



Korespondenční Seminář Inspirovaný Chemickou Tematikou

Ročník 14 (2015/2016)

Série 2



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 sebe 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 nebezpečnostvím 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 14 let proto, aby vám ukázal různá zákoutí chemie a přivedl vás k jejich 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 kopy srandy, protože úkoly jsou mnohdy poněkud... neortodoxní. Prostřednictvím našeho seriálu se pak můžete seznámit s některými velkými chemickými tématy, která se vám pokusíme předestřít stravitelně, zábavně a užitečně. V aktuálním seriálu o RNA tak třeba můžete nahlédnout pod pokličku moderní chemie. V neposlední řadě můžete v každé brožurce sledovat osudy skutečně neohroženého komiksového hrdiny, a sice Zajíčka chemika.

V průběhu ročníku KSICHT pořádá 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.

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

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

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, 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).

Atoři 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.

Celkové pořadí je také kritériem pro účast na závěrečném soustředění.

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

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

**Termín pro odeslání řešení 2. série:
11. 1. 2016**

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

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.
4. Nezkopíruješ **Wikipedi** českou ni anglickou ni v jazyku jiném psanou.
5. Pamatuj na den odeslání, že ti má být svatý. Čtyři týdny řešiti budeš, dne (před)posledního odesláno míti budeš.
6. Cti organizátory své.
7. Neudáš výsledku bez výpočtu.
8. Neopíšeš nadbytek číslic z kalkulátoru svého.³
9. Nepožádáš o řešení bližního svého.
10. KSICHTÍ jméno důsledně šířiti budeš.

³ Tzv. kalkulátorový syndrom: „Svět byl stvořen za 6,9999999999942 dní.“ Toto není ani správná, ani přesná hodnota.

Úvodníček

Astrochemičky a Astrochemici!

Země se na své oběžné dráze přiblížila k perihéliu a vy jste proto určité pochopili, že je tu další zásilka od naší Kosmické Společnosti pro Identifikaci Chemických Talentů. Pozor, vaše nové úkoly mají maximální prioritu. Jedná se totiž o záchranu astronauta, který ztroskotal během mise na planetě Mars. Naši odborníci identifikovali pět zásadních problémů bezprostředně ohrožujících jeho život. Obracíme se na vás proto s prosbou o jejich vyřešení. Pamatujte však, že čas běží a dostupných zásob na Marsu dramaticky ubývá. Na přípravu řešení proto budete mít ani ne měsíc. Osud našeho astronauta je ve vašich rukou, tedy vzhůru do práce.

Ze všeho nejdůležitější je navázat komunikaci. Jak to ale udělat, když máte jen kameru a servomotor? Kdyby tak existoval nějaký kód, který bychom mohli použít. Další problém je s energií. Aktuální počasí na Marsu předpovídá mrazy až $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ s možností ojedinělého sněžení vloček oxidu uhličitého. To už by byly náročné podmínky i pro zkušeného ruského kosmonauta, natož pro našeho astronauta, zvyklého na slunnou Floridu. Pomozte mu tedy zůstat v teple. Pokud se vám při tom podaří i vyrobít trochu elektřiny, bude to vítané plus. Dobrou zprávou je, že záchranná výprava už je na cestě, na Mars je to však bohužel poněkud z ruky. Pár měsíců jí to proto potrvá a dokážete si představit, že při tak dlouhém čekání člověku vyhládne – zvláště, pokud všude kolem neroste nic jiného než jinovatka. Uplatněte tedy své vědomosti načerpané na hodinách školních pozemků a zkuste navrhnout, čím by se náš astronaut mohl živit do té doby, než přijde záchrana. K dobrému jídlu pak patří i dobré pití, nebo aspoň nějaké pití... nakonec postačí i obyčejná voda. Kde ji ale vzít, když jediná kapalina v širém okolí je raketové palivo? Určitě vás ale pár možností napadne. Netřeba však zdůrazňovat, že vámi navrhované řešení by se mělo obejít bez jakýchkoli devastujících explozí.

To je ode mě prozatím vše. Detaily zadání naleznete v příložené dokumentaci. Lidstvo na vás spoléhá!

Za všechny s hlavou v oblacích,

Honza Havlík

Zadání úloh 2. série 14. ročníku KSICHTu

Úloha č. 1: Mart'anská šifra

(5 bodů)

Autor: Jiří Kolář

„Hláskujte přes ASCII. 0 – F v úsecích po 21 stupních rozmístím symboly kolem roveru a budu sledovat kameru od 11:00 mého času. Po ukončení zprávy vřaďte kameru do této pozice. Pak počkejte 20 minut (abych mohl napsat a vyvěsit odpověď). Opakujte každou celou hodinu.“ Sdělil Mark Watney NASA.



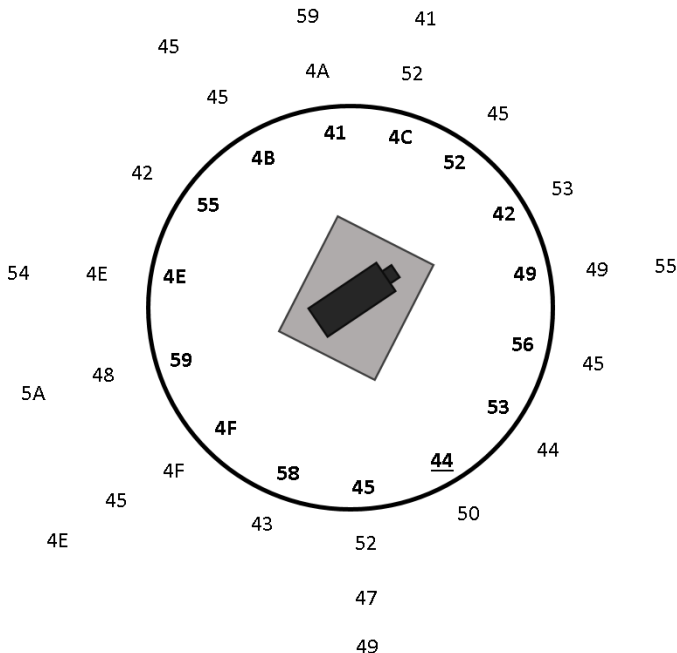
DENÍKOVÝ ZÁZNAM: SOL 98

Musím sledovat kameru, když hláskuje. Pokaždé když se otočí a nasměruje na jeden symbol, ukáže mi půl bajtu. Tak získám dvojici znaků a pak ji vyhledám v tabulce ASCII, kterou jsem si vyrobil. Dozvíím se jedno písmeno. Nechci žádné písmeno zapomenout, a tak je ryju tyčkou do země. Najít písmeno a zaznamenat ho do prachu trvá dvě sekundy. Občas mi unikne jedno číslo, než se vrátím pohledem ke kameře. Většinou ho odhadnu z kontextu, ale někdy mi prostě uteče.

(WEIR, Andy. *Mart'an*. Vyd. 1. Praha: Knižní klub, 2015, 342 s.)

Ocitáte se nyní v podobné situaci jako Mark Watney, s tím rozdílem, že v kruhu a jeho okolí jsou rozmístěny rovnou dvojice znaků v hexadecimální soustavě. Dokážete přeložit kód do ASCII a následně najít tajenku? Pozorně si prohlédněte celou úlohu a pročtete zadání, protože všechno spolu může souviset!

Necht' vám DNA ukáže cestu...



1. Jak zní tajenka? Pokud nerozluštíte tajenku, pošlete alespoň rozkódovaný text v ASCII.
2. Jak byste odpověděli na otázku z tajenky?
3. Proč Mark Watney přijímal zprávy pomocí hexadecimální soustavy namísto běžné abecedy?

Binární soustava je číselná soustava používající právě dva symboly a to 1 a 0, tedy pravda a nepravda. Právě řečí dvou symbolů se dorozumívá každý počítač ve svém křemíkovém světě. Jako základní jednotku přenosu dat používá jeden byte, který se skládá z 8 bitů, a může nabývat 256 hodnot.

4. Podobně popište světově nejrozšířenější kód založený na tetrální, neboli čtyřkové soustavě. Dále napište, kolika hodnot může nabývat a jak vypadá základní datová jednotka s kódem související.
5. Co Marku Watneymu zachránilo život a podle jeho slov funguje kdekoli a mělo by se uctívat?

Úloha č. 2: Energie 3x jinak

(11 bodů)

Autor: Pavel Řezanka

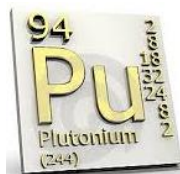
„Díky štedrosti amerických daňových poplatníků mám přes sto čtverečních metrů těch nejdražších solárních panelů, které kdy byly vyrobeny. Mají ohromující účinnost 10,2 procenta, což je dobře, protože na Mars nedopadá tolik slunečního světla jako na Zemi. Jen pět set až sedm set wattů na čtvereční metr (v porovnání se 1400, které dostává Země).“



(WEIR, Andy. *Martian*. Vyd. 1. Praha: Knižní klub, 2015, 342 s.)

1. a) Proč na Mars dopadá méně slunečního záření než na Zemi?
b) Popište, jak by se výkon slunečního záření dopadajícího na povrch Marsu dal spočítat ze znalosti výkonu záření dopadajícího na povrch Země.
c) Jaké další faktory je třeba uvažovat?
2. Na jakém jevu je založeno získávání energie pomocí solárních panelů na bázi polovodičů?
K čemu při tomto jevu dochází?
3. Kdy a kým byl tento jev poprvé pozorován? Kdo za jeho vysvětlení dostal Nobelovu cenu?

„Představa zrušení mise kvůli špinavým solárním článkům je nepřijatelná. V NASA potřebovali spolehlivější zdroj energie. Proto do MAV šoupli RTG. Generátor obsahuje 2,6 kilogramu plutonia 238, které poskytuje skoro 1500 wattů tepla. To se přemění na sto wattů elektřiny. MAV zůstává v provozu, dokud nepřiletí posádka. Sto wattů na vytápění nestačí, ale mně na elektrickém výstupu nezáleží. Chci to teplo. Výkon topení 1500 wattů je tolik, že budu muset z roveru utrhnout část izolace, abych se neuvařil.“



4. Co ve výše uvedeném odstavci značí zkratka RTG?
5. Co je produktem radioaktivního rozpadu atomu ^{238}Pu ? Zapište tento proces rovnicí.
6. Vypočítejte, kolik energie se uvolní z 2,6 kg ^{238}Pu za jeden marsovský den (24 h, 37 min, 22,7 s). Jakému výkonu to odpovídá? Poločas rozpadu ^{238}Pu je 87,7 pozemského roku. Předpokládejte, že rozdíl v hmotnosti ^{238}Pu a jeho produktů se uvolní ve formě energie podle vztahu $E = mc^2$, kde E je uvolněná energie, m zmíněný rozdíl hmotností a c rychlost světla ($c = 299792458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Hmotnosti plutonia a jeho možných produktů jsou uvedeny v tabulce 1. Při výpočtu použijte zadané hodnoty, zaokrouhlete až konečný výsledek.

