

## Fyzika teplotkrevnosti

*KAREL KOLÁŘ*

*Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova*

Príspevek prináša základní pohled na zajímavé mezioborové téma, které může být motivací ke studiu fyzikálních jevů i pro ty, kteří jsou zaujati více například biologií, chemií či medicínou. Vysvětluje, co se pod, lidovějším, pojmem teplotkrevnost skrývá a na jedné základní úloze, kterou je možné dále rozvíjet, ukazuje souvislost rozměrů živočicha a jeho tepelných ztrát.

### Motivace

Motivací, proč se teplotkrevností zabývat v hodinách fyziky, je právě motivace žáků. Je zajímavé zpestřit hodiny fyziky něčím, co má v očích studentů nějaké přímé důsledky na život kolem nich. Takové téma má pak šanci prorazit i u těch, kteří nejsou do fyziky úplně nadšení.

Navíc samotné téma je zajímavé a dodnes nejsou vyřešené všechny souvislosti toho, jak vývojem došlo k vzniku teplotkrevnosti.

### Co je teplotkrevnost?

Teplotkrevnost je nepřesný pojem, který je ovšem obecně používán, a i proto byl vybrán pro název příspěvku. Samotné slovo teplotkrevnost nabádá k myšlení na zvyšování teploty, ale může jít i o její snižování. Nejde dokonce pouze o jeden pojem, ale spíše o tři různé. Pojmy a článek vychází z [1] a dalších zdrojů uvedených v literatuře – texty [2] a [3], videa [4] a [5]. Pojetí a přesné vysvětlení jednotlivých pojmů může být mírně odlišné od jiných zdrojů.

Přesnější označení než teplotkrevnost, je teplotní homeostáze či ještě přesněji teplotní homeodynamika, tedy stav, kdy v živočichovi probíhají dynamické děje spojené s metabolismem tak vyváženě, aby se jeho teplota udržovala na relativně stálé hodnotě. Bližší rozlišení pak je

- Endotermie – Živočich má schopnost zvýšit teplotu rychlostí metabolismu či svalovým třesem. Opakem je ektotermie.
- Homeotermie – je schopnost udržet si stálou vnitřní teplotu odlišnou od okolí, což může znamenat i ochlazování. Opakem je poikilotermie, kdy teplota živočicha závisí zejména na vnější teplotě.
- Tachymetabolismus – je vysoká úroveň klidového metabolismu. Opakem je bradymetabolismus.

V dalším textu budeme opět pracovat s pojmem teplotkrevnosti, ale již budeme mít na paměti, že nejde o optimální označení a že jde o živočichy, kteří mají všechny tyto tři charakteristiky.

### (ne)Výhody teplotkrevnosti

Teplotkrevnost má velký vliv na celý „životní styl“ daného živočicha. Jde například o následující záležitosti:

- Stálá teplota vede k stabilitě a snadnější regulaci rychlosti metabolismu – chemických reakcí probíhajících v živočichovi. Je známá poučka, že s rostoucí teplotou se rychlost

reakcí rapidně zvyšuje. Některé reakce pak při některých teplotách nemohou nastávat vůbec.

- Možnost ochladit své tělo je důležitá kvůli tomu, že se bílkoviny při vyšších teplotách rozkládají.
- Vyšší teplota má pravděpodobně pozitivní vliv na prevenci proti houbovým parazitům.
- Nevýhodou je, že většina teplokrevných nedokáže významně snížit svůj metabolismus a musí přijímat potravu v relativně krátkých časových intervalech.
- Výhodou je, že teplokrevní dokážou rychleji zvýšit svůj výkon – což se hodí jak při útěku před nebezpečím, tak při útocích na kořist, tak pro rozmnožování. Studenokrevní pak musí využívat vnější zdroje tepla – například můžete pozorovat
- Můžou být sledováni díky teplu, které vydávají – tedy například lidmi termokamerou. Například někteří hadi dokáží vycítit pomocí termoreceptorů i nízké změny teplot v okolí a tím přítomnost např. potenciální kořisti.

## Úloha na odhad tepelných ztrát v závislosti na velikosti živočicha

Zadání: Jak rychle klesne teplota živočicha o 1 K v závislosti na jeho rozměru?

