

## 2.1.5 Teplota

**Předpoklady:** 2104

**Pedagogická poznámka:** Pokud chcete stihnout tuto hodinu za jednu vyučovací hodinu musíte část její první poloviny vynechat. Na probrání termodynamické stupnice je třeba přibližně 25 minut.

Co je teplota?

„Jak moc je teplo nebo zima. Říká, jak se máme oblíknout.“ – podobné definice pro fyziku bohužel nestačí

Jak teplotu měříme?

Strčíme si teploměr pod paži a čekáme, než se ohřeje na teplotu našeho těla?

Kdy mají dvě tělesa stejnou teplotu?

Když se teploměr přestane od těla zahřívat, zahřeje se na stejnou teplotu jako tělo.

Stejnou teplotu mají předměty, které jsou při vzájemném doteku v rovnovážném stavu.

**Př. 1:** Vysvětli pokusy:

- Všechny předměty ve třídě by po určité době měly mít stejnou teplotu. Šáhni na desku lavice a na kus její železné konstrukce. Co cítíš?
- Máme tři nádoby s vodou – studenou, teplou a horkou. Dej jednu ruku do studené vody, druhou do horké. Po půl minutě obě ruce přendej do teplé vody. Co cítíš?

a) Cítíme, že železo je studenější.

Podle předchozí definice, musí mít dřevěná deska i kovová konstrukce stejnou teplotu (jsou už dlouhou dobu ve třídě a určitě dosáhly rovnovážného stavu).

Lavice má pokojovou teplotu (řádově 20°C) ⇒ její teplota je nižší než teplota těla ⇒ jak dřevěná deska tak kovová konstrukce při doteku ochlazují tělo, ale kov vede lépe teplo ⇒ více ochlazuje ⇒ cítíme ho jako studenější

b) Obě ruce jsou ve stejně teplé vodě, ale ruka ze studené vody cítí její teplotu jako vyšší než ruka, která byla v horké vodě.

Lidské smysly nevnímají absolutní hodnoty veličin, ale daleko lépe zachycují jejich změny

⇒

- ruka, která byla ve studené vodě, se dostala do teplejší vody a proto cítí vyšší teplotu
- ruka, která byla v teplé vodě, se dostala do studenější vody a proto cítí nižší teplotu

⇒ člověk jako teploměr je poměrně nepovedené zařízení

**Pedagogická poznámka:** Po předchozím pokusu se snažím vyvolat diskusi o jeho významu pro život obecně. Jsem přesvědčen, že jde primárně o záležitost biologie, ale snažím se studentům zdůraznit, že lidské smysly a vnímání obecně je nastaveno výrazně tímto způsobem: na srovnávání hodnot mezi sebou místo měření jejich absolutní velikosti.

Jde mi o to, aby si studenti uvědomili, že každá dobrota se jednou přejí, že nejvíce

člověk ocení odpočinek po fyzické námaze, že civilizace sice připravila člověka o velkou část nepříjemných pocitů, ale díky tomu také o část těch příjemných, které dříve lidé získávali, když nepohoda skončila. Nebráním se natažení diskuse přes celý zbytek hodiny.

**Př. 2:** Vysvětli funkci klasického lékařského teploměru. Jakým způsobem měří teplotu?

Uvnitř je rtuť, která se při zvýšení teploty roztáhne - fakticky měříme objem rtuti.

Jak získáme stupnici na teploměru?

Potřebujeme dvě teploty, které můžeme snadno realizovat. Například:

- Teplota tání (rovnovážný stav ledu a vody za normálního tlaku) -  $0^{\circ}\text{C}$
- Teplota varu (rovnovážný stav vody a její syté páry za normálního tlaku) -  $100^{\circ}\text{C}$

⇒ **teplota v Celsiově teplotní stupnici**

- značíme malým písmenem  $t$ , jednotkou je stupeň Celsia [ $1^{\circ}\text{C}$ ]

**Př. 3:** Navrhni postup při výrobě rtuťového teploměru.

Na nádobku se rtuť nasadíme co nejtenčí skleněnou kapiláru (pokud možno zploštělou, aby byla rtuť z určitého úhlu snadněji pozorovatelná).