Radioaktivní rozpad je popsán kinetickou rovnicí prvního řádu:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t},$$

kde N je počet atomů v čase t , N_0 je počet atomů na začátku procesu a λ je rychlostní konstanta definovaná jako:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{\tau},$$

kde τ je poločas rozpadu.

Tabulka 1. Hmotnosti vybraných atomů a částic v atomových hmotnostních jednotkách u ; $u = 1,660538921 \cdot 10^{-27}$ kg

Atom/Částice	Hmotnost
^{238}Pu	238,049553 u
^{238}Am	238,051984 u
^{238}Np	238,050946 u
^{234}U	234,040947 u
$\frac{4}{2}\alpha$	4,00150618 u
e^-	$5,48579910 \cdot 10^{-4}$ u
β^+	$5,48579910 \cdot 10^{-4}$ u

7. Výkon vypočtený v otázce 6 se od výkonu uvedeného v úryvku liší. Tento rozdíl je způsoben tím, že je v úryvku nepřesně uvedeno, že se jedná o 2,6 kg plutonia. Ve skutečnosti se jedná o 2,6 kg sloučeniny plutonia. Jaká se v RTG používá sloučenina Pu? Jakému výkonu to pak odpovídá?



„Postavil jsem malý rover na pracovní stůl, otevřel panel a nahlédl dovnitř. Baterie byla lithio-thionylchloridová a nenabíjecí. To jsem zjistil z nenápadných náznaků: tvaru kontaktů, tloušťky izolace a skutečnosti, že na ní byl nápis „Li-SOCI2 NONRCHR“.“

8. Proč byl na Mars poslán zrovna tento typ baterie? Jaké má výhody oproti klasickým bateriím?
9. Jaké má tento typ baterie naopak nevýhody? Nápověda: Tyto nevýhody jsou příčinou, proč se tyto baterie běžně neprodávají.
10. Kdo a kdy vyrobil poprvé lithium-thionylchloridovou baterii?
11. Jaká látka je katodou, jaká anodou a čím je tvořen elektrolyt v baterii tohoto typu?

Úloha č. 3: Bude co jíst?

(12 bodů)

Autorky: Anna-Marie Buková a Tereza Frýdová

„Co se týče kalorií, vsadil bych nejspíš na brambory. Výborně rostou a mají slušný kalorický obsah (770 kalorií na kilogram). Věřím, že ty moje vyklíčí. Problém spočívá v tom, že jich nedokážu vypěstovat dost. Ze 62 čtverečních metrů jich za čtyři sta dnů (do doby, než mi dojdou potraviny) sklídím možná sto padesát kilogramů. To je celkem 115 500 kalorií, tedy v průměru 288 kalorií denně. Při své výšce a hmotnosti potřebuju 1500 kalorií denně, když budu ochoten trochu hladovět.“



(WEIR, Andy. *Mart'an*. Vyd. 1. Praha: Knižní klub, 2015, 342 s.)

1. Zdá se, že se Mart'an docela činil. Za předpokladu, že by na Marsu jako první přistála sovětská posádka a Mart'an byl jejím členem, byl by za svou zemědělskou výkonnost navržen na Leninův řád, víme-li, že byl udělován za překročení normy 30 t/ha/rok?
2. Co se Mart'anovy volby týče, vybral si skutečně tu nejvýhodnější plodinu? Srovnajte energetickou hodnotu brambor s energetickými hodnotami fazolí, čočky a hrachu. Dále se zamyslete nad dalšími faktory, které mají vliv na výhodnost pěstování jednotlivých plodin. Zkuste vymyslet alespoň tři a okomentovat je. Na základě této úvahy pak rozhodněte, jakou rostlinu byste pěstovali na Marsu vy.
3. V tabulce 1 je uveden průměrný obsah živin a minerálů ve 100 g brambor. Jaké množství základních živin Mart'an přijme v denní porci brambor s kalorickou hodnotou 288 kcal, pokud 100 g brambor obsahuje 77 kcal? Kolik gramů brambor toto množství představuje? Který vitamín či minerál je v tomto množství nejhojnější co do počtu částic?
4. Jakých vitamínů a minerálů se bude Mart'anovi nejméně nedostávat, pokud bude živ jen z brambor? Navrhněte složení vitaminové tablety, kterou by Mart'an užíval každý den pro doplnění chybějících látek. (Nezapomeňte uvést zdroje, ze kterých jste při řešení čerпали).

„Uf! Je to dřina. Dnes jsem strávil dvanáct hodin venku, abych do Habu natahal půdu. Podařilo se mi pokrýt jenom kout v rohu základny, přibližně pět čtverečních metrů. Tímhle tempem mi celá práce potrvá týdny. Ale čas je vlastně to jediné, co mám.“

5. Vypočítejte, kolik energie Mart'an reálně získá pěstováním brambor, víme-li, že jeho průměrná energetická spotřeba je 100 kcal/h a při práci s půdou 380 kcal/h. Diskutujte, zda je pro něj získávání energie tímto způsobem

výhodné. Při výpočtech vycházejte ze zadaných údajů. Předpokládejte, že Marťan po celou dobu pracuje rychlostí uvedenou v úryvku.

6. Pokuste se doma některou z uvedených plodin vypěstovat a na email ksicht@natur.cuni.cz nám zašlete její fotografii, na které bude společně s aktuální brožurkou.
7. Pokuste se stručně okomentovat fenotyp vámi vypěstované rostliny. Které z pozorovaných znaků je možné ovlivnit změnou složení substrátu?

Tabulka 1. Průměrný obsah živin a minerálů ve 100 g brambor

Složka	Hmotnost (g)	Složka	Hmotnost (mg)
voda	78,5	Na	7
bílkoviny	2,1	K	360
tuky	0,2	Ca	6
cukry	0,6	Mg	14
škrob	16,6	P	37
vláknina	1,3	Fe	0,4
mastné kyseliny	0,1	Cu	0,08
cholesterol	0	Zn	0,4
		Mn	0,1
		vitamin C	11–21
		vitamin D	–
		vitamin E	stopy
		vitamin B6	0,31
		vitamin B12	stopy
		karoten	stopy
		thiamin	0,21
		riboflavin	0,02
		niacin	0,6

Úloha č. 4: Výroba vody po Marsovsku

(11 bodů)

Autorka: Petra Hrozková

„Díky, Martinezi! Možná jsi mi zachránil život!

Ne kvůli tomu dokonalému přistání, ale proto, že mu zbylo hodně paliva. Stovky litrů nevyužitého hydrazinu. Každá molekula hydrazinu obsahuje čtyři atomy vodíku. (...) Má to jeden háček: Uvolnění vodíku z hydrazinu je... zkrátka... právě princip, na kterém fungují rakety.“



(WEIR, Andy. Marťan. Vyd. 1. Praha: Knižní klub, 2015, 342 s.)

Pro naše přežití na Marsu je nezbytně důležitá voda a kyslík. Pokud budeme chtít Markovi pomoci pěstovat na Marsu rostliny, potřebujeme vodu. Jsme chemici, obojí dokážeme vyrobit přímo na místě.

„A teď to nejpodstatnější, pokud jde o průzkum Marsu: všechny krámy tam musíte navozit předem. Celkem čtrnáct bezpilotních misí přepravilo všechno, co jsme měli během operací na planetě potřebovat. Všechny lodě s dodávkami měly přistát zhruba ve stejné oblasti, což se víceméně podařilo... Nejdůležitější součástí předběžných dodávek byl přirozeně MAV. Mars ascent vehicle, Marsovský vzletový modul. MAV je bezvadná věc. Ukázalo se, že s využitím patřičných chemických reakcí v marsovské atmosféře lze z každého kilogramu vodíku, který na Mars dopravíte, vyrobit třináct kilogramů paliva. Jenom to jde pomalu. Naplnění nádrže trvá čtyřicet měsíců. Proto modul vyslali tak dlouho před naším přiletem.“

Pro pohon raket do vesmíru se často používá hydrazin. Ten můžeme na Marsu najít buď jako nespotřebované palivo, nebo vyrobit na místě z dovezeného vodíku a dusíku přítomného v atmosféře Marsu.

1. Navrhněte rovnici Marsovského způsobu výroby hydrazinu z vodíku a plynů v atmosféře.

S výrobou hydrazinu můžeme začít až ve chvíli, kdy se nám podaří na Mars dopravit vodík. Jistě si dokážete představit, že přeprava vodíku má svá úskalí. Na Zemi se potýkáme s výzvou, jak skladovat vodík pro ekologické automobily. Jedním z možných řešení je uchování vodíku ve formě kovových hydridů. Používá se například akumulátor obsahující LaNi_5 nebo $\text{M}'\text{Ni}_5$, kde M' je tzv. „mischmetall“, který absorbuje vodík a vytváří hydrid. Slitina NiMH tvoří katodu, anodou je $\text{Ni}(\text{OH})_2$, elektrolytem je 30% roztok KOH . Vodík se transportuje v podobě aniontu OH^- .

2. Co označuje zkratka „mischmetall“?
3. Napište rovnice dějů probíhajících na katodě, na anodě a souhrnnou reakci v NiMH akumulátoru. Vyznačte směr nabíjení a vybíjení.

Jako palivo založené na hydrazinu se obvykle používá alkylderivát hydrazinu ve směsi s N_2O_4 .

4. Napište a vyčíslete rovnici spalování samozápalného raketového paliva složeného z N_2O_4 a $N_2H_3CH_3$ (methylhydrazinu) včetně poloreakcí.

