



VŠCHT PRAHA

Ústřední komise
Chemické olympiády

Soutěžní číslo:



62. ROČNÍK

2025/2026

KRAJSKÉ KOLO

KATEGORIE A/E

TEORETICKÁ ČÁST

ZADÁNÍ

240 UNIVERZÁLNÍCH BODŮ, 180 MINUT

60 bodů kategorie A | 40 bodů kategorie E



PERIODICKÁ SOUSTAVA PRVKŮ

1 I. A	2 II. A																18 VIII. A
1 1,00794 H 1 2,20 Vodík																	2 4,0026 He Helium
2 6,941 Li 3 0,97 Lithium	4 9,0122 Be 4 1,50 Beryllium																
3 22,990 Na 11 1,00 Sodík	12 24,305 Mg 12 1,20 Hořčík																
		3 III. B	4 IV. B	5 V. B	6 VI. B	7 VII. B	8 VIII. B	9 VIII. B	10 VIII. B	11 I. B	12 II. B						
4 39,098 K 19 0,91 Draslík	20 40,078 Ca 20 1,00 Vápník	21 44,956 Sc 21 1,30 Skandium	22 47,867 Ti 22 1,30 Titan	23 50,942 V 23 1,50 Vanad	24 51,996 Cr 24 1,60 Chrom	25 54,938 Mn 25 1,60 Mangan	26 55,845 Fe 26 1,60 Železo	27 58,933 Co 27 1,70 Kobalt	28 58,693 Ni 28 1,70 Nikl	29 63,546 Cu 29 1,70 Měď	30 65,38 Zn 30 1,70 Zinek	31 69,723 Ga 31 1,80 Galium	32 72,61 Ge 32 2,00 Germanium	33 74,922 As 33 2,20 Arzen	34 78,971 Se 34 2,50 Selen	35 79,904 Br 35 2,70 Brom	36 83,798 Kr 36 Krypton
5 85,468 Rb 37 0,89 Rubidium	38 87,62 Sr 38 0,99 Stroncium	39 88,906 Y 39 1,70 Yttrium	40 91,224 Zr 40 1,20 Zirkonium	41 92,906 Nb 41 1,20 Niob	42 95,95 Mo 42 1,30 Molybden	43 ~98 Tc 43 1,40 Technecium	44 101,07 Ru 44 1,40 Ruthenium	45 102,91 Rh 45 1,40 Rhodium	46 106,42 Pd 46 1,30 Palladium	47 107,87 Ag 47 1,40 Stříbro	48 112,41 Cd 48 1,50 Kadmium	49 114,82 In 49 1,50 Indium	50 118,71 Sn 50 1,70 Cín	51 121,75 Sb 51 1,80 Antimon	52 127,60 Te 52 2,00 Tellur	53 126,90 I 53 2,20 Jod	54 131,29 Xe 54 Xenon
6 132,91 Cs 55 0,86 Cesium	56 137,33 Ba 56 0,97 Baryum		72 178,49 Hf 72 1,20 Hafnium	73 180,95 Ta 73 1,30 Tantal	74 183,84 W 74 1,30 Wolfram	75 186,21 Re 75 1,50 Rhenium	76 190,23 Os 76 1,50 Osmium	77 192,22 Ir 77 1,50 Iridium	78 195,08 Pt 78 1,40 Platina	79 196,97 Au 79 1,40 Zlato	80 200,59 Hg 80 1,40 Rtuť	81 204,38 Tl 81 1,40 Thallium	82 207,20 Pb 82 1,50 Olovo	83 208,98 Bi 83 1,70 Bismut	84 ~209 Po 84 1,80 Polonium	85 ~210 At 85 1,90 Astat	86 ~222 Rn 86 Radon
7 ~223 Fr 87 0,86 Francium	88 226,03 Ra 88 0,97 Radium		104 261,11 Rf 104 Rutherfordium	105 262,11 Db 105 Dubnium	106 263,12 Sg 106 Seaborgium	107 262,12 Bh 107 Bohrium	108 270 Hs 108 Hassium	109 268 Mt 109 Meitnerium	110 281 Ds 110 Darmstadtium	111 280 Rg 111 Roentgenium	112 277 Cn 112 Kopernicium	113 ~287 Nh 113 Nihonium	114 289 Fl 114 Flerovium	115 ~288 Mc 115 Moskovium	116 ~289 Lv 116 Livermorium	117 ~291 Ts 117 Tennessin	118 293 Og 118 Oganesson

Diagram illustrating the structure of an element box (Vanadium, V) and its associated data:

- Relativní atomová hmotnost: 50,942
- Značka: V
- Elektronegativita: 1,50
- Název: Vanad
- Protonové číslo: 23

6 LANTHANOIDY

57 138,91 La 1,70 Lanthan	58 140,12 Ce 1,70 Cer	59 140,91 Pr 1,70 Praseodym	60 144,24 Nd 1,70 Neodym	61 ~145 Pm 1,70 Promethium	62 150,36 Sm 1,70 Samarium	63 151,96 Eu 1,00 Europium	64 157,25 Gd 1,70 Gadolinium	65 158,93 Tb 1,70 Terbium	66 162,50 Dy 1,70 Dysprosium	67 164,93 Ho 1,70 Holmium	68 167,26 Er 1,70 Erbium	69 168,93 Tm 1,70 Thulium	70 173,04 Yb 1,70 Ytterbium	71 174,97 Lu 1,70 Lutecium
--	--	--	---	---	---	---	---	--	---	--	---	--	--	---

7 AKTINOIDY

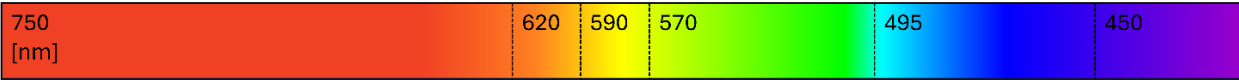
89 227,03 Ac 1,00 Aktinium	90 232,04 Th 1,70 Thorium	91 231,04 Pa 1,70 Proaktinium	92 238,03 U 1,20 Uran	93 237,05 Np 1,20 Neptunium	94 {244} Pu 1,20 Plutonium	95 ~243 Am 1,20 Americium	96 ~247 Cm 1,20 Curium	97 ~247 Bk 1,20 Berkelium	98 ~251 Cf 1,20 Kalifornium	99 ~252 Es 1,20 Einsteinium	100 ~257 Fm 1,20 Fermium	101 ~258 Md 1,20 Mendělevium	102 ~259 No 1,20 Nobelium	103 ~260 Lr 1,20 Lawrencium
---	--	--	--	--	---	--	---	--	--	--	---	---	--	--

SOUHRNNÉ BODOVÁNÍ ÚLOH

(vyplňuje porota)

	ANORGANICKÁ CHEMIE	ORGANICKÁ CHEMIE	FYZIKÁLNÍ CHEMIE	BIOCHEMIE
Úloha 1	/ 20	/ 24	/ 20	/ 20
Úloha 2	/ 20	/ 15	/ 20	/ 25
Úloha 3	/ 20	/ 21	/ 20	/ 15
CELKEM	/ 60	/ 60	/ 60	/ 60

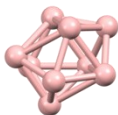
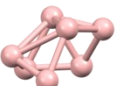
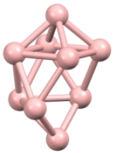
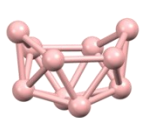
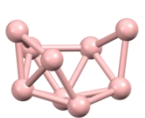
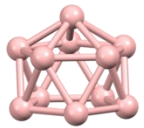
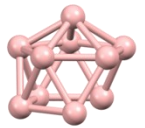
VZOREČKOVNÍK

Rychlost reakce pro $a A + b B \rightarrow c C + d D$	Kinetika 1. řádu
$v = -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = \frac{1}{d} \frac{d[D]}{dt}$	$c_A(t) = c_{A,0} \exp(-kt)$
Arrheniova závislost	Srážková teorie
$k = A \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right)$	$k = \pi r_{AB}^2 N_A P_S \sqrt{\frac{8k_B T}{\pi \mu_{AB}}} \exp\left(-\frac{E_A}{k_B T}\right)$
Boltzmannovo rozdělení	Eyring-Polanyi
$P_i \propto \exp\left(-\frac{E_i}{RT}\right)$	$k = \frac{k_B T}{h} \exp\left(-\frac{\Delta G_{akt}^\ddagger}{k_B T}\right)$
Doba života pro 1. řád	Poločas reakce 1. řádu
$\tau = \frac{1}{k}$	$\tau_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k}$
Energie fotonu	Redukovaná hmotnost
$E = \frac{hc}{\lambda}$	$\mu_{AB} = \frac{m_A m_B}{m_A + m_B} = \frac{M_A M_B}{M_A + M_B} m_u$
Rovnovážná konstanta	Kinetika Michaelise a Mentenové
$\Delta G^\circ = -RT \ln K$	$v = \frac{v_{\max}[S]}{K_M + [S]}$
	Maximální rychlost enzymové reakce
	$v_{\max} = k_{\text{cat}}[E]_{\text{tot}}$
Viditelné spektrum	
	

