

# Rozhledy matematicko-fyzikální

---

Josef Myslín

Jak je to s teplotou? Je tady teplo nebo zima?

*Rozhledy matematicko-fyzikální*, Vol. 85 (2010), No. 3, 45–51

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/146371>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2010

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

## Jak je to s teplotou? Je tady teplo nebo zima?

*Josef Myslín, VŠ manažerské informatiky a ekonomiky, Praha*

**Abstract.** The article contrasts human perception of temperature with real temperatures occurring in the universe and on this planet. It presents a brief historical overview and a short description of possible approaches to temperature and its measurement and interpretation. It compares the situation in our solar system with the situation in remote universe to illustrate that, compared to most places in the universe, the Earth is a very warm place. The aim of the article is to show that common sense and our own earthly experience may contradict the actual situation, even if it concerns something as well-known and trivial as temperature.

### Subjektivní vnímání teploty

Je mi teplo! Je mi zima! Jistě velmi často slyšíme tyto věty, kterými někdo sděluje své osobní pocity týkající se teploty. Tato prohlášení jsou pochopitelně důležitá pro běžný život, pro exaktní vědu jsou ovšem naprosto nepoužitelná. Důvody jsou v zásadě tři – prvním je subjektivnost. Jistě se vám stalo, že jste si například stýskali nad zimou, zatímco váš kamarád se smíchem vytáhl plavky a vykouznil skok do vody. Vnímání tepla a zimy je zkrátka příliš závislé na tom, kdo je oním vnímajícím. Druhým problémem je absence kvantifikovatelnosti. Člověk je schopen pouze definovat kvalitativní stav – teplo, zima – není však schopen kvantifikovat. A číselné vyjádření veličiny je pro fyzikální vědu (ale také pro praxi) velmi důležité. Posledním problémem je pak velmi omezený rozsah, ve kterém je možné člověka využít alespoň jako orientační teploměr.

### Teplotní stupnice

Pro seriózní vědu tak bylo velmi nutné najít možnost, jak měřit teplotu objektivně, kvantitativně a v celém potřebném rozsahu. Tuto potřebu naplnil švédský astronom a fyzik Anders Celsius, který v roce 1742 navrhl dnes užívanou Celsiovu stupnici [1]. Jak dále uvidíte, dnes se tato stupnice používá v mírně modifikované verzi. Celsius si všiml, že voda (nejběžnější kapalina na zemi, životně důležitá látka) taje vždy při stejné teplotě a při stejné teplotě také vře.

Vzal tedy tyto dvě důležité teploty jako základ své teplotní stupnice – bodu tání ledu přiřadil teplotu  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  a bodu varu vody teplotu  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Interval mezi těmito teplotami pak rozdělil na sto stejných dílků. Jeden takto definovaný dílek představoval dodnes uznávanou velikost jednoho stupně Celsia. Později Carl Linné upravil tuto stupnici do dnešní podoby – prohodil hodnoty teplot pro bod varu a bod tání. Proto dodnes říkáme, že led taje při teplotě  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a voda vře při teplotě  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