Pokusme se nyní spočítat, kolik paliva spotřebuje raketoplán pro cestu ze Země k Marsu, víme-li, že raketoplán má hmotnost 100 tun a po celou dobu se pohybuje s konstantním zrychlením 2 mm/s^2 , které mu umožňuje efektivní využití paliva. Hodnoty standardní slučovací entalpie jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1. Hodnoty standardní slučovací entalpie vybraných sloučenin

Sloučenina	$\Delta H_f / \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
CO_2	-394
H_2O	-242
N_2O_4	9
$N_2H_3CH_3$	54
N_2	0

5. Vzdálenost Země a Marsu se v důsledku oběhu obou planet kolem Slunce pohybuje v rozmezí $54,5 \cdot 10^6$ až $401,3 \cdot 10^6$ km. Jaká bude spotřeba methylhydrazinu při nejmenší a při největší vzdálenosti Země a Marsu?
6. Jak byste na Zemi připravili bezvodý hydrazin? Kolik amoniaku jako výchozí látky bychom potřebovali na výrobu paliva postačujícího na cestu dlouhou 54,5 milionu km?

Jistě si dokážete představit, jak náročné by bylo takové množství paliva dopravovat, proto byl při samotné cestě použit iontový motor, který ze zádi vypouštěl argon a tak udržoval konstantní zrychlení po celou dobu cesty.

Vraťme se nyní na Mars. Jakmile máme dostatečné množství hydrazinu, můžeme přistoupit k jeho rozkladu pro získání vodíku. Hydrazin necháme rozkládat na iridiovém katalyzátoru na dusík a vodík, který už můžeme jít. Předpokládejme, že Mark uvolňuje vodík z hydrazinu v uzavřené nádobě. Vodík je lehčí než dusík a proto stoupá vzhůru. Zde je u výstupu zapálen a reakcí s kyslíkem se přemění na vodu.

„S miniaturní pochodní v ruce jsem nechal zvolna proudit hydrazin. Syčel na iridiu a mizel. Brzy už u komína prskal plamen. Nejdůležitější bylo sledovat teplotu. Rozklad hydrazinu je mimořádně exotermický. Proto jsem ho upouštěl opatrně a neustále pozoroval údaje na termočládku, který jsem připevnil na iridiovou misku. Podstatné je, že proces fungoval!“

7. Pokuste se navrhnout bezpečnější způsob laboratorní přípravy vodíku.

Úloha č. 5: Nebezpečný vodík

Autoři: Martina Mikulů, Miroslav Položij

(11 bodů)

„Vysvětlit se to dá jedině tak, že jsem nespaloval veškerý uvolněný vodík. Nedošlo mi, že vodík neshoří beze zbytku. Minul plamen a vesele pokračoval v letu. Sakra, jsem botanik, ne chemik! Na chemii není spolehnutí, a tak jsem měl ve vzduchu nespálený vodík. Všude kolem. Smísil se s kyslíkem. Jen tak se vznášel. Čekal na jiskru, aby mohl vyhodit Hab do povětří.“



(WEIR, Andy. *Marťan*. Vyd. 1. Praha: Knižní klub, 2015, 342 s.)

1. Mark měl na Marsu k dispozici 292 litrů hydrazinu. V Habu panují podmínky $p = 101325 \text{ Pa}$ a $t = 25,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Pro výpočet uvažujte, že hydrazin má hustotu $1003,6 \text{ kg/m}^3$ a kapalný kyslík $1,141 \text{ g/cm}^3$.
 - a) Napište rovnici spalování hydrazinu, pokud by se Mark rozhodl spalovat hydrazin přímo, bez mezistupně v podobě rozkladu hydrazinu na katalyzátoru.
 - b) Určete, kolik zásobníků kapalného kyslíku by potřeboval na spálení veškerého hydrazinu při 100% využití kyslíku. Do jednoho zásobníku se vejde 25 l kapalného O_2 .
 - c) Kolik vody by takto připravil?

„Stovky litrů nevyužitého hydrazinu. Každá molekula hydrazinu obsahuje čtyři atomy vodíku. A proto se dá z každého litru hydrazinu získat dost vodíku na dva litry vody. (...) V nádržích MDV zůstalo 292 litrů šťávy. To stačí skoro na šest set litrů vody! Mnohem víc, než potřebuju!“

2. Kolik litrů vody (kapalné při $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$) by z veškerého dostupného hydrazinu dostal?
 - a) Mark použil pouze 65 litrů hydrazinu a dle svých výpočtů měl získat 130 litrů vody, získal jí však pouze 70 litrů (ztráty způsobeném vsakováním vody do půdy zanedbáme). Spočítejte výtěžek reakce podle vašeho výpočtu a podle Markovy úvahy.
 - b) Zkuste vysvětlit, jakou školáckou chybou vznikl rozdíl mezi Markovým výpočtem a vašim.

V tuto chvíli ukazuje autor velmi důležitou vlastnost žánru sci-fi, a to plynulý přechod od „science“ k „fiction“. Ponechme, prosím, autorovi možnost zanedbat veškeré nezbytné fyzikální zákony a podívejme se, co následuje:

„Objasním vám to: Získávám O_2 . Jenže objem, který přivádím zvnějšku, je konstantní. Proto jediná možnost „zisku“ předpokládá, že ho spálím méně, než jsem se domníval. Ale hydrazinovou reakci jsem postavil na domněnce, že spotřebuju všechno. Vysvětlit se to dá jedině tak, že jsem nespaloval veškerý uvolněný vodík. (...) Jakmile mi to došlo a sebral jsem se, vzal jsem sáček na

vzorky, trochu jím zamával a uzavřel ho. Hned jsem vyrazil ven do roveru, kde mám analyzátory atmosféry.

Dusík: 22 procent. Kyslík: 9 procent. Vodík: 64 procent.“

Atmosféra v Habu tak byla vskutku výbušná. Trosečník se rozhodl problém vyřešit tak, že ze vzduchu odstranil kyslík, který poté do vodíkové atmosféry pomalu upouštěl a spaloval.

„Plán je následující: Nejdřív přesadit brambory do pytlů a přemístit je do roverů (ujistit se, že to zatracené topení funguje). Potom snížit teplotu v Habu na 1 °C. Srazit obsah O₂ na jedno procento. Pak spálit veškerý vodík s pomocí baterie, drátů a láhve O₂. (...) Nic lepšího jsem nemohl vymyslet! Nejenže jsem se zbavoval vodíku, ale ještě jsem vyráběl vodu. Všechno šlo hladce až do výbuchu.“

3. Chyba byla dle autora v použité lékařské kyslíkové masce bez uzavřeného okruhu, ze které vydechovaný vzduch unikal do okolí a zvyšoval koncentraci O₂ ve vzduchu. Pro výpočty použijte teplotu v Habu 1 °C a tlak 101325 Pa (jak vnější, tak v masce).

- Kolik kyslíku běžně obsahuje normální a vydechovaný vzduch?
- Mark používal čistý kyslík. Kolik kyslíku, vyjádřeno v gramech, bylo obsaženo v jednom litru vydechovaného plynu? Počítejte se stejnou spotřebou kyslíku, jako kdyby dýchal běžný vzduch.
- Objem Habu je 12·10⁴ litrů. Normální dechová frekvence dospělého člověka je 18 vdechů za minutu a množství vydechnutého plynu v jednom výdechu je 0,5 l. Za jak dlouho by Mark svým vydechováním zdvojnásobil množství kyslíku v atmosféře, když dýchal čistý kyslík z masky?

4. Kolik tepla by se uvolnilo, pokud by došlo k okamžitému spálení veškerého vodíku přítomného v atmosféře Habu? Použijte izochorické spalné teplo vodíku 33,69 kWh/kg (při vzniku plynné vody).

5. Mark teplotu v Habu před spalováním nastavil na 1 °C. Po výbuchu se však teplota zvýšila na 15 °C. Počáteční tlak v Habu byl 101325 Pa. Kolik by celkem muselo shořet vodíku pro takovéto zvýšení teploty při zanedbání tepelných ztrát?

Při výpočtu vycházejte z těchto údajů a předpokladů:

- V počátečním stavu byla koncentrace vodíku v atmosféře Habu 64 %, veškerý kyslík přítomný v atmosféře shořel při výbuchu a zbytek plynu byl dusík.
- Pro sestavení celkové bilance tepla lze chování vzniklé vody aproximovat ohřátím z 1 °C na 15 °C a následným zkapalněním v plném rozsahu.
- Tepelné vodivosti jednotlivých plynů za konstantního objemu jsou $c_v(\text{H}_2) = 20,2 \text{ J/mol/K}$; $c_v(\text{N}_2) = 19,9 \text{ J/mol/K}$; $c_v(\text{H}_2\text{O}, \text{g}) = 27,5 \text{ J/mol/K}$
- Výparné teplo vody za konstantního objemu je $\Delta U_{\text{vap}}(\text{H}_2\text{O}) = 42,1 \text{ kJ/mol}$

Řešení úloh 1. série 14. ročníku KSICHTu

Úloha č. 1: Homeopatika

(7 bodů)

Autorka: Soňa Ondrušová

1. Matečná tinktura: meziprodukt, který se připraví macerací suroviny v alkoholu, případně jiném rozpouštědle po dobu několika dní. Je základem pro ředění.

Potence: stupeň ředění homeopatik. Používají se potence podle Korsakova a Hahnemanna.

Dynamizace: proces protřepávání během ředění, při kterém má přecházet energie do roztoku.

Impregnace: nanášení hotového roztoku na neutrální základ, například granule ze sacharosy a laktosy.

2. Při potenciaci matečné tinktury má docházet k oddělování vibračního vzorce od účinné látky, a tím i k jeho zesilování až na intenzitu, která má léčebný účinek.

3. Potence 60 D i 30 CH odpovídají ředění $1 : 10^{60}$. Potence 45 K odpovídá 45 CH, tedy $1 : 10^{90}$ a 3 Q odpovídá 3 LM, tedy $1 : 1,25 \cdot 10^{14}$.

4. Potence 15 CH odpovídá ředění $1 : 10^{30}$, ve výsledném roztoku tedy zbylo 10^{-30} g NaCl.

5. Ze vzorců $n = \frac{m}{M}$ a $n = \frac{N}{N_A}$ odvodíme $N = \frac{N_A \cdot m}{M}$,

$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$, $M = 58,443$ g/mol. Ve výsledném roztoku je $1,03 \cdot 10^{-8}$ iontových párů NaCl, tedy celkem $2,06 \cdot 10^{-8}$ iontů vzniklých rozpuštěním NaCl.

6. $V = 1 / (2,06 \cdot 10^{-8}) = 4,9 \cdot 10^7$ l.