VYBRANÉ KONSTANTY A PŘEVODNÍ VZTAHY

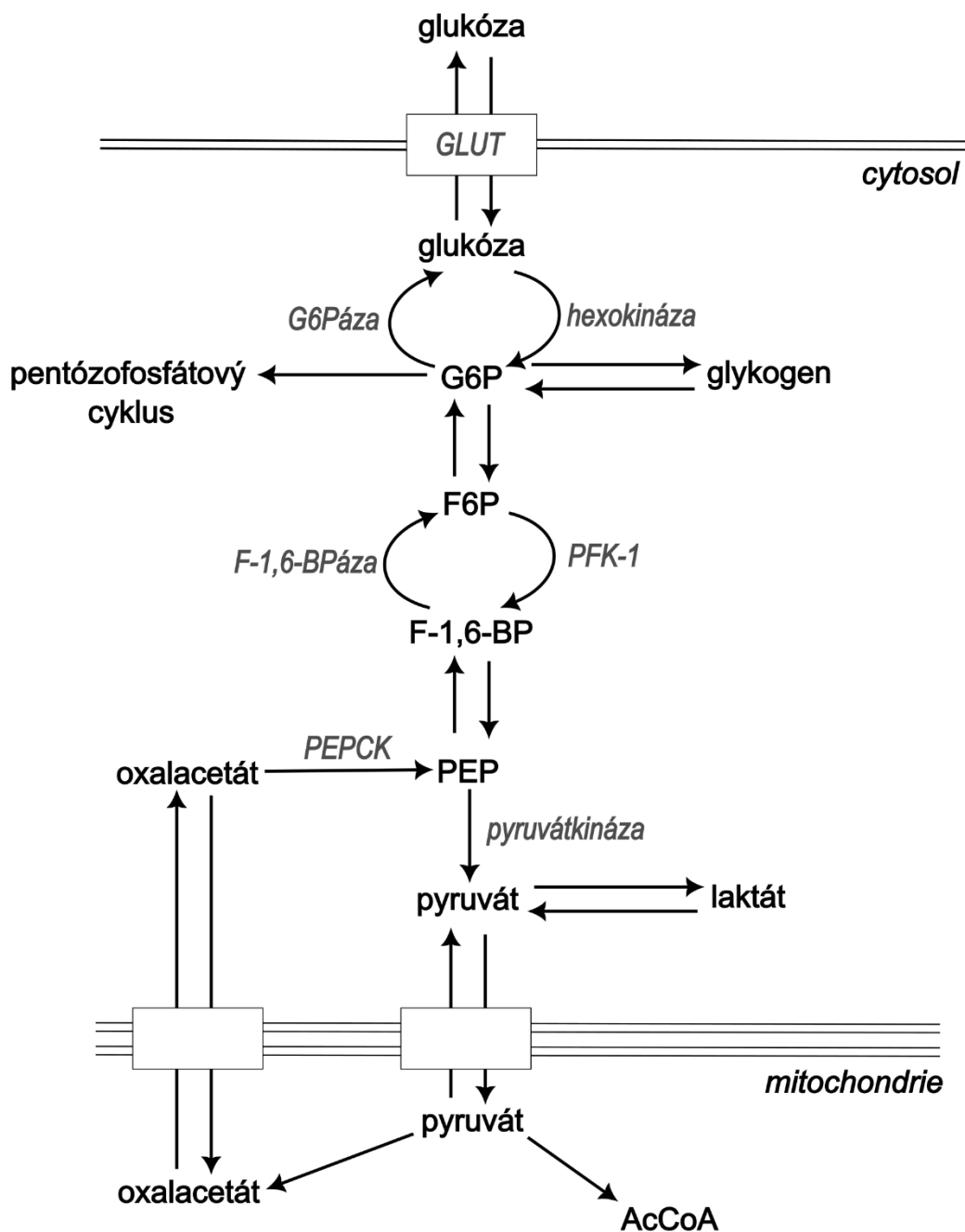
Avogadrova konstanta	Boltzmannova konstanta
$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	$k_B = 1,3806 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
Atomová hmotnostní konstanta	Elektronvolt
$m_u = 1 \text{ amu} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
Faradayova konstanta	Planckova konstanta
$F = 96485 \text{ C mol}^{-1}$	$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
Rychlost světla ve vakuu	Molární plynová konstanta
$c = 299\,792\,458 \text{ m s}^{-1}$	$R = 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
Termodynamická teplota	Atmosférický tlak
$0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$	$p_{\text{atm}} = 101\,325 \text{ Pa} = 1 \text{ atm} = 760 \text{ Torr}$
Standardní tlak	Standardní teplota
$p^\circ = 100\,000 \text{ Pa} = 1 \text{ bar}$	$T^\circ = 298,15 \text{ K}$
Standardní koncentrace	
$c^\circ = 1 \text{ mol dm}^{-3}$	

VZOROVÉ TVARY PRO CLOSO, NIDO A ARACHNO KLASTRY O 4–12 VRCHOLECH

	<i>closo</i>	<i>nido</i>	<i>arachno</i>	Názvy ideálních deltaedrů
4				<i>Tetraedr</i>
5				<i>Trigonální bipyramida</i>
6				<i>Oktaedr</i>
7				<i>Pentagonální bipyramida</i>
8				<i>Dodekaedr</i>
9				<i>Tříkrát očepičkovaný trojboký hranol (tricapped trigonal prism)</i>
10				<i>Dvakrát očepičkované čtvercové antiprisma (bicapped square antiprism)</i>
11				<i>Oktadekaedr</i>
12				<i>Ikosaedr</i>

Zdroj: [Wikimedia Commons](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Deltahedral-borane-cluster-array-numbered-3D-bs-17.png)<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Deltahedral-borane-cluster-array-numbered-3D-bs-17.png>
https://en.wikipedia.org/wiki/Cubic_crystal_system

SCHÉMA GLYKOLÝZY



KOLEKTIV AUTORŮ

ANORGANICKÁ CHEMIE

Autoři

Tomáš Heger*University of Cambridge***Karolína Zemene***University College Utrecht*Odborná
recenze**Jan Kotek***Katedra anorganické chemie,
Přírodovědecká fakulta,
Univerzita Karlova, Praha*Pedagogická
recenze**Tomáš Mahnel***Gymnázium Rumburk*

ORGANICKÁ CHEMIE

Autor

Filip Bureš*Ústav organické chemie a technologie,
Fakulta chemicko-technologická,
Univerzita Pardubice*Odborná
recenze**Miroslav Ludwig***Ústav organické chemie a technologie,
Fakulta chemicko-technologická,
Univerzita Pardubice***Petra Ménová***Ústav organické chemie,
Ústav učitelství a humanitních věd,
VŠCHT Praha*Pedagogická
recenze**Tomáš Mahnel***Gymnázium Rumburk*

FYZIKÁLNÍ CHEMIE

Autoři

Karolína Fárníková*Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského,
VŠCHT Praha***Eva Pluhařová***Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského*Odborná
recenze**Karel Berka***Katedra fyzikální chemie,
Přírodovědecká fakulta,
Univerzita Palackého v Olomouci*Pedagogická
recenze**Tomáš Mahnel***Gymnázium Rumburk*

BIOCHEMIE

Autor

Jan Vavřín*University of Cambridge*Odborná
recenze**Tomáš Ovad***Ústav fyzikální chemie,
Fakulta chemicko-inženýrská,
VŠCHT Praha*Pedagogická
recenze**Tomáš Mahnel***Gymnázium Rumburk*

ANORGANICKÁ CHEMIE

60 bodů

Úloha 1 Prvek X a jeho sloučeniny

20 bodů

Prvek **X** je velmi lehce tavitelný kov stříbřité barvy, který se hojně využívá v elektronice jako složka polovodičových materiálů. Jeho velmi nízký bod tání a vysoká teplota varu ho také činí ideálním kandidátem pro teploměry s vysokým teplotním rozmezím, jeho slitinu dnes také najdeme v obyčejných teploměrech jako náhradu rtuti. Z chemického hlediska se jedná o typického zástupce 13. skupiny, jehož některé sloučeniny vykazují amfoterní vlastnosti. Zároveň ho můžeme ve sloučeninách najít v různých oxidačních stavech.

1) Napište název prvku X.

Název prvku X:

body:

Oxid **A** prvku **X** je redukován prvkem **X** za zvýšené teploty na oxid **B**. Ten dále reaguje s kyselinou sírovou (**Reakce 1**) za uvolnění štiplavého plynu na sloučeninu **C**. Tepelným rozkladem látky **C** pak získáme opět oxid **A**.

Oxid **A** dále reaguje s thionylchloridem (SOCl_2) za vzniku sloučeniny **D** (**Reakce 2**). Ta poté reaguje se čtyřmi ekvivalenty hydridu lithného za vzniku velmi reaktivního komplexu **E**. Necháme-li komplex **E** reagovat se sloučeninou **D** (**Reakce 3**), vznikne nám anorganická sůl a velmi nestálý plyn **F**, který okamžitě dimerizuje na plyn **G**, který je nestálý a nad cca -10°C se rozkládá na prvky.

2) Napište vzorce sloučenin A–G.

A:

E:

B:

F:

C:

G:

D:

body:

3) Napište a vyčíslete rovnice Reakcí 1–3.**Reakce 1:****Reakce 2:****Reakce 3:****body:**

Sloučenina **D** se v pevném skupenství vyskytuje jako dimer, zatímco analogické sloučeniny prvků 13. skupiny (vyjma boru) tvoří „nekonečně provázané“ krystaly s hexa-koordinovanými metalickými centry. Tato vlastnost sloučeniny **D** vede mimo jiné k její poměrně nízké teplotě tání.

4) Nakreslete strukturu dimeru sloučeniny D.**Struktura dimeru D:****body:**

Sloučenina **E** je mnohem méně stabilní než její analogy odvozené od lehčích prvků 13. skupiny. Pomalu se rozkládá už za pokojové teploty, a velmi prudce reaguje s vodou.

5) Napište vyčíslené rovnice reakcí:

a) Sloučeniny E s vodou

b) Samovolného rozkladu sloučeniny E (vzniká mj. i prvek X)

a) vyčíslená rovnice reakce **E** s vodou:

b) vyčíslená rovnice samovolného rozkladu **E**:

body:

Úloha 2 Wadeova pravidla pro pokročilé**20 bodů**

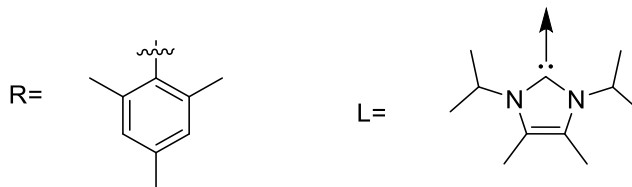
Jak bylo zmíněno již ve školním kole, Wadeova pravidla nejsou relevantní pouze pro borany, ale i pro další prvky tvořící elektronově-deficitní sloučeniny. Jedním z takových prvků může být gallium. Pro gallium lze Wadeova pravidla aplikovat např. na tzv. Zintlovy ionty – homopolyatomické anionty, homoatomické klastry nesoucí záporný náboj. Zintlovy ionty gallia mají obecný vzorec $[\text{Ga}_n]^{x-}$.

1) Jaký musí být negativní náboj x na Zintlově aniontu $[\text{Ga}_6]^{x-}$, aby výsledný klastř měl *closo* strukturu?

Náboj:

body:

Klastř šesti atomů gallia můžeme také potkat za takových podmínek, kdy každý vrchol klastř stabilizujeme organickým zbytkem. Klastř $[\text{Ga}_6\text{R}_4\text{L}_2]$ je stabilní *closo*-struktura s následujícími substituenty:

**2) Vysvětlete, proč je $[\text{Ga}_6\text{R}_4\text{L}_2]$ stabilní *closo* klastř. Vaše vysvětlení by mělo obsahovat určení počtu skeletálních elektronů v daném klastř.**

Vysvětlení:

body:

Ve 13. skupině periodické tabulky najdeme také hliník. Bohužel, Wadeova pravidla se na většinu hliníkových klastrů nedají aplikovat (vzácnou výjimkou je třeba $[\text{Al}_{12}\text{tBu}_{12}]^{2-}$, pro který tato pravidla platí). Namísto toho existují jiné, běžnější faktory, které stabilizují tyto sloučeniny.