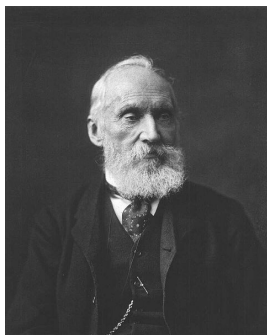


Vznik Celsiovy stupnice byl pochopitelně velkým úspěchem vědy, zejména když si uvědomíme, že se psal rok 1742. Teplotní stupnice dovolila přesně určovat teploty, které se vyskytují v mnoha přírodních jevech i v mnoha technologických procesech. Bez přesného určení teploty by těžko mohla existovat například současná metalurgie, ale například také potravinářská výroba. Celsiova stupnice je tak úspěšná, že se používá dodnes, byť nikoliv jako stupnice hlavní a jako stupnice vědecká. K tomuto používání se, jak bylo brzy zjištěno, nehodí. Její základní problém spočívá v tom, že se jedná o stupnici antropocentrickou. Reflektuje tedy lidské vnímání světa, nikoliv fyzikální realitu. Proč znamená nulová hodnota zrovna bod tání vody? Proč zrovna voda? Jistě, je to proto, že se jedná o nejrozšířenější látku, pro člověka nesmírně (životně) důležitou. Nicméně z hlediska fyziky znamená látku jako každou jinou (a dnes známe různých látek několik milionů). Z fyzikálního hlediska jsou antropometrické jednotky a stupnice nevhodné, zejména proto, že dávají mylné interpretace, vázané právě na jejich původ. Například teplota  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  je vnímána jako teplota poměrně nízká. Jak ovšem uvidíte dále, není tomu tak. Jistě, pro subjektivní pocitové vnímání lidského jedinice tato teplota skutečně nízká je, ale zkusme už jednou zapomenout na to, že bychom byli středobodem vesmíru, což skutečně nejsme. Z fyzikálního hlediska se jedná o teplotu poměrně vysokou, při porovnání s teplotami běžnými ve vesmíru se pak jedná o teplotu velmi vysokou. Ale nepředbíhejme, vše má svůj čas. Druhým problémem této stupnice je fyzikální bezobsažnost. Pouhé dva body této stupnice lze fyzikálně interpretovat, lze jim přiřadit konkrétní fyzikální skutečnost (jsou to právě ony dva body, ze kterých Celsius při tvorbě stupnice vycházel). Když se budeme ptát, proč je právě  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , odpovědí bude, že právě taje voda. Analogicky odpovíme pro teplotu  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ale co jakákoliv jiná teplota? Jiné teploty

žádným způsobem neodpovídají nějakému fyzikálnímu stavu. Například  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  prostě a jednoduše odpovídá teplotě, která se nachází v polovině intervalu mezi teplotou tání vody a teplotou varu vody. Nic více říci nelze. Ba dokonce by mohla vyvstat otázka, zda teplota vody  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  a teplota například oceli  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  jsou toutéž teplotou. Dnes samozřejmě je Celsiova stupnice teoreticky zakotvena mnohem lépe, nicméně abychom toto zakotvení mohli provést, bylo nutné vytvořit stupnici, která není antropocentrická, která odpovídá skutečně fyzikální podstatě přírody a která vychází s popisu nějakého fyzikálního stavu [2].

### Teplotní rozsah je omezený, existuje absolutní nula

Delší dobu existovala zajímavá otázka – je rozsah možných teplot neomezený? Jsou možné libovolně nízké i libovolně vysoké teploty? Při pohledu na Celsiovu stupnici nelze takové tvrzení vyvrátit. Právě proto, že tato stupnice nemá žádnou vazbu na to, jaký reálný fyzikální stav uvnitř dané látky při dané teplotě panuje. Již v roce 1702 byla Guillaumeem Amontonsem [3] navržena takzvaná absolutní nula, tedy nejnižší možná teplota, prakticky nedosažitelná. Bohužel v té době byly znalosti i technologie bohužel nedostačující pro možnost ověřit tuto myšlenku. Přesto je zde vidět paradox – pokud by Amontonsemova myšlenka byla správná, byla by to tvrdá rána pro Celsiovu stupnici – je přeci nesmyslné mít stupnici se dvěma nulami, jednou přirozenou, vyplývající z fyzikální podstaty světa, a druhou umělou, reflektující antropické vnímání světa.



V roce 1848 rozluštil záhadu významný skotský fyzik William Thomson (známější spíše pod šlechtickým titulem lord Kelvin, který mu byl přiznán za jeho zásluhy). Absolutní nula, tedy mezní, nedosažitelná teplota, skutečně existuje. Lord Kelvin také objevil, že teplota má původ v jistém stavu uvnitř látky. Jinými slovy, na základě měřitelného a popsateľného stavu, nikoliv jen na základě rozdělení intervalu, lze definovat teplotu tělesa [2]. Stupnice, kterou navrhl lord Kelvin, se nazývá stupnice termodynamická. Jejím počátkem je absolutní nula, která je rovna  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jednotkou termodynamické teploty byl zvolen 1 Kelvin (jako pocta lordu Kelvinovi, člověku, který vykonal mnoho práce v oblasti termodynamiky). Je velmi zajímavé, že rozměrově je  $1\text{ K}$  roven  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . To nám

