2.2.2 Měrná tepelná kapacita

Předpoklady: 2201

Pedagogická poznámka: Pokud necháte studenty počítat příklady samostatně, nestihnete hodinu za 45 minut. Můžete využít toho, že následující hodina je také objemnější a použít pro tyto dvě hodiny tři hodiny vyučovací.

Dnes se budeme zabývat druhou metodou na zvyšování vnitřní energie – tepelnou výměnou.

Př. 1: Vysvětli pomocí částicového modelu, jakým způsobem dochází k tepelné výměně mezi vodou a rukou.

Voda je teplejší než ruce $\Rightarrow$ částice vody se v průměru pohybují rychleji. Voda je s rukou v přímém kontaktu $\Rightarrow$ molekuly vody naráží do molekul ruky a při srážkách jim předávají část své energie $\Rightarrow$ molekuly ruky kmitají větší rychlostí $\Rightarrow$ teplota ruky se zvyšuje

$\Rightarrow$ **tepelná výměna = děj, při kterém částice teplejšího tělesa předávají část své kinetické energie částicím tělesa studenějšího**

Energii, kterou odevzdá teplejší těleso studenějšímu říkáme **teplo** Q $[\mathrm{J}]$.

$\Rightarrow$ teplo se vztahuje k ději $\Rightarrow$ nemá smysl mluvit o teplu tělesa apod.

sledujeme ohřívání rukou:

- vnitřní energie rukou se zvýšila (ruce přijaly teplo) $\Rightarrow$ $\Delta U_1 > 0$
- vnitřní energie vody se snížila (voda odevzdala teplo) $\Rightarrow$ $\Delta U_2 < 0$

pokud ruce a voda tvoří izolovanou soustavu (teplo neutíká pryč) platí $\Delta U_1 = |\Delta U_2| = Q$

(přijaté teplo se rovná teplu odevzdanému

potřebujeme najít spojnici mezi teplem a prací, zjistit kolik energie je třeba na ohřívání vody. Jak zjistit množství tepla potřebného k ohřívání vody?

Př. 2: Ve varné konvici o výkonu 2200 W ohříváme různé kapaliny. Najdi veličiny, které rozhodují o tom, jak dlouho bude třeba kapalinu ohřívat (a tedy jak velké množství tepla přijme).

záleží na:

- hmotnosti kapaliny (více kapaliny $\Rightarrow$ více tepla)
- požadované změně teploty (větší změna teploty $\Rightarrow$ více tepla)
- druhu kapaliny (různé kapaliny zřejmě potřebují na ohřátí stejného množství o stejnou teplotu různé množství tepla)

Př. 3: Sestav výraz, který udává množství tepla potřebného k ohřátí m kilogramů vody o Δt stupňů. Vysvětli význam všech členů výrazu.

$Q = m \cdot \Delta t \cdot x$

- m - hmotnost vody
- Δt - změna teploty vody
- x - množství tepla potřebné k ohřívání v „nejjednodušším případě“ $\Rightarrow$ množství tepla potřebného k ohřátí 1 kg vody o 1°C - **měrná tepelná kapacita** vody

Pedagogická poznámka: Sestavování vzorce je docela zábava. Část studentů napíše pouze $Q = m \cdot \Delta t$, ty snadno přesvědčíte, že vzorec by měl obsahovat ještě něco navíc, protože u vzorce $Q = m \cdot \Delta t$ by na druhu kapaliny nezáleželo.
Horší je diskuse se studenty, kteří vytvoří vzorec $Q = m \cdot \Delta t \cdot \rho$. Ty musíte přesvědčit o tom, že hustota sice rozlišuje různé kapaliny mezi sebou, ale zachycuje zcela jinou vlastnost než potřebujeme.
Zvláštní skupinou jsou pak studenti, kteří sice napíší správný vzorec $Q = m \cdot \Delta t \cdot c$, ale písmeno c pro ně (zřejmě pod vlivem chemie) představuje koncentraci.

Měrná tepelná kapacita *c*

- **množství tepla, které musíme dodat 1 kg látky, aby se ohřál o 1K**
- **jednotka** $\mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$
- liší se mezi jednotlivými látky i u různých skupenství jedné látky
- závisí i na teplotě látky $\Rightarrow$ v tabulkách se uvádí hodnota při 20°C
- teplo, které musíme dodat tělesu $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$

Př. 4: V téměř ideální varné konvici o výkonu 2200 W se 1,5 litru vody ohřálo ze 7°C na 100°C za čtyři a půl minuty. Urči měrnou tepelnou kapacitu vody. Odhadni a poté spočti do jaké výšky by bylo možné vyzvednout automobil o hmotnosti 1600 kg s množstvím energie, které bylo nutné k ohřátí vody. Do jaké výšky by bylo možné vyzvednout Tebe?