Poznámka: tBu = *tert*-butylový zbytek, $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$

3) Pomocí Wadeových pravidel slovně popište strukturu $[\text{Al}_{12}\text{tBu}_{12}]^{2-}$:

Struktura (slovní popis):

body:

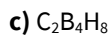
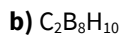
4) Proč nepotřebujeme Wadeova pravidla, abychom vysvětlili, že Al_2Cl_6 je stabilní struktura?

Vysvětlení:

body:

Nesmíme se ale nechat omezovat jenom 13. skupinou. Karborany, tedy klastry obsahující jak bor, tak uhlík, jsou naprosto běžným jevem v chemii klastrových sloučenin. Jak jste se již přesvědčili v předchozích kolech, principy pro počítání s Wadeovými pravidly jsou stále stejné i pro tyto sloučeniny.

5) Pomocí Wadeových pravidel určete počet skeletárních elektronů a slovně popište struktury následujících karboranů. Pro každý z nich poté určete, kolik má možných izomerů (uvažujte pouze různé možnosti obsazení vrcholů atomy uhlíku, nikoliv pozice můstkujících atomů vodíku):



body:

Úloha 3 Pentaborany**20 bodů**

Sloučeniny boru byly poměrně dlouho zkoumány a zvažovány jakožto raketová paliva. Zatímco běžněji dostupný diboran byl zavrhnut poměrně rychle kvůli své volatilitě, pentaborany, a zejména pentaboranový klastr B_5H_9 s průmyslovým označením Green Dragon, vypadaly jakožto slibní kandidáti. Klastr B_5H_9 se dá poměrně snadno připravit pyrolýzou diboranu (**Reakce 1**), a na jednotku hmoty měl větší spalovací výkon než jiná paliva. Při spalování tohoto paliva vzniká oxid boritý a voda (**Reakce 2**). Spojené státy skladovaly zásoby tohoto paliva až do roku 2000, kdy bylo odborně zlikvidováno kvůli své toxicitě. Likvidace proběhla tak, že byl pentaboran hydrolyzován za vzniku kyseliny trihydrogenborité a vodíku (**Reakce 3**).

1) Nakreslete struktury následujících pentaboranů: $B_5H_5^{2-}$ a B_5H_{11} .



body:

2) Napište a vyčíslete rovnice Reakcí 1–3.

Reakce 1:**Reakce 2:****Reakce 3:**

body:

- 3) Energie uvolněná při spalování B_5H_9 je 4268 kJ/mol. Jak vysoko v gravitačním poli Země bychom dokázali vystřelit 50 kg raketu, kdybychom pro její výstřel měli jako palivo 250 g pentaboranu B_5H_9 ? Uvažujte 100% účinnost a gravitační zrychlení $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Nápověda: Potenciální energie se vypočítá jako: $E_p = \text{hmotnost} \cdot g \cdot \text{výška nad zemí}$.

Výpočet:

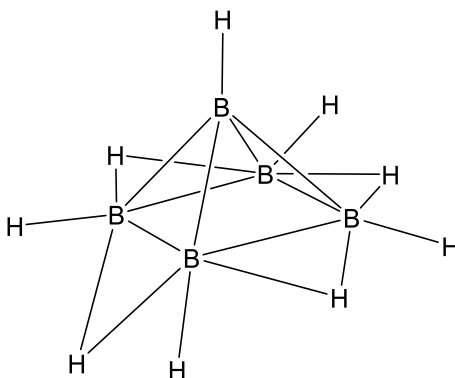
Výška: _____ km

body:

Kromě toho, že je B_5H_9 velmi energeticky bohatým palivem, ukázalo se, že je to také užitečný stavební blok při syntéze různých funkcionalizovaných borových klastrů. Vrcholy tohoto klastru (tj. atomy boru) by se daly rozdělit do dvou neekvivalentních skupin, nebo reakčních míst, na kterých může probíhat substituce.

- 4) Ve struktuře B_5H_9 vyznačte dva neekvivalentní typy vrcholů.

B_5H_9 :



body:

Jedna ze skupin těchto reakčních míst je mnohem hůře dostupná při substituční reakci kvůli překážejícím sousedním vodíkům, zatímco druhá skupina reakčních míst je mnohem lépe dostupná a v substitučních reakcích reaguje ochotněji.

- 5) Na kterém vrcholu B_5H_9 byste nejspíše očekávali substituci při reakci s Br_2 za nízké teploty? Nakreslete výsledný produkt.

Vysvětlení vámi zvoleného vrcholu:

Struktura produktu:

body:

Jakožto protipól spalovacích reakcí (oxidací) se na pentaboranech může snadno provést také redukce, která je již běžná o něco méně, přesto ale není nikterak složitá. Kupříkladu hydrid sodný je běžné redukční činidlo, které se využívá při redukci téměř všech pentaboranů.

- 6) Bude při redukční reakci na boranovém klastru odstraněn první spíše endo-vodík, nebo spíše exo-vodík, a proč? Zapište reakci hydridu sodného s B_5H_9 (není nutné finální strukturu kreslit, stačí pouze sumární vzorec).

Vysvětlení reakční selektivity:

Reakce:

body:

ORGANICKÁ CHEMIE

60 bodů

Úloha 1 Ladění vlastností π -systémů

24 bodů

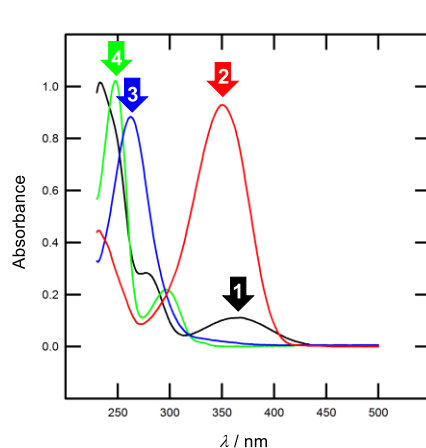
V této úloze se podíváme na klasický úkol materiálového organického chemika, jak správně vyladit optické a elektrochemické vlastnosti π -systému pro jeho aplikaci v organické elektronice.

- 1) Pro začátek se zkusme podívat na jednoduchou sloučeninu – 4-nitroanilin. Posuďte mezomerní efekty amino/nitro skupin a jejich vzájemné uspořádání, které vám napoví lokalizaci HOMO a LUMO v této molekule. Lokalizaci obou hraničních orbitalů do molekuly vhodně zakreslete (např. kroužkem) nebo popište slovně.

Odpověď:

body:

- 2) Na 4-nitroanilin se můžeme podívat i z pohledu jeho jednotlivých součástí – anilinu a nitrobenzenu; do hry přibereme i 3-nitroanilin jako polohový izomer. Na obrázku níže jsou uvedena čtyři absorpční spektra 1–4. Využijte znalosti o délce/uspořádání π -systému, chromoforu a auxochromu a přiřadte je jednotlivým sloučeninám (číslo spektra vepište do rámečku). Zvažujte absorpční maxima a absorbance označené šipkou.



anilin

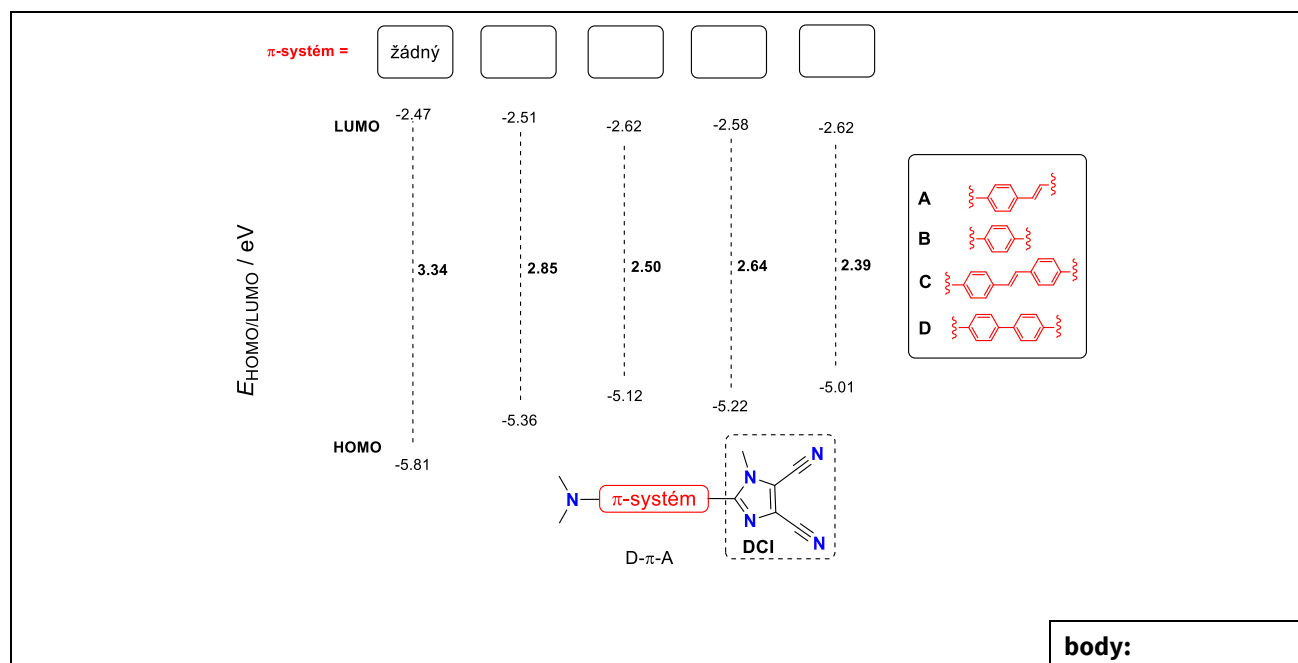
nitrobenzen

3-nitroanilin

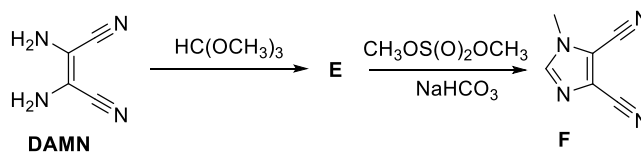
4-nitroanilin

body:

- 3) Energie HOMO a LUMO jsou výrazně ovlivněny i strukturou π -systému. Níže je zobrazena obecná struktura push-pull systému s *N,N*-dimethylamino donorem, heterocyklickým imidazol-4,5-dikarbonitril (DCI) akceptorem a různým π -systémem. Konkrétní π -systémy A–D jsou zobrazeny červeně vedle energetického diagramu znázorňujícího HOMO a LUMO hladiny. Přiřaďte π -systémy A–D k jednotlivým HOMO–LUMO rozdílům (zapište písmeno příslušného π -systému do připraveného rámečku). Sloučenina bez π -systému je již zadána.