7. Při vypití příliš velkého množství vody hrozí hyponatremie (pokles koncentrace sodných iontů v plazmě) a dochází k edému mozkových buněk. To může vést ke ztrátě vědomí až ke smrti.

8. Natrum muriaticum je starší latinský termín pro chlorid sodný.

9. Ročně se prodá 164,25 l homeopatického přípravku (0,01 ml \times 30 tablet \times 1500 balení \times 365 dnů). Koncentrace prodáváného přípravku je 10^{-400} mol/l. Je tedy potřeba prodat $1,66 \cdot 10^{376}$ l ($V = n/c = 1/(N_A \cdot c)$). Jedna molekula se tedy pravděpodobně prodá během $1,01 \cdot 10^{374}$ let.

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

Úloha č. 2: Hříšná strava aneb jsme to, co jíme?

(10 bodů)

Autoři: Adam Přáda a Eva Brichtová

1.

- Frutariánství: frutariáni přijímají pouze potravu, při jejíž přípravě nebylo ublíženo žádné živé bytosti zvířeti ani rostlině, jejich strava se skládá z plodové zeleniny a ovoce, semen a ořechů.
- Vitariánství, též „raw“: vitariáni odmítají přijímat jídlo, které prošlo tepelnou úpravou.
- Veganství: ze stravy jsou vyloučeny veškeré produkty živočišného původu.
- Breathariánství: breathariáni nejí ani nepijí, žijí ze vzduchu a pránické energie.
- Makrobiotika: je založena na taoistickém učení jin a jang, zakazuje se průmyslové zpracování potravin, základem stravy jsou obiloviny doplněné hlavně zeleninou a dalšími lokálními potravinami.
- Paleo strava: jídelníček má údajně připomínat stravu lovců a sběračů v paleolitu i když jeho historická přesnost je velmi pochybná. Skládá se z masa, ovoce a zeleniny, vajec apod., vyřazeny jsou obilné produkty, brambory, luštěniny a zpracovávané potraviny (sýry, jogurty, ...).
- Bezlepková strava: z jídelníčku je vyřazen lepek, tedy veškeré obiloviny a produkty z nich.

2. Lepek je směs dvou bílkovin, gliadinu a gluteninu.

Tato nemoc se nazývá celiakie.

Celiakie je autoimunitní onemocnění, kdy si tělo vytváří protilátky proti gliadinu a enzymu tkáňová transglutamináza. To způsobuje přehnanou imunitní reakci, zanícení sliznice střeva a následné horší vstřebávání živin. S tím mohou být spojeny i další zdravotní problémy.

3. Paleo dieta.

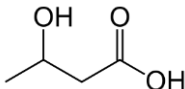
4. Metabolický krok z pyruvátu na acetyl-koenzym A (Ac-CoA) je na rozdíl od ostatních kroků glykolýzy nevratný. Proces opačný ke glykolýze se nazývá glukoneogeneze a vytvářejí se pomocí něj sacharidy. Ac-CoA, který je produktem katabolismu tuků tedy nelze zpětně přeměnit na glukózu či jiné sacharidy.

5. Mozek energii z tuků téměř nepoužívá. Je tomu tak z mnoha důvodů, ku příkladu jsou tuky pomalejším zdrojem energie než sacharidy, hůře se transportují skrz hematoencefalickou bariéru a jejich metabolismus je náročnější na přísun kyslíku.

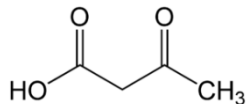
6. Ketolátky, ketonové látky atd.



aceton



β -hydroxybutyrát



acetoacetát

7. Acidóza, ketoacidóza.
8. Glyoxylátový cyklus. Přeměňuje isocitrát na malát a sukcinát za pomoci Ac-CoA. Tím se doplňují meziproducty v Krebsově cyklu, které už lze využít k syntéze glukózy.
9. Na bílkoviny například luštěniny, ořechy, semínka. Na železo čočka (7,5 mg/100 g) nebo mák (9,8 mg/100 g).
10. a) Bílkoviny: $63 \times 0,83 = 52,3$ g bílkovin denně
Např. hrách obsahuje 5,4 g bílkovin/100 g.
 $52,3 \times 100/5,4 = 970$ g hrachu denně.
- b) Železo: 10 mg denně pro Adama, 9,8 mg /100 g máku,
 $10 \times 100/9,8 = 100$ g máku, Eva pak 150 g máku.
- (zaokrouhlujeme na dvě platné číslice, jak je zadáno)
11. Ženy přicházejí o železo kvůli ztrátě krve při menstruaci.
12. Bílkoviny mohou mít různé aminokyselinové složení. Jelikož část aminokyselin je pro naše tělo esenciální (neumíme si je vyrobit), musíme je přijímat v potravě. Pokud by pak v našem jídle některá esenciální aminokyselina nebyla přítomna v dostatečném množství, mohlo by to mít neblahé následky. Je potřeba brát v úvahu i poměr esenciálních aminokyselin, který je pro lidi vhodnější u živočišných bílkovin. Rostlinných bílkovin je tedy potřeba sníst více.
13. Nemocní fenylketonurií nedokážou metabolizovat aminokyselinu fenylalanin, jejíž vysoká koncentrace v krvi je toxická pro nervovou soustavu především u dětí. Neléčená fenylketonurie může vést k mentální retardaci. Nemocní se musí vyhýbat potravinám s vysokým obsahem fenylalaninu. Těmi jsou například kuřecí maso, sója, ryby nebo sladidlo aspartam, případně tulení a velrybí maso.

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

Úloha č. 3: Tak trochu jiná voda

(7 bodů)

Autor: Martin Balouch

- 16 elektronů
- Ne, takovou částici nejde nakreslit.
- Index lomu. Index lomu vody je z tabulek 1,33. Potom:

$$v = c / n_{EZ} = c / (1,1n_{\text{voda}}) = 2,05 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

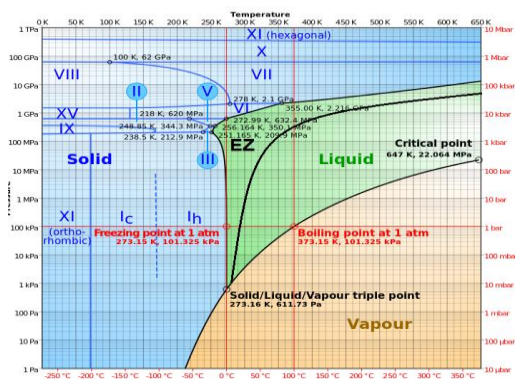
- Jedná se o entropii.
- $V_{EZ} / V_{\text{voda}} = M_{EZ} \cdot \rho_{\text{voda}} / (M_{\text{voda}} \cdot \rho_{EZ}) = 1,77$

Dále je požadována libovolná diskuse, která může vést různými směry. Uznávána jakákoliv smysluplná úvaha, která nebyla pouhou slovní odpovědí.

- Čtverný bod existovat nemůže. Tento fakt vychází z Gibbsova fázového zákona – rovnice (1), kde f – počet fází systému, s – počet složek systému, v – počet stupňů volnosti. Máme jednosložkový systém o 4 fázích, pak vychází -1 stupeň volnosti, což je nesmysl.

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

- Fázový diagram může vypadat třeba takto:



- V oblasti 270 nm absorbuje např. fenol, toluen, kyselina benzoová
- $E = hc/\lambda = 4,59 \text{ eV}$
- Autor se omlouvá za možné nepřesnosti způsobené při přepisu řešení, zejména pak za chyby způsobené nedostatečnou znalostí slovenského jazyka.

Filip Farkas

MOHOL JEŽIŠ CHODIŤ PO VODE?

Odpoveď na túto otázku nám môže poskytnúť jedna zo zaujímavých vlastností EZ vody. Molekuly EZ vody majú tendenciu spájať sa do pravidelných útvarov. Ide o vrstvy, ktoré sú zložené z viacerých molekúl EZ vody spojených nasledovných spôsobom: šesť atómov kyslíka sa spojí do „šesťkruhu“ podobnému ako pri cyklických zlúčeninách a na každý kyslík tohto kruhu sa pomocou vodíkovej väzby pripojí iný kyslík z iného kruhu majú tvar včelích plástov. Vzniká tak vrstva molekúl EZ vody. Tieto vrstvy sa následne spájajú (pretože EZ voda je záporne nabitá a priťahuje tak okolito nabitú kladnú molekuly, ktoré zase priťahujú ďalšiu EZ vodu – vrstvu EZ vody) do hrubých vrstiev, ktoré môžu byť zložené až z miliónov molekulových vrstiev opísaných hore. Takáto vrstva sa správa ako želatína a pri dostatočnej hrúbke sa po nej môže dať chodiť. Takto môžeme vysvetliť, ako mohla biblická postava Ježiš Kristus chodiť po vode vďaka prítomnosti EZ vody. Chodenie po vode nie je ničím neobvyklým, existujú živočíchy, ktoré po vode chodiť dokážu a to práve vďaka spomínanej vrstve EZ vody.

Anna Koukolová

Nad hladinou vody se za jistých okolností může vytvořit zóna vzájemné odpudivosti, po které mohou přejít různé bytosti jako vodoměrka (eventuálně i Pavel Měrka) či Ježíš. Předpokladem je pochopitelně omnipresence záporně nabitá EZ vody. K úspěšnému přechodu po hladině však musí být daný jedinec patřičně negativně naladěný. Jakmile se do vzájemného kontaktu dostane záporně nabitá voda a negativně naladěný tvor (Ježíš po disputaci s učedníky apod.) začnou se odpuzovat. Tvor tak může špacírovat po vodě, aniž by se jí dotkl. Praktickým důsledkem je, že naštvaní lidé se mohou jen těžko koupat, případně je to akt velmi neefektivní.

Adam Svítok

U vody bol na základe dlhoročných štúdií určený špeciálny a vzácny efekt nazývaný veľkonočný efekt. Spočíva v efekte vody na mužou, čo sa prejavuje počas Veľkej noci. Voda v podstate núti mužov, aby ňou ženy oblievali tým, že v ich hlavách vytvára obrázky žien v bielom oblečení zamočených vodou. Ako to funguje? Voda sa vyparuje. Keďže má dosť malé molekuly, proniká cez kožu k mozgu a ovplyvňuje určité receptory. Prečo sa to deje iba na Veľkú noc? Odpoveď je jednoduchá. Keby sme to robili každý deň, ženy by nás zabili.