### Východiska

Aby byla úloha dostatečně jednoduchá, zavedeme si mnoho předpokladů. Nejdůležitější z nich jsou

- Předpokládáme tepelné ztráty pouze zářením a žádné vedením či prouděním. Živočicha považujeme za dokonale černé těleso. Stephanovu-Boltmannovu konstantu značíme standardně  $\sigma$ .
- Abychom nemuseli nic integrovat, budeme chtít živočicha ochladit o  $\Delta t = 1^\circ \text{C}$  tak, že budeme počítat s tím, že v průběhu té doby je teplota živočicha konstantní, a to  $t_{in} = 36^\circ \text{C}$ . Dále předpokládáme konstantní teplotu okolí  $t_{out} = 5^\circ \text{C}$ .
- Živočich je dokonalá plná koule vody (hustota  $\rho = 1,0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , měrná tepelná kapacita  $c = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) s poloměrem  $r$ .

### Samotné řešení

Povrch koule je  $S = 4\pi r^2$  a její objem  $V = 4\pi r^3/3$ . Hmotnost je pak  $m = \rho V = 4\pi \rho r^3/3$ .

Tepelný výkon, který bude vyzařovat živočich ve formě koule s povrchem  $S$ , bude  $P_e = M_e S$ , kde  $M_e$  je intenzita daná jako  $M_e = \sigma T_{in}^4$ . Celkově jde tedy o  $P_e = 4\pi \sigma r^2 T_{in}^4$ . Současně bude přijímat tepelné záření od okolí o výkonu  $P_a = 4\pi \sigma r^2 T_{out}^4$ . Efektivně bude ztrácet teplo výkonem  $P = P_e - P_a = 4\pi \sigma r^2 (T_{in}^4 - T_{out}^4)$ .

Teplo, které musíme odejmout kouli, aby se ochladila o  $\Delta t$  je  $Q = mc\Delta t = 4\pi \rho r^3 c \Delta t/3$ .

Vztah mezi výkonem a časem je  $t = Q/P$ .

Celkově dostáváme vztah pro čas

$$t = \frac{c\rho\Delta t}{3\sigma(T_{in}^4 - T_{out}^4)} r.$$

Vidíme tedy, že čím větší je živočich, tím větší tepelná ztráty sice bude mít. Současně ale jak se zvětší jeho objem, tak bude efektivně trvat větší dobu, než ochladne. Když se na vztah podíváme, tak v našem přiblížení závisí pouze na konstantách daných situací a na poloměru živočicha pak závisí lineárně.

Pokud zkusíme dosadit nějaké typické hodnoty pro poloměr,

- pro  $r = 10 \mu\text{m}$  dostáváme řádově  $t = 0,1 \text{ s}$ . Tedy vidíme, že u malých bakterií by docházelo k velmi rychlému ochlazení.
- pro  $r = 1 \text{ cm}$  dostáváme řádově  $t = 100 \text{ s}$ .
- pro  $r = 1 \text{ m}$  dostáváme řádově  $t = 10^5 \text{ s}$ .

Často se také říká, že člověk má typický tepelný výkon (bazální metabolismus) v řádu  $P_{hu} = 100 \text{ W}$  (obvykle o něco méně, ale závisí na aktuální situaci, jeho rozměrech atd. Jakému poloměru koule by tento výkon odpovídal? Šlo by zhruba o  $r_{hu} = 0,2 \text{ m}$ , což by odpovídalo hmotnosti  $m = 40 \text{ kg}$ , což není sice zcela přesné, ale alespoň řádově máme odpovídající výsledek.

Zajímavé souvislosti s výsledkem je to, že i v životě člověka jednou musí dojít k rychlé změně rychlosti metabolismu, a to v průběhu hodin až desítek hodin po porodu. Novorozenec musí relativně rychle významně zrychlit svůj metabolismus, protože již není součástí těla matky a musí si „generovat“ teplo dostatečně rychle, aby se nepodchlادil.