- 4) Ve výše uvedených push-pull molekulách je jako akceptorní jednotka využit DCI. S využitím diaminomaleindinitrilu (DAMN) jako výchozí sloučeniny doplňte strukturu meziproduktu E, ze kterého lze následně připravit 1-methylimidazol-4,5-dikarbonitril (F).



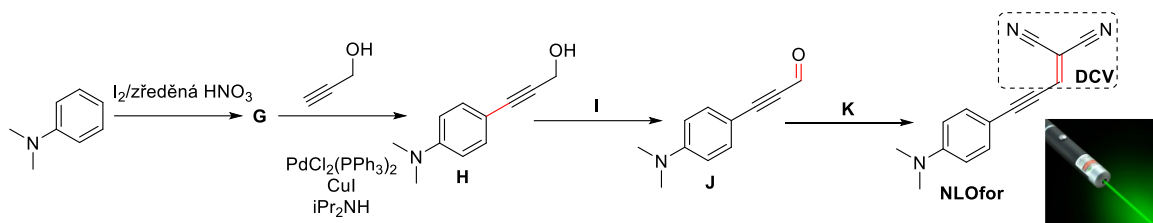
Struktura E:

body:

Úloha 2 NLOfor

15 bodů

Nyní jsme již dobře seznámeni s donorní *N,N*-dimethylamino skupinou, akceptorní nitrilovou skupinou a π -systémem. Zkusme si proto sestavit jednoduchý push-pull chromofor, který slouží jako nelineárně optické médium (tzv. NLOfor) schopné konvertovat dva fotony o vlnové délce λ na foton s vlnovou délkou $\lambda/2$. Toho se dá využít pro konverzi běžného neviditelného laserové paprsku z IČ oblasti ($\lambda = 1064 \text{ nm}$) na zelený laserový paprsek ($\lambda = 532 \text{ nm}$), který známe například ze zeleného laserového ukazovátka.



1) Nakreslete strukturu intermediátu G.

Struktura G:

body:

2) Jaká je funkce zředěné HNO_3 při syntéze intermediátu G? Zvažte vliv na vedlejší produkt vznikající z molekulárního jodu a funkci HNO_3 zapište pomocí reakčního schématu.

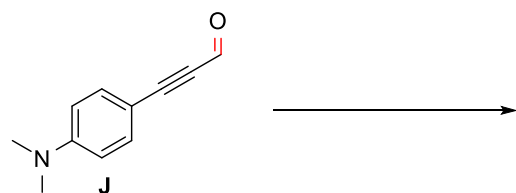
Reakční schéma:

body:

3) Uveďte vhodné reakční podmínky I pro selektivní oxidaci alkoholu H na aldehyd J.

Reakční podmínky I:

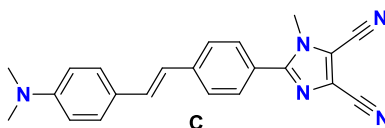
body:

4) Ve struktuře NLOforu vidíme další akceptorní jednotku na bázi nitrilové skupiny, tzv. dikyanvinyl (DCV). S využitím aldehydu J jako výchozí sloučeniny uveďte vhodnou reagensii a reakční podmínky K pro zavedení DCV jednotky za vzniku NLOforu.

body:

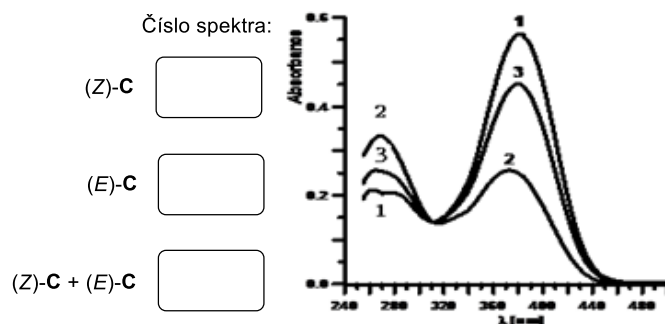
Úloha 3 Molekulové přepínače a senzory**21 bodů**

Dikyanimidazol (DCI) je robustní heterocyklická elektron-akceptorní jednotka, kterou lze využít na konstrukci molekulových přepínačů. Pojďme se podívat na dva takové příklady.

1) Ve školním kole jsme narazili na bazicitu aminů. Stilbenylový push-pull derivát C z Úlohy 1 nese několik atomů dusíku. Určete, který z nich je nejvíce bazický, a bude tudíž podléhat nejjednodušší protonaci (vybraný atom zakroužkujte). V případě imidazolu uvažujte stejnou bazicitu obou atomů dusíku.

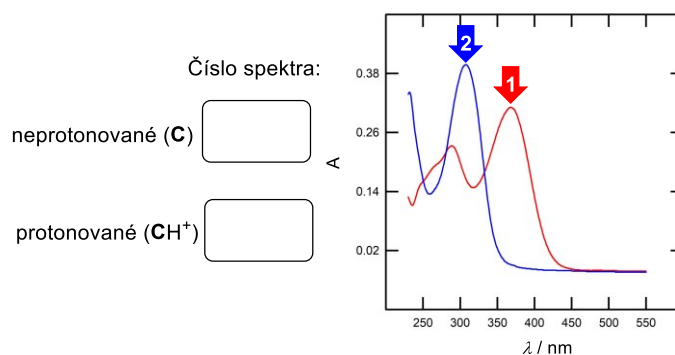
body:

- 2) Push-pull derivát **C** podléhá fotoizomerizaci po ozáření světlem o vhodné vlnové délce. Na obrázku níže jsou uvedena tři absorpční spektra. Rozhodněte, které patří izomerům (Z)-C, (E)-C a které jejich směsi (vepište číslo spektra do připravených rámečků).



body:

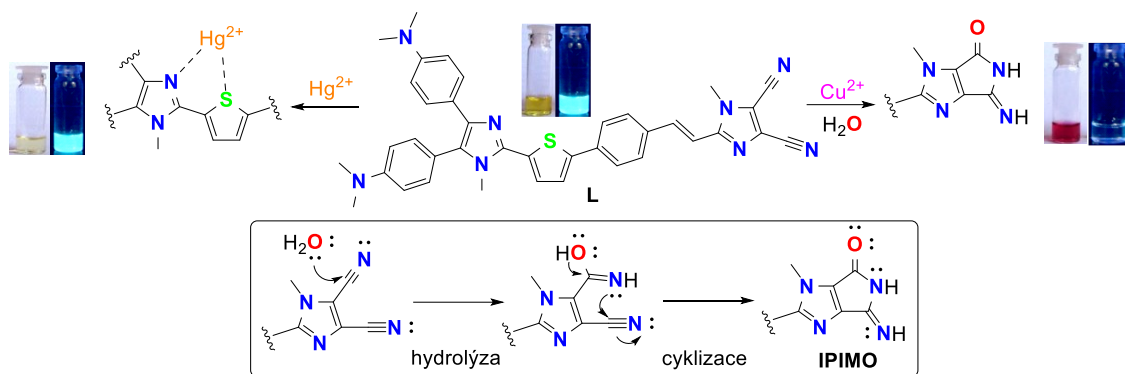
- 3) Protonace molekuly **C** je reverzibilní, a jedná se tak o pH indukovaný přepínač, který mění barvu v závislosti na pH prostředí (analogie pH indikátoru). Rozhodněte, které z níže uvedených spekter náleží neprotonované (**C**) a které protonované (**CH⁺**) molekule (číslo spektra vepište do rámečků) a své rozhodnutí slovně zdůvodněte.



Zdůvodnění:

body:

- 4) Díky vnitřnímu přenosu náboje (ICT) jsou push-pull molekuly velice citlivé na okolní prostředí. Push-pull derivát **L**, s imidazolem využitým jako elektron-donor i elektron-akceptor, se ukázal jako fluorimetrický a kolorimetrický senzor Hg^{2+} a Cu^{2+} iontů. Zatímco vratná koordinace Hg^{2+} iontů prostřednictvím N-C-C-S chelatující kapsy je spojená se ztrátou barevnosti (žlutá $\rightarrow$ transparentní) a přetrvávající fluorescencí, reakce s Cu^{2+} ionty ve vodném prostředí vede k červenému zbarvení a ztrátě fluorescence díky vzniku iminového uskupení (IPIMO) z kyan skupin původní DCI jednotky dle schématu níže. Proč je tato hydrolýza a cyklizace usnadňována přítomností Cu^{2+} iontů? Zakreslete zapojení Cu^{2+} do uvedeného schématu nebo ho popište slovně.



body:

- 5) Push-pull molekula **L** se interakcí s Hg^{2+} odbarvuje, naopak konverze DCI jednotky na IPIMO je spojená s posunem absorpčního maxima do červené oblasti (k vyšším vlnovým délkám). Objasněte slovně tato pozorování.

Objasnění:

body:

FYZIKÁLNÍ CHEMIE

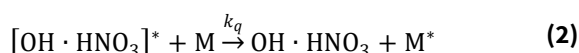
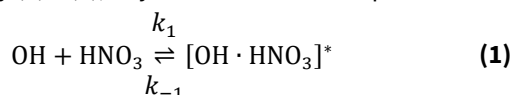
60 bodů

Úloha 1 První radikálová: Dusičná

20 bodů

Atmosféra je z 79 % tvořena molekulárním dusíkem. Ten sice hraje nezanedbatelnou roli v různých atmosférických dějích, ale spíš jako zhášedlo než jako reaktant, díky své inertní povaze. Sloučeniny dusíku jsou už ale mnohem reaktivnější a my se v rámci tohoto kola na některé procesy, kterých se účastní, podíváme.

Začneme kyselinou dusičnou HNO_3 . Reakcí s OH radikálem vzniká voda a NO_3 . Celý proces zde řešit nebudeme, zaměříme se pouze na první dva kroky (1) a (2), kdy vzniká stabilní komplex $\text{OH} \cdot \text{HNO}_3$.