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

Úloha č. 4: MMS a CDS, nejlepší je s HGS

(12 bodů)

Autor: Jan Hrubeš

1. MMS je zkratka pro „Master Mineral Solution“ nebo „Miracle Mineral Solution“.

CDS je zkratka pro „Chlorine Dioxide Solution“.

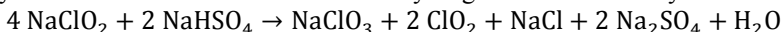
HGS je zkratkou pro hydrogensíran sodný.

Panacea znamená všelék (z řečtiny).

2. Příklady sloučenin chloru v celočíselných oxidačních číslech:

Cl⁻: NaCl, Cl⁰⁺: Cl₂, Cl¹⁺: NaClO, Cl³⁺: NaClO₂, Cl⁴⁺: ClO₂, Cl⁵⁺: NaClO₃, Cl⁶⁺: Cl₂O₆, Cl⁷⁺: KClO₄

3. Jedná se o oxid chloričitý, ClO₂. Ten v případě preparátu CDS + HGS vzniká okyselením roztoku chloritanu sodného hydrogensíranem draselným:



Rovnice uvedená výše je jen jedním z možných řešení, uznána bude jakákoliv rozumná rovnice vedoucí ke vzniku oxidu chloričitého.

4. Jedná se o disproporcionace.

5. Získáme Beketovovu řadu kovů.

Ionty ušlechtilého kovu si budou z elektrody odebírat elektrony a vylučovat se na ni v elementární formě. Na elektrodě bude méně elektronů, než je běžné. Pokud budeme měřit napětí pomocí vodíkové elektrody, dostaneme kladné hodnoty.

6. $-\Delta G = zFE$, F – Faradayova konstanta:

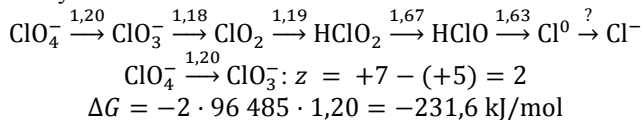
$$F = e \cdot N_A = 1,609 \cdot 10^{-19} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 96485 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$$

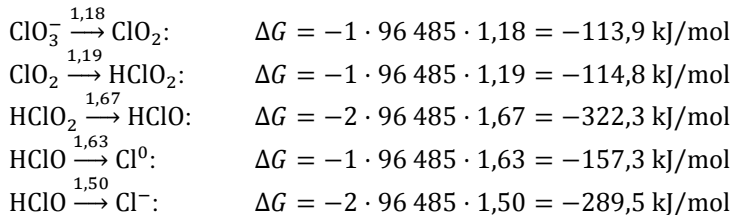
7. Jedná se o Nernstovu rovnici:

$$E = E^\ominus - \frac{RT}{zF} \ln Q$$

kde E je momentální redoxní potenciál, E^\ominus je standardní redoxní potenciál, R je plynová konstanta, T termodynamická teplota, z počet vyměňovaných elektronů, F Faradayova konstanta a Q reakční kvocient. Ten vyjadřuje podíl koncentrací oxidované a redukované formy (případně dalších látek vystupujících v poloreakci) v roztoku.

8. a) Redoxní potenciály je nejprve vhodné převést na Gibbsovy energie pomocí vztahu z otázky 6:





Pokud chceme zjistit potenciál poloreakce $\text{Cl}^0 \rightarrow \text{Cl}^-$, stačí spočítat pomocí Hessova zákona ΔG reakce, z čehož si zpětně potenciál dopočítáme.

$$\Delta G_{\text{Cl}^0/\text{Cl}^-} = -289,5 - (-157,3) = -132,2 \text{ kJ/mol}$$

Příslušný potenciál poté jednoduše spočteme pomocí vztahu $-\Delta G = zFE$

$$E = -\frac{-132\,200}{1 \cdot 96\,485} = 1,37 \text{ V}$$

b) Potenciál poloreakce $\text{ClO}_2 \rightarrow \text{Cl}^-$ spočteme obdobně.

$$\Delta G_{\text{ClO}_2/\text{Cl}^-} = -114,8 - 322,3 - 289,4 = -726,5 \text{ kJ/mol}$$

Potenciál už spočítáme jednoduše:

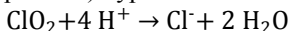
$$E = -\frac{-726\,500}{5 \cdot 96\,485} = 1,51 \text{ V}$$

9. Nejprve si molární zlomek v ppm musíme přepočítat na molární koncentraci. 500 ppm znamená, že na milion molekul vody bude v roztoku zhruba 500 molekul ClO_2 . Počet molů vody v jednom litru je 55,6 mol. Molů ClO_2 pak bude v litru:

$$c = 55,6 \cdot 0,0005 = 0,028 \text{ M}$$

pH = 2 odpovídá koncentraci H^+ $c = 0,01 \text{ M}$

Poloreakce (včetně účasti protonů) vypadá takto:



Platí Nernstova rovnice:

$$E = E^\ominus - \frac{RT}{zF} \ln Q$$

Pokud do ní dosadíme všechna známá data, dostaneme výsledek:

$$E = 1,51 - \frac{8,314 \cdot 310}{5 \cdot 96\,485} \ln \frac{1}{0,028 \cdot 0,01^4} = 1,39 \text{ V}$$

Tento potenciál je dostatečně velký na to, aby se vypitý oxid chloričitý zcela zredukoval v žaludku.

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

Úloha č. 5: RNA**(7 bodů)**

Autor: Pavel Řezanka

1. Úsek RNA znázorněný na obrázku 2 v seriálu se skládá z inosinu a pseudouridinu.
2. Odpovědi jsou shrnuty v tabulce 1.

Tabulka 1. Rozřazení událostí

Číslo události	Rok	RNA	DNA	vymyšlené
1	1868	X		
2	1909	X		
3	1910	X		
4	1939	X		
5	1951		X	
6	1959	X		
7	1967	X		
8	1975	X		
9	1983		X	
10	1992		X	
11	2004		X	
12	2008		X	
13	2011			X
14	2013	X ⁴		

3. Odpovědi jsou shrnuty v tabulce 2. Vzhledem k některým ne příliš dohledatelným informacím byly uznávány i roky blízké uvedeným.

Tabulka 2. Genetické zásahy člověka

Číslo události	Význam genetického zásahu	Rok události
1	Kozi mléko obsahuje protein z pavučiny, který lze například použít pro výrobu neprůstředných vest.	2002
2	Svítilí prase lze využít při studiu nemoci.	2006
3	Zelí produkuje škorpióní jed, který zabíjí hmyz.	2002
4	Jahody produkují rybí bílkovinu, která zabraňuje krystalizaci vody i při teplotách pod bodem mrazu.	2000
5	Transgenní tabák obsahuje vakcínu proti žloutence typu B.	1992
6	Losos s geny slimule dosahuje až dvojnásobné délky.	1994

⁴ <http://journals.plos.org/ploscompbiol/article?id=10.1371/journal.pcbi.1003107>

- Embrya uvedená na obrázku 1 v seriálu nejsou ve stejném měřítku, tj. významně se liší velikostí.
- V mléce jsou přítomny somatické buňky (tělní, tj. všechny vyjma spermií a vajíček), ve kterých jsou obsaženy nukleové kyseliny.
- Pravou příčinou většiny onemocnění mozku u 40 % postižených Evropanů je stres.⁵
- Nejlepší odpověď nám zaslal Jaroslav Cerman:

„Taková DNA musí být mnohem hustější než normální DNA. Dvojřetězec DNA se zpolymerizuje do řetězce z dokonce tří vláken, přičemž se k sobě jednotlivá vlákna pojí takzvanými supervodíkovými můstky, které místo vodíku používají tritium. Díky tomu je DNA zcela netečná k okolnímu prostředí a žádný kousek cizorodé genetické informace ji nemůže pozměnit.“

a Vojtěch Laitl:

„Vysoce polymerizovaná DNA by mohla mít podobu tekutých krystalů. Navenek si ji tedy představuji jako viskózní kapalinu, jejíž struktura by měla být detekovatelná pomocí rentgenové difrakce nebo jiných metod.“

- NaCl nemůže být geneticky modifikovaný, neboť neobsahuje žádné sloučeniny, které vznikly působením geneticky upravené DNA.

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

⁵ <http://zpravy.aktualne.cz/zahranici/onemocnenimi-mozku-trpi-temer-40-procent-evropanu/r~i:article:713097/>

Seriál: RNA – popelka genetiky

1. díl: Objev a struktura nukleových kyselin

Autoři: Karel Berka a Michal Janeček

Předchozí „díl“ seriálu v pseudovědecké sérii KSICHTu uvedl téma letošního ročníku - RNA, ale jak už tomu u pseudovědeckých článků bývá, smíchal dohromady pravdivé i zcela vylhané informace. Proto raději začneme tento seriál pěkně od začátku, od objevu nukleových kyselin.

Objev nukleových kyselin

Příběh nukleových kyselin se začal psát roku 1869, kdy švýcarský fyzik Friedrich Miescher izoloval do té doby neznámou hmotu z buněčného jádra leukocytů v hnisu. Miescher ji tehdy pojmenoval jako „nuklein“.⁶ Dnes víme, že šlo o směs DNA a RNA, které se obě nacházejí v buněčném jádře. Tento objev byl na svou dobu průlomový, přesto mu však většina vědců tehdy nevěnovala příliš velkou pozornost a další kroky na cestě k pochopení chemické podstaty a funkce nukleových kyselin teprve čekaly na svoji dobu.



Friedrich
Miescher
1844-1895
(dnaftb.org)



Albrecht Kossel
1853–1927
(wikipedia.org)

Až v roce 1882 zjistil německý biochemik Albrecht Kossel, že v živých organismech lze najít dva druhy nukleových kyselin, které se liší chemickými vlastnostmi – dnes je známe jako DNA a RNA. V průběhu let 1885 - 1906 z nich postupně izoloval a identifikoval jednotlivé purinové a pyrimidinové báze. Kromě nukleových kyselin se pak věnoval i studiu složení proteinů, v roce 1896 například objevil histidin. V roce 1910 obdržel Nobelovu cenu za fyziologii a medicínu „za příspěvky k naší znalosti chemie buněk skrz jeho práci s proteiny, včetně nukleových látek“.⁷

Zaslouženou pozornost široké vědecké komunity si nukleové kyseliny získaly až ke konci 40. let 20. století, kdy Oswald Theodore Avery prokázal, že za přenos dědičných informací nejsou zodpovědné proteiny, ale molekula DNA. Erwin Chargaff pak zjistil v roce 1952, že zastoupení adeninu a thyminu v DNA jsou

⁶ Miescher, Friedrich (1871) “Ueber die chemische Zusammensetzung der Eiterzellen” (O chemickém složení buněk hnisu), *Medicinish-chemische Untersuchungen*, 4, 441–460

⁷ “The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1910”. *Nobelprize.org*. Nobel Media AB 2014. <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1910/>

vůči sobě v poměru 1:1 a totéž platí pro cytosin a guanin, tedy že se purinové báze specificky párují s pyrimidinovými bázemi.⁸ Po objevení Chargaffových pravidel už na sebe další objevy nenechali dlouho čekat.