Ponoříme teploměr do vody s ledem a označíme hodnotu  $0^{\circ}\text{C}$ , poté ponoříme teploměr do vařící vody a označíme  $100^{\circ}\text{C}$ .

Vzdálenost mezi označenými body rozdělíme na sto dílků.

**Př. 4:** Proč se v teploměrech nepoužívá místo rtuti voda?

Nebylo by možné měřit teploty nižší než  $0^{\circ}\text{C}$  (voda mrzne) a vyšší než  $100^{\circ}\text{C}$  (voda vaří).

**Dodatek:** Ve skutečnosti by vodní teploměr začal zcela selhávat při poklesu teploty k  $4^{\circ}\text{C}$ .

O této teploty objem vody díky anomálii vody začíná opět růst a teploměr by tedy i při poklesu její teploty ukazoval její vzrůst.

**Př. 5:** Jaké vlastnosti musí mít etanol, který se používá do venkovních teploměrů?

Musí být kapalný v rozmezí běžných venkovních teplot, tedy přibližně v rozmezí  $-30^{\circ}\text{C}$  až  $30^{\circ}\text{C}$ . Podle údajů z tabulek: teplota tání  $-117^{\circ}\text{C}$  a teplota varu  $78^{\circ}\text{C}$ , ethanol obě tyto podmínky hravě splňuje.

**Př. 6:** Co musí platit pro předmět, aby jeho teplotu bylo možné změřit kapalinovým teploměrem?

Kapalinový teploměr měří teplotu tím, že vyrovná svoji teplotu s teplotou tělesa ⇒ ohřívá se od něj (nebo se ochlazuje) ⇒ předmět musí být dostatečně velký, aby se jeho teplota ohřátím (ochlazením) teploměru příliš nezměnila.

Existují i jiné teplotní stupnice než Celsiova. V Evropě se dříve používala Réaumurova stupnice, dodnes se v USA používá **Fahrenheitova stupnice**.

**Př. 7:** Pokud teplotu v Fahrenheitových stupních označíme  $\vartheta$  a teplotu v Celsiových stupních  $t$ , platí:  $\vartheta = \left(\frac{9}{5}\{t\} + 32\right)^{\circ}\text{F}$   $t = \frac{5}{9}(\{\vartheta\} - 32)^{\circ}\text{C}$ . Doplň tabulku:

$t [^{\circ}\text{C}]$	-10		0		25		100	
$\vartheta [^{\circ}\text{F}]$		-20		0		100		451

$t [^{\circ}\text{C}]$	-10	-28,9	0	-17,8	25	37,8	100	232,8
$\vartheta [^{\circ}\text{F}]$	14	-20	32	0	77	100	212	451

**Dodatek:** 451 $^{\circ}\text{F}$  je teplota, při které se papír vznítí a hoří. Zároveň jde jeden z nejslavnějších románů amerického spisovatele Raye Bradburyho.

**Př. 8:** Referenční teploty Fahrenheitovy stupnice byly původně teploty 0 $^{\circ}\text{F}$  a 96 $^{\circ}\text{F}$ . Později byly referenční body upraveny na 32 $^{\circ}\text{F}$  (bod tání) a 212 $^{\circ}\text{F}$  (bod varu). Urči o jakou teplotu v případě 96 $^{\circ}\text{F}$  jde (vzhledem k posunu referenčních bodů použij teplotu 98 $^{\circ}\text{F}$ ).

Převedeme: 98 $^{\circ}\text{F}$  = 36,7 $^{\circ}\text{C}$   $\Rightarrow$  druhou referenční teplotou byla teplota lidského těla (na něčem tak nestálém by dnes teplotní stupnice založit opravdu nešla)

Všechny teplotní stupnice založené na realizaci dvou teplot a kapalinové náplní mají společné nedostatky:

- závisí na látce, kterou používáme jako náplň
- závisí na veličině, kterou používáme na měření teploty (objem vody se nemění zcela přímo úměrně apod.)