Reakce (1) je vratný vznik komplexu $[\text{OH} \cdot \text{HNO}_3]^*$, který má ale přebytečnou energii. Té se zbaví v reakci (2), kde ji přeneseme na částici M.

1) Napište rychlostní rovnici pro závislost koncentrace meziprojektu $[\text{OH} \cdot \text{HNO}_3]^*$ na čase.

Rovnice:

body:

2) Celkovou rychlost reakce $\text{HNO}_3 + \text{OH} + \text{M} \rightarrow \text{OH} \cdot \text{HNO}_3 + \text{M}^*$ umíme popsat jako $k_{\text{eff}}[\text{OH}][\text{HNO}_3]$ a definujeme ji jako úbytek stabilních molekul. Čemu se rovná rychlostní konstanta k_{eff} ? Předpokládejte platnost aproximace stacionárního stavu.

Výpočet:

 $k_{\text{eff}} =$

body:

3) Určete řád reakce vůči všem dílčím reaktantům (HNO_3 , OH a M), celkový řád reakce a upravenou k_{eff} za následujících podmínek:

a) vysoký tlak částic M , $k_q \approx k_{-1}$

b) nízký tlak částic M , $k_q \approx k_{-1}$

a) Řád reakce vůči HNO_3 :

Řád reakce vůči OH :

Řád reakce vůči M :

Celkový řád reakce:

$k_{\text{eff}} =$

b) Řád reakce vůči HNO_3 :

Řád reakce vůči OH :

Řád reakce vůči M :

Celkový řád reakce:

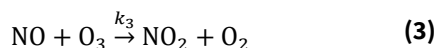
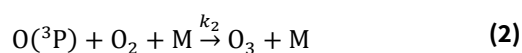
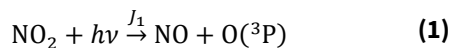
$k_{\text{eff}} =$

body:

Úloha 2 Zpátky k ozonu

20 bodů

Vraťme se k ozonu. V domácím kole jsme si ukázali jeho důležitost ve stratosféře. No jo, ale jakmile začne vznikat v troposféře, tak nastane problém, jelikož ozon je pro člověka toxický. Tvorbu ozonu v troposféře můžeme za zjednodušených podmínek popsat následujícími rovnicemi (1), (2) a (3), kde hrají důležitou roli právě oxidy dusíku NO_x .



- 1) Vyjádřete závislost koncentrace ozonu na NO_x , pokud můžeme u ozonu a kyslíkového radikálu předpokládat aproximaci stacionárního stavu.

 $[\text{O}_3] =$

body:

- 2) Jaký je poměr rychlostních konstant J_1 ku k_3 ? Je použití aproximace stacionárního stavu oprávněné? Koncentrace ozonu je $0,079 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, koncentrace NO_2 je 10 ppt a koncentrace NO je 5 ppt.

Výpočet:

$$\frac{J_1}{k_3} =$$

Rozhodnutí s vysvětlením:

body:

- 3) Za předpokladu že hodnota fotochemické konstanty je $0,01 \text{ s}^{-1}$, jaká je SI jednotka rychlostní konstanty k_3 ?

Úvaha:

$[k_3] =$

body:

- 4) Jaká je doba života NO_2 v troposféře?

Výpočet:

$\tau_{\text{NO}_2} =$

body:

- 5) Na základě rychlostní rovnice pro reakci (3) určete, jak se bude měnit doba života NO v troposféře v závislosti na koncentraci ozonu.

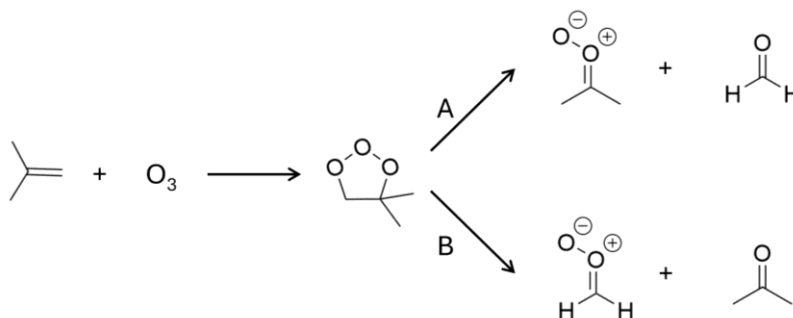
Výpočet:

body:

Úloha 3 Druhá radikálová: Ozonolýza

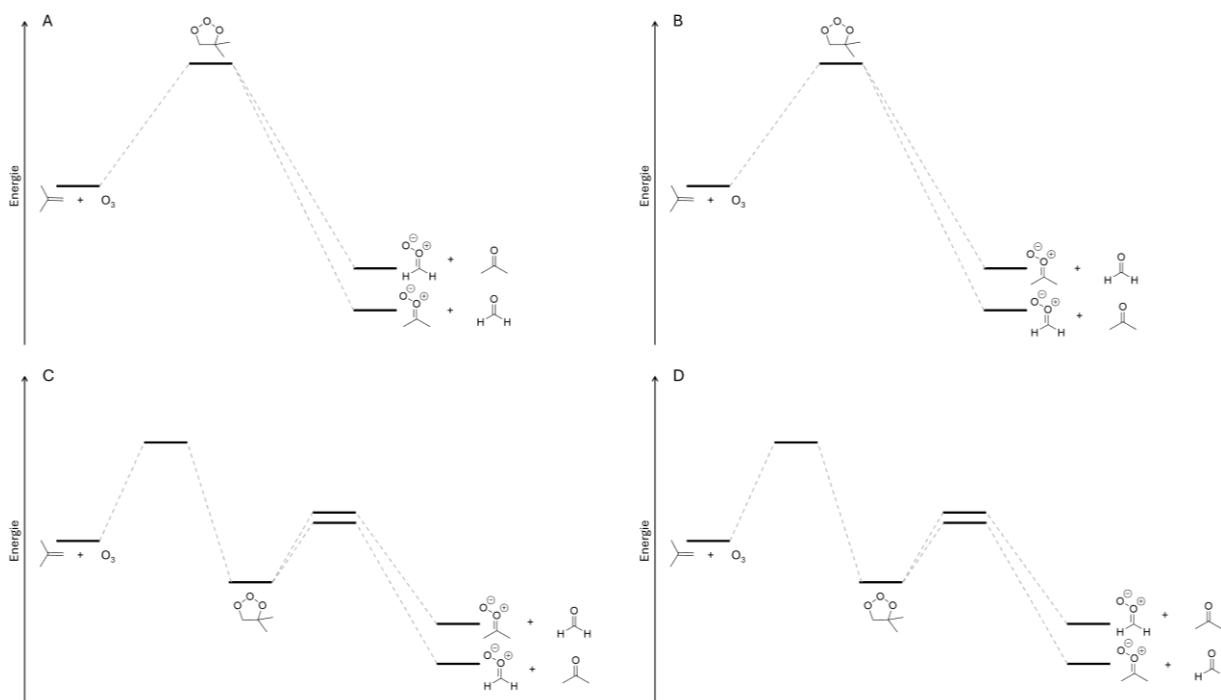
20 bodů

V poslední úloze se odkloníme úplně od sloučenin dusíku a podíváme se na reakci, kterou máte spojenou spíš s organickou chemií, a to ozonolýzu. Ozonolýza alkenů v plynné fázi je velmi důležitým procesem, kterým vznikají organické kyseliny a hydroperoxy v atmosféře, které fungují jako prekursory pro tzv. *secondary organic aerosols*. První krok ozonolýzy 2-methylprop-1-enu můžete vidět na schématu níže. Tímto procesem vznikají excitované radikály (Criege radikals), jejichž rezonanční struktura je zobrazena v diagramu výše (Obrázek 2, částice s kladným a záporným nábojem). Ty se kolizí a dalšími procesy přeměňují dál.



Obrázek 1: Schéma ozonolýzy 1,1-dimethylethenu.

- 1) Vyberte, který z grafů níže odpovídá ozonolýze 2-methylpro-1-enu. Pravděpodobnost, že na konci budeme mít produkty z cesty A, je 71 %. Ve zvoleném grafu dále vyznačte tranzitní stav (nebo tranzitní stavy, pokud se jich tam nachází více).



Vybraný graf:

body:

2) Jaký bude poměr rychlostních konstant pro cestu A a cestu B?

Výpočet:

$$\frac{k_A}{k_B} =$$

body:

Pro následující dva příklady předpokládejme, že reakce 2-methylprop-1-enu s ozonem jsou dvě paralelní elementární reakce (nebudeme tedy řešit mechanismus) s dílčími efektivními rychlostními konstantami k_A a k_B , kde produkt A vzniká s rychlostní konstantou $k_A = 1,1 \cdot 10^{-17}$ molekula ozonu⁻¹ · cm³ · s⁻¹.

3) Za jakou dobu se sníží koncentrace 2-methylprop-1-enu na polovinu? Předpokládejte, že koncentrace ozonu je rovna $2,5 \cdot 10^{10}$ molekula · cm⁻³. Ozon je ve velkém nadbytku vzhledem k 2-methylprop-1-enu a můžeme ji považovat za konstantní.

Výpočet:

$$t =$$

body:

4) Pro jakou koncentraci 2-methylprop-1-enu vznikají produkty reakce A rychlostí $5,5 \cdot 10^{10}$ molekula · cm⁻³ · s⁻¹? Koncentrace ozonu je $2,5 \cdot 10^{10}$ molekula · cm⁻³ a platí stejné předpoklady jako v úloze 3.

Výpočet:

$$[(\text{CH}_3)_2\text{CCH}] = \text{_____ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

body:

BIOCHEMIE

60 bodů

Úloha 1 Glykolýza III

20 bodů

V minulém kole jsme si ukázali, že alosterická aktivace nám umožňuje synchronizovat všechny tři regulované enzymy glykolýzy. Alosterická aktivace je velmi rychlá, ale je závislá pouze na koncentraci látek uvnitř buňky – občas by se však hodilo upravit metabolismus v závislosti na externích podmínkách. K tomuto účelu živé organismy často používají fosforylaci enzymů pomocí *kináz* (a defosforylaci pomocí *fosfatáz*). U mnohobuněčných organismů je fosforylace často pod kontrolou hormonů – v případě glykolýzy to jsou hlavně inzulín a glukagon.

