



## Výfučení: Teplotní roztažnost

Určitě jste někdy přemýšleli nad tím, jak funguje třeba takový rtuťový teploměr. Jak je možné, že se při zvýšení venkovní teploty sama od sebe zvedne hladina kapaliny? A proč jsou mezi koleji pravidelné malé mezery? Když totiž těleso zvýší nebo sníží svou teplotu, změní se i jeho rozměry. Tento jev nazýváme teplotní roztažnost a v tomto Výfučení si ho podrobněji vysvětlíme. Stejně tak si zmíníme i další jevy, které jsou se změnou teploty spojené.

### Struktura látek

Všechny látky okolo nás mají svou elementární strukturu – skládají se z menších částí: molekul a jednotlivých atomů nebo iontů. Tyto částice ale v látce nezabírají všechen prostor, jsou mezi nimi mezery, ať už se jedná o jakékoli skupenství (kapalné, pevné či plynné). Mluvíme proto o tzv. nespojitě strukturu látek.

Díky tomu se mohou částice v látkách všelijak pohybovat. Vykonávají různé druhy pohybů od posuvného až po otáčivý, ale vzhledem k tomu, jak jsou částice malé, nazýváme tento pohyb souhrnně neuspořádaný. Každá molekula se tak chová jako taková miniaturní pružinka – neustále kmitá okolo své rovnovážné polohy (tzn. polohy, ve které je v klidu). Dokážeme překvapivě snadno určit, jak rychle se molekuly v nějakém tělese pohybují, stačí totiž změřit jeho teplotu. Čím rychlejší je průměrně pohyb molekul, tím vyšší je teplota tělesa. Tu můžeme měřit více způsoby. Všichni jste se již určitě setkali s jednotkou stupňů Celsia ( $^{\circ}\text{C}$ ), ve kterých za pokojového tlaku vzduchu měříme, že voda tuhne při  $0^{\circ}\text{C}$  a vaří se při  $100^{\circ}\text{C}$ . Pokud ale budeme měřit teplotu tak, že nulu položíme tam, kdy téměř ustane pohyb částic látky, pak je jednou z možností použít jednotek *kelvinů*: přičemž  $0\text{ K} \doteq -273,15^{\circ}\text{C}$  odpovídá *absolutní nule*, tedy stavu, kdy se molekuly pohybují tak pomalu, jak jen jim to kvantová fyzika dovoluje.<sup>1</sup> Kelvin je jednotkou o stejné velikosti jako stupeň Celsia, a tak např.  $-1^{\circ}\text{C} = 272,15\text{ K}$ .

Představme si, že máme velice studené těleso. Když si molekuly v něm představíme jako pružinky, zjistíme, že v zimě kmitají jen velice pomalu. Taková líná pružinka vlastně ani nepotřebuje kolem sebe tolik prostoru, rovnovážné stavy molekul jsou poměrně blízko sebe. Když ale tělesu dodáme teplo, pružinky mají vyšší energii a začnou kmitat rychleji. Při rychlejším kmitání ale samozřejmě potřebují i více prostoru, rovnovážné polohy molekul se tak od sebe vzdálí. Nyní tak velice zjednodušeně chápeme onu záhadnou teplotní roztažnost – většina látek se při zahřátí rozpíná, protože se zvyšující se teplotou se od sebe oddalují rovnovážné polohy molekul.

### Teplotní objemová roztažnost

Nyní si ukážeme, jak můžeme s teplotní roztažností počítat. V následujícím textu budeme uvažovat pouze látky, jejichž objem či délka se se zvyšující teplotou rovněž zvětšují. O látkách, u nichž je tato úměra opačná, se zmíníme později. Teplotní objemová roztažnost nám říká, jaká je změna objemu tělesa při změně teploty. Můžeme ji počítat u pevných látek i tekutin (kapalin i plynů). Označme si původní objem tělesa jako  $V_0$  a objem tělesa po změně teploty jako  $V$ .

<sup>1</sup>Skutečné vymizení pohybu totiž není v reálném světě možné a ani dobře definované, ale to by bylo už na jiný text.

Potom je změna objemu  $\Delta V = V - V_0$ . Stejným způsobem spočítáme i změnu teploty  $\Delta t = t - t_0$ , kde  $t$  je výsledná teplota tělesa a  $t_0$  je teplota při objemu  $V_0$ .