$\Rightarrow$  dvěma různými teploměry naměříme pro stejný rovnovážný stav dvě různé hodnoty teploty (rozdíl je malý, ale pro přesná měření nepřijatelný)  $\Rightarrow$  snaha o jiné zavedení teplotní stupnice

- pokusy s plynovým teploměrem
  - poznatky o účinnosti tepelných strojů
- $\Rightarrow$  1848 W. Thomson (lord Kelvin): **termodynamická teplotní stupnice**
- značíme písmenem  $T$ , jednotkou je kelvin [1K]
  - jediná základní teplota: teplota trojného bodu vody (rovnováha mezi ledem, vodou a párou 0,01 $^{\circ}\text{C}$ , 0,61kPa)  $T_{\text{tr}} = 273,16\text{K}$

Proč takové divné číslo?

**Absolutní nula** = termodynamická teplota 0K odpovídá teplotě -273,15 $^{\circ}\text{C}$   $\Rightarrow$  změna teploty mezi trojným bodem a absolutní nulou:

- $\Delta t$  Celsiova stupnice: 0,01 - (-273,15) $^{\circ}\text{C}$  = 273,16 $^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T$  termodynamická stupnice: 273,16 - 0K = 273,16K

$\Rightarrow$  velikost jednoho stupně je u obou teplotních stupnic stejná:  $\Delta T = \Delta t$ , stupnice se liší pouze počátkem

**Př. 9:** Najdi převoní vztahy mezi Celsiovou a termodynamickou teplotní stupnicí analogické vztahům  $\vartheta = \left(\frac{9}{5}\{t\} + 32\right)^\circ\text{F}$   $t = \frac{5}{9}(\{\vartheta\} - 32)^\circ\text{C}$ , které jsme používali pro převádění mezi Celsiovou a Fahrenheitovou teplotní stupnicí.

platí:  $0^\circ\text{C} = 273,15\text{ K} \Rightarrow T = (\{t\} + 273,15)\text{ K}$   $t = (\{T\} - 273,15)^\circ\text{C}$

**Pedagogická poznámka:** Studenti mají s odvozením vztahů zcela nečekané problémy. Je třeba je donutit k tomu, aby nějaký vztah alespoň zkusili napsat a pak ho nějakým způsobem otestovali.

### Absolutní nula

- počátek termodynamické stupnice
- nejnižší myslitelná teplota
- není možné ji dosáhnout (v současnosti se jí dokážeme velmi přiblížit na miliardtiny stupně)
- v její blízkosti se značně mění vlastnosti látek (supravodivost, supratekutost, ...)

**Dodatek:** Při popisu látek s obráceným (inverzním) obsazením energetických hladin (více elektronů je na vyšší energetické hladině než na hladině nižší) se používá záporná teplota v Kelvinech. Nejde však o zápornou teplotu v termodynamickém smyslu slova a nemůžeme ji chápat jako teplotu nižší než 0K .

**Př. 10:** Jak se liší fyzikální význam zápisů  $T = 100\text{ K}$  a  $\Delta T = 100\text{ K}$  . Převeď oba údaje do  $^\circ\text{C}$  .

$T = 100\text{ K}$  termodynamická teplota, pro kterou platí  $t = -173,15^\circ\text{C}$  (venku je pěkná zima)

$\Delta T = 100\text{ K}$  změna termodynamické teploty. Protože platí  $\Delta T = \Delta t$  , platí i

$\Delta T = 100\text{ K} = \Delta t = 100^\circ\text{C}$  (vodu jsme ohřáli o sto stupňů).

**Př. 11:** Doplně tabulku:

$t [^\circ\text{C}]$	-10		0		25		100	
$T [\text{K}]$		-20		0		100		300

$t [^\circ\text{C}]$	-10	nelze	0	-273,15	25	-173,15	100	26,85
$T [\text{K}]$	263,15	-20	273,15	0	298,15	100	373,15	300

**Shrnutí:** V termodynamice používáme termodynamickou teplotu  $T$ . Určujeme ji kelvinech. Velikost jednoho stupně je stejná jako u Celsiovy stupnice. Termodynamická stupnice začíná v při teplotě  $0\text{K} = -273,15^\circ\text{C}$  .