonu, jelikož ocelovou nádobu o potřebných rozměrech by bylo problematické vyrobit a přemístit na místo určení.

## První jaderný reaktor

První jaderný reaktor (obr. 4) byl postaven v roce 1942 v rámci Projektu Manhattan (tajný americký projekt na výrobu atomové bomby za 2. světové války) pod vedením Enrica Fermiho. Původně měl být postaven v laboratořích Chicagské univerzity v Argganském lese, ale nakonec byl postaven pod tribunami fotbalového stadionu Stagg Field Chicagské univerzity. Ač byla stavba přísně utajovaná, většinu fyzické práce odvedli hráči fotbalového týmu v rámci své kondiční přípravy.



Obrázek 4. Spouštění první řízené štěpné řetězové reakce – Chicagská univerzita 1942. Zdroj: Argonne National Laboratory/CORBIS

Aktivní zónu tvořily lisované koule oxidu uraničitého obstatně několika vrstvami žáruvzdorných karbonových cihel. K řízení štěpné reakce byly použity kadmiové tyče, které bylo možné do aktivní zóny ručně zasunout z boku, a podle údajů z přístroje měřícího neutronový tok tak řídit výkon reaktoru. Do středu reaktoru mohl automatický systém zasunout havarijní tyč. Pokud by automatický systém selhal, bylo možné přeseknout lano, čímž by havarijní tyč zajela do reaktoru vlastní vahou. Pokud by se nepodařilo utlumení řetězové reakce pomocí řídicích tyčí, byla ještě přímo na reaktoru skupina mužů, přezdívaná parta sebevrahů, kteří by do reaktoru ručně vlili roztok kadmiové soli.

Poprvé byl reaktor spuštěn 2. prosince 1942 dopoledne, ale záhy automatický systém spustil havarijní tyč, a zastavil tak štěpnou řetězovou reakci. Odpoledne byl experiment zopakován a tentokrát se již podařilo dosažení kritičnosti reaktoru, který produkoval tepelný výkon 0,5 W, než byla štěpná reakce opět zastavena automatickým systémem. Další experiment byl proveden až 12. prosince, kdy bylo během 35 minut provozu dosaženo tepelného výkonu 200 W. Na základě těchto experimentů byly postaveny tři jaderné reaktory za účelem výroby štěpného materiálu do jaderných zbraní.

### **Typy jaderných reaktorů**

Jaderné reaktory se podle své technické vyspělosti (zároveň odpovídající období, kdy byly navrženy a stavěny) dělí do čtyř hlavních skupin, takzvaných generací. Někdy se ještě přidávají generace s označením + (například generace III+), které označují vylepšené modely dané generace.

#### **Reaktory I. generace**

Jde o reaktory projektované v letech 1950–1960. Byly to hlavně prototypy a první typy jaderných reaktorů. V podstatě se na nich ověřovalo, jestli bude možné jaderné reaktory používat pro komerční výrobu elektrické energie.

Patří sem například britský Magnox, francouzský UNGG, či sovětský RBMK 1. generace, který pravděpodobně znáte z černobylské elektrárny. Spadá sem i reaktor KS-150 československé výroby, který byl instalován jako první jaderný reaktor v Československu v elektrárně A1 v Jaslovských Bohunicích.

Poslední z nich, Magnox 1. bloku jaderné elektrárny Wylfa ve Velké Británii, byl odstaven koncem roku 2015.

#### **Reaktory II. generace**

Projektování a výstavba těchto reaktorů byla zahájena převážně v 70. letech dvacátého století. Jejich projekty vycházely ze zkušeností s reaktory I. generace a byly vylepšeny hlavně v oblasti bezpečnosti. V současnosti vyrábí většinu elektrické energie získávané z jaderných elektráren.

Více než polovinu z nich tvoří tlakovodní reaktory PWR, potažmo VVER (ruská verze PWR). Reaktory VVER byly budované také v Československu (Dukovany, Temelín, Jaslovské Bohunice V1 a V2, Mochovce).

Dál sem spadají například varné reaktory BWR, reaktory RBMK 2. generace a kanadské těžkovodní reaktory CANDU.

Některé později vyráběné vylepšené verze těchto reaktorů se označují jako II+. generace.

### **Reaktory III. generace**

Na základě úspěšných reaktorů předchozí generace byly představeny reaktory III. generace. Hlavní ekonomickou výhodou je využití standardizovaných projektů, které výrazně snižuje dobu schvalování, ale i čas a náklady potřebné na samotnou výstavbu.

Havárie reaktorů předchozí generace (elektrárna Three Mile Island a Černobyl) způsobily zvýšení nároků na bezpečnost této generace. Důraz je kladen na pasivní bezpečnostní prvky, tedy řešení nestandardních a krizových situací probíhá automaticky, a není tak potřeba zásahu operátora. Využívá se gravitace, přirozeného proudění, případně odolnosti materiálů proti tlaku a teplotám. Konstrukce budov jaderné elektrárny musely být navrženy tak, aby odolaly pádu letadla, zemětřesení nebo třeba hurikánu. A to bez ohledu na to, jestli a jak často se dané přírodní katastrofy v dané oblasti vyskytují.

Využití nových materiálů umožnilo zvýšení životnosti samotného reaktoru (standardem je 60 let). Změnu vlastností paliva vlivem vyhořívání by měla kompenzovat přítomnost izotopů absorbujících neutrony v palivu, jejichž koncentrace se sama průběžně snižuje. To umožní delší používání paliva, a tím menší spotřebu uranu (potažmo menší nároky na přepracování vyhořelého paliva) a menší množství radioaktivního odpadu. To opět zlepšuje ekonomickou stránku projektů.

Patří sem pokročilý tlakovodní reaktor APWR, pokročilý varný reaktor ABWR, reaktor CANDU 6 a vylepšený reaktor VVER.

### **Reaktory III+. generace**

Zkušenosti z licencování a výstavby reaktorů III. generace byly využity pro plánování a stavbu reaktorů III+. generace. Jedním z velkých faktorů byly závěry z analýzy havárie jaderné elektrárny Fukušima, které ovlivnily hlavně další zvýšení odolnosti elektrárny vůči vnějším vlivům, vyšší autonomii, diverzitu bezpečnostních systémů pro řešení základních projektových nehod, vícenásobných poruch i těžkých havárií, ale i možnosti využití mobilních prostředků pro plnění bezpečnostních funkcí.

Tyto reaktory tak nabízejí v současnosti nejlepší dostupné technologie v oblasti jaderných elektráren.

Rozdělení reaktorů mezi generace III. a III+. není přesně ohraničené, a tak například u reaktoru ABWR postaveného v elektrárně Kashiwazaki-Kariwa v Japonsku není zařazení zcela jasné.

Zajímavostí je, že dva reaktory (bloky 6 a 7) tohoto typu v této elektrárně přestály velmi silné zemětřesení 16. 6. 2007, jehož intenzita byla dokonce vyšší,



než na jakou byly reaktory podle projektu odolné. Reaktory se automaticky bezpečně vypnuly a ani následně po zemětřesení nebyly zaznamenány zásadní problémy. Po seismických vylepšeních byl 7. blok restartován 19. 5. 2009, později následovaly i bloky 1, 5 a 6. Tato elektrárna se nachází na pobřeží Japonského moře, a ač nebyla zasažena zemětřesením z 11. 3. 2011, které způsobilo havárii v elektrárně Fukušima, tak byly všechny bloky odstaveny kvůli dalšímu vylepšení bezpečnosti. Aktuálně se čeká na souhlas regulátora s opětovným spuštěním bloků 6 a 7. Tomu však brání aktuální zákaz manipulace s jaderným palivem kvůli neautorizovaným přístupům do chráněných částí elektrárny.

Dalším typem reaktoru, který sem spadá, je evropský tlakovodní reaktor EPR, který byl postaven například jako třetí blok ve finské elektrárně Olkiluoto, který byl 12. 3. 2022 připojen k národní elektrické síti, a zahájil tak oficiálně dodávku elektrické energie do sítě. Stavba tohoto bloku nabrala značné zpoždění (měla dodávat energii od května 2009) hlavně kvůli problémům s dodavatelskými stavebními firmami.

Dále do této skupiny patří například ruský reaktor VVER-1200, tlakovodní reaktor AP1000 firmy Westinghouse, pokročilý tlakovodní reaktor APWR vyvíjený společně firmami Westinghouse a Mitsubishi, nebo varný lehkovodní reaktor ESBWR japonské firmy GE-Hitachi Nuclear Energy.

#### **Reaktory IV. generace**

Reaktory této generace jsou teprve ve fázi vývoje a vycházejí z nových koncepčních směrů. Oproti předchozím generacím je důraz kladen na využití rychlých neutronů a uzavřeného palivového cyklu. Tyto reaktory by měly být schopny využívat i  $^{238}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$  a měly by využít i všechny vznikající transurany, což by výrazně snížilo objem i aktivitu jaderných odpadů.

Předpokládá se, že by provoz prvních jednotek této generace mohl být spuštěn v letech 2030 až 2040 a jejich komerční využití po roce 2050.

Požadavky na reaktory nové generace se netýkají jen samotného reaktoru, ale i podpůrných provozů elektrárny a recyklace vyhořelého paliva. Velký důraz je klasicky kladen na bezpečnost reaktorů, ale také na další omezení možnosti šíření jaderných zbraní, tedy zabránění úniku štěpného materiálu v podobě vhodné pro výrobu jaderných zbraní. Dalším důležitým kritériem je ekonomika provozu jaderných elektráren a jejich konkurenceschopnost mezi ostatními zdroji.

Záměrem také je, aby nové reaktory pracovaly při vysokých teplotách, což umožní nejen co nejefektivnější výrobu elektrické energie, ale i velmi efektivní produkci vodíku pro plánované vodíkové hospodářství.