$P = 2200\,\mathrm{W}$, $V = 1{,}5\,\mathrm{l}$, $t_1 = 7\,^\circ\mathrm{C}$, $t_2 = 100\,^\circ\mathrm{C}$, $t = 4{,}5\,\mathrm{min} = 270\,\mathrm{s}$, $c = ?$

práce vykonaná varnou konvicí (a tedy energie dodané ve formě tepla):
$W = Pt = 2200 \cdot 270\,\mathrm{J} = 594000\,\mathrm{J}$

teplo dodané vodě: $Q = m \cdot c \cdot \Delta t = W = Pt$

$$c = \frac{Pt}{m\Delta t} = \frac{Pt}{m\left(t_2 - t_1\right)}$$

$$c = \frac{Pt}{m\left(t_2 - t_1\right)} = \frac{2200 \cdot 270}{1{,}5\left(100 - 7\right)}\,\mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}} = 4260\,\mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$$

Při zvedání předmětů musíme vykonat práci, která se rovná potenciální energii, kterou předmět získá: $W = mgh \;\Rightarrow\; h = \frac{W}{mg}$

automobil: $h = \frac{W}{mg} = \frac{594000}{1600 \cdot 10}\,\mathrm{m} = 37\,\mathrm{m}$

člověk: $h = \frac{W}{mg} = \frac{594000}{78 \cdot 10}\,\mathrm{m} = 760\,\mathrm{m}$

Měrná tepelná kapacita vody je přibližně $4260\,\mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$. Množství energie potřebné k uvedení 1,5 l vody do varu by stačilo na vyzvednutí auta do výšky 37 m.

množství energie nutné k ohřívání je obrovské $\Rightarrow$ největší spotřebu mají přístroje, které slouží k ohřívání: sporák, trouba, mikrovlnka, varná konvice, pračka (při ohřívání). Jejich výkon bývá tisíce watů

Tabulkové hodnoty c (na dvě platné číslice):

látka	**voda**	**led**	**petrolej**	**rtuť**	**olovo**	**hliník**	**železo**	**měď**
$c\left[\mathrm{J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}}\right]$	4200	2000	2100	140	130	900	450	380

Dodatek: S měrnou tepelnou kapacitou plynů je to složitější a budeme se jí zabývat později.

Př. 5: Najdi výhody a nevýhody použití vody jako média v topných soustavách.

výhody: cena, obrovská tepelná kapacita, malá viskozita (snadno proudí)
nevýhody: podporuje korozi, pokud nejde o destilovanou vodu usazování vodního kamene

Př. 6: 1 kg neznámé kapaliny zahříváme stejným vařičem jako 1 kg petroleje. Co můžeme tvrdit o měrné tepelné kapacitě neznámé kapaliny, pokud má po uplynutí času t neznámá kapalina nižší teplotu než petrolej.

O měrné tepelné kapacitě neznáme kapaliny nemůžeme s určitostí tvrdit nic, protože nevíme jakou měly obě kapaliny teplotu na počátku.
Pokud by počáteční teplota obou kapalin byla stejná, znamenalo by to, že měrná tepelná kapacita neznámé kapaliny je větší než měrná tepelná kapacita petroleje (stejná množství tepla zvýšilo její teplotu méně než se zvýšila teplota petroleje.

Př. 7: V největším systému vodopádů na světě na řece Iguacu na hranicích mezi Argentinou a Brazílií padá do hloubky 70 m v době dešťů 6500 $\mathrm{m^3}$ vody. O kolik stupňů se zvýší teplota vody, pokud předpokládáme, že veškerá potenciální energie vody na hraně vodopádu se nakonec změní na její vnitřní energii?

$h = 70\,\mathrm{m}$, $c = 4200\,\mathrm{J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}}$, $\Delta t = ?$
Předpoklad: všechna potenciální energie se změní na vnitřní energii vody $\Rightarrow$
$E_p = \Delta U = Q$
$mgh = mc\Delta t$
$\Delta t = \frac{gh}{c} = \frac{10\cdot 70}{4200}\,\mathrm{K} = 0{,}17\,\mathrm{K}$
Teplota vody se zvýší o 0,17 K.

Tepelná kapacita tělesa *C* = množství tepla potřebného k ohřátí tělesa o 1K $\Rightarrow$ udává se v $\mathrm{J\cdot K^{-1}}$

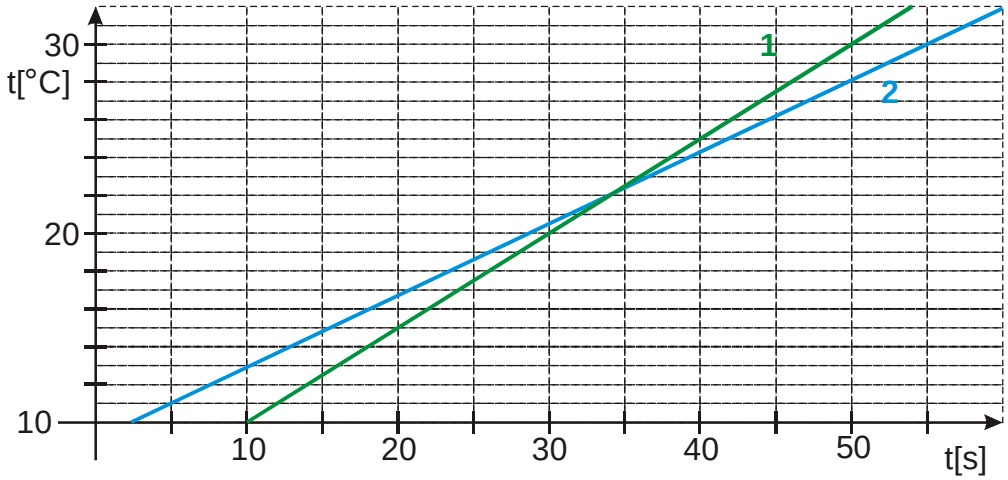
Př. 8: Urči tepelnou kapacitu vnitřní nádoby kalorimetru, pokud je z hliníku a váží 150 g.