umožňuje zavést velmi snadné převody mezi oběma stupnicemi

$$T = t + 273,15,$$

kde  $T$  představuje termodynamickou teplotu a  $t$  teplotu na Celsiově stupnici. Teplotě tání ledu tak odpovídá teplota 273,15 K a teplotě varu vody teplota 373,15 K. Práce s termodynamickou stupnicí je velmi jednoduchá, přesto však pro vědce představuje diametrálně odlišný přístup. Jednak reflektuje reálný fyzikální stav, jednak se oprošťuje od antropocentrické představy fungování světa. Jen pro zajímavost, teploty absolutní nuly, jak už bylo naznačeno, nelze nijak dosáhnout, je nedosažitelná. Lze se jí však v podstatě libovolně přiblížit – v současné době je rekordem teplota přibližně  $200 \text{ nK} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ K}$ .

Přes všechno, co jsem napsal, lze říci, že Celsiova stupnice v žádném případě není stupnicí mrtvou. Naopak, je tak uznávanou, že byla přijata jako doplňková stupnice soustavy SI, jedná se tedy o oficiální, platnou a povolenou stupnici. To, co vadí vědě, tedy antropocentrická stupnice, je totiž pro praktické používání ideální. Věda potřebuje popsat fyzikální podstatu, ale člověk v běžném životě nikoliv. Ten naopak touží po tom, aby mohl věci popsat tak, jak je vidí. A v tomto případě je Celsiova stupnice ideální. Základem jsou dvě významné teploty, stupnice odpovídá běžně se vyskytujícím teplotám, zkrátka a dobře – optimálně hodnotí teplotu z pohledu laika, občana, nefyzika.

### Teploty ve vesmíru

Nyní tedy máme vědecky definovanou teplotu, její stupnici a její jednotku. Jak tedy odpovíme na otázku, zda je na Zemi zima či teplo? Abychom tohle mohli posoudit, musíme se podívat na strukturu samotného vesmíru. Jak vlastně vypadá vesmír a jaká je v něm teplota? Když ráno vstanete, vykouknete z okna, můžete nabýt dojmu, že běžným místem ve vesmíru je místo podobné naší planetě. Tedy místo s průměrnou teplotou okolo  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , což řádově odpovídá přibližně 300 K. Jen málokdy vedou antropocentrické pohledy k tak neskutečně mylným závěrům. Naše planeta je naopak v měřítku vesmíru neuvěřitelně výjimečné místo. I naše sluneční soustava [4] je velmi vzácné místo. Ve skutečnosti není podstatou vesmíru hmota, kterou představují zářící, teplo sálající hvězdy, případně jejich planety. Podstatou je prázdnota, vakuum mnohonásobně dokonalejší, než je to, které dokážeme připravit zde na Zemi v rámci našich fyzikálních pokusů. Abychom si prázdnotu vesmíru mohli

alespoň trochu názorně představit, podívejme se na vzdálenosti, které ve vesmíru panují. Naše planeta je od mateřské hvězdy vzdálená 150 milionů kilometrů, což představuje přibližně 8 světelných minut (světlo ze Slunce k nám putuje 8 minut rychlostí téměř 300 000 kilometrů za sekundu). Kdybychom doletěli k Neptunu, poslední planetě naší sluneční soustavy, byli bychom od Slunce vzdáleni celé 4 světelné hodiny. Naším nejlepším družicím by trvala tato cesta mnoho let. Přesto bychom na cestě k nejbližšímu dalšímu majáku, nejbližší hvězdě (4 světelné roky), urazili teprve pouhých přibližně 0,01 % cesty. Kdybyste si vzali stometrové fotbalové hřiště a chtěli jej přejít, pak stejná část cesty odpovídá asi jednomu centimetru. Zbytek je prázdnota vakua. Většina hvězd je přitom podstatně dále.