V rámci mezinárodního programu reaktorů IV. Generace bylo vybráno šest perspektivních konceptů reaktorů, které se budou dále rozvíjet:

- Reaktory s velmi vysokou teplotou, VHTR  
Plánuje se využití helia jako chladiva, grafitu jako moderátoru a jako paliva oxidu uranu. Pracovat by měly při teplotě kolem 1000 °C, což by umožňovalo využití termochemických metod pro produkci vodíku.
- Superkritické vodní reaktory, SCWR  
Jako chladivo i moderátor je v těchto reaktorech plánovaná voda v superkritické fázi a jako palivo oxid uranu. V principu jde o lehkovodní reaktor chlazený a moderovaný vodou za vysokého tlaku a teplot. Uvažuje se o teplotách 510 až 550 °C a tlaku 25 MPa. Výhodou je vyšší efektivita konverze tepelné energie (zvýšení účinnosti z 33 % na 45 %).
- Reaktory založené na roztavených solích, MSR  
Zde jsou jako palivo i chladivo plánovány roztavené soli, například fluoridy. Jde v podstatě o skupinu reaktorů, které by mohly využívat různé palivo, chladivo i spektrum neutronů. Plánují se jak varianty využívající tepelné neutrony s moderátorem (například grafit), tak i rychlé neutrony. Palivem by zde nemusel být pouze uran, ale i thorium.  
Zajímavostí je, že v České republice jsou značné zkušenosti s chemií roztavených solí.
- Rychlé reaktory chlazené plynem, GFR  
Jako chladivo je zde plánováno helium při pracovní teplotě kolem 850 °C, což opět umožní efektivní výrobu vodíku. Předpokládá se pohánění plynové turbíny přímo použitým heliem. Kromě uranu by mohly být jako palivo využívány i transurany z vyhořelého paliva.
- Rychlé reaktory chlazené sodíkem, SFR  
Dle názvu je znát, že jako chladivo je plánován tekutý sodík. Pracovní teplota se předpokládá kolem 550 °C. Jako palivo by mohl být využíván jak  $^{238}\text{U}$ , tak plutonium i další transurany buď v kovové formě, nebo jako MOX.  
Očekává se, že by z rychlých reaktorů mohl být k dispozici jako první.
- Rychlé reaktory chlazené olovem, LFR  
Ani v tomto případě chladivo nepřekvapí, jelikož jím bude kapalné olovo nebo eutektikum olovo-bismut. Palivem by mohl být jak kovový uran, tak jeho oxid či nitrid. Počítá se s pracovní teplotou 500 až 600 °C, ale mohla by být až 800 °C.

## Zadání úloh 4. série 20. ročníku KSICHTu

### Úloha č. 1: Tajní agenti, část druhá

(8 bodů)

Autorky: Terezie Páníková, Veronika Vetýšková



*Nacházíte se s Petrou v přístrojovém kamrlíku. Petra vyhodnotí, že by nebylo dobré, aby vás tu někdo viděl. Přehodí přes vás tedy laboratorní plášť. Klepání na dveře pokračuje. Petra tedy otevře dveře. Ve dveřích stojí profesor Zajíc. „Copak tady takhle pozdě večer ještě děláte, Petro?“ Petra se začne lehce červenat ve tvářích a nervózně ošívat. „Ale tak znáte to, musela jsem zopakovat některé pokusy, ale počítám, že už to budu mít brzy hotové.“ V tu ránu už se profesor vtěsňuje do kamrlíku. „Potřebuji použít vaši odstředivku. Doufám, že to nevadí?“ Pod pláštěm se krčíte víc a víc a snažíte se nevydat ani hlásku. „Petro, nevíte, co tam mám nastavit?“*

Pojďme pomoci profesorovi. Na odstředivce (centrifuze) jsou různá tlačítka, mimo jiné i RCF a RPM.

- a) Co znamenají zkratky RCF a RPM vyobrazené na centrifuze a jaký je mezi nimi rozdíl?
- b) Vypočítejte, jaké hodnoty bude ve vašem případě nabývat RCF, pokud víte, že vzdálenost místa se vzorkem od středu rotace je 10 cm a centrifuga se otáčí rychlostí 3500 otáček za minutu.

*„Děkuji, Petro. To bude pro dnešek vše. Mějte se hezky.“ Pomaličku vylézáte z plášťového obležení. Ten profesor Zajíc se vám zdá nějaký podezřelý. Co on tu dělá takhle pozdě? Ale není čas ztrácet čas. Vyloučíte z kapsy větší zkumavku a přečtete si: POZOR... Ale na co? To bude v té zprávě!*

*Máte zkumavku s DNA o její známé koncentraci. Potřebujete ji tedy přeložit do řeči aminokyselin. Jak? Pomůže nám metoda, kterou vymyslel pan Sanger již v roce 1977. Používají se na něj velikánské agaróзовé gely (stejný typ gelu jako v 6. otázce v první části úlohy). Zase želé, ale tentokrát půl metru dlouhé! Abyste mohli Sangerovo sekvenování uskutečnit, budete potřebovat TAE pufr, ve kterém bude gel „plavat“ a ze kterého se z velké části i skládá. Petra vám podá prázdnou láhev s nápisem 10× TAE.*

- a) Připravte 1 litr zásobního 10× TAE pufru pro Sangerovo sekvenování. TAE je zkratka pro Tris-base ( $M_w$  121,14 g/mol), kyselinu octovou (acetic acid) a EDTA ( $M_w$  292,24 g/mol). K dispozici máte potřebné množství ledové kyseliny octové. Složení 10× TAE je následující: 400 mM Tris-base, 200 mM kyselina octová a 10 mM EDTA. Jaké množství Tris-base a EDTA musíte navážít, abyste připravili požadovaný pufr?

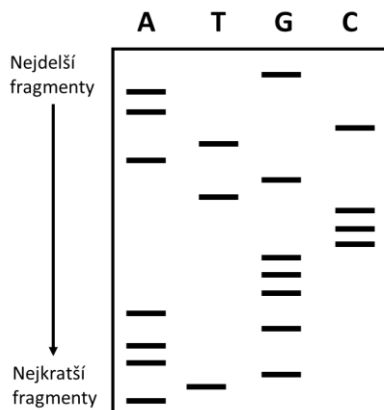
b) Jak připravíte z  $10 \times$  TAE pufru 1 litr  $1 \times$  TAE pufru?

*Petra vám vezme z ruky připravený pufr a odejde připravovat gely do jiné laborcky, protože jsou radioaktivní.*

3. a) Jak funguje původní Sangerovo sekvenování? Stručně popište nebo zakreslete schéma.

b) Zakreslete strukturním vzorcem nukleotid, který způsobí konec elongace řetězce DNA. Čím způsobí konec elongace?

4. Petra přinesla fotografii gelu po Sangerově sekvenování. Na gelu jsou zase proužky. A řekla vám, ať si sekvenci DNA zjistíte sami. Tak do toho :)



Obrázek 1. Gel po analýze Sangerovým sekvenováním.

*Nepřijde vám, že to vyhodnocování trošku trvá? Ano, trvá. Takto se to totiž dávno nedělá. Petra si z vás jenom vystřelila. Použijeme tedy automatický sekvenátor NGS na zbytek sekvence. Avšak data z úlohy 4 k zahzení nejsou, protože na začátku automaticky vyhodnocené sekvence jsou vždy nepřesnosti.*

5. a) Co se skrývá za zkratkou NGS?

b) Představte si, že vaše laboratoř vynalezla ještě novější metodu sekvenování. Jaký byste jí dali název vy? (Popusťte uzdu své fantazii!)

*„Hmmm! Hele a Petro?! Jak dlouho ten překlad vlastně trvá? Je to světelnou rychlostí? Rychlostí lenochoda, vombata nebo hlemýžďe?“ „Chvilku to potrvá. Nechceš si čas ukrátit řešením zápočtového testu z biochemky?“ „Tak jo :)“ „Pěknou zábavu. Jdu si pro kafe. Chceš taky?“*

Zkraťte si čekání na sekvenaci vypracováním 2 otázek ze zápočtového testu.

6. mRNA se do řeči proteinů překládá na ribozomech pomocí translace.
- Jaké jsou její 3 základní kroky?
  - Jaká molekula je potřeba k aktivaci aminokyseliny za vzniku aminoacyl-AMP?
  - Máte k dispozici prokaryotický a eukaryotický ribozom, ale nevíte, v jaké zkumavce je který. Jakou metodou byste mohli použít k jejich rozlišení?
7. K tomu, abyste mohli přeložit RNA do řeči proteinů, potřebujete genetický kód. Jaký je rozdíl mezi genetickým kódem člověka a dubu?

*Grrrr, grrrr, grrrr. Počítač u sekvenátoru začíná vrčet, pípat, blikat. Zahodíte zápočíták a běžíte se podívat na výsledek sekvenace.*

8. Petra vám ukáže na počítači sekvenci DNA, kterou sekvenátor přečetl. Přeložte tajnou zprávu do řeči aminokyselin (nezapomeňte přidat první část vyluštěnou z gelu):

CCCAGGTACTGCGTGCTGTGCATCGTGGAGGACATCAGCAACATCC  
ACGTGGAGAACGACAACGAGAGCGTGGAGTGCAGAGAGG

PS: Můžete to samozřejmě vyluštit ručně, ale internet je plný možností a nástrojů :).

9. Zjistěte molekulovou hmotnost řetězce DNA komplementárního k celé sekvenci ve zkumavce se zprávou. (Nepotřebujete k tomu vzorečky, ale jiné nástroje :)

*Do laboratoře vtrhne profesor Zajíc. „Petro! Co tu ještě děláte? A kdo je tohle? Pojdte oba se mnou!” Nasupeně na vás štěkne, a vám nezbyvá než ho následovat. Přivede vás do své kanceláře, kde vám už trochu uklidněný nabídne čaj. Petra přijme, ale vám je profesor pořád trochu podezřelý, a tak radši odmítnete. Pořád vám vrtá v hlavě ta zpráva. Koukáte se po místnosti a vidíte v pootevřené policičce malý balíček s nápisem SNÍH. Cože!? Sníh? Králík ve sněhu je přece jméno té tajné operace! Profesor podá Petře čaj a vám ho podává také. Vezmete si ho od něj, ale pořád vám běží mozek na plné otáčky. Petra se napije čaje a jakoby celá ztuhne! Vám vypadne hrnek z ruky...*

*Jak to bude dál? Podářilo se vám odhalit spiknutí!?*

10. Vymyslete, co asi zakódovaná věta znamená a jak příběh skončí. Odpovězte nám v zakódované zprávě pomocí nukleotidů. Výsledek uveďte jak pomocí nukleotidů, tak pomocí jednopísmenných zkratk aminokyselin.

*Naše rozuzlení zápletky se dozvíte v řešení, ale těšíme se na vaše nápady!*

## Úloha č. 2: Analogická

(15 bodů)

Autor: Jakub Krieger

*Jest pravdivé, jest jisté, jest skutečné,  
že to, co jest dole, jest jako to, co jest nahoře,  
a to, co jest nahoře, jest jako to, co jest dole,  
aby dokonány byly divy jediné věci.  
(Hermes Trismegistos, Smaragdová deska)*



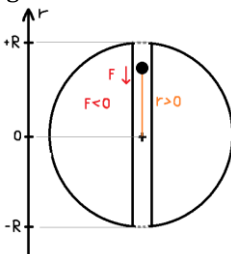
Analogie je mocný nástroj, který může sloužit k lepšímu pochopení stávajících poznatků i k pokládání nových otázek. V této úloze použijeme analogii mezi mikrosvětlem a makrosvětlem, abychom objasnili dva (dnes již sice překonané, ale stále poučné) modely atomu.

### Část A: Thomsonův model atomu

1. Thomsonův model atomu se také pojmenovává na základě analogie s jedním oblíbeným anglickým pokrmem. O který pokrm jde? Jaká je podle této analogie struktura atomu?

Modely atomu se dají potvrdit nebo vyvrátit pozorováním jejich absorpčních či emisních spekter. Pokud se predikce modelu řádově shodují s reálným spektrem, je model pravděpodobně alespoň částečně správný. Jak ovšem k této predikci dojít? Pro pochopení bude jednodušší představit si analogickou situaci „ve velkém“. A v tom nám pomůže Elon Musk.