1) Které tři aminokyseliny podléhají (u eukaryot) fosforylaci nejčastěji? Vyberte z nabídky.

glutamin, serin, cystein, histidin, valin, threonin, tyrosin, lysin

body:

Pro opačné reakce platí, že součet jejich ΔG je nulový. Tedy pokud $A \rightarrow B$ má $\Delta G = 50 \text{ kJ mol}^{-1}$, tak $B \rightarrow A$ má $\Delta G = -50 \text{ kJ mol}^{-1}$. Pro (de)fosforylaci enzymů toto ale zdánlivě neplatí – fosforylace kinázou může mít např. $\Delta G = -20 \text{ kJ mol}^{-1}$ a defosforylace fosfatázou $\Delta G = -10 \text{ kJ mol}^{-1}$.

2) Vysvětlete tento zdánlivý „termodynamický paradox“.

Vysvětlení:

body:

Hormony inzulín a glukagon primárně regulují množství glukózy v krvi. Po jídle, kdy máme glukózy hodně, se vylučuje inzulín – ten aktivuje procesy, které způsobí tok glukózy do buněk, tedy glykolýzu a syntézu glykogenu. Cílem glukagonu je naopak zvýšit množství glukózy v krvi – aktivuje tedy výrobu glukózy (jak z glykogenu, tak *de novo* glukoneogenezí).

V této úloze se glykogenem zabývat nebudeme a podíváme se jen na vliv hormonů na glykolýzu. Primárně mají vliv na dva enzymy, a to na fosfofruktokinázu 1 (PFK-1) a pyruvátkinázu (PK). Inzulín má navíc schopnost regulovat transport glukózy do buněk – ale o tom až později.

Glukagon působí přes receptor spřažený s G proteinem – konečným produktem zvýšené koncentrace glukagonu je tedy zvýšená koncentrace cAMP. Ta aktivuje klíčový regulační enzym, *proteinkinázu A* (PKA). Signalizace inzulínu je poněkud složitější a není plně objasněná – pro metabolické účely nám stačí vědět, že účinkem inzulínu je aktivace *proteinových fosfatáz*.

Na pyruvátkinázu tyto enzymy působí přímo.

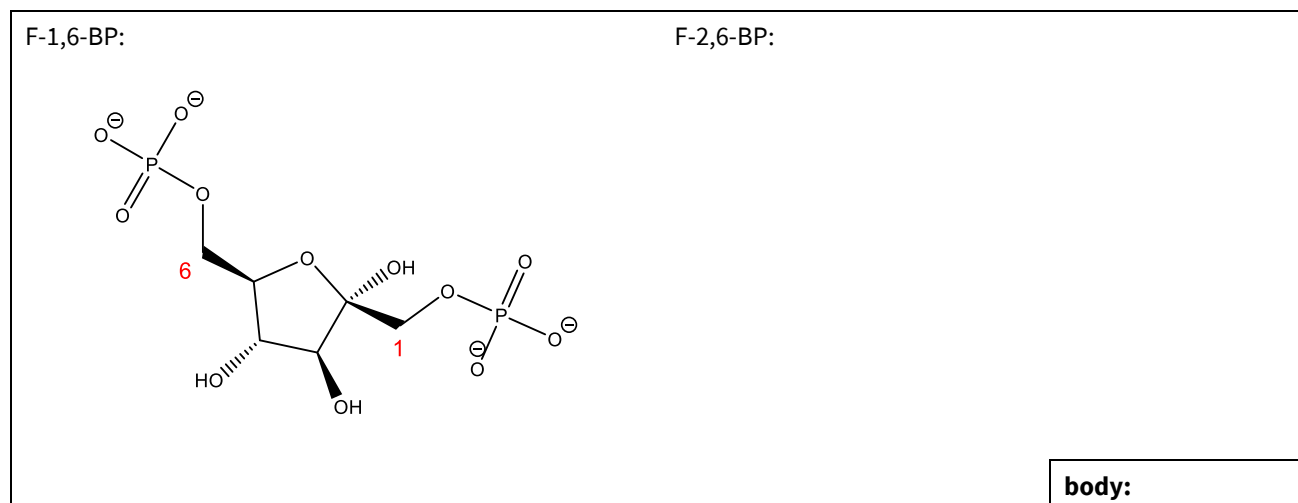
3) Je pyruvátkináza aktivována, nebo inhibována fosforylací? Vysvětlete.

Odpověď a vysvětlení:

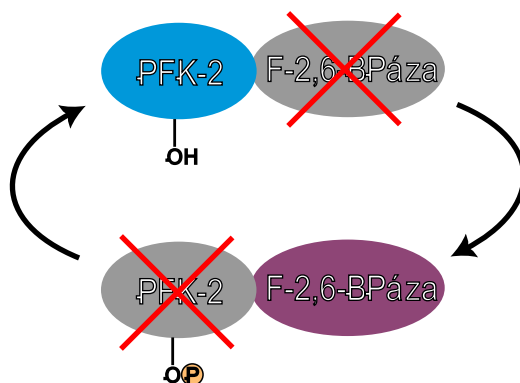
body:

Regulace fosfofruktokinázy 1 je poněkud složitější. Samotný enzym totiž není regulován fosforylací, nýbrž alostericky pomocí další molekuly, fruktóza-2,6-bisfosfátu (F-2,6-BP).

4) Na obrázku níže je struktura F-1,6-BP. Nakreslete strukturu F-2,6-BP.



F-2,6-BP se tvoří z fruktóza-6-fosfátu (F6P) pomocí enzymu fosfofruktokinázy-2/fruktóza-2,6-bisfosfatázy – zkráceně mu budeme říkat PFK-2/F-2,6-BPáza. Tento enzym je hormonálně regulován fosforylací. Je ale zajímavější, než by se mohlo zdát; katalyzuje totiž dvě různé reakce.



PFK-2/F-2,6-BPáza má dvě podjednotky, kinázovou a fosfatázovou – kinázová vyrábí F-2,6-BP, fosfatázová ho naopak rozkládá. Fosforylace enzymu přepíná mezi tím, která z podjednotek je právě aktivní.

5) Doplňte schéma hormonální regulace PFK-1 pomocí pojmů z nabídky a šipek nahoru/dolů.

Pojmy: proteinkináza A (PKA), F-2,6-BPáza, inzulin, PFK-2, [F-2,6-BP] (2x), glukagon

body:

Nakonec se můžeme zamyslet nad tím, jak se liší regulace glykolýzy v různých tkáních. Každá tkáň má rozdílnou funkci, a tomu pak odpovídají i její metabolické požadavky. Jedním z rozdílů mezi tkáněmi je transport glukózy do buněk, za nějž jsou zodpovědné GLUT proteiny („glukózové transportéry“). Jejich přibližné hodnoty K_M jsou uvedeny v tabulce níže. Koncentrace glukózy v krvi se pohybuje okolo 5 mM.

protein	K_M [mM]
GLUT1	5–7
GLUT2	15–20
GLUT3	1–2
GLUT4	5

Na rozdíl od prvních tří je GLUT4 regulovatelný pomocí inzulinu.

Jeden z těchto proteinů se nachází obecně ve většině tkání, ze zbylých tří je jeden specifický pro svaly, jeden pro mozek a jeden pro játra.

6) Přiřaďte transportní proteiny k tkáním.

obecný:

svaly:

mozek:

játra:

body:

Cílem inzulinu je dostat co nejvíce glukózy z krve do tkání – dává tedy smysl, že GLUT4 bude v takovém případě aktivovaný. Můžeme se ale zamyslet nad tím, proč je regulace vůbec potřeba – nestačilo by prostě, kdyby GLUT4 byl aktivní pořád?

7) Proč chceme, aby byl GLUT4 neaktivní, když je tělo v situaci hladovění (tedy málo inzulinu a hodně glukagonu)?

Nápověda: Zamyslete se, které tkáně potřebují glukózu nejvíc.

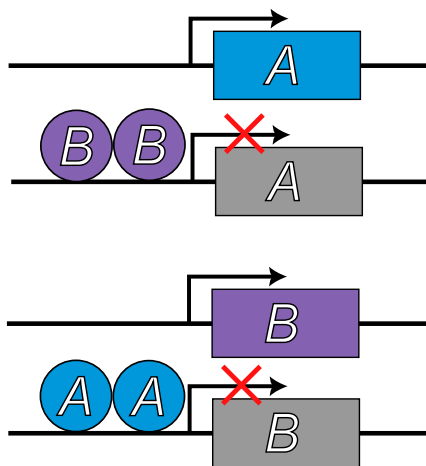
body:

Úloha 2 Genetický přepínač

25 bodů

V minulém kole jsme viděli jednoduchý příklad toho, jak pomocí pozitivní zpětné vazby může buňka mít „paměť“. V některých případech to stačí, občas ale ne – problém byl, že jakmile se gen aktivoval, už ho nešlo vrátit zpátky¹. My bychom chtěli systém, který bude mít paměť, ale půjde ho dostatečně silným signálem „přepnout“ do jiného stavu – podobně jako funguje vypínač na lampě.

Nejjednodušším modelem pro takovéto chování jsou dva transkripční faktory, A a B, které se inhibují navzájem. Je podstatné, aby se chovaly kooperativně – budeme tedy předpokládat, že se na DNA vážou jako dimery.

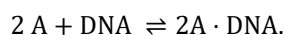


Máme dva transkripční faktory, a dostaneme tedy dvě rovnice. Můžeme předpokládat, že jejich rychlost degradace je stejná a že se stejně silně vážou na DNA.

$$\frac{dA}{dt} = -\gamma A + \frac{\alpha}{1 + KB^2}$$

$$\frac{dB}{dt} = -\gamma B + \frac{\alpha}{1 + KA^2}$$

Rovnovážná konstanta K je pro reakci



¹ U kooperativního modelu by to v principu šlo dostatečným snížením koncentrace proteinu A, pokud bychom např. zvýšili jeho rychlost degradace.

1) Vyjádřete zlomek $[2A \cdot \text{DNA}]/[\text{DNA}]_{\text{tot}}$ v závislosti na rovnovážné konstantě K a na koncentraci A .

body:

2) Vysvětlete jednotlivé členy v rovnicích výše. (Stačí pro protein A – pro B jsou identické.) Napište, jaký jev reprezentují, a jak ho daný tvar popisuje.

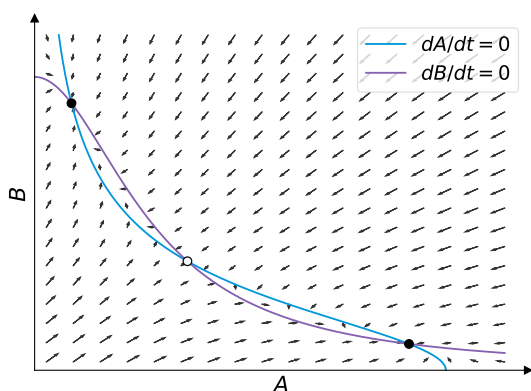
Nápověda: Z odpovědi na otázku 1 vyjádřete podíl volné DNA.