### Možná vylepšení/rozšíření

Určitě můžeme rozvádět úlohu dál. Zaujatý žák by takové téma mohl zcela jistě využít i např. ve školním projektu či středoškolské odborné činnosti. Jmenujme tedy další možnosti

- Můžeme uvážit různé další teploty a to, že jde o kontinuální tepelný tok.
- Ve skutečnosti se zapojí do tepelného toku i ztráty tepla vedením a prouděním (tedy náš odhad potřebného výkonu na danou velikost, byl podhodnocený). Minimálně ty vedením je opět možné odhadovat. Jako důležité se také ukazují tepelné ztráty dýcháním, zejména v suchém chladném vzduchu.
- Živočich není homogenní koule vody, ale složitější systém, kde hraje roli tepelný tok zevnitř těla směrem ven a blízko jeho povrchu jsou obvykle ochranné vrstvy (kůže, srst), co brání ztrátě tepla. Dále vzduchu v blízkosti kůže může působit jako izolant vůči dalším tepelným ztrátám, pokud se živočich nehýbe. Tedy náš odhad ztrát byl z tohoto pohledu nadhodnocený. Zrovna teplota  $5^\circ \text{C}$  je pro člověka docela nízká a většina lidí by se oblékla, aby svoje tepelné ztráty snížila.
- Žádný organismus není dokonale černý. Proto by měly být reálné ztráty zářením nižší.
- Kulový tvar je ten s nejmenším možným povrchem pro těleso s daným objemem. Tedy reálný tvar živočicha by měl vést k vyšším ztrátám z důvodu většího povrchu.
- Člověk není tvořen pouze z vody, ale i z dalších chemických látek.

Podotkněme, že je zajímavé, že přes velké množství zanedbání, nám shodou okolností vyšla řádově očekávaná reálná hodnota. Měli jsme tedy trochu štěstí s tím, že se jednotlivé faktory částečně vyrušily.

## Nějaké další zajímavosti na závěr

- Dá se zhruba říci, že teplokrevní jsou savci a ptáci, kdežto studenokrevní jsou bezobratlí, ryby, plazi a obojživelníci, ale s různými výjimkami. Někteří dinosauři nejspíše byli mezotermové (dokázali částečně regulovat svou teplotu).
- Teplokrevnost byla pravděpodobně velice důležitá pro rozvoj tak komplikované centrální nervové soustavy a rozvoj mozku jako má člověk.
- Některé ryby (mečouni, tuňáci) a paryby (někteří žraloci) jsou částečně teplokrevné – mají lepší tepelnou izolaci a udržují si mozek a některé svaly na vyšší teplotě, než je teplota okolní vody.
- Podobně jako plazi na souši, některé ryby vyhledávají teplejší vodu, aby si upravily rychlost metabolismu.
- Teplokrevnost se pravděpodobně vyvinula vícekrát – napovídá tomu to, že je přítomná jak u ptáků, tak savců.
- Savci jsou sice teplokrevní, ale zimní spánek některých medvědů je příkladem toho, že někteří dokážou výrazně snížit svůj klidový metabolismus a nejsou tedy čistí tachymetabolisté.
- Bělozubka nejmenší (rejsek) má tak rychlý metabolismus, že během jednoho dne musí sníst zhruba 1,5 až 2násobek toho, kolik sama váží.
- Můžete dát žákům za úkol, aby sledovali rychlost pohybu mravenců v závislosti na jejich teplotě. Ale zase aby je nepálili lupou...

## Literatura

- [1] *Wikipedia: The Free Encyclopedia: Warm-blooded* [online]. c2018 [citováno 12. 9. 2018]. Dostupné z WWW: <<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Warm-blooded&oldid=858073226>>
- [2] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Teplokrevnost* [online]. c2015 [citováno 12. 9. 2018]. Dostupné z WWW: <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Teplokrevnost&oldid=12347382>>
- [3] *Science World: O vzniku teplokrevnosti*. [online] c2004 [citováno 12. 9. 2018] Dostupné z WWW: <<https://www.scienceworld.cz/neziva-priroda/o-vzniku-tepokrevnosti-2621/>>
- [4] *YouTube: Warm-Blooded vs. Cold-Blooded: What's The Difference?.* [video, online] c2015 [citováno 12. 9. 2018] Dostupné z WWW: <<https://www.youtube.com/watch?v=LH1p1XOqfsg>>
- [5] *YouTube: How Cold-Blooded Sharks achieved Warm-Bloodedness* [video, online] c2018 [citováno 12. 9. 2018] Dostupné z WWW: <<https://www.youtube.com/watch?v=aHKcxyCbWu8>>