2. Pro studium Thomsonova modelu jste se rozhodli vytvořit mechanický gravitační model. Na Vaši objednávku *Boring Company* Elona Muska vykopala tunel skrz celou zeměkouli, jak ukazuje Obrázek 1. Vy do tunelu pustíte kámen. Kámen vlivem gravitace proletí na druhou stranu zeměkoule a pak se vlivem gravitace zase vrátí. Následujícími výpočty se budete snažit zjistit, za jak dlouho. Zemi považujeme za homogenní kouli a neuvažujeme odpor vzduchu. K dispozici máte údaje: hmotnost Země  $M = 5,297 \cdot 10^{24}$  kg;  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ kg}^{-1}$ .



Obrázek 1. Na kámen ve vzdálenost  $r$  od středu Země působí síla  $F$ . Schéma je opatřeno osou, znázorněné veličiny proto mohou nabývat kladných nebo záporných hodnot.

- a) Na kámen působí gravitační síla. Napište rovnici Newtonova gravitačního zákona. Hmotnost kamene označte  $m$  (její číselnou hodnotu nebudete potřebovat).

Newtonův zákon je definován pro dvě tělesa, která se navzájem neprostupují. V našem případě tento předpoklad neplatí, a proto musíme použít následující korekci: místo hmotnosti země  $M$  použijeme efektivní hmotnost Země  $M_{ef}$ , která je definována rovnicí 1. Pokud Vás zajímá proč, odvození najdete ve studijním textu<sup>8</sup>.

$$M_{ef} = M \cdot \frac{r^3}{R^3} \quad (1)$$

kde  $r$  značí momentální vzdálenost kamene od středu Země. Tato korekce platí za předpokladu, že má Země konstantní hustotu.

- b) Přepište Newtonův gravitační zákon s užitím efektivní hmotnosti Země. Některé členy se vykrátí.

Dále pro nás bude stěžejní koncept ideální pružiny. Pro sílu působící v takovém systému platí rovnice (2):

$$F = -kr \quad (2)$$

kde  $k$  je tuhost pružiny a  $r$  je výchylka.

Všimněte si, že vzorec pro sílu, který jste získali v otázce b), je velmi podobný rovnici (2). Pohyb kamene tedy bude analogický pohybu na pružině.

- c) Na základě analogie vyjádřete tuhost pružiny systému Země-kámen. Hleďte obecné řešení (tj. vyjádřete tuhost jako funkci ostatních veličin).
- d) Protože se systém kámen-Země chová jako pružina, bude kámen periodicky oscilovat. Napište vztah mezi tuhostí ideální pružiny a periodou kmitu a vyčíslete, s jakou periodou bude kámen kmitat.
3. Teď se konečně vrátíme do mikrosvětá. Zde nás místo gravitačních sil budou zajímat síly elektrostatické.
- a) Gravitaci ale přece nikdo nevypnul! A elektrony a protony mají taky hmotnost. Jak to, že nás v mikrosvětě gravitace nezajímá?
- b) Napište rovnici Coulombova zákona elektrostatiky.
- c) Mezi Coulombovým a gravitačním zákonem je zřejmá analogie. Najděte dvě dvojice analogických veličin.
- d) Představte si, že elektron necháme padat z okraje Thomsonova atomu vodíku, naskrz přes jeho střed. Za jak dlouho se vrátí do své původní pozice?

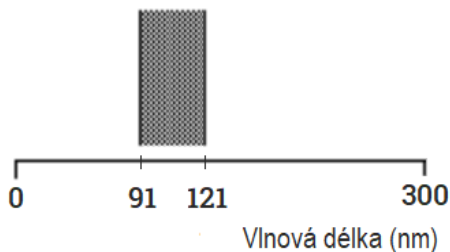
---

<sup>8</sup><https://docs.google.com/document/d/1rxWgyzfmvHGblRk-IF4ICZ0F5ZIQ4t/edit?usp=sharing&ouid=109665354165592812240&rtpof=true&sd=true>

K řešení využijte analogii s makroskopickým modelem z otázky 2 a vycházejte z analogických předpokladů. K dispozici máte údaje:  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ;  $r_H = 1,59 \text{ \AA}$ ;  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ;  $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

U mechanických oscilátorů dochází k maximální absorpci energie při kmitání přirozenou (rezonanční) frekvencí.

- e) Jakou rezonanční frekvenci bude mít tento atom? Záření o jaké vlnové délce bude pohlcovat?
- f) Porovnejte tento výsledek s absorpčním spektrem vodíku (viz obrázek 2).



Obrázek 2. Relevantní část absorpčního spektra vodíku v nízkém rozlišení. Šedý obdélník představuje oblast absorpce.

Thomsonův model atomu neobstál ve světle nových experimentálních dat. Jeden takový experiment byl Rutherfordův. Rutherford se zároveň stal otcem atomárního modelu, jenž ten Thomsonův nahradil.

### Část B: Rutherfordův model atomu

4. Stručně shrňte podstatu Rutherfordova slavného experimentu. Jaké výsledky experimentu byste očekávali, pokud by platil Thomsonův model atomu? A jaké výsledky byly pozorovány?
5. I Rutherfordův model bývá pojmenováván na základě makroskopické analogie. Jaké? Jaká je podle této analogie struktura atomu?

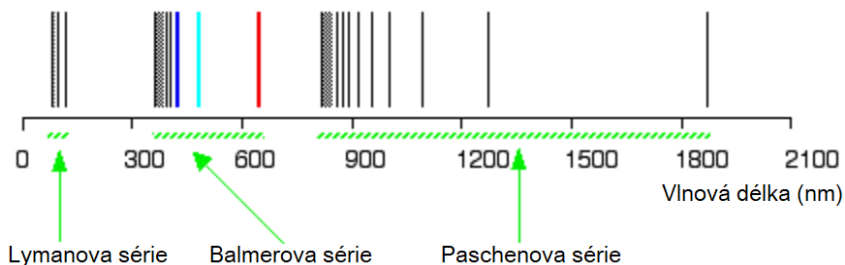
Abychom si udělali představu, jak tento model kvantifikovat, opět si vyrobíme mechanický model. Tentokrát si u Elona Muska objednáme, aby firma *SpaceX* svou raketou *Falcon Heavy* vynesla náš kámen do kosmického prostoru na oběžnou dráhu kolem Země.

6. Vypočítejte úhlovou rychlost oběhu kamene kolem Země, pokud víte, že roli *dostředivé síly* hraje *gravitační síla*. K dispozici máte údaje:  $r = 35\,800 \text{ km}$ ;  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ kg}^{-1}$ ;  $M = 5,9 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ .



7. A nyní zpět k atomu.

- Jaká síla hraje roli dostředivé síly v případě Rutherfordova modelu atomu?
- Vypočítejte úhlovou rychlost oběhu elektronu kolem jádra Rutherfordova atomu vodíku. K dispozici máte údaje:  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ;  $r_H = 0,529 \text{ \AA}$ ;  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ;  $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . Předpokládejte, že elektron obíhá po kruhové dráze ve vzdálenosti poloměru atomu vodíku.
- S jakou frekvencí bude elektron obíhat? Vypočítejte vlnovou délku absorbovaného záření, která této frekvenci odpovídá.
- Porovnejte tento výsledek s absorpčním spektrem vodíku na výše uvedeném obrázku 2.
- Nyní se podívejte na větší část absorpčního spektra vodíku ve větším rozlišení (viz obrázek 3). Jaký je hlavní rozdíl mezi výsledky obou modelů a tímto spektrem? Co způsobuje tento rozdíl?



Obrázek 3: Větší část absorpčního spektra vodíku ve vyšším rozlišení.<sup>9</sup>

Při pohledu na spektrum je jasné, že ani Rutherfordův model dlouho neobstál. Spektrum vodíku bylo víceméně vyřešeno kvantováním energie v Bohrově modelu atomu, ale ani tento model dlouho nevydržel. Nakonec v roce 1926 přišel Schrödinger s modelem atomu založeným na jeho slavné vlnové rovnici. Tento model se používá dodnes, i když pro některá velmi přesná měření je potřeba přidat další korekce odvozené z teorie relativity a kvantové teorie pole.

<sup>9</sup> zdroj:

[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General\\_Chemistry/Map%3A\\_Chemistry\\_\(Zumdahl\\_and\\_Decoste\)/07%3A\\_Atomic\\_Structure\\_and\\_Periodicity/12.03\\_The\\_Atomic\\_Spectrum\\_of\\_Hydrogen](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Map%3A_Chemistry_(Zumdahl_and_Decoste)/07%3A_Atomic_Structure_and_Periodicity/12.03_The_Atomic_Spectrum_of_Hydrogen), upraveno

### Úloha č. 3: Poloběh uranu

(9 bodů)

Autoři: Adam Jaroš a Pavel Řezanka

*Ostrřilený vlk ... tedy Zajiček se po zkušenostech s radioaktivitou cítil natolik osvěcen, že se rozhodl podívat na zoubek uranovému cyklu, aby se konečně dobral jádra věci. A čím jiným začít než těžbou uranové rudy?*



*„No jo, jenomže to bych potřeboval vědět, v jaké formě se uran v přírodě vyskytuje,“ posteskl si Zajiček.*

1. Poradte Zajičkovi a napište název nejznámějšího minerálu tvořícího uranovou rudu.

*Se získaným názvem minerálu si už Zajiček briskně našel, že ačkoliv není Česká republika právě jadernou velmocí, uranová ruda se v minulosti na našem území těžila v nemalém množství.*

2. Napište název jedné lokality (mimo níže uvedenou Stráž pod Ralskem), ve kterém se v ČR uran v minulosti těžil v hlubinných dolech.

*„Jak se ale uran z rudy získával?“ pomyslel si Zajiček a začal pátrat. Zjistil, že v minulosti se těžila uranová ruda také ve Stráži pod Ralskem, kde se do podzemních vrtů napouštěla kyselina sírová a z nich tekla rozpuštěná ruda. Rozpuštění uranové rudy kyselinou sírovou lze popsat rovnicí*



*Bohužel, pouze 0,7 % uranu v rudě je nuklid  $^{235}\text{U}$  a na další využití je třeba uran „obohacovat“, tedy zvýšit podíl  $^{235}\text{U}$ . Vzhledem k téměř identickým chemickým vlastnostem obou nuklidů je využíváno rozdílu v jejich hmotnosti. Existují dva hlavní způsoby obohacování, přičemž oba využívají plynný  $\text{UF}_6$ . Starší způsob obohacování využívá rozdílných difuzních koeficientů a je energeticky náročnější, zatímco novější způsob je postaven na centrifugaci.*

3. Popište vyčíslenou rovnicí (nebo rovnicemi), jak byste připravili  $\text{UF}_6$  z  $\text{UO}_2$ .

V jaderné elektrárně Temelín (ETE) se používají tlakovodní reaktory VVER-1000, které využívají  $\text{UO}_2$  jako palivo. Uran obsažený v palivových tyčích těchto reaktorů je obohacen tak, aby 4,25 % tvořil nuklid 235 a zbylých 95,75 % nuklid 238.