$-\gamma A$:

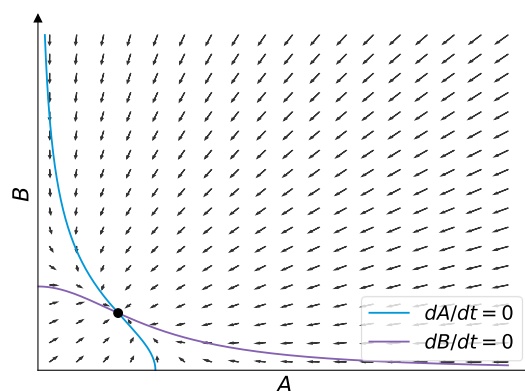
$$\frac{\alpha}{1 + KB^2} :$$

body:

Vhodná cesta, jak analyzovat chování těchto rovnic, je opět nakreslit si fázový portrét – ale teď bude dvourozměrný. Nakreslíme si ho pro dva případy v závislosti na hodnotě $\frac{\alpha\sqrt{K}}{\gamma}$.



$$\frac{\alpha\sqrt{K}}{\gamma} > 2$$



$$\frac{\alpha\sqrt{K}}{\gamma} < 2$$

Modrým a fialovým křivkám na grafech výše obecně říkáme nulkliny. (Vzpomeňte si na analýzu podobných křivek v kontrolním testu školního kola.)

3) Jaké jsou jednotky parametrů α , γ a K ? Ověřte, že kombinace $\frac{\alpha\sqrt{K}}{\gamma}$ je bezrozměrná.

α :	γ :	K :
Ověření:		
		body:

Vidíme tedy, že pokud je vzájemná inhibice (daná konstantou K) dostatečně silná, dostaneme dva možné stabilní body – v jednom případě „vyhraje“ A, ve druhém B.

4) Jak by se změnila rovnice, kdyby se A i B na DNA vázaly jako monomer? Zakreslete do grafu nulkliny pro tento případ a vysvětlete, proč pro libovolné hodnoty parametrů bude existovat vždy jen jeden stabilní bod.

Rovnice:
$\frac{dA}{dt} =$
$\frac{dB}{dt} =$
Výpočet nulklin:
(pokračuje na další straně)

Graf:



Vysvětlení:

body:

Pojďme se tedy vrátit zpět k původnímu modelu s dimery. Máme sice dva stabilní body, ale zatím mezi nimi neumíme přepínat – tady přijde na řadu další molekula, induktor (označíme ho opět jako I). Představme si, že B funguje jako represor, jen když na něm není navázané I. Takovou situaci známe z *lac* operonu – tam je represor LacI aktivní, jen když na něm *není* navázaná allolaktóza. Podobně by dimer A mohl mít svůj vlastní induktor.

Museli bychom tedy změnit rovnice tak, aby v nich místo B^2 byla koncentrace *volného* dimeru a podobně pro A^2 . My ale zvolíme jednodušší, i když méně realistickou variantu, a prostě popíšeme vazbu induktorů tak, že změní afinitu dimeru B k DNA, tedy:

$$\frac{dA}{dt} = -\gamma A + \frac{\alpha}{1 + fKB^2},$$

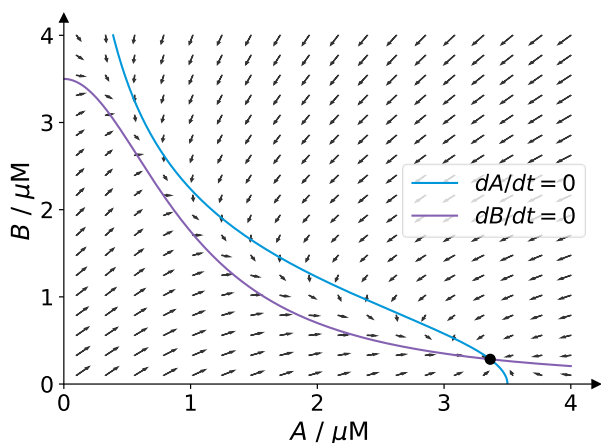
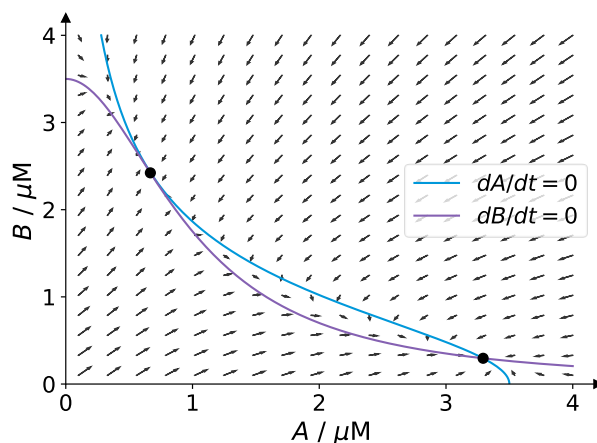
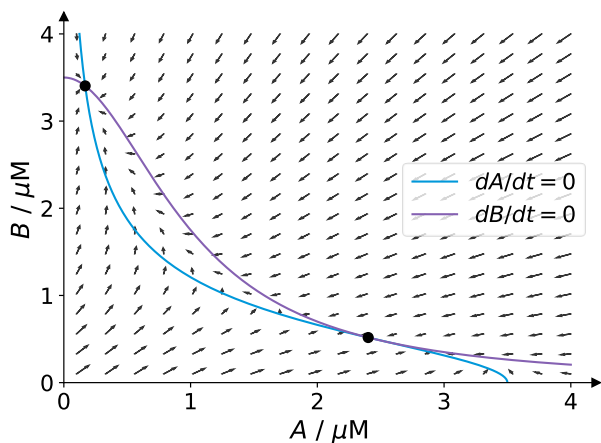
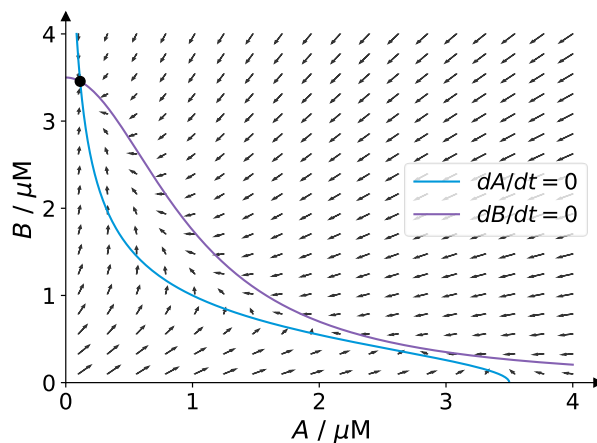
kde f popisuje účinek induktorů na náš systém.

5) Jaká hodnota f odpovídá původnímu modelu bez induktorů?

 $f =$

body:

Můžeme si nakreslit fázové portréty pro různé hodnoty f . Všimněte si, jak se modrá křivka posouvá „dolů“, když se f zvyšuje. Fialová křivka se nemění.

(a) $f = 0,5$ (b) $f = 0,72$ (c) $f = 1,71$ (d) $f = 2,5$

- 6) Předpokládejte, že začneme ve stavu s vysokým množstvím A. Na jakou hodnotu musíme zvýšit f , abychom systém přepnuli do stavu s vysokým množstvím B?

Nápověda: Zamyslete se, který stacionární bod odpovídá vysokému množství A a který vysokému množství B. Co se stane, když stacionární bod „zmizí“?

$f =$

body:

- 7) Předpokládejte, že začneme ve stavu s vysokým množstvím B. Na kolik musíme snížit f , abychom systém přepnuli do stavu s vysokým množstvím A?

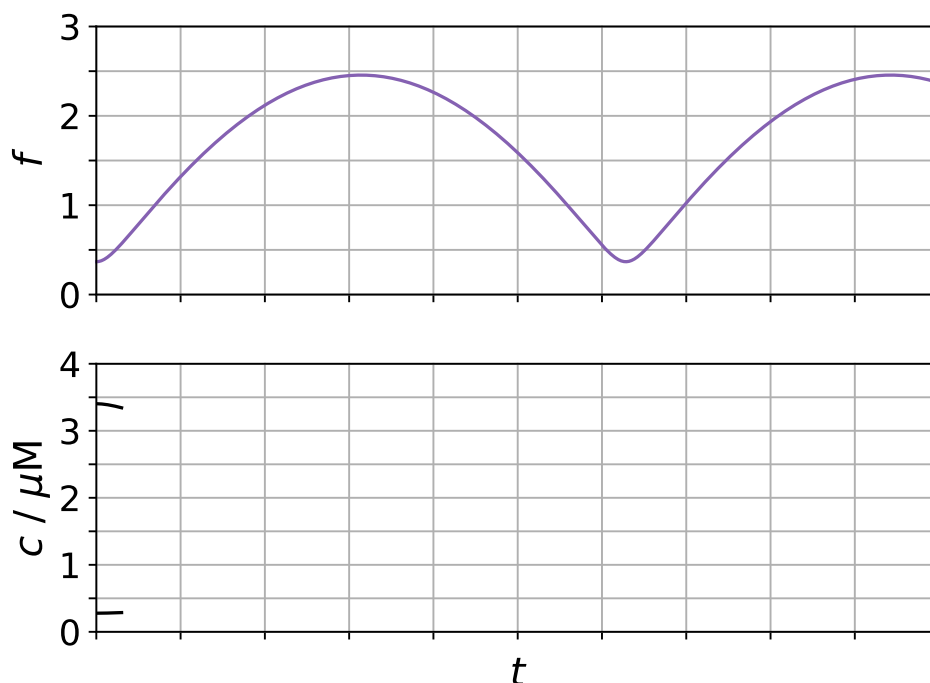
$f =$

body:

Pravděpodobně jste si všimli, že tato dvě čísla jsou různá – systém vykazuje efekt zvaný *hystereze*.

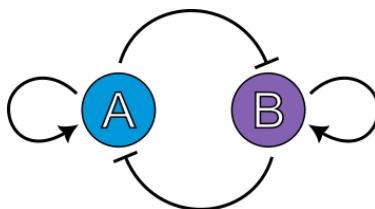
- 8) **Nakreslete závislost koncentrací A a B na čase, pokud se f cyklicky mění (vyznačeno fialovou křivkou). Předpokládejte, že systém začal ve stacionární koncentraci pro počáteční hodnotu f .**

Pro snadnější orientaci je kousek počátečního vývoje v grafu už vyznačen. Musíte ale rozhodnout, která z křivek reprezentuje koncentraci A a která koncentraci B. Grafy výše by vám měly pomoci s hodnotami koncentrací.



body:

Příroda náš jednoduchý model dokáže ještě vylepšit, a to tak, že A i B fungují nejen jako vzájemné represory, ale každý z nich aktivuje i svoji vlastní transkripci.