A jak jsme na tom s teplotou? Začněme naší sluneční soustavou. Povrchová teplota Slunce je přibližně 5 700 K [4]. Energetický výkon Slunce je tak ohromný, že energie uvolněná za 1 sekundu by pokryla energetické potřeby lidstva přibližně na milion let. Toto teplo se šíří do celého prostoru. Naše planeta, vzdálená asi 150 milionů kilometrů, má průměrnou teplotu 287 K (tato kolísá od 185 K do 331 K, což jsou minimální a maximální teploty naměřené na naší planetě, jedná se o teploty pro člověka značně extrémní). Neptun, poslední planeta soustavy, vzdálená 30krát dále než Země, tedy přibližně 4,5 miliardy kilometrů (kdybyste každý den obletěli naši planetu na rovníku, tak za 100 let byste urazili přibližně třetinu této vzdálenosti), se pak může pochlubit teplotou pouhých 53K (v našich antropocentrických jednotkách těžko uvěřitelných –220 °C. Za těchto podmínek byste si mohli „sáhnout“ na pevný dusík či kyslík. Jen vodík, helium a několik dalších vzácných plynů jsou při této teplotě stále v plynném skupenství. A to se, prosím, stále nacházíme ve sluneční soustavě, ve sféře vlivu naší hvězdy.

Co by se tedy stalo, kdybychom překročili heliopauzu (pomyslná hranice vlivu Slunce) a směřovali dále do mezihvězdného prostoru? Co by se dělo s teplotou? Je logické, že by dále klesala se stoupající vzdáleností od zdroje tepla. Ale kam, kde by se zastavila? Na tuto otázku si odpovíme, když se vrátíme v historii o přibližně 13,7 miliardy let, do doby, kdy náš vesmír, tak, jak ho známe nyní, neexistoval. V této době hledíme počátek času a prostoru [5]. Zpočátku byla teplota neuvěřitelně vysoká, nicméně s rozpináním vesmíru se neustále snižovala. Je ovšem zřejmé, že tato teplota nikdy nemůže dosáhnout absolutní nuly. Jaká je tedy v současné době teplota tzv. vesmírného pozadí, tedy teplota prázdného prostoru? Dle posledních měření je to 2,726 K, tedy –270,274 °C. Ob-

jev reliktního záření v roce 1964 byl potvrzením teorie Velkého třesku a byl oceněn Nobelovou cenou. V dálkách mezihvězdného prostoru tedy můžeme očekávat teplotu přibližně 3 K.

Nyní si představme, co by se stalo s naší sluneční soustavou, kdyby se ze čtvrtého rozměru vynořili zlí mimozemšťané a „ukradli“ nám naše Slunce. Stalo by se totéž, co se stane, když vypneme v místnosti zdroj tepla (v tomto případě by zmizel také zdroj světla a celá sluneční soustava by se během několika hodin, které světlo potřebuje pro své putování, stala absolutně černou pustinou). Sluneční soustava by pomalu, ale jistě chladla až na teplotu okolní prázdnoty, tedy na teplotu oněch několika Kelvinů. Jinými slovy – vesmír je téměř absolutní pustina o teplotě několika Kelvinů obsahující tu a tam maličké ostrůvky kolem zářících hvězd, ve kterých se teplota pohybuje od několika tisíc Kelvinů do několika desítek Kelvinů (podle vzdálenosti od mateřské hvězdy). Bez Slunce by na naší planetě panoval mráz, jaký si nedokážeme představit ani v nejbujnějších snech. Ačkoliv je od nás Slunce vzdáleno neskutečných 150 milionů kilometrů, dokáže ohřát naši planetu o téměř 300 K. Ano, je nutné vzít v úvahu vliv atmosféry či hydrosféry, nicméně veškeré teplo pochází z energie Slunce. A i když je na Neptunu třeskatých 53 K, je to teplota stále o 50 K více, než jaká by na poslední planetě panovala bez energie Slunce. Zkuste si jen pro zajímavost vytápnout místnost na 50 °C. Obávám se, že s běžným vybavením jen tak neuspějete. Slunce produkuje tak ohromné množství energie, že povrch Neptunu zahřívá na uvedenou teplotu na vzdálenost 4,5 miliardy kilometrů. Kdybyste se na sluneční soustavu podívali termovizní kamerou ze vzdálenosti několika světelných let, pak byste viděli jen nepatrnou tečku, která by ovšem v okolním strašlivém mrazu zářila jako horký bod.