4. Kolik palivových kazet pojme reaktor VVER-1000 v ETE? Jaká je celková hmotnost paliva v reaktoru?

*„Hmm,“ zamyslel se Zajiček poté, co si našel informace o palivových tyčích, „to by mi na získání uranu pro reaktor moje zásoba kyseliny sírové nestačila.“*

5. Na základě celkové hmotnosti paliva vypočítejte minimální množství kyseliny sírové (v tunách), které byste museli napumpovat do vrtů ve Stráži pod Ralskem, abyste získali dostatečné množství nuklidu 235 pro naplnění jednoho reaktoru VVER-1000.

*„To by mě zajímalo, kolik paliva taková jaderná elektrárna spotřebuje, když přeměňuje hmotu na energii,“ pokračoval Zajiček v otázkách. Rozhodl se zjistit spotřebu jaderného paliva v jednom bloku ETE o výkonu 1000 MW.*

*Nejprve si převedl výkon jednoho bloku na energii v joulech, kterou po započtení účinnosti převedl podle slavného vztahu  $E = m \cdot c^2$  na hmotnost. „A je to,“ usmál se Zajiček a v duchu si představoval, jak velký objem to asi je.*

6. Vypočítejte i vy úbytek hmotnosti jaderného paliva (způsobeného rozpadem  $^{235}\text{U}$  na štěpné produkty) v jednom bloku ETE o elektrickém výkonu 1000 MW za jednu sekundu. Předpokládejte, že úbytek hmotnosti ( $m$ ) se přemění na energii dle vztahu  $E = m \cdot c^2$ . Získaná energie je přeměna na elektrickou energii s účinností 32 %. Výsledek uveďte v  $\mu\text{g}$ .

7. Na základě výsledku předchozí otázky vypočítejte, kolik kilogramů jaderného paliva se ve výše uvedeném bloku ETE spotřebuje za rok.

*„Tý jo, to je jak nic,“ užasl Zajiček, když zjistil hmotnostní úbytek paliva za rok. „Ale proč tam tedy jezdí čas od času celý vlak?“*

8. Vysvětlete, proč se údaj vypočtený v předchozí otázce liší od hmotnosti každoročně vyměňovaného paliva, která činí 12 tun za rok.

9. Jaký je osud jaderného paliva, které se odstraní z reaktoru?

*„Tak to pak jo, to ten vlak už dává smysl,“ mudroval Zajiček. „Do tepelné elektrárny taky jezdí vlak, ale s uhlím. A těch vlaků je ale asi víc,“ přemítal Zajiček.*

10. Jaká by byla roční spotřeba černého uhlí v tepelné elektrárně o elektrickém výkonu odpovídajícím jednomu bloku ETE, tj. 1000 MW? Předpokládejte, že výhřevnost černého uhlí je  $22 \text{ MJ kg}^{-1}$  a že účinnost přeměny energie je 42 %.

*„Uff, tolik?“ podivil se Zajiček a odhopkal pro mrkev, přeci jenom na to přemýšlení spotřeboval spoustu energie.*

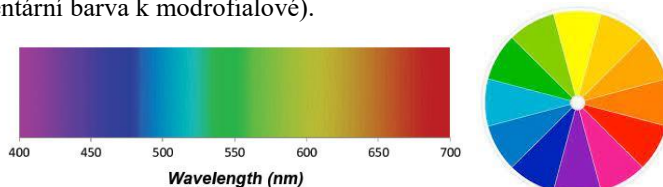
**Úloha č. 4: Antokyanová****(9 bodů)**

Autorka: Tatiana Nemirovich

*Když se podíváte kolem sebe, jistě vás nepřekvapí, že svět kolem vás je velmi barevný. Napadlo vás však někdy, jak těsně souvisí barvy věcí kolem nás s elektronovou strukturou molekul?*



Pro člověka viditelné světlo se nachází v rozmezí vlnových délek zhruba mezi 400 a 700 nm. Pokud nějaká molekula absorbuje právě v tomto rozmezí vlnových délek, je zbytek záření viditelného spektra (všechny ostatní barvy kromě absorbované) propuštěn nebo odražen a my následně vidíme barvu komplementární k barvě pohlceného záření (kotouč na Obrázku 1). Pokud například když nějaká látka absorbuje při 450 nm (modrofialová barva), tak bude pro nás žlutá (komplementární barva k modrofialové).



Obrázek 1. Barvy viditelného světla a komplementární barvy

Pro základní organické molekuly existuje jednoduché pravidlo, na základě kterého lze předpovědět jejich barevnost. Molekuly, které neobsahují násobné vazby, absorbují krátké vlnové délky (pod 200 nm), a čím větší má molekula konjugovaný systém, tím delší vlnové délky absorbuje<sup>10</sup>.

1. Aplikujte toto pravidlo a přiřaďte následujícím 5 molekulám vlnové délky nejsilnějšího absorpčního pásu: benzen, ethylen, naftalen, tetracen, tetrafenylporfyrin (165, 200, 280, 550, 630 nm).

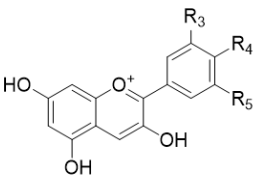
Látka, které absorbují ve viditelné oblasti, je nepřeborné množství – rostliny jsou zelené kvůli chlorofylu, mrkev je oranžová kvůli karotenům, ...

2. Napište tři pigmenty (nezmíněné v této úloze), které můžeme potkat v běžném životě – ve vašem těle, v přírodě, v jídle, ve věcech kolem vás. Jakou barvu mají? Na základě jejich barvy napište, v jakém rozmezí vlnových délek tyto látky absorbují.

<sup>10</sup> Většinou mohou molekuly absorbovat více než jednu vlnovou délku záření. Chemiky typicky zajímá nejdelší absorbovaná vlnová délka, jelikož nejčastěji odpovídá energetickému rozdílu mezi nejvyšším obsazeným molekulovým orbitalem a nejnižším neobsazeným.

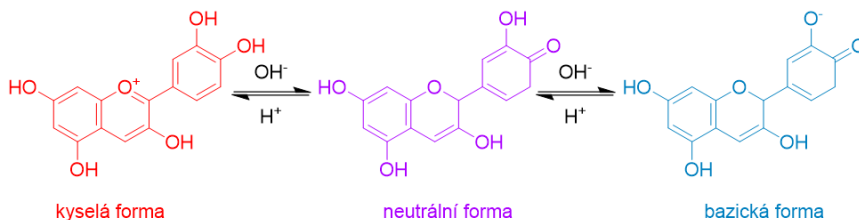
Jednou z běžných skupin rostlinných pigmentů jsou antokyany. Jsou to látky odvozené od flavinového kationu obsahující poměrně velký konjugovaný systém. V současné době je známo 23 různých rostlinných antokyanů, z čehož mezi nejvíce zastoupené jich patří šest: pelargonidin, cyanidin, peonidin, delphinidin, malvidin, a petunidin. Struktury těchto šesti antokyanů jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1. Struktura a barvy šesti přírodních antokyanů

	Antokyan	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	Barva
	Pelargonidin	-H	-OH	-OCH <sub>3</sub>	
Cyanidin	-OH	-OH	-H		
Peonidin	-OCH <sub>3</sub>	-OH	-H		
Delphinidin	-OH	-OH	-OH		
Petunidin	-OH	-OH	-OCH <sub>3</sub>		
Malvidin	-OCH <sub>3</sub>	-OH	-OCH <sub>3</sub>		

Pozn.: barvy odpovídají slabě kyselému pH a tedy formě, ve které se antokyany vyskytují v přírodě ve většině rostlin.

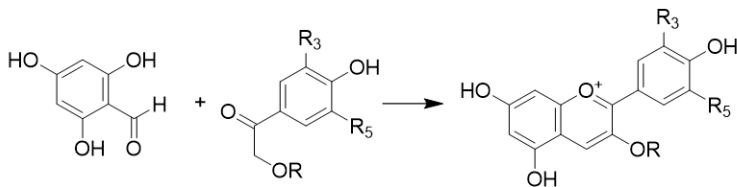
Antokyany často fungují jako přírodní indikátory, jelikož jejich struktura (a tudíž i barva) se mění v závislosti na pH. Například cyanidin je červený za nízkého pH (pH < 4), fialový v neutrálním roztoku (pH 7–8) a modrý v zásadách (pH > 10) – viz obrázek 2.



Obrázek 2. Závislost struktury a barvy cyanidinu na pH

3. Určete, v jaké formě se bude převážně nacházet cyanidin v roztoku mýdla, v černém čaji, v Coca-Cole a v čerstvé pomerančové šťávě, a jakou barvu tato forma má. Svou odpověď zdůvodněte.

Většinou se přírodní látky izolují přímo z přírodních surovin, někdy je však užitečné umět je připravit i v laboratoři. Jeden ze způsobů laboratorní syntézy antokyanů představuje kombinace aldolové kondenzace a následné nukleofilní adice alkoholu na karbonyl (obrázek 3).



Obrázek 3. Laboratorní způsob přípravy antokyanů

Zaměříme se pouze na první, jednodušší část tohoto mechanismu – aldolovou kondenzaci.

- Nakreslete produkt aldolové kondenzace dvou výchozích látek uvedených na obrázku 3.

Představte si nyní, že máte v laboratoři vzorky peonidinu a malvidinu. Bohužel však došlo k odlepení štítků od vialek, ve kterých se tyto látky nacházely. Obě látky jsou podobně fialové, a proto je nelze odlišit na základě jejich barvy. Můžete však využít charakteristickou reakci etherů s minerálními kyselinami.

- Které kyseliny můžete pro tuto reakci použít? Jakým způsobem od sebe odlišíte peonidin a malvidin?

Během řešení předchozí otázky jsme si všimli, že hodně antokyanů se liší přítomností buď hydroxylové, nebo methyletherové skupiny. Kdybychom chtěli připravit peonidin z cyanidinu, museli bychom provést přeměnu hydroxylové skupiny na methoxy skupinu.

- Jakým způsobem lze v laboratoři přeměnit alkohol na methyl ether? Napište obecný příklad této reakce. Jaký má tato reakce název?

Ted' už sice víme, jakým způsobem lze alkohol na methylether převést, ale v praxi se nám bude připravovat peonidin z cyanidinu docela obtížně.

- Proč by se nám peonidin z cyanidinu připravoval obtížně? Jaký produkt bychom získali s použitím stejného postupu jako v otázce 6?

Příroda si však dokázala poradit i s tímto problémem. Většina biochemických reakcí v živých organismech probíhá selektivně, účinně a s vysokými výtěžky.

- Napište, jaký „trik“ je využíván v živé přírodě. Stručně vysvětlete obecný princip jeho fungování.