- 9) **V čem je takový systém lepší jako biologický přepínač?**

Odpověď:

body:

Takovýto systém používá například bakteriofág λ , aby zvládl přepínat mezi lytickým a lysogenním cyklem. Jako signál pro změnu slouží poškozené DNA hostitele. Bakteriofág začne v lysogenním cyklu, ale když vycítí, že se hostitel už nemůže sám reprodukovat, raději se přepne do lytického cyklu, zabije hostitelskou buňku a přesune se jinam.

Úloha 3 Vývojová**15 bodů**

V této úloze se podíváme na principy vývoje mnohobuněčných organismů. Zatímco u těch jednobuněčných dělá jedna buňka všechno, mnohobuněčné organismy mají mnoho různých specializovaných typů buněk.

1) Všechny² buňky v lidském těle mají stejnou DNA. Čím se od sebe tedy různé typy buněk liší?

Odpověď:

body:

Častým motivem ve vývojové biologii je pozitivní zpětná vazba – ta je klíčová pro úspěšnou *diferenciaci* buněk. Např. to, že se z buňky stane svalová buňka, určuje transkripční faktor MyoD. MyoD aktivuje transkripci dalších genů potřebných pro vývoj svalové buňky – zároveň ale také aktivuje svoji vlastní transkripci.

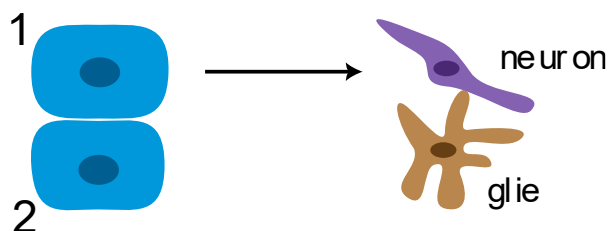
2) Proč je pozitivní zpětná vazba pro diferenciaci buněk důležitá?

Odpověď:

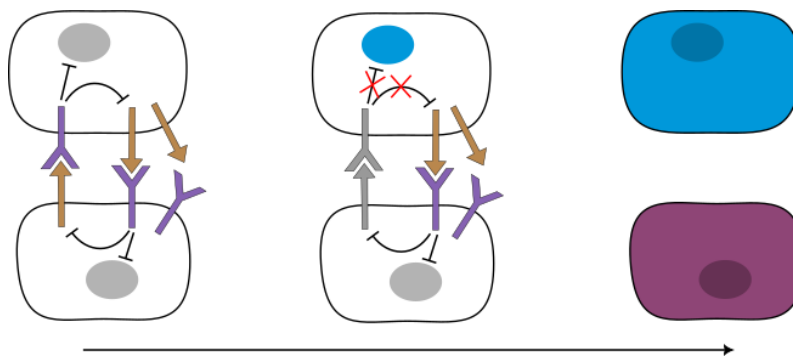
body:

² Striktně řečeno to není úplně pravda – (fyziologickými) výjimkami jsou např. T a B lymfocyty.

Pro vývoj některých tkání je důležité, aby určité typy buněk byly hned vedle sebe. Např. v nervové soustavě chceme, aby vedle sebe byly neurony a glie (buňky, které je vyživují). Pokud tedy máme dvě buňky (1 a 2), je jedno, která z nich se stane neuronem a která glií. Důležité ale je, abychom na konci měli jednu od každého typu. To zajišťuje systém zvaný *Notch-Delta signalizace*.

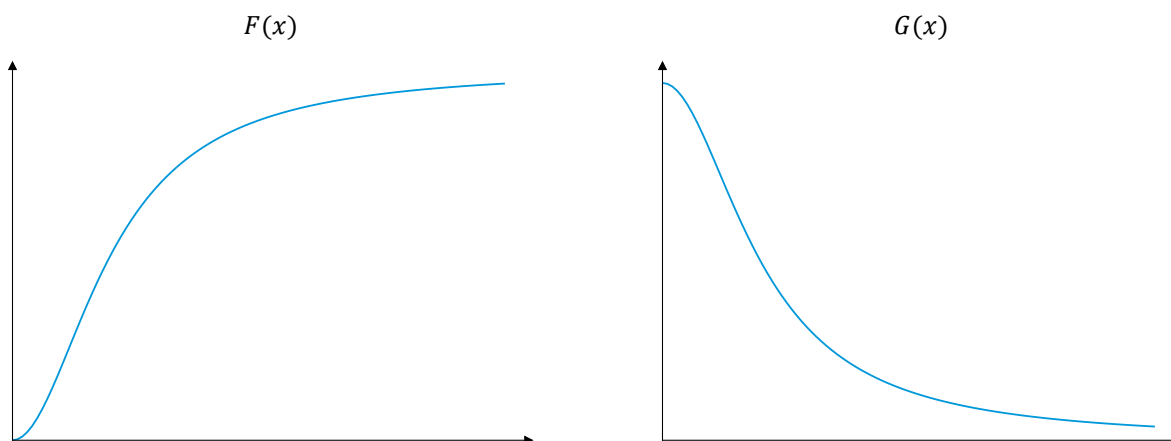


Notch (N) i Delta (D) jsou proteiny vystavené na vnější straně membrány. Notch (fialové Y) je receptor, který interaguje s Deltou (oranžová šipka) na druhé buňce. Aktivní Notch ale přenesení signál dovnitř a inhibuje jak Deltu, tak transkripci vývojových genů. Buňky spolu tedy „závodí“, která zvládne tu druhou inhibovat dříve.



Obrázek 2: Průběh Notch–Delta signalizace v čase. Na začátku jsou obě buňky nediferencované. Spodní buňka má trochu více Notch receptorů. Tento rozdíl se časem zvyšuje, dokud horní buňka „neprohraje“ a nezačne aktivovat transkripci příslušných genů, které z ní udělají diferencovanou modrou buňku. Ze spodní buňky se dalšími procesy nakonec stane fialová buňka.

Pro tento systém můžeme napsat sadu čtyř rovnic (N_1 je koncentrace Notch v buňce 1 apod.). Popíšeme je pomocí funkcí F a G , které jsou zadány graficky takto:



3) Doplňte výrazy z tabulky do prázdných míst v rovnicích.

Nápověda: která z funkcí reprezentuje aktivaci a která inhibici? Které interakce probíhají uvnitř buňky a které mezi buňkami?

Výrazy na doplnění: N_1, N_2, D_1, D_2

$$\frac{dN_1}{dt} = F(\text{____}) - \gamma_N N_1$$

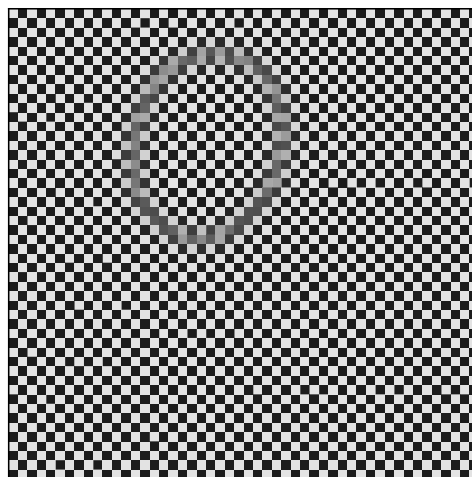
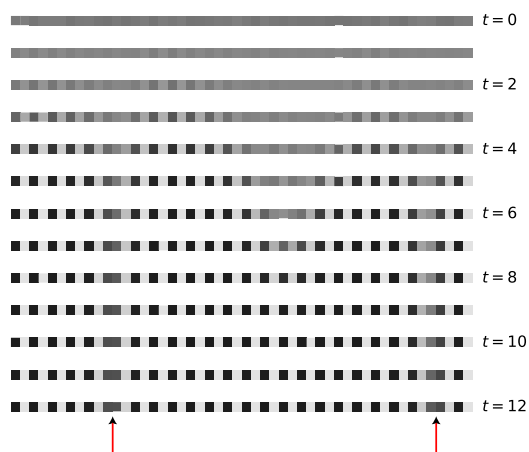
$$\frac{dD_1}{dt} = G(\text{____}) - \gamma_D D_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = F(\text{____}) - \gamma_N N_2$$

$$\frac{dD_2}{dt} = G(\text{____}) - \gamma_D D_2$$

body:

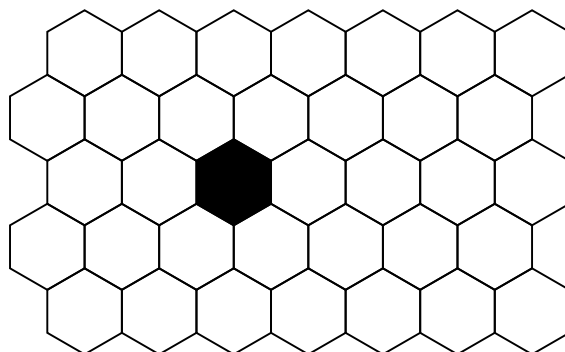
Podobný model můžeme použít i pro řadu buněk vedle sebe nebo dokonce pro dvourozměrnou mřížku. Výsledky pak vypadají nějak takto:



Vlevo vidíme, že buňky začínají v nediferencovaném stavu (šedá) a postupně se pomocí Notch-Delta signalizace rozdělí na dvě populace (černá a bílá). Vpravo je konečný výsledek pro 2D čtvercovou mřížku.

4) Jak by vypadalo finální rozdělení pro hexagonální mřížku buněk?

„Aktivní“ buňky vybarvěte. (Jedna už je vyznačená.)

**body:**

V obrázcích na předchozí straně jsme vyznačili „defekty“ v pravidelném uspořádání³.

5) Vysvětlete, jak takovýto defekt vznikne. Proč je obtížné se ho zbavit?

Vysvětlení:

body:

Tyto defekty jsou od sebe vzdálené několik desítek buněk. Některé tkáně ale potřebují pravidelné uspořádání na mnohem větších délkových škálách.

6) Navrhněte, jakým procesem by buňka mohla zajistit, aby pravidelné uspořádání mělo delší dosah.

Odpověď:

body:

³ Podobnou situaci vykazují procesy i mimo biochemii – např. krystalizace, kde těmto defektům říkáme „hranice zrn“.