### Teplo nebo zima?

Tak, nyní už víme dost na to, abychom mohli odpovědět na otázku, kterou jsme si položili v názvu článku. Je tady, na naší planetě, teplo či zima? Odpověď záleží na tom, zda dokážeme překročit svůj stín a vymanit se z antropocentrického způsobu myšlení. Pokud nikoliv, pak si musíme přiznat, že naše rodná planeta nám dokáže nachystat slušné mrazničky. Vždyť na Zemi byla naměřena nejnižší teplota  $-88\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tedy 185 K. Člověk jen obtížně může fungovat při teplotě  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (258 K). Čtyřhvězdičkové mrazáky dokáží zmrazit potraviny na  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$  (249 K). Opravdu kvalitní a správně namíchaná nemrzoucí kapalina nám ztuhne

při teplotě  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  (223 K). Naměřená teplota je ještě bezmála o  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  nižší. Takže na naší planetě může být opravdu strašlivá zima.

Ale pokud se dokážeme přes naše lidské vnímání přenést a začneme chápat vesmír jako celek, pak můžeme naprosto s klidem prohlásit, že planeta Země je neuvěřitelně teplé místo. 99,9... % vesmíru je pustinou, kde teplota dosahuje jen několika málo stupňů nad absolutní nulou. A nejchladnější místo, které se kdy na Zemi vyskytlo, je o plných 180 K teplejší. Průměrná teplota je pak vyšší o více než 280 K. Tomu říkáte zima? Zemi lze bez nadsázky označit (ve vesmírném kontextu) za velmi horké místo a lze říci, že jen naprosto nepatrná část vesmíru (v běžném životě takto malé části celku zanedbáváme – nebo snad chcete říci, že se zajímáte o desítitisíciny procenta státního rozpočtu nebo o desítitisíciny procenta v rozdílu mezi naměřeným a správným časem na stovce Usaina Bolta?) se může pochlubit teplotou ještě vyšší. Jistěže naše subjektivní vnímání chladu, které je dáno naší fyziologií, nám bude neustále připomínat, že nám prostě je zima. Tohle nelze změnit, to je naše biologická podstata. Život na Zemi vznikl za určitých podmínek, proto je právě těmito podmínkám přizpůsoben a jakékoliv větší výkyvy mohou být pro organismy letální. Nicméně z hlediska fundamentální fyziky (základní, čisté, neovlivněné lidským náhledem na svět) a z hlediska reality vesmíru žijeme na velmi teplém místě. A važme si toho. To, že je tato část vesmíru, ve které žijeme, takto horká, a tedy přijatelná pro život, je jen stavem dočasným, a z hlediska doby trvání vesmíru se bude jednat jen o zanedbatelnou epizodu.

## Literatura

- [1] Stupeň Celsia. Wikipedia, [http://cs.wikipedia.org/wiki/Stupe%C5%88\\_Celsia](http://cs.wikipedia.org/wiki/Stupe%C5%88_Celsia)
- [2] Teplota. Wikipedia, <http://cs.wikipedia.org/wiki/Teplota>
- [3] Absolutní nula. Wikipedia, [http://cs.wikipedia.org/wiki/Absolutn%C3%AD\\_nula](http://cs.wikipedia.org/wiki/Absolutn%C3%AD_nula)
- [4] Sluneční soustava. Wikipedia, [http://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD\\_soustava](http://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD_soustava)
- [5] Velký třesk. Wikipedia, [http://cs.wikipedia.org/wiki/Velk%C3%BD\\_t%C5%99esk](http://cs.wikipedia.org/wiki/Velk%C3%BD_t%C5%99esk)