I když se může zdát, že příroda je všemocná a dokáže provést jakoukoliv transformaci, neplatí to vždy. Oranžová, růžová a fialová barvy se vyskytují v rostlinách docela často (tabulka 1). Modrá barva (způsobená antokyanem delphinidinem) je však v rostlinách vzácnější. Důvodem k tomu je skutečnost, že ve většině rostlin není přítomen enzym (flavonoid 3',5'-hydroxyláza), který je

klíčový pro biosyntézu delphinidinu z přírodních prekurzorů. Když delphinidin nemůže být syntetizován, rostlina nemůže mít modré květy.

9. Navrhnete alternativní (klidně i ne úplně vážný) způsob, jak byste připravili modré růže z růže obyčejné. Tři nejkreativnější nápady dostanou ocenění.

V roce 2007 se nicméně objevil vědecký způsob, jak lze získat „přírodní“ modré růže. Japonským vědcům se podařilo pomocí genového inženýrství vložit do růže gen  $F3'5'H$ , který kóduje vznik onoho chybějícího enzymu flavonoid 3',5'-hydroxylázy. Jakmile byl tento enzym v rostlině přítomný, spustila se biosyntéza delphinidinu a vypěstovaný květ byl modrý.

10. Napište tři další aplikace genového inženýrství v současné době.

## Úloha č. 5: Čtvrtá úloha na nervy – Kouzlo receptorů

(11 bodů)

Autor: Jiří „Herby“ Kysilka

*„Neuroplasticita“ – něco na tom slově Jeremyho už nějakou dobu přitahovalo. Naše nervová síť se neustále mění pod vlivem zkušeností a prožitků. Jak to ale funguje? Jeremy našel fascinující článek pojednávající o souběžné funkci AMPA receptorů a NMDA receptorů, které oba fungují jako iontové kanály. V tom mu svítilo – ještě před pár měsíci vůbec netušil, co to iontový kanál je. Teď si čte o různých typech kanálů a bez problémů tomu rozumí. Před nedávnem ho tyhle několikapísmenné zkratky děsily a dokázal si pod nimi představit snad jen nějaké extremistické politické strany, teď už v něm takovou paniku nevyvolávají. To je přece jasný důkaz toho, že se v jeho mozku něco muselo nenávratně změnit! Co to asi bylo? Pojďme s ním do tohoto tématu alespoň nahlédnout!*



Jak už víte, tak právě teď při čtení těchto řádků ve vaší nervové soustavě probíhá bouřlivá elektrická aktivita. Neurony si mezi sebou posílají spousty elektrických signálů spojených se současným prožitkem: zrak zpracovává slova, která čtete, souběžně s tím se vytvářejí různé asociace ohledně toho, co by to mohlo znamenat. Jiné části mozku přitom udržují současnou polohu těla, monitorují vnitřní pocity a zvažují, jestli je právě teď dobrý čas pustit se do řešení, nebo jestli by nebylo lepší si předtím dát ještě něco malého k jídlu. V síti neuronů to vypadá jako proměnlivá elektrická aktivita odpovídající různým výpočtům, které právě teď mozek provádí. Tuto elektrickou aktivitu spojenou se současným prožíváním si můžeme představit jako takové vlnky na řece – neustále se mění a vlnky, které tu byly před pár sekundami, jsou nenávratně pryč.

Nicméně kdokoli, kdo kdy viděl řeku zarytou ve skalnatém kaňonu, ví, že tohle je jen polovina pravdy. Když někde voda teče dostatečně dlouho, zanechává za sebou trvalou stopu a vytváří koryto, které potom vede další vodu. Podobně i naše současné prožitky zanechávají trvalé stopy na naší nervové síti, takže to, co jsme až doposud prožili, ovlivňuje nervovou aktivitu v přítomnosti. Jinými slovy – naše síť neuronů má schopnost učit se ze zkušenosti.

Jak nervová soustava zvládá provádět takhle širokou škálu dějů – od okamžitých bleskurychlých reakcí v řádu milisekund po dlouhodobé změny, které zajistí, že si některé věci dokážeme zapamatovat po zbytek života?

Odpověď na tuhle otázku se skrývá v tom, jak neurony reagují na signál přijatý od jiných neuronů, za což jsou odpovědné receptory na membráně přijímajícího



neuronu. Právě pestrost těchto receptorů zprostředkovává širokou škálu reakcí, od okamžitých výkyvů po trvalé změny. V posledním díle Úlohy na nervy se seznámíme se dvěma skupinami receptorů – **ionotropními receptory**, které odpovídají rychlé elektrické aktivitě spojené s přítomným prožitkem (s vlnkami na řece), a **metabotropními receptory**, které mají na starost realizaci dlouhodobých změn nervové sítě (vytváření koryta).

Pojďme se podívat na základní rozdíly mezi těmito dvěma skupinami receptorů, které, jak už sám jejich název napovídá, mají rozdílné mechanismy působení.

1. Přiřaďte následující charakteristiky ionotropním nebo metabotropním receptorům.
1. Dělí se na dva typy – excitační a inhibiční.
2. Způsobují okamžitou změnu membránového napětí.
3. Jsou to receptory spřažené s G-proteiny.
4. Jsou to ligandem řízené iontové kanály.
5. Mohou vést k trvalé změně vnitřní biochemie buňky – například k aktivaci různých enzymů.
6. Jejich aktivace může způsobit syntézu nových proteinů v jádru neuronu.

Ionotropní receptory souvisí s rychlou elektrickou aktivitou neuronů. Pojďme se podívat na příklad dvou ionotropních receptorů, které se nacházejí v naší centrální nervové soustavě. Připomeňme si typické koncentrace jednotlivých iontů v extracelulárním a intracelulárním prostoru. Vzpomeňme si také, že klidový membránový potenciál je záporný, přibližně  $-70$  mV, takže vnitřek buňky je oproti vnějšímu prostředí záporně nabitý.

Tabulka 1. Typické koncentrace významných iontů v extracelulárním a intracelulárním prostoru

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

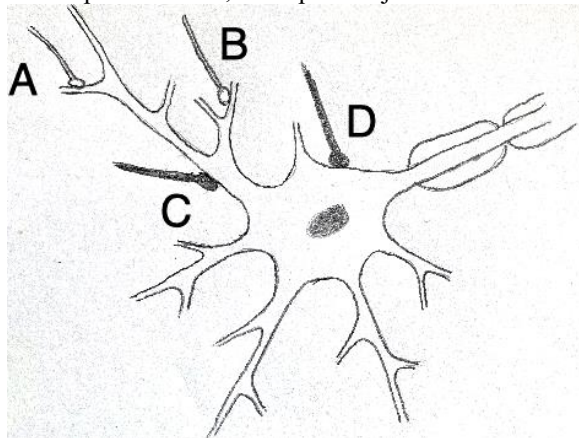
Receptor 1 se nachází na dendritickém trnu. Po navázání neurotransmiteru, který je jednou z 20 základních aminokyselin, se otevře jeho iontový kanál, který je promiskuitním iontovým kanálem pro sodné a draselné ionty.

2. Identifikujte neurotransmiter, který aktivuje receptor 1. Co se po jeho navázání a otevření kanálu bude dít s koncentracemi iontů? Jaký bude potom celkový vliv na membránový potenciál? Vysvětlete.

Receptor 2 se nachází obvykle na hlavní větvi dendritického stromu nebo na samotném somatu neuronu. Po navázání neurotransmiteru, který je aminoderivátem karboxylové kyseliny známé pro svůj odporný zápach, se otevře iontový kanál selektivní pro chloridové ionty.

3. Identifikujte neurotransmiter, který aktivuje receptor 2. Co se po jeho navázání a otevření kanálu bude dít s koncentracemi iontů? Jaký bude potom celkový vliv na membránový potenciál? Jaký význam budou tyto změny mít pro vytvoření dalšího excitačního potenciálu? Vysvětlete.

Průměrný neuron v centrální nervové soustavě neustále přijímá a zpracovává signály až od tisíce jiných neuronů. Tyto signály sčítá v prostoru a čase a výsledkem je rozhodnutí, zda v daný okamžik vyslat nebo nevyslat akční potenciál. Na membráně dendritů nejsou přítomné napěťově řízené kanály jako na axonu, takže signál se tam šíří pouze pasivně a jeho intenzita klesá se vzdáleností. Místem, kde se rozhoduje, jestli signál vyslat nebo ne, je axonový hrbol – místo, kde axon vychází ze somatu. Můžeme si to představit jako takové hlasování. Na dendritický strom a na soma neuronu jsou na různých místech synapsemi napojené různé neurony. Některé z nich hlasují pro, jiné proti. Jeden hlas, tedy excitační signál z jedné synapse, obvykle není dost silný na to, aby vyvolal akční potenciál – většinou musí dojít k souběhu. Hlasování navíc není rovnocenné jako v našem parlamentu – na základě umístění na dendritickém stromu mají některé hlasy větší váhu než jiné. Některé neurony pak mají jakési právo veta, mohou návrh zamítnout, i když mnoho jiných neuronů hlasuje pro. Asi si dokážete představit, že takovéhle uspořádání může být dobrým základem pro dosti komplexní výpočty, které náš mozek neustále provádí. Typickým výstupem takového neuronu je tedy pulzace akčních potenciálů v průběhu času, které předávají informace dalším neuronům.



Obrázek 1. Excitační a inhibiční synapse na dendritickém stromu neuronu

Na obrázku 1 vidíte schéma dendritického stromu neuronu se čtyřmi synapsemi. Synapse A a B jsou excitační, synapse C a D jsou inhibiční.

4. Za předpokladu, že by synapse A a B měly stejnou sílu, to jest vyvolaly stejně velký excitační signál, která z nich bude mít větší podíl na vzniku případného akčního potenciálu? Vysvětlete.
5. Jaký efekt vyvolá inhibiční signál na synapsi C? Jaký efekt vyvolá inhibiční signál na synapsi D?

Síť našich neuronů neustále komunikuje pomocí podobných excitačních a inhibičních signálů, kdy pod vlivem přítomného prožitku (smyslové vjemy, pocity, myšlenky) neustále proudí různé ionty z jedné strany membrány na druhou. Nicméně fakt, že čtete tato slova a rozumíte jim, je důkazem toho, že nejste jen nepopsaným listem, ale také vás utvářejí všechny vaše dosavadní zkušenosti. Naše minulé zkušenosti ovlivňují naše současné vnímání a chování. Jinými slovy – naše nervová síť má svou paměť a dokáže se učit. Jaký má tohle molekulární základ?

Schopnost nervové soustavy měnit se na základě zkušenosti se nazývá neuroplasticita. Za neuroplasticitu je zodpovědná celá řada jevů. Dnes už víme, že po celý život v naší nervové soustavě mohou probíhat strukturální změny – růst nových neuronů, vytváření nových synapsí, ale samozřejmě i jejich zánik. Za značnou část neuroplasticity však nesou odpovědnost nestructurální změny, při kterých nedochází k růstu nových buněk nebo spojují mezi nimi, ale k obměně existujících buněk a synapsí. Hlavním mechanismem je změna síly neboli efektivity synapsí. Čím je synapse silnější, tím větší efekt vyvolá na postsynaptické buňce.