Teplotní roztažnost je při malých změnách teploty lineární jev. To znamená, že objem tělesa se s teplotou zvětšuje podle přímé úměry. Můžeme tak zapsat

$$\Delta V = V_0 \cdot \Delta t \cdot \beta.$$

Většinou nás ale spíše zajímá výsledný objem tělesa než objemová změna. Do předchozí rovnice tedy dosadíme dříve uvedený vztah pro změnu objemu a dostaneme  $V - V_0 = V_0 \cdot \Delta t \cdot \beta$ . Z této rovnice si můžeme vyjádřit výsledný objem

$$V = V_0 \cdot \Delta t \cdot \beta + V_0,$$

což dále upravíme na

$$V = V_0(1 + \beta\Delta t).$$

Záhadná značka  $\beta$  je v naší rovnici tzv. koeficient teplotní objemové roztažnosti. Ten má pro každou látku jinou hodnotu, kterou můžeme samozřejmě dohledat v matematicko-fyzikálních tabulkách. Tento koeficient je ale trochu ošemetný, protože to není jen jedno neměnné číslo, se kterým se setkáváme u známých fyzikálních konstant. Mění se totiž také s teplotou – většinou čím je těleso teplejší, tím je tento koeficient větší. Čím větší teplotu tak těleso má, tím rychleji se i roztahuje. Tento „chyták“ ale při našich výpočtech s malými změnami teplot zanedbáme.

### Teplotní délková roztažnost

Stejně jako změnou objemu se můžeme (především u pevných těles) zabývat i změnou délky. Při zvýšení teploty těleso zvětší svůj objem, což znamená, že se vlastně roztáhne do prostoru, a zvětší se tak délky jeho stran. Musíme si dávat pozor na to, že existují tzv. izotropní tělesa, například měděné krychle, která se roztahují do všech stran stejnoměrně. Třeba některé typy krystalů patří ale mezi tzv. tělesa anizotropní, což znamená, že jejich délková roztažnost je v různých směrech různá. Musíme si tak při výpočtech dávat pozor, se kterou skupinou těles pracujeme, a popřípadě přesněji uvést, o které části a ose mluvíme.

Pokud si původní délku tělesa označíme jako  $l_0$  a délku po změně teploty  $l$ , platí podobně jako v předchozím případě

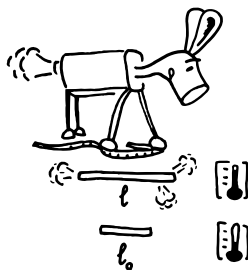
$$l = l_0(1 + \alpha\Delta t),$$

$\alpha$  se nazývá teplotní součinitel teplotní délkové roztažnosti a opět, stejně jako objemový součinitel  $\beta$ , ho pro každou látku můžeme najít v tabulkách. Pro izotropní materiály navíc platí

$$\beta = 3\alpha.$$

Pro úplnost se také zmiňme o jednotkách, ve kterých  $\alpha$  a  $\beta$  měříme – když v uvedených vztazích sčítáme součin  $\alpha\Delta t$  s jedničkou, musí mít tento součin stejný rozměr jako jednička, tj. žádný. Jelikož teplotní rozdíl je v jednotkách K, tak  $\alpha$  i  $\beta$  musí mít jednotky  $K^{-1}$ , aby součin  $\alpha\Delta t$  byl bezrozměrný.

Musíme si tedy dávat pozor na to, abychom teplotu dosazovali ve stejných jednotkách jako koeficienty  $\alpha$  a  $\beta$ , aby se nám jednotky zkrátily. Nemůžeme proto například dosadit teplotu v mK a koeficient v  $K^{-1}$ , neboť bychom dostali tisíckrát větší číslo.



## Změna hustoty a anomálie vody

Jedním ze základních principů fyziky je zákon zachování hmotnosti. Díky němu můžeme s jistotou říct, že pokud nějaké těleso zahřejeme, nezměníme tak jeho hmotnost (pokud samozřejmě nedochází k odpařování). Když se ale změní objem tělesa a jeho hmotnost nikoli, musí se změnit i jeho hustota. Tu spočítáme jako poměr hmotnosti a objemu tělesa, tedy

$$\varrho = \frac{m}{V}$$

a my už víme, že tento vztah můžeme zapsat jako

$$\varrho = \frac{m}{V_0(1 + \beta\Delta t)}.$$

Z toho vidíme, že podíl  $m/V_0$  je původní hustota tělesa  $\varrho_0$ . Vztah mezi původní hustotou a hustotou tělesa po změně teploty<sup>2</sup> tak je

$$\varrho = \frac{\varrho_0}{1 + \beta\Delta t}.$$

Z tohoto vztahu vidíme, že při zvyšování teploty se hustota náležitě zmenšuje. Takto to alespoň funguje u většiny látek, výjimkou je voda. Možná jste už někdy slyšeli o tzv. anomálii vody, tedy že v intervalu od 0 °C do 3,98 °C se její objem při zvyšování teploty *zmenšuje*. Voda má totiž v tomto intervalu tzv. anomálii teplotní objemové roztažnosti, tedy koeficient  $\beta$  je v daném intervalu teplot záporný.