James Watson a Francis Crick
1928 - * 1916 - 2004
(dnabiob.wikispaces.com)

Jak je dobře známo, závod o zjištění prostorové struktury DNA nakonec vyhráli, i když ne úplně čistě, James Watson s Francisem Crickem.⁹ Jejich teoretický model¹⁰ byl tvořen dvěma vlákny se spárovanými bázemi, která se stáčejí kolem společné osy a vytvářejí tak všeobecně známou pravotočivou dvoušroubovici.¹¹ Ve svém článku v časopise *Nature*⁴ si neodpustili jednu krátkou větu, která vzbudila poprask:

„It has not escaped our notice that the specific pairing we have postulated immediately suggests a possible copying mechanism for the genetic material.“

tedy

„Neuniklo nám, že specifické párování, které jsme navrhli, přímo naznačuje možný způsob kopírování genetického materiálu.“

V roce 1957 na tuto myšlenku navázali a formulovali tzv. „centrální dogma molekulární biologie“. Toto dogma říká, že ve většině živých organismů je genetická informace uložena jako sekvence nukleových bází v molekule DNA, pouze výjimečně může být uložena také v RNA. Z DNA je pak přepsána na RNA a podle sekvence RNA je syntetizován protein. Tím se zdálo, že jsou role DNA a RNA v živých organizmech jednoznačně určeny. DNA je důležitější, protože genetickou informaci uchovává, RNA je pak pouhým poslíčkem, který genetickou informaci přenáší z DNA do místa syntézy proteinu. Žádnou další úlohu RNA vědci neočekávali.

⁸ Chargaff E, Lipshitz R, Green C (1952). “Composition of the deoxypentose nucleic acids of four genera of sea-urchin”. *J. Biol. Chem.* 195 (1): 155–160.

⁹ Watson J.D. and Crick F.H.C. (1953). “A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid”. *Nature* 171 (4356): 737–738.

¹⁰ zde se ukazuje, jak je důležité molekulové modelování pro pochopení biologických systémů...

¹¹ u RNA původně Watson s Crickem nepředpokládali, že by ribóza mohla umožnit dvěma vláknům vytvořit dvoušroubovici podobně, jako to umožňuje deoxyribóza u DNA, protože dodatečný kyslíkový atom by vytvářel příliš těsný kontakt. Až v roce 1956 objevili Alexander Rich s Davidem Daviesem, že dvoušroubovici může tvořit i RNA.

Na tomto názoru nic nezměnil ani objev rRNA (1955) a tRNA (1965). Tyto dva typy RNA sice mají velmi specifickou funkci, ale vědci je považovali za jakési nezbytné a ojedinělé řešení, jak převést informaci z nukleových kyselin na proteiny. Ani ve snu by je nenapadlo, že RNA může plnit v živých organismech také další funkce.

Tento názor doznal zásadních změn v roce 1981, kdy americký chemik Thomas Cech objevil sekvenci RNA, která může plnit funkci biokatalyzátoru: tzv. RNA enzym – ribozym.¹² Thomas Cech za tento objev dostal v roce 1989 Nobelovu cenu. A dnes již víme, že molekuly RNA mohou plnit celou řadu dalších funkcí.

Abychom lépe pochopili podstatu a důležitost těchto objevů, pojďme se nyní podívat, jaká je chemická podstata nukleových kyselin a jaké typy nukleových kyselin vůbec existují.

Obecné strukturální prvky nukleových kyselin

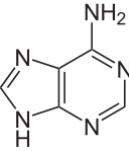
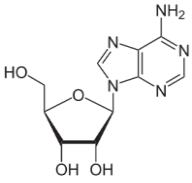
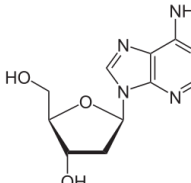
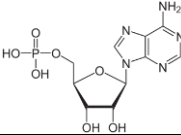
DNA a RNA - základní složky

V živých organismech se vyskytují převážně dva typy nukleových kyselin: deoxyribonukleová kyselina (používá se zkratka DNA z anglického deoxyribonucleic acid) a ribonukleová kyselina (RNA z anglického ribonucleic acid).

DNA i RNA patří mezi makromolekuly.¹³ DNA i RNA jsou tvořeny třemi základními složkami: pětiuhlíkatým cukrem (pentózou), zbytkem kyseliny trihydrogenfosforečné (fosfátem) a nukleovou bází. V případě DNA je cukrem 2-deoxy- β -D-ribóza, v případě RNA β -D-ribóza (Obr. 1 a 2). V případě DNA i RNA je pak fosfát navázán na 3' kyslík pentózy a zároveň na 5' kyslík další molekuly pentózy, což se označuje jako fosfodiesterová vazba. Takto je z pentóz a fosfátů tvořen dlouhý řetězec, který tvoří základ příslušné nukleové kyseliny, tzv. cukr-fosfátová páteř. Na 1'- uhlík každé pentózy je pak tzv. glykosidickou vazbou navázána nukleová báze. Kombinace báze a cukru se označuje jako nukleosid, připojením fosfátu pak vzniká nukleotid (Obr. 1).

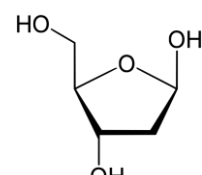
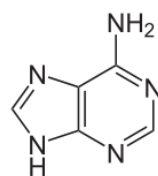
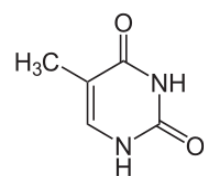
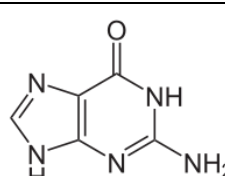
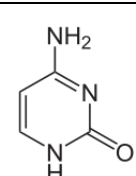
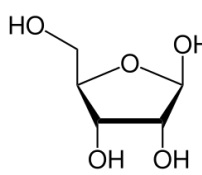
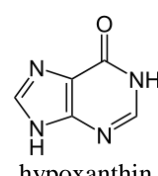
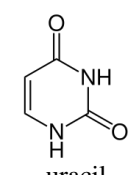
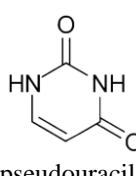
¹² Cech, T. R., Zaugg, A. J., & Grabowski, P. J. (1981). "In vitro Splicing of the Ribosomal RNA Precursor of Tetrahymena: Involvement of a Guanosine Nucleotide in the Excision of the Intervening Sequence." *Cell*, 27, 487–496.

¹³ podle konvence mezi chemiky se za makromolekuly považují molekuly, které mají relativní molekulovou hmotnost $M_r > 1000$

báze	nukleosidy		nukleotidy
	ribonukleosid	deoxyribonukleosid	
adenin 	adenosin (A) 	deoxyadenosin (dA) 	(deoxy-)adenosin monofosfát (AMP, dAMP) 
guanin	guanosin (G)	deoxyguanosin (dG)	GMP, dGMP
thymin		thymidin (dT)	dTMP
cytosin	cytidin (C)	deoxycytidin (dC)	CMP, dCMP
uracil	uridin (U)		UMP
pseudouracil	pseudouridin (Ψ)		ΨMP
hypoxanthin	inosin (I)		IMP

Obrázek 1. Názvy a zkratky nukleotidů a nukleosidů

Jednotlivé nukleotidy se mohou na sebe vázat fosfodiesterovou vazbou, a tak může vzniknout dinukleotid, trinukleotid až oligonukleotid (řetězec o délce do 10 nukleotidů) či polynukleotid (řetězec delší než 10 nukleotidů). Řetězec tvořený nukleotidy (ať oligonukleotid či polynukleotid) se ve fyziologickém prostředí nevyskytuje jako zcela rovný řetězec, ale zaujímá určité, zpravidla energeticky nejvýhodnější, prostorové uspořádání.

	cukr	purinová báze	pyrimidinová báze
DNA	 2-deoxy- β -D-ribóza (D)	 adenin*	 thymin
		 guanin*	 cytosin*
RNA	 β -D-ribóza (R)	 hypoxanthin	 uracil
		 pseudouracil ¹⁴	

Obrázek 2. Chemické vzorce složek DNA a RNA. Hvězdičkou označené báze se vyskytují v DNA i RNA

Abychom se v prostorovém uspořádání řetězců dokázali zorientovat, rozlišujeme u nukleových kyselin primární, sekundární a terciární strukturu.

¹⁴ uracil a pseudouracil se liší místem připojení na cukr - u pseudouracilu se báze připojuje přes uhlík

Primární struktura DNA a RNA

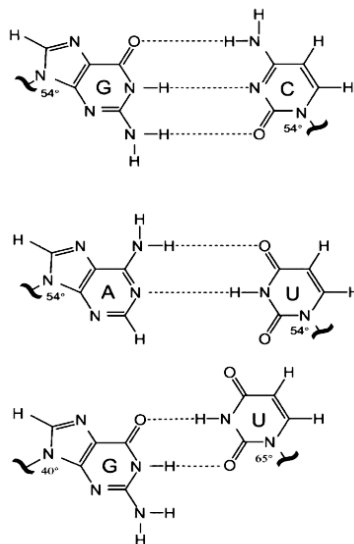
Jako primární strukturu označujeme pořadí nukleotidů v polynukleotidovém řetězci. V příslušném řetězci jsou vždy všechny pentózy a fosfáty shodné - proto stačí znát pořadí nukleových bází, které jsou na cukr-fosfátové páteři navázány. Nukleové báze se v DNA vyskytují pouze čtyři, stejně tak většinou i v RNA, takže lze pořadí nukleotidů zapsat přehledně pomocí písmen A, G, C a T či U.