6. Navrhněte tři různé mechanismy, které by mohly vést k zvětšení síly synapse. Vzpomeňte si na to, jak přenos signálu mezi presynaptickou a postsynaptickou buňkou funguje, a nezapomeňte na to, že metabotropní receptory dokážou všemožným způsobem obměnit samotnou vnitřní biochemii neuronu na mnoha různých rovinách. Vámi navržené mechanismy mohou a nemusí odpovídat biologické realitě, měly by však odpovídat biologické logice (to znamená žádní Alza mimozemšťáci, kteří políbí každý neurotransmiter a tím ztisícinásobí jeho účinnost).

Neuroplasticita je v dnešní době žhavým tématem a mechanismů, kterými se síla synapsí mění, je opravdu mnoho. Pojdme na závěr našeho nervového putování blíže prozkoumat jeden z nich, který je molekulární podstatou známého Hebbova zákona. Ten tvrdí, že pokud jsou dva neurony aktivní přibližně ve stejnou dobu, jejich spojení se posílí. Anglicky je to známé „*fire together – wire together*“. V praxi to znamená, že pokud například při pohledu na vás zrovna náhodou cítím nějaký příjemný pocit, je pravděpodobnější, že příště už ve mně pohled na vás tento pocit vyvolá automaticky. Takto naše nervová soustava vytváří asociace.

Jak to molekulárně funguje? Právě o tom si náš zvědavý chemik Jeremy četl v článku, který se mu ovšem podařilo ztratit.

Článek byl o tom, jak presynaptický neuron pomocí neurotransmiteru glutamátu předává signál postsynaptickému neuronu. Trik byl v tom, že na postsynaptické membráně se vyskytují dva odlišné typy glutamátových receptorů – AMPA a NMDA. Význam zkratk si už Jeremy nepamatuje, ale pamatuje si, že nebyly důležité, byly to jen názvy nějakých molekul podobných glutamátu, které také daný receptor aktivovaly.

Z dalších faktů už si Jeremy pamatuje opravdu jen útržky:

- Pro aktivaci NMDA receptoru nestačí pouze navázání glutamátu, je třeba navíc uvolnit hořčičný kationt.
  - AMPA receptor je promiskuitním iontovým kanálem, který propouští sodné i draselné ionty.
  - Aktivace AMPA receptorů na jediné synapsi nezpůsobí depolarizaci dostatečnou pro uvolnění hořčičného kationtu z NMDA receptoru.
  - Když se NMDA receptor otevře, začnou dovnitř buňky pronikat vápenaté ionty.
  - Při klidovém potenciálu je kanál NMDA receptoru blokován hořčičným kationtem.
  - Vápenaté ionty uvnitř buňky aktivují protein kinasu II zvanou CAMK2.
  - CAMK2 fosforyluje AMPA receptory, které se poté snáze otevírají.
  - Vápenaté ionty uvnitř buňky spouští proces, který vede k syntéze nových AMPA receptorů a jejich přepravě na membránu.
7. Pomůžete Jeremymu vysvětlit, jak AMPA a NMDA receptory zajišťují fungování Hebbova zákona? Nebojte se uvést dostatek detailů a snažte se psát srozumitelně, aby to Jeremy pochopil. Přeci jen je to poslední bod poslední úlohy na nervy, takže zde máte příležitost plně projevit, co ve vás tento seriál zanechal :-).

Možná jste si všimli, že jste v poslední úloze na nervy již dokázali spoustu zajímavých dějů vysvětlit docela samostatně, protože už toto téma dobře znáte. A možná jste si také všimli, že i autor seriálu se leccos naučil a čtvrtý díl je z celého seriálu tím nejkratším :-). Snad se vám tedy při řešení série Úloh na nervy změnila síla spousty synapsí a možná se i vytvořilo pár nových. Ať se vám tedy během dalšího studia a rozvoje mozek mění takovým způsobem, jakým si přejete, ideálně směrem k většímu zdraví, štěstí a moudrosti :-).

## Řešení úloh 3. série 20. ročníku KSICHTu

### Úloha č. 1: Tajní agenti, část první

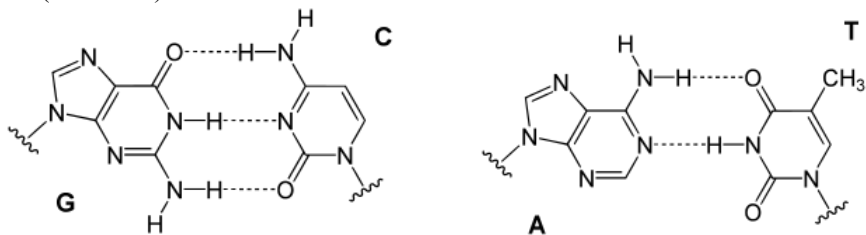
(8 bodů)

Autorky: Terezie Páníková, Veronika Vetýšková

- Absorbance se měří pomocí spektrofotometru. Změříte absorbanci vzorku při vlnové délce 280 nm (absorbují proteiny obsahující tryptofan a tyrosin) a 260 nm (absorbují nukleové kyseliny – konjugované dvojně vazby purinových a pyrimidinových bází). Poměr  $A_{260}/A_{280}$  určuje čistotu vzorku. Čistá RNA má poměr 2. Ve vzorku máte tedy nukleovou kyselinu – RNA nebo DNA.
- a)
  - DNA má deoxyribózu, RNA ribózu. V DNA jsou báze adenin, guanin, cytosin, thymin. U RNA je místo thyminu uracil. DNA je stabilní a ukládá genetickou informaci. RNA se přepisuje z DNA a informaci přenáší (používá), je méně stabilní než DNA. DNA se vyskytuje ve formě dvouvláknové – 2 molekuly navázané na sebe přes páry bází. RNA je většinou jednovláknová a její báze tvoří páry mezi sebou (takže ne všechny jsou propojené).
  - mRNA – messenger RNA – 5'-5'-difosfátovou vazbou se připojí na 5' konec guanosin, na 3' konci má polyA (40-250 adeninů), kóduje geny
  - tRNA – transferová RNA – připojuje specifickou aminokyselinu do rostoucího polypeptidového řetězce při translaci (přepis informace z RNA do proteinu), pokud se nakreslí ve 2D, má typickou strukturu jetelového listu.
  - rRNA – ribosomální RNA – tvoří spolu s bílkovinami ribozom, má katalytickou aktivitu peptidyltransferázy.b) mRNA – UAGAAAAAAAAAAAAA na malé zkumavce chce naznačit, že pouze mRNA je po přepisu z DNA do RNA upraveno na 3' konci 40–250 adeniny, a proto se ve velké zkumavce skrývá roztok mRNA.
- RNA musíme přeložit do stabilnější DNA. Enzym přepisující RNA do DNA se nazývá reverzní transkriptáza. Lidské buňky tento směr přepisu (transkripce z RNA do DNA) neumějí, proto se mu říká reverzní (obrácený).

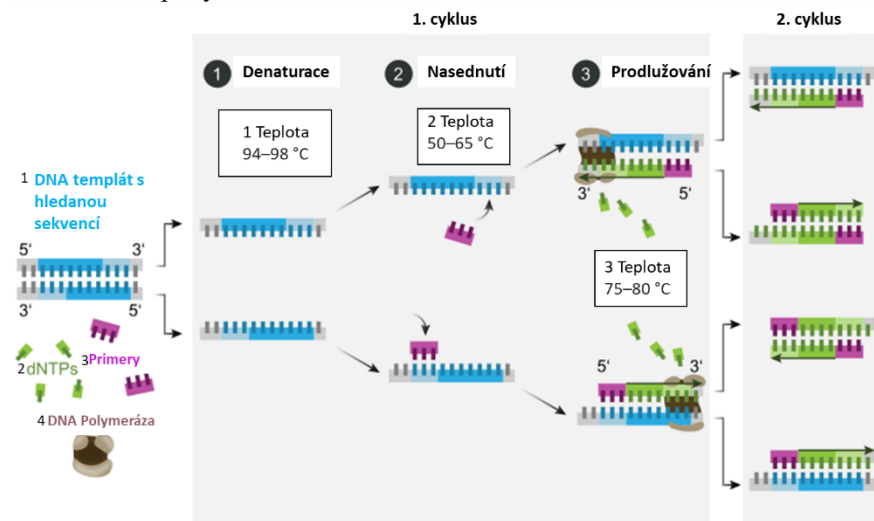
V běžných laboratorních podmínkách není prakticky možné přepsat mRNA přímo do proteinu, protože RNA a velice pravděpodobně i většina RNA dependentních RNA polymeráz jsou za zvýšené teploty velice nestabilní. Než by se informace přepsala celá, neměli bychom ani enzym, ani sekvenci s informací. Dalším problémem je absence rRNA, tRNA a ribozomu.

4. Jde o vodíkové můstky. Vodíkové můstky se vyskytují mezi bázemi. Cytosin s guaninem mají mezi sebou 3 vodíkové můstky, thymin a adenin jen 2 (obrázek 1).



Obrázek 1. Vodíkové můstky mezi bázemi. Převzato z: <https://cs.wikipedia.org>

5. a) Metoda se nazývá polymerázová řetězová reakce (PCR).  
 b) Provádíme ji v přístroji, který se jmenuje Termocykler, protože cyklicky mění teploty, dle našeho nastavení.



dNTPs = deoxyNukleotidTriFosfáty

- c) Základní molekuly jsou na obrázku vlevo a jsou to:
- DNA templát, který obsahuje hledanou sekvenci,
  - dNTPS (deoxyNukleotidTriFosfáty) – stavební bloky DNA
  - primery – sekvence DNA ze začátku a konce hledané sekvence
  - DNA polymeráza – syntetizuje nové DNA podle DNA templátu

d) Schéma polymerázové řetězové reakce.

Převzato z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Polymerase\\_chain\\_reaction](https://en.wikipedia.org/wiki/Polymerase_chain_reaction)

**1 Denaturace** – vysoká teplota způsobí odvázáni (**denuraci**) dvouřetězové DNA na jednořetězovou

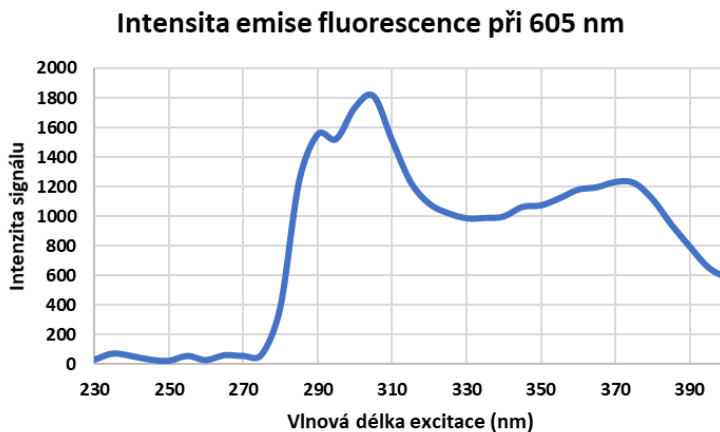
**2 Nasednutí** – při snížení teploty může znovu vzniknout dvouřetězová DNA. Jelikož je v reakční směsi mnohem více molekul primerů, je pravděpodobnější, že primery **nasednou** na komplementární sekvenci na templátové DNA

**3 Prodlužování** – DNA polymeráza z termofilních bakterií má optimální pracovní teplotu okolo 75–80 °C. Vyšší teplotou se zabráňuje nespecifickému nasednutí DNA.