Existují i další sloučeniny, které mají anomální objemovou roztažnost, a to i v celém spektru teplot. Těmto látkám se při zahřívání objem zmenšuje, mají tak speciální využití v technice.

## Další zajímavé jevy související se změnou teploty

Když počítáme nějaký složitější příklad, často se v závěru zadání objevuje věta „*proces se odehrává při 20 °C*“. I mnoho jiných fyzikálních veličin je totiž změnou teploty ovlivněno. Jako příklad si můžeme uvést třeba tlak plynu nebo intenzitu vyzařování.

Stejně tak si můžeme vysvětlit, proč se při změně teploty mění elektrický odpor. Elektrický proud je způsoben pohybem elektronů, které si můžeme velmi zjednodušeně představit jako nějaké kuličky, které utíkají jedním směrem skrz náš drát. Okolo nich jsou další částice, které se neuspořádaně pohybují, jak jsme si již vysvětlili v úvodu. Když zvýšíme teplotu, začnou se tyto částice pohybovat rychleji. Srážky mezi našimi částicemi a kuličkami utíkajícími jedním směrem jsou mnohem častější. Pohyb elektronů se tak kvůli vyšší rychlosti částic znesnadňuje a odpor vodiče je vyšší.

Pro výpočet odporu v závislosti na teplotě máme již nápadně známý vzoreček

$$R = R_0(1 + \delta\Delta t),$$

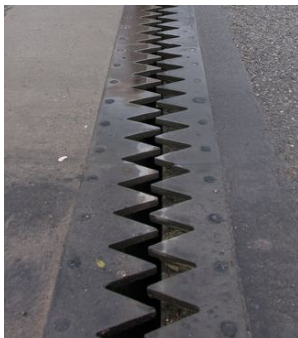
kde  $R$  je výsledný odpor,  $R_0$  odpor před zahrátím a  $\delta$  teplotní součinitel odporu.

<sup>2</sup>Zde je důležité uvést, že pokud bychom využili vysokoškolskou matematiku, mohli bychom následující vztah zapsat jako  $\varrho \approx \varrho_0(1 - \beta\Delta t)$ . Tento zápis je na vyšších úrovních fyziky výrazně používanější.

### *Teplotní roztažnost v našem životě*

Díky teplotní roztažnosti fungují některé věci okolo nás. Jako příklad si můžeme uvést rtuťový teploměr. Rtuť má vysoký koeficient teplotní objemové roztažnosti, tudíž i při malé změně teploty můžeme v úzkém sloupci teploměru pozorovat změnu.

Stejně tak nám ale teplotní roztažnost občas znesnadňuje život. U některých staveb v našem okolí by i malá změna objemu mohla být fatální. Tento jev tak musí brát v úvahu architekti, proto se u kolejnic můžeme setkat s mezerami mezi jednotlivými díly (můžete si sami pro zajímavost spočítat, jak velké tyto mezery musí u železných kolejí být). Stejně tak jste si u mostu mohli všimnout podivného předělu, který zajišťuje, že se most při změně teploty nezhroutí.



Obr. 1: Detail na práh, který můžete v různých konstrukčních provedeních nalézt na koncích všech větších mostů. Dovoluje, aby se v závislosti na teplotě mohl most roztahovat a stahovat, aniž by se poškodil.

Autor: CrazyD na Wikimedia Commons, licence: GFDL

(<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>)

Anomálie vody je důležitá pro život na Zemi. Když totiž například rybník zamrzne, voda pod ledem má stále přibližně 4 °C, takže zde mohou i přes zimní měsíce přežívat vodní organismy.

### *Závěr*

V tomto textu jsme si osvětlili, jak vzniká teplotní roztažnost. Naučili jsme se, jak provádět základní výpočty a že tyto výsledky můžeme aplikovat i na reálné věci okolo nás, které mají pro naši civilizaci velký význam.

---

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími 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/>.