DNA je nejčastěji složená ze dvou řetězců, které jsou vůči sobě komplementární (viz dále), takže většinou stačí zapisovat pouze jeden řetězec (vlákno). RNA je naproti tomu převážně jen jednovláknová. Pořadí nukleotidů v řetězci se zapisuje ve směru od volného 5'-konce k 3'-konci.

Sekundární struktura DNA a RNA - párování bází

Jako sekundární strukturu označujeme prostorové uspořádání polynukleotidového řetězce, které je způsobeno tzv. párováním bází. Dvě nukleové báze se párují, pokud je mezi nimi alespoň jedna vodíková vazba.

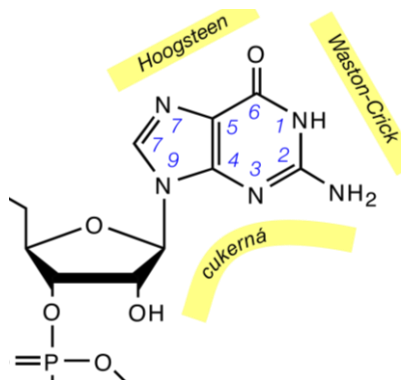
Párování, které objevili v roce 1953 Watson a Crick u molekuly DNA, se nazývá Watson-Crickovské¹⁵ nebo také kanonické. Guanin se vždy páruje s cytosinem třemi vodíkovými vazbami a adenin se páruje s thyminem (u DNA) či s uracilem (RNA) dvěma vodíkovými vazbami. Tento typ párování se vyskytuje v drtivé většině případů u DNA, ale může se objevit také u RNA, kde se ale podobně dvěma vodíkovými vazbami může vázat i guanin s uracilem (Obr. 3).



Obrázek 3. Watson-Crickovské párování bází u nukleových kyselin;
Zdroj: EteRNA

Dále pak existuje celá řada dalších možností, jak se mohou báze párovat - označují se non-Watson-Crickovské nebo také nekanonické. Tento typ párování se objevuje v hojně míře u molekul RNA, zatímco u DNA jen vzácně. Protože nekanonických párů bází bylo popsáno mnoho, byl zaveden klasifikační systém.

¹⁵ přesněji cis-Watson-Crickovské

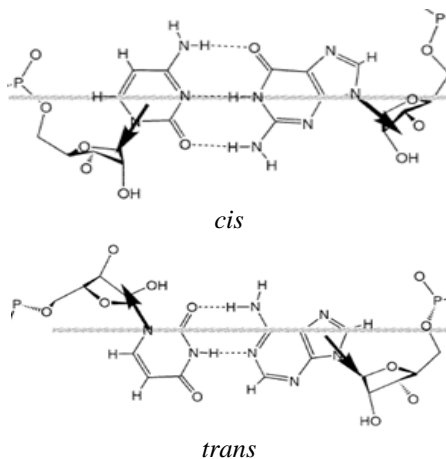


Obrázek 4. Interakční hrany báze

Řetězce nukleových kyselin mohou být orientovány:

- anti-parallelně (glykosidické vazby v *cis* konformaci),
- paralelně (glykosidické vazby vůči sobě *trans*).

Proto existuje celkem šest symbolů, kterými lze páry bází popsat podle tzv. Leontisovy klasifikace (Tabulka 1).









Obrázek 5. *Cis* a *trans* konformace párů bází

Tento systém klasifikuje páry bází podle hrany, která se účastní interakce mezi bázemi (Obr. 4) a podle vzájemné orientace řetězců, respektive glykosidických vazeb (Obr. 5).

Na nukleové bázi lze rozlišit celkem tři interakční hrany:

- Watson-Crickovskou,
- cukernou,
- Hoogsteenovskou hranu.

Tabulka 1. Leontisova klasifikace párů nukleových bází¹⁶

Vzájemná orientace řetězců	Orientace glykosidických vazeb	Hrany s vodíkovými vazbami	Symbol
Antiparalelní	cis	Watson-Crick/Watson-Crick	
Paralelní	trans	Watson-Crick/Watson-Crick	
Antiparalelní	cis	Hoogsteen/Hoogsteen	
Paralelní	trans	Hoogsteen/Hoogsteen	
Antiparalelní	cis	cukerná/cukerná	
Paralelní	trans	cukerná/cukerná	

Výjimku z Leontisova systému¹¹ tvoří kanonické páry C G a U A, resp. T A, pro které se používají již zažitá symboly C=G a U-A, resp. T-A. Pokud jedna báze interaguje jinou hranou než druhá báze, použije se kombinace symbolů uvedených v tabulce. Např. G●■A znamená, že guanin má vodíkové vazby na Watson-Crickovské hraně a adenin pak na Hoogsteenovské hraně. Kompletní výčet všech existujících párů bází pak už přesahuje rozsah tohoto seriálu.

Terciární struktura DNA a RNA

Jako terciární strukturu označujeme celkové prostorové uspořádání polynukleotidového řetězce. Toto uspořádání je kromě párování bází stabilizováno dalšími nekovalentními vazebnými interakcemi – vodíkovými vazbami mimo páry bází, dále tzv. patrovými interakcemi¹⁷ a interakcemi cukr-fosfátové páteře s ionty¹⁸.

Například DNA, která je již stočena do dvoušroubovice, se může dále stočit do tzv. superhelixu nebo RNA může za pomoci patrových interakcí vytvořit tzv. pseudouzel.

¹⁶ Leontis, N.B., Stombaugh, J., Westhof, E., (2002) "The non-Watson-Crick base pairs and their associated isostericity matrices," *Nucl. Acids Res.*, 30(16), 3497–3531.

¹⁷ jde o přitažlivé disperzní interakce mezi bázemi za sebou v řetězci

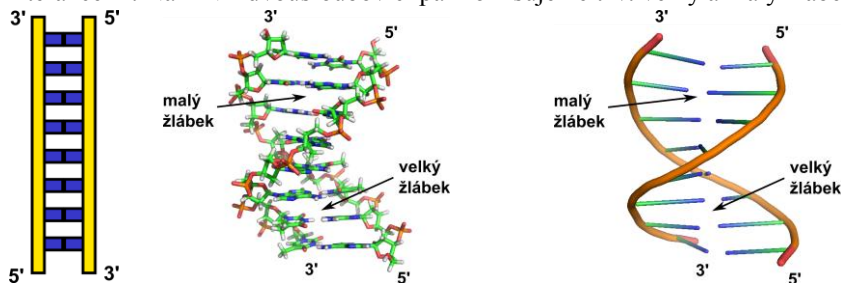
¹⁸ hlavně s ionty hořčíku

Strukturní motivy v DNA

Sekundární strukturní motivy DNA

Dvoušroubovice

Molekula DNA se v drtivé většině případů vyskytuje jako pravotočivá dvoušroubovice, kterou objevili Watson a Crick. Dvoušroubovice DNA je tvořena dvěma vlákny stočenými kolem společné osy. Téměř vždy je tato dvoušroubovice stabilizována Watson-Crickovskými páry bází mezi antiparalelními řetězci. Tato dvoušroubovice může nabývat několika forem: A/B/Z, přičemž nejčastější je forma B (Obr. 6). Dvoušroubovice je rovněž stabilizována tzv. patrovými interakcemi. Na DNA dvoušroubovici pak rozlišujeme tzv. velký a malý žlábek.

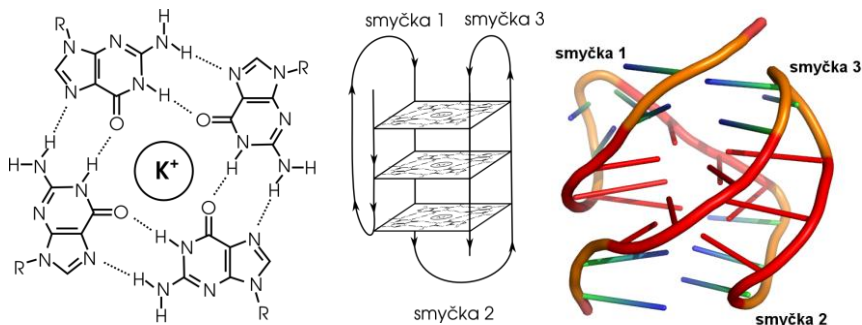


Obrázek 6. Dvoušroubovice DNA s vyznačenými 5'- a 3'-konci; vlevo 2D reprezentace, uprostřed úplná 3D struktura se všemi atomy (pdbid 1BNA), vpravo zjednodušené 3D zobrazení se schematicky vyznačenou cukr-fosfátovou páteří a jednotlivými nukleovými bázemi.

G-kvadruplex

Protože nukleové báze mají 3 hrany, na kterých mohou vznikat vodíkové vazby, mohou jimi být spojeny i více než dvě báze. Takto mohou čtyři guaniny vytvořit rovinné uskupení, které se nazývá guaninová tetráda (Obr. 7). Velmi často bývá tetráda stabilizována draselným kationtem. Pokud sekvence nukleotidů v řetězci nukleové kyseliny umožní, aby vzniklo několik guaninových tetrád nad sebou, jsou k sobě jednotlivé tetrády poutány patrovými interakcemi a vzniká tzv. G-kvadruplex.¹⁹ Typicky se G-kvadruplexy tvoří u telomerní DNA či v RNA.

¹⁹ Lech C.J., Heddi B., Phan A.T. (2013) "Guanine base stacking in G-quadruplex nucleic acids," *Nucl. Acids Res.*, 41 (3), 2034-2046.

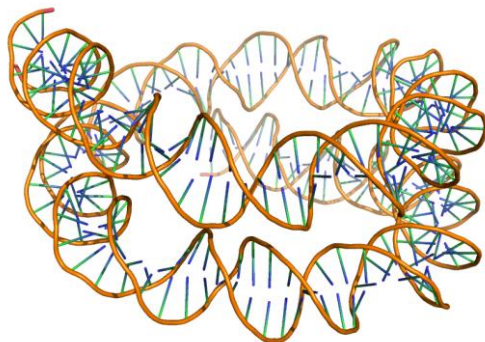


Obrázek 7. Vlevo guaninová tetráda, uprostřed G-kvadruplex - zjednodušená schematická reprezentace, vpravo zjednodušená 3D reprezentace (pdbid: 2HY9)

Terciární strukturní motivy DNA

Nadšroubovicové vinutí (angl. superhelix)

Molekula DNA uspořádaná v dvoušroubovici může dále zaujmout prostorové uspořádání, které se nazývá nadšroubovicové vinutí (též superhelix). Dvoušroubovice přitom zůstává zachována, avšak osa této dvoušroubovice již není rovná, ale tvoří šroubovici - tzv. nadšroubovici. Poloměr této nadšroubovice je samozřejmě mnohem větší (Obr. 8), než poloměr dvoušroubovice. DNA se tak může snáze „vejít“ a uložit do jádra.