$m = 150\,\mathrm{g} = 0{,}15\,\mathrm{kg}$, $c_{Al} = 900\mathrm{J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}}$, $C = ?$
Teplo, které musíme dodat při ohřátí o Δt: $Q = mc\Delta t$
$\Rightarrow$ pro ohřátí o 1 K: $Q = mc\cdot 1$ $\Rightarrow$ $C = mc$

$C = mc = 0{,}15 \cdot 900 = 135\,\mathrm{J \cdot K^{-1}}$

Tepelná kapacita vnitřní nádoby kalorimetru je $135\,\mathrm{J \cdot K^{-1}}$.

Př. 9: Ve dvou stejných nádobách byly zahřívány vařičem o výkonu 1900 W 2 kg dvou různých kapalin.V grafu jsou vyneseny závislosti teploty obou kapalin na čase.
a) Urči bez výpočtu, která z kapalin má větší měrnou tepelnou kapacitu.
b) Vypočti měrnou tepelnou kapacitu obou kapalin a urči, o které kapaliny jde.



a) Teplota první kapaliny stoupá rychleji. Protože je obou kapalin stejné množství a protože jsou zahřívány stejným výkone, znamená to, že na ohřívání druhé je třeba více tepla a tedy, že druhá má větší měrnou tepelnou kapacitu.

b) z grafu můžeme zjistit, o kolik stupňů se za určitou dobu kapaliny ohřály
$\Rightarrow$ určíme předané teplo $Q = W = Pt$

dosazením do vzorce $Q = mc\Delta t$ určíme c: $Q = Pt = mc\Delta t \;\Rightarrow\; c = \dfrac{Pt}{m\Delta t}$

hledáme v grafu body, ve kterých můžeme nejpřesněji odečíst hodnoty

kapalina 1:

body $[10;10]$ a $[50;30]$ $\Rightarrow$ za 40 sekund se teplota 2 kg kapaliny zvýšila o $20°C$

$$c = \frac{Pt}{m\Delta t} = \frac{1900 \cdot 40}{2 \cdot 20}\,\mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}} = 1900\,\mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$$

kapalina 2:

body $[5;11]$ a $[55;30]$ $\Rightarrow$ za 50 sekund se teplota 2 kg kapaliny zvýšila o $19°C$

$$c = \frac{Pt}{m\Delta t} = \frac{1900 \cdot 50}{2 \cdot 19}\,\mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}} = 2500\,\mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$$

Větší měrnou tepelnou kapacitu má druhá kapalina $2500\,\mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$, podle tabulek jde zřejmě o ethanol, menší měrnou tepelnou kapacitu má první kapalina $1900\,\mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$, podle tabulek jde zřejmě o transformátorový olej.

Pedagogická poznámka: Aby bylo možné porovnávat hodnoty s tabulkovými co nejpřesněji, není odečítání z projektoru příliš snadné. Nejlepší je rozdat studentům namnožený graf a trvat na velmi přesném odečtení, druhou možností je odečítané body studentům sdělit a nechat tak na nich pouze výpočty.

Př. 10: Průměrný obyvatel českého paneláku spotřebuje za rok přibližně $70\,\mathrm{m}^3$ teplé vody. Spočti výkon plynového kotle pro dům s 50 obyvateli, který má ohřívat vodu o teplotě $10°\mathrm{C}$ na $60°\mathrm{C}$. Ohřátá voda je přečerpávána do velké nádrže, proto je možné předpokládat, že kotel ohřívá vodu průběžně.

Podobný postup jako v předchozích příkladech:
určíme teplo potřebné k ohřátí vody, které se rovná práci, kterou vykoná kotel

$$W = Q$$

$$Pt = mc\Delta t = V\rho c\Delta t = nV_0\rho c\Delta t$$

$$P = \frac{nV_0\rho c\Delta t}{t}$$

$$P = \frac{nV_0\rho c\Delta t}{t} = \frac{50 \cdot 70 \cdot 1000 \cdot 4200 \cdot 50}{365,25 \cdot 24 \cdot 3600}\,\mathrm{W} = 23000\,\mathrm{W} = 23\,\mathrm{kW}$$

Pro ohřívání teplé vody je třeba kotel o výkonu 23 kW.

Shrnutí: