

Úloha II.2 ... požívačná buňka

2 body; průměr 1,71; řešilo 68 studentů

Odhadněte na základě znalostí pouze makroskopicky měřitelných veličin, počtu buněk v lidském těle a počtu částic v látkovém množství jednoho molu, kolik molekul kyslíku „spotřebuje“ denně jedna lidská buňka. Potřebné údaje k výpočtu si naleznete a svoje zdroje nezapomeňte citovat.

Karel přemýšlel v metru.

Uvažujeme pouze tělu vlastní buňky,¹ pak se jejich počet v lidském organismu odhaduje² na 10^{12} až 10^{16} . Vzduch, který vdechujeme, obsahuje přibližně 21 objemových % kyslíku a vydechovaný vzduch 16 %, takže rozdíl činí 5 %.³ Množství oxidu uhličitého ve vydechovaném vzduchu 4,6 objemových % se nám může zdát menší, než bychom čekali, vzhledem k tomu, že podle zjednodušené chemické rovnice dýchání z jednoho molu kyslíku vzniká jeden mol oxidu uhličitého, nicméně oxid uhličitý se v krvi podílí na udržování acidobazické rovnováhy a je částečně vylučován ledvinami ve formě hydrogenuhličitanového aniontu. Proto můžeme zůstat u toho, že na jeden nádech a výdech se v těle na dýchání spotřebuje zhruba 5 objemových % kyslíku.

Víme, že objem klidového nádechu a výdechu u lidí činí zhruba $0,5 \text{ dm}^3$ vzduchu, 5 % z toho představuje $V = 0,025 \text{ dm}^3$ kyslíku. Počet molekul kyslíku v tomto objemu určíme pomocí stavové rovnice pro ideální plyn $pV = nRT$. Molární plynová konstanta R vznikla jako součin Boltzmannovy konstanty k a Avogadrovy konstanty N_A , stavovou rovnicí tedy můžeme použít ve tvaru $pV = nN_A kT$, přičemž součin molárního množství n a Avogadrovy konstanty, která udává počet částic v jednom molu, nám určí počet částic kyslíku N . Dále do rovnice potřebujeme dosadit hodnotu tlaku $p = 101 \text{ kPa}$ a teploty $T = 293 \text{ K}$, které jsme zvolili tak, aby odpovídali normálním podmínkám. Nyní již můžeme vyjít z rovnice $pV = NkT$ a určit z ní počet částic kyslíku na jeden nádech

$$N = \frac{pV}{kT} \doteq 6 \cdot 10^{20}.$$

Případně můžeme využít jednodušší výpočet přes takzvaný molární objem, který udává objem jednoho molu částic ideálního plynu za standardních podmínek, s kterými stejně počítáme.

Nyní je potřeba dohledat údaj o tom, jaká je klidová dechová frekvence dospělého člověka, podle internetových zdrojů⁴ tato frekvence činí asi 12–15 dechů na minutu. Je zřejmé, že během dne dechová frekvence kolísá v závislosti na tom, co děláme a jakou máme aktuální potřebu kyslíku, což však lze zanedbat s tím, že zrychlené a hlubší dýchání, ke kterému často dojde přes den, se přibližně vyrovná s útlumem dýchání při spánku, navíc vzhledem k tomu, že používáme poměrně hrubé odhady veličin, i nyní nám bude stačit pouze přibližný počet výdechů a nádechů, počítejme tedy s hodnotou $2 \cdot 10^4$ nádechů a výdechů za den. Spotřebuje se tedy zhruba 10^{25} částic kyslíku, což v přepočtu na jednu buňku činí asi 10^{13} molekul kyslíku při spodním odhadu počtu buněk a 10^9 při použití horního odhadu.⁵

Komentáře k řešení

Úloha byla poměrně jednoduchá a víc času vám pravděpodobně zabralo hledání než počítání, přesto se v řešeních vyskytlo pár problémů, takže se na ně trochu podíváme. Avogadrova kon-

¹ Jiné buňky v nás sice převyšují počet našich vlastních buněk zhruba o řád, ale v této úloze pro nás nejsou důležité a není problém je zanedbat, neboť se jedná hlavně o různé mikroorganismy, které mají obvykle o dost menší velikost buňky, takže pokud už nějaký kyslík spotřebovávají, není to významné množství.

² <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23829164>

³ <http://lucero.hogaza.sweb.cz/dychaci.htm>

⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Respiratory_rate

⁵ Samozřejmě, že se různé typy buněk v těle svojí potřebou kyslíku velmi liší, nás však zajímala průměrná spotřeba na buňku.

stanta udává počet částic v jednom molu, což však nemusí být pouze atomy, v tomto případě to byly molekuly, takže výsledek se neměl dělit dvěma. Další zádrhel byl v tom, že někteří si dohledali pouze to, že vzduch obsahuje 21 objemových % kyslíku, ale pak už tak nějak předpokládali, že se veškerý tento kyslík při dýchání spotřebuje, což není pravda. Vydechaný vzduch obsahuje přibližně 16 objemových % kyslíku, takže je to poměrně závažná chyba. Na co je také potřeba myslet, je správné zaokrouhlování, na středních školách se docela drží nešvar dosadit do vzorečku, opsat co vyplivne kalkulačka, dvakrát podtrhnout a být spokojený. Ve FYKOSu bychom ale byli rádi, kdybyste se snažili mít nad úlohou určitý nadhled a zamysleli se vždycky nad tím, s jakou přesností je vhodné výsledky a mezivýsledky uvádět. Naše úloha například používala velmi hrubé odhady veličin, navíc se vše týkalo živých organismů, které mohou být hodně variabilní, a kdy se vždycky jedná o jen o nějakou nejobvyklejší hodnotu, takže stačilo uvést řádový výsledek (výsledky typu, že buňka spotřebuje za den 1 234 573 924,086 molekul kyslíku jsou v tomto případě krajně nevhodné). Často se také vyskytovalo to, že jste objem kyslíku přes hustotu přepočítávali na hmotnost, abyste mohli vypočítat látkové množství, což je zbytečný krok (lze počítat přes standardní molární objem nebo případně pomocí stavové rovnice ideálního plynu, ze které tento objem vychází), ale samozřejmě to nebylo považováno za chybu. Taky je potřeba rozmyslet si, jaké zdroje použijete, aby se vám nestalo, že tvrdíte, že na jeden nádech se spotřebuje 71 vzduchu, protože vám to váš sešit biologie tvrdí. Stejně tak to, že plíce obsahují celkem zhruba 3l vzduchu, neznamena, že takový objem je v každém nádechu. Nakonec už bych vás jen chtěla poprosit, abyste svá řešení pokud možno neskenovali, některá jsou pak velmi špatně čitelná.

Kristína Nešporová
kiki@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.