Kroky 1–3 se opakují obvykle 25–35×, než je výsledné DNA dostatek.

6. a) Použijeme agarózový gel. Agaróza je polysacharid pocházející z mořských řas. Agar je jiný polysacharid, také z řas, který se používá na zpevnění média pro růst mikroorganismů. Polyakrylamid má menší póry než agaróza a DNA by se v něm špatně dělila.
- b) Metoda se jmenuje elektroforéza. Nukleové kyseliny jsou rozdělovány působením **elektrického pole**. Fosfát ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) z kostry nukleových kyselin udává molekulám uniformní záporný náboj, díky kterému se posouvají v elektrickém poli směrem ke kladnému náboji. Molekuly se musí při elektroforéze „prodírat“ agarózovým gelem. Těm větším (delším) to jde hůř, a proto putují pomaleji než ty malé.
- c) Posvítíme na EtBr světlem s vlnovou délkou 300-305 nm. To je vlnová délka UV záření, které je nebezpečné, proto máte brýle, abyste si chránili oči. EtBr emituje záření (svítí zpátky) s maximem v 601 nm. Tento jev se nazývá fluorescence. EtBr je teratogen (poškozuje plod), pravděpodobný karcinogen (může vyvolat rakovinu) a mutagen (může změnit sekvenci vaší DNA). Je nutné si uvědomit, že se EtBr váže dobře nejen na vaši DNA ve vzorku, ale i na VAŠI DNA, proto musíte mít vždy nasazené rukavice a nesahat si s nimi na obličej!

Wikipedie říká, že absorpční maxima EtBr jsou 210 nm a 285 nm. Ale absorpční maximum nastává tehdy, když molekula absorbuje nejvíc světla – nikdo už neříká, kolik ho vrátí. Excitační maximum je hodnota, které odpovídá největší intenzita fluorescenčního záření a emituje největší intenzitu světla zpět. Proto zjišťujeme nejlepší kombinaci excitační a emisní vlnové délky. Internet se shoduje, že nejlepší emise je při 605 nm. Proto jsme vzali EtBr v naší laboratoři a proměřili jeho excitační schopnost při konstantní emisní délce 605 nm.



Největší intenzita emitovaného záření byla naměřena při 305 nm.

7. Za předpokladu přímé úměry je výpočet následující:

$$A_{260} = 1 \dots\dots\dots 50 \mu\text{g/ml}$$

$$A_{260} = 1,8 \dots\dots\dots X \mu\text{g/ml}$$

$$\frac{1,8 \cdot 50}{1} = 90 \mu\text{g/ml}$$

$$90 \mu\text{g} \dots\dots\dots 1000 \mu\text{l}$$

$$X \mu\text{g} \dots\dots\dots 30 \mu\text{l}$$

$$\frac{90 \cdot 30}{1000} = 2,7 \mu\text{g}$$

Získali jste 2,7  $\mu\text{g}$  DNA.

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



## Úloha č. 2: Novinková

(8 bodů)

Autorka: Aneta Pospíšilová

1. a) 1. Ano, podle jména autora a klíčových slov bylo možné dohledat článek v *New Scientist*, kde je odkaz na původní studii.
  2. Ne, zpráva neobsahuje dostatek podrobností.
  3. Ne, zpráva neobsahuje dostatek podrobností.
  4. Ne, zpráva neobsahuje dostatek podrobností.
  5. Ano, podle klíčových slov „alcohol&alcoholism“, „L-cystein“ a „hangover“ lze studii najít.
  6. Ano, je tam přímý odkaz na zdroj.
- b) 1 a 6 odkazují na tento článek: MAXWELL, Christina R., et al. Acetate causes alcohol hangover headache in rats. *PLoS One*, 2010, 5.12: e15963.  
  
5 na tento: ERIKSSON, CJ Peter, et al. L-Cysteine containing vitamin supplement which prevents or alleviates alcohol-related hangover symptoms: Nausea, headache, stress and anxiety. *Alcohol and Alcoholism*, 2020, 55.6: 660-666.
2. a) Peer review – posuzování článků jinými odborníky v daném oboru. Autor napíše článek, posílá jej editorovi, ten ho prvotně zhodnotí a rozhodne, zda se do časopisu hodí. Pokud ano, postoupí ho recenzentům, kteří doporučí buď přijetí, přijetí po úpravách nebo odmítnutí. Na základě toho editor instruuje autora o dalším postupu. Konkrétní provedení (např. počet recenzentů, zda bude autor znát jejich identitu nebo počet kol recenzí) je u různých časopisů různé.
  - b) Ano.
3. a) Jako poměr počtu citací článků vydaných v časopise za určité období k počtu článků za dané období. Obvykle se uvádí za poslední dva roky. Vyjadřuje tedy průměrný počet citací na publikaci.
  - b) PLoS One má 3,240, Alcohol&Alcoholism 2,826.
4. a) 1. *in homo* = na lidech, 2. *in vivo* = na zvířatech, 3. *in vitro* = ve skle, 4. *in silico* = počítačovou simulací.
  - b) Ta z PLoS One je *in vivo*, provedená na potkanech se sklonem k bolestem hlavy. Ta druhá byla *in homo*, na 19 dobrovolnících.
5. Slyšela jsem, že nejlepší je ibuprofen. Je zmíněný třeba zde:  
PITTLER, Max H.; VERSTER, Joris C.; ERNST, Edzard. Interventions for preventing or treating alcohol hangover: systematic review of randomised controlled trials. *Bmj*, 2005, 331.7531: 1515-1518.

*Otázka 1 – 1,5 bodu, 2 – 1,5 bodu, 3 – 1,5 bodu, 4 – 1,5 bodu, 5 – 2 body. Celkem 8 bodů.*

**Úloha č. 3: Zářeni kolem nás****(8 bodů)**

Autor: Pavel Řezanka

1. Nenulová hodnota naměřená dozimetrem je zapříčiněna radionuklidy obsaženými v Zajíčkově těle.
2. a)  $m = 80 \text{ g}$ ,  $\rho(\text{K}) = 6 \text{ g/kg}$ ,  $A(^{40}\text{K}) = 39,964 \text{ g/mol}$ ,  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ ,  $w = 0,000117$

$$N = \frac{m \cdot \rho \cdot N_A \cdot w}{A(^{40}\text{K})} = 8,463 \cdot 10^{17}$$

$$\text{b) } T_{1/2} = 1,277 \cdot 10^9 \text{ roku} = 4,030 \cdot 10^{16} \text{ s}$$

$$A = \frac{N \cdot \ln 2}{T_{1/2}} = 14,56 \text{ Bq}$$

3. Vzhledem k podílu rozpadu produkujícího gama záření (10,72 %) a polotloušťky Zajíčkově těla (aproximovaného vodou) pro gama záření o energii 1,5 MeV (přibližně 12 cm), by při zanedbání vznikajícího gama záření vznikla chyba menší než 5 %. Při hrubém výpočtu lze tedy zmíněný typ rozpadu zanedbat.

4.  $E = 0,8928 \cdot 1,31109 \text{ MeV} + 0,1072 \cdot 1,5049 \text{ MeV} = 1,332 \text{ MeV} = 2,134 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ ,  
 $m(\text{Zajíček}) = 4 \text{ kg}$ ,  $w_{\text{R}}(\text{elektron}) = 1$

$$I_0 = \frac{H_{\text{T}}}{t} = \frac{E \cdot A \cdot w_{\text{R}}(\text{elektron})}{m(\text{Zajíček})} = 7,765 \cdot 10^{-13} \text{ Sv/s}$$

5. Zajíčkův předpoklad o úplném pohlcení vznikajícího beta záření je oprávněný, neboť elektrony mají ve vodě (aproximace Zajíčkově těla) dosah ca 0,5 cm.
6. Integrací rovnice uvedené v zadání získáme:

$$H_{\text{T}} = \frac{I_0 \cdot T_{1/2}}{\ln 2} = 2,323 \cdot 10^{-6} \text{ Sv} = 2,323 \text{ } \mu\text{Sv}$$

7. Hlavním zdrojem naměřené ekvivalentní dávky je záření z přírodního pozadí, konkrétně z podloží. Jde opět o  $^{40}\text{K}$ , dále pak o uran a thorium a produkty jejich rozpadu.
8. Alfa zářič patří do kapsy, neboť oděv alfa záření zcela odstíní. Beta zářič patří na dlaň, neboť bude dostatečně daleko od ostatních částí těla (aktivita klesá s druhou mocninou vzdálenosti) a navíc kůže, která není tolik citlivá na účinky ozáření, většinu beta záření pohltí<sup>11</sup>. Gama zářič nezbyvá než spolknout, neboť neutronový zářič má vyšší radiační váhový faktor. Ten je tedy potřeba doručit nepříteli.

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

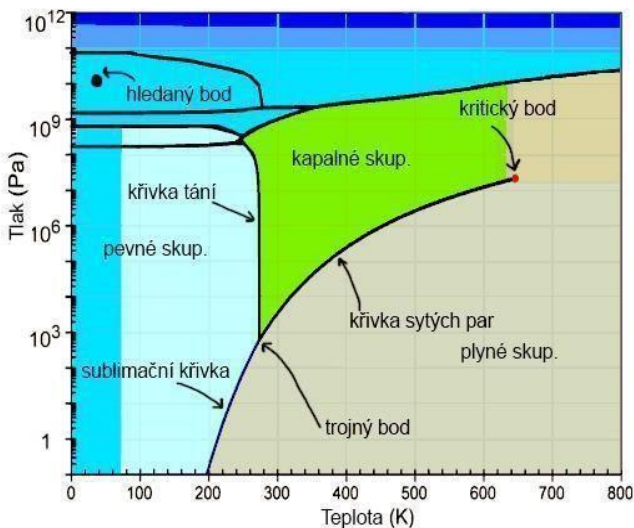
<sup>11</sup> Řada z Vás umístila alfa zářič na dlaň, což je ekvivalentní umístění do kapsy. Ale s beta zářičem v kapsě obdrží osoba vyšší dávku, než když ho má na natažené dlani.