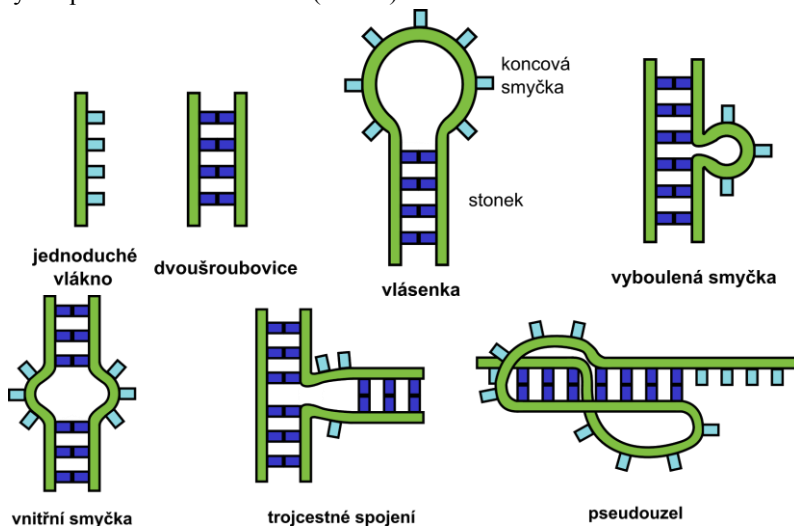
Obrázek 8. Nadšroubovicové vinutí DNA (pdbid: 1KX5)²⁰

²⁰ pdbid je označení struktury v databázi PDB (www.rcsb.org), do níž doporučuji nahlédnout. Není nad to, prohlédnout si biomolekuly na vlastní oči.

Strukturní motivy v RNA

Sekundární strukturální motivy RNA

Přítomnost 2'-hydroxylové skupiny dává ribonukleotidu daleko širší možnosti interakce, než jak je tomu u deoxyribonukleotidu. Proto je dnes známo mnoho různých způsobů skládání RNA (Obr. 9).



Obrázek 9. Ukázky sekundárních struktur některých RNA motivů

Jednoduché vlákno

Molekula RNA se velice často vyskytuje jako jednoduché vlákno - tedy žádná nukleová báze nemá žádnou trvalejší vodíkovou vazbu s jinou nukleovou bází. Tato struktura je ovšem stabilní jen pro velmi krátké oligonukleotidy.

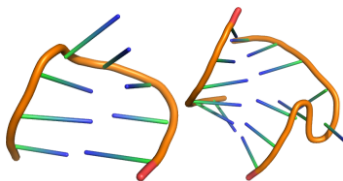
Dvoušroubovice

Molekula RNA se také může vyskytovat jako pravotočivá dvoušroubovice podobná kanonické struktuře DNA, stabilizovaná kromě Watson-Crickovských párů G=C a A-U také nekanonickými G-C-U páry. Parametry dvoušroubovice, jako je poloměr šroubovice, úhel sklonu nukleových bází a počet otáček na jednotku délky, se RNA výrazně liší od dvoušroubovice DNA.

Vlásenka (angl. hairpin)

Při pohledu na obrázky (Obr. 9 třetí zleva nahoře a Obr. 10 vlevo) vás určitě napadne, proč se tomuto uskupení říká vlásenka. Na vlásence můžeme rozlišit tzv. stonek (angl. stem), tedy úsek tvořený dvoušroubovicí, stabilizovanou Watson-

Crickovskými nebo i G-C-U páry bází, a tzv. koncovou smyčku. Tato struktura je poměrně častá a má značný význam pro skládání a stabilizaci větších kusů RNA.²¹



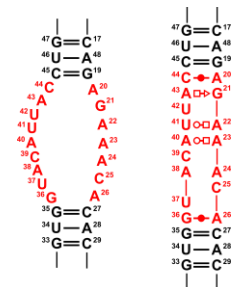
Obrázek 10. vlevo ukázka krátké vlásenky (hairpin; pdbid: 1D16); vpravo ukázka vyboulené smyčky (bulge; pdbid: 3E5C)

Vyboulená smyčka (angl. bulge)

Jako vyboulená smyčka se označuje úsek, ve kterém se jedno z vláken tvořících dvoušroubovici „odpojí“ a o něco dále se opět „napojuje“, aniž by došlo k narušení dvoušroubovice a patrových interakcí v ní, (Obr. 10 vpravo). RNA tímto způsobem poměrně často dosahuje lepšího párování bází v rámci dvoušroubovicového stonku a také mění sklon dvoušroubovice.

Vnitřní smyčka (angl. internal loop)

Jako vnitřní smyčka se označují takové části dvojice vláken RNA, které jsou z obou stran ohraničeny dvoušroubovicí, ale samy dvoušroubovicí netvoří. Toto označení vzniklo dříve, když byli vědci schopni rozpoznat pouze kanonické páry bází a těm nekanonickým nepřikládali příliš velký význam (Obr. 11 vlevo). Dnes již víme, že úseky vnitřní smyčky jsou zpravidla také spárované, a to nekanonickými páry bází, což značíme příslušnými symboly (Obr. 11 vpravo).

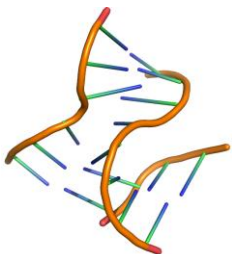


Obrázek 11. Vnitřní smyčka

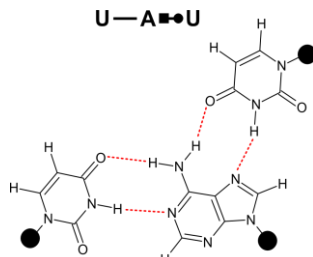
Spojení (angl. junction)

Místo, kde se spojuje několik kanonických RNA dvoušroubovic, se nazývá spojení (Obr. 12). Rozlišujeme trojcestné spojení, čtyřcestné spojení, atd. Díky těmto spojkám pak mohou vznikat i velmi komplikované RNA komplexy, jako jsou například ribozomy tvořené tisíci nukleotidy.

²¹ Svoboda P., Di Cara A. (2006) “Hairpin RNA: a secondary structure of primary importance.” *Cell Mol. Life Sci.*, 63(7-8), 901-908



Obrázek 12. Spojení tří RNA řetězců (pdbid: 3E5C)



Obrázek 13. Ukázka tripletu U-A-U

Triplet a trojšroubovice (angl. triplex)

Díky tomu, že nukleová báze může tvořit vodíkové vazby na více hranách, mohou tři báze vytvořit tzv. triplet (Obr. 13). Typicky spolu tvoří pár dvě nukleové báze svými Watson-Crickovskými hranami a třetí se přidá k Hoogsteenovské hraně jedné z nich. Když sekvence RNA umožní vznik několika tripletů nad sebou, vznikne trojšroubovice (triplex).

Terciární strukturní motivy RNA

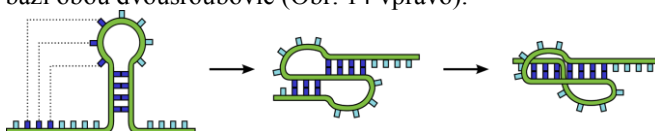
Terciárních strukturních prvků RNA existuje celá řada. Jejich kompletní výčet by zdaleka přesáhl rozsah tohoto seriálu, proto jsme se omezili na ty, se kterými se molekulární biolog či biochemik potkávají nejčastěji.

A-minor interakce

Vyskytuje-li se v sekvenci RNA několik po sobě jdoucích adeninů, mohou se tyto adeniny navázat svou cukernou hranou do malého žlábků dvoušroubovice RNA vodíkovými vazbami na kanonické páry v dvoušroubovici a na jednu nebo obě jejich 2'-hydroxyskupiny. Tato interakce se označuje jako „A-minor“ podle malého žlábků (angl. „minor groove“) a jednopísmenné zkratky adeninu. A-minor má velký význam pro stabilizaci konformace ribozomální RNA.

Pseudouzел (angl. pseudoknot)

Pokud se koncová smyčka spáruje s komplementární sekvencí mimo tuto smyčku, může vzniknout tzv. pseudouzел. Aby pseudouzел vznikl, nestačí spárování bází ve dvoušroubovicích, ale musí dojít také k patrovým interakcím mezi páry bází obou dvoušroubovic (Obr. 14 vpravo).



Obrázek 14. Mechanismus vzniku pseudouzlu

Kink-turn

Strukturní motiv zvaný kink-turn (zkráceně též K-turn) má velice specifickou strukturu. Vždy se skládá ze tří základních částí: úseku kanonické dvoušroubovice, úseku nekanonické dvoušroubovice a vyboulené smyčky, která je vždy mezi těmito dvěma úseky. V úseku vyboulené smyčky pak dochází k prudkému ohybu cukr-fosfátové páteře, a to přibližně o 120° . Kink-turn je mobilní prvek, který může podle podmínek měnit úhel a představuje jakési mechanické rameno, které v RNA komplexech zpravidla mívá svou specifickou funkci.

Závěrem

V tomto úvodním díle jsme si připomněli trochu historie starších objevů nukleových kyselin a jejich základní charakteristiky, strukturní prvky a rozdíly mezi jednotlivými typy. Ze struktur vyplývá, že DNA je výrazně stabilnější a méně variabilní než RNA, a tedy mnohem vhodnější pro uchování genetické informace. To je také její hlavní úlohou ve většině živých organismů. K její stabilitě přispívá zejména jednoznačně upřednostňovaná struktura dvoušroubovice.

Ve srovnání s DNA je RNA díky hydroxylové skupině přítomné na 2'-uhlíku ribózy mnohem reaktivnější. Proto může kromě kanonické dvoušroubovice vytvářet mnoho dalších strukturních motivů. To RNA předurčuje ke značné rozmanitosti jejích typů v organismu, kterých je daleko víc, než nejznámější mRNA, tRNA a rRNA, přičemž jednotlivé typy RNA plní v organismu celou řadu mnohdy zatím nepoznaných funkcí. A proto si o typech RNA povíme víc v příštím díle seriálu.

Zajíček chemik