### Úloha č. 4: Zasněžena

(9 bodů)

Autorky: Lada Švecová a Tatiana Nemirovich

1. a) Hnědá oblast – plynné skupenství, zelená – kapalné, modrá – pevné.
  - b) Mezi hnědou a zelenou oblastí se nachází křivka sytých par, mezi hnědou a modrými křivkami sublimace, mezi zelenou a modrými křivka tuhnutí (resp. tání).
  - c) Na průsečíku těchto křivek leží trojný bod.
  - d) Kritický bod je na konci křivky sytých par. Plyn, který se nachází v nadkritickém stavu, nelze zkapalnit zvyšováním tlaku.
  - e) Hledaný bod je označen hvězdičkou, za daných podmínek se bude voda vyskytovat v pevné modifikaci led<sub>VIII</sub>.



2. a) Například na dně chladnějších moří nebo v trubkách plynovodů.
  - b) Led č. IX (Ale pozor! Skutečný led IX má odlišné vlastnosti než ten „literární“).
3. Molární hmotnost hydrátu methanu:  $M = 8 \cdot 16 + 46 \cdot 18 = 956 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$   
 Látkové množství hydrátu methanu v 1 kg:  $n = \frac{m}{M} = \frac{1000}{956} = 1,05 \text{ mol}$   
 Látkové množství uvolněného methanu:  $n = 8 \cdot 1,05 = 8,4 \text{ mol}$

Objem uvolněného methanu:  $V = n \cdot V_m = 8,4 \cdot 24 = 201,6 \text{ l}$

4. Extenzivní veličiny: objem, hmotnost, látkové množství.

Intenzivní veličiny: koncentrace, tlak, hustota.

5. Provedeme dosazení do Gibbsova zákona:  $v = s + 2 - f$ . Čistá voda představuje jen jednu fázi, voda s párou dvě fáze a voda, pára i led jsou tři fáze. Ve všech případech soustava obsahuje jen jednu složku –  $\text{H}_2\text{O}$ .

a)  $v = 1 + 2 - 1 = 2$

b)  $v = 1 + 2 - 2 = 1$

c)  $v = 1 + 2 - 3 = 0$

d) a) hnědá oblast, b) křivka sytých par, c) trojný bod.

6. a) Dosadíme zadané hodnoty do příslušné rovnice:

$\text{NaCl}$  disociuje na  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$ , tedy  $i = 2$ .

$$\Delta T = i \cdot K_K \cdot \frac{m_{\text{NaCl}}}{M_{\text{NaCl}} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}}} = 2 \cdot 1,86 \cdot \frac{0,025}{0,05844 \cdot 3} = 0,53 \text{ K}$$

Bod tuhnutí klesne o 0,53 K (0,53 °C).

b) Dosadíme zadané hodnoty do příslušné rovnice:

$\text{CaCl}_2$  disociuje na  $\text{Ca}^{2+}$  a  $2\text{Cl}^-$ , tedy  $i = 3$ .

$$\Delta T = i \cdot K_K \cdot \frac{m_{\text{CaCl}_2}}{M_{\text{CaCl}_2} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}}} = 3 \cdot 1,86 \cdot \frac{0,025}{0,11099 \cdot 3} = 0,42 \text{ K}$$

Bod tuhnutí klesne o 0,42 K (0,42 °C).

c) Výhodnější je použití  $\text{NaCl}$ .  $\text{CaCl}_2$  sice disociuje na 3 částice, což napovídá, že by měl být výhodnější. Oproti  $\text{NaCl}$  má ale výrazně větší molekulovou hmotnost, což tento vliv potlačí.

7. a)  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{Se}$ ,  $\text{H}_2\text{Te}$ .

b) Všechny tři jsou v plynném skupenství. Teploty varů a tání ve skupině periodické tabulky obecně rostou směrem dolů a voda (ale také například amoniak) je výjimka.

c) Teplotu varu vody zvyšují přítomné vodíkové můstky, které se u ostatních molekul uplatňují výrazně méně nebo vůbec.

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

### Úloha č. 5: Třetí úloha na nervy – Synapse

(11 bodů)

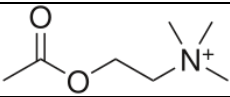
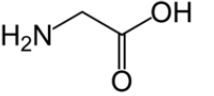
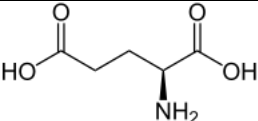
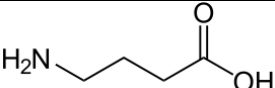
Autor: Jiří „Herby“ Kysilka

- Elektrická synapse: 2, 3, 5, 6,  
Chemická synapse: 1, 4, 7, 8, 9, 10
- A – presynaptický terminál – 1  
B – synaptický váček – 4  
C – presynaptická membrána – 6  
D – neurotransmitter – 3  
E – synaptická štěrbinina – 2  
F – postsynaptická membrána – 5
- Čas vypočteme po dosazení do rovnice  $t = \frac{s}{v}$  ve správných jednotkách. Přenos vzruchu po axonu trvá 1 ms, překonání synapse trvá 1  $\mu$ s.
- C1 – Když akční potenciál přicházející po axonu presynaptického neuronu způsobí depolarizaci membrány, otevřou se napětově řízené vápenaté kanály.  
E6 – Když se otevřou napětově řízené vápenaté kanály, začne vápník masivně pronikat dovnitř presynaptického terminálu.  
G5 – Když na sebe protein synaptotagmin naváže vápenatý ion, propojí jako zip v-SNARE a t-SNARE proteiny v membráně váčku a buňky.  
F4 – Když se v-SNARE a t-SNARE proteiny obou membrán propojí, synaptický váček splyne s presynaptickou membránou.  
A7 – Když synaptický váček splyne s presynaptickou membránou, neurotransmitter se vylije do synaptické štěrbiny.  
B3 – Když se neurotransmitter ocitne v synaptické štěrbině, doputuje difuzí k postsynaptické membráně.  
D2 – Když ionotropní receptor v postsynaptické membráně naváže molekulu neurotransmiteru, otevře svůj iontový kanál, a způsobí tak excitační postsynaptický potenciál.
- Postsynaptický potenciál se zvýší, protože při stejném vzruchu bude do presynaptického terminálu do buňky pronikat více vápníku a vyloučí se tím pádem víc neurotransmiteru.
- Katz předpověděl existenci synaptických váčků. Jednotlivé minivýkyvy totiž odpovídají náhodnému splynutí váčku s presynaptickou membránou, kdy se uvolní kvantum neurotransmiteru odpovídající jednomu váčku. Za nízkých koncentrací vápníku dochází k fúzi jen malého množství váčků a uvolní se malá množství neurotransmiteru, na kterých je možné toto kvantování pozorovat.

7.

- Kurare způsobuje svalovou paralýzu. Nemůže-li se aktivovat receptor navázáním acetylcholinu, nevzniká ve svalové buňce excitační potenciál a nemůže tak dojít ke kontrakci. Minivýkyvy v klidovém stavu po přidání kurare vymizí, protože pokud přítomné kurare blokuje receptory acetylcholinu, nemůže postsynaptický excitační potenciál vůbec vznikat.
- Neostigmin může při vyšších dávkách způsobovat až křeče. Tím, že blokuje enzym acetylcholinesterázu, způsobí, že acetylcholin zůstane v synaptické štěrbině déle, a bude tak receptory aktivovat opakovaně a po delší dobu. Minivýkyvy v klidovém stavu se po přidání neostigminu zvětší – pozorovali bychom větší nárůst potenciálu po delší čas.
- Botulin způsobí svalovou paralýzu. Tím, že rozštěpí SNARE proteiny, znemožní, aby mohly synaptické váčky splývat s presynaptickou membránou, a zabráni tak vylévání acetylcholinu. Minivýkyvy v klidovém stavu v tomto případě také zmizí.

8. Hlavní neurotransmitery, jejich vzorce, výskyt a funkce jsou uvedeny v tabulce.

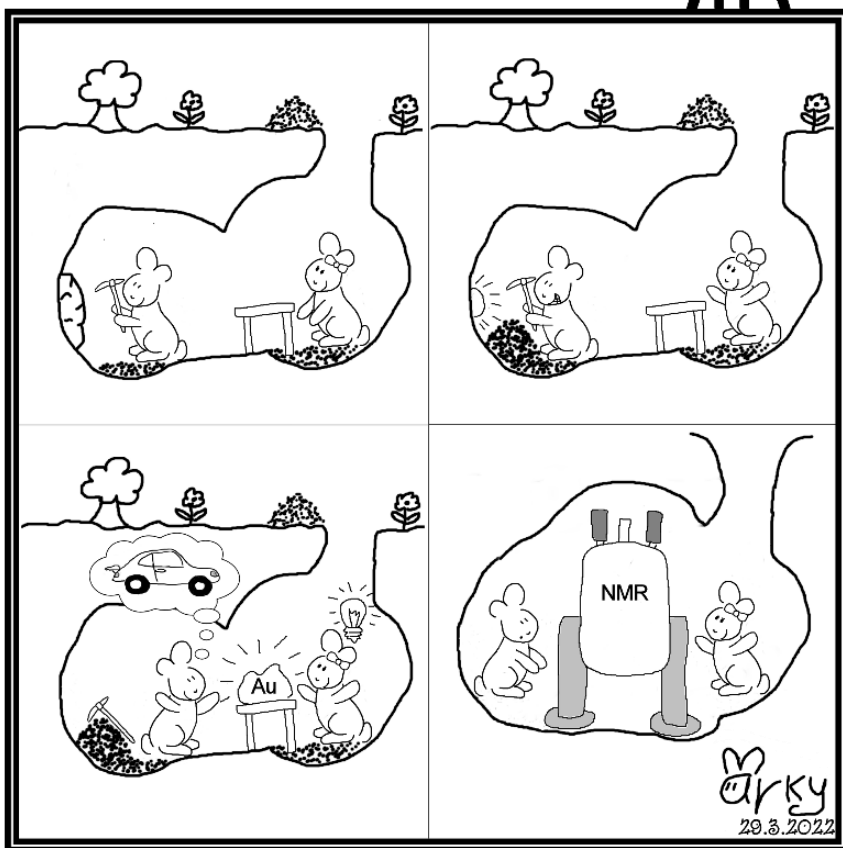
Neurotransmitter	Vzorec	Výskyt	Funkce
Acetylcholin		Periferní NS	Excitace
Glycin		Periferní NS*	Inhibice
Glutamát		CNS	Excitace
GABA		CNS	Inhibice

\* glycin působí zejména v míše, což je technicky vzato CNS, má však vliv na periférii. U glycinu tedy uznávám obojí a omlouvám se těm, které to zmátlo, a násilně pak umístili jiný neurotransmitter, který patří do mozku, na periférii. Všechny tyto neurotransmitery mají další minoritní funkce, tabulka představuje jejich hlavní výskyt i funkci.

Otázka 1 – 1 bod, 2 – 1,5 bodu, 3 – 0,5 bodu, 4 – 2 body, 5 – 1 bod, 6 – 1,5 bodu, 7 – 1,5 bodu, 8 – 2 body. Celkem 11 bodů.



# Zajíček chemik



Arky  
20.3.2022