

2.2.2 Měrná tepelná kapacita I

Předpoklady: 2201

Pedagogická poznámka: Měrná tepelná kapacita je první příklad látkové konstanty, se kterým se žáci setkávají, proto na úvod hodiny projdeme několik nefyzikálních příkladů, které popisují podobné situace.

Př. 1: Na provedení stavby je třeba najmout d dělníků po dobu m měsíců. Kolik peněz bude nutné zaplatit za jejich práci, pokud budou mít všichni stejný měsíční plat p korun? Kolik peněz bude jejich najmutí stát, kdyby se počet dělníků zvýšil o pět a počet měsíců snížil o 2?

Částka vydělaná všemi dělníky:

- původní údaje: $n_0 = d \cdot p \cdot m$,
- změněné údaje: $n = (d + 5)(m - 2) p$.

Př. 2: Jeden dospělý lev sežere za jeden den m kilogramů masa. Kolik masa sežere dohromady n lvů za d dní? Který z údajů v prvním příkladu má podobný význam jako údaj o m kilogramech masa za den pro jednoho lva?

Celkové množství sežraného masa: $s = n \cdot d \cdot m$.

Podobný význam jako údaj m v tomto případě, má v předchozím případě údaj p . Oba údaje udávají jednotkovou spotřebu (spotřebu masa nebo plat v nejjednodušším případě - 1 kus za jednotku času).

Př. 3: Převážní firma provozuje n nákladních automobilů, které ujedou za měsíc okolo k kilometrů. Urči, kolik litrů nafty musí firma každý měsíc nakoupit.

Množství spotřebované nafty: $M = n \cdot k \cdot s$, kde písmeno s vyjadřuje spotřebu jednoho nákladního automobilu při ujetí jednoho kilometru.

Společný rys všech příkladů: výsledek jsme počítali pomocí „jednotkové spotřeby“ (spotřeby v nejjednodušším případě), kterou násobíme konkrétními počty dní, automobilů, lvů, ... abychom získali celkovou spotřebu v nějaké konkrétní situaci.

Podobných příkladů je možné vymyslet velmi mnoho, protože jde o běžnou situaci. Nejen v obyčejném životě, ale i ve fyzice.

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

Př. 4: 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 narážejí do molekul ruky a při srážkách jim předávají část své energie \Rightarrow molekuly ruky kmitají větší rychlostí \Rightarrow teplota ruky se zvyšuje

⇒ **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 [J].

⇒ Teplo se vztahuje k ději ⇒ nemá smysl mluvit o teple tělesa apod.

Sledujeme ohřívání rukou:

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

Pokud ruce a voda tvoří izolovanou soustavu (teplo neutíká pryč) platí $\Delta U_1 = |\Delta U_2| = Q$ (přijaté teplo se rovná teple odevzdanému).

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

Př. 5: Ve varné konvici o výkonu 2200 W ohříváme různé kapaliny. Najdi veličiny, které rozhodují o tom, jak dlouho bude třeba kapalinu ohřívát (a tedy jak velké množství tepla přijme).

Záleží na:

- hmotnosti kapaliny (více kapaliny ⇒ potřebujeme více tepla),
- požadované změně teploty (větší změna teploty ⇒ potřebujeme více tepla),
- druhu kapaliny (různé kapaliny zřejmě potřebují na ohřátí stejného množství o stejnou teplotu různé množství tepla).

Př. 6: 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“ ⇒ 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 aktuálně sledujeme.

Zvláštní skupinou jsou pak studenti, kteří sice napíšou 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** $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,
- 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 $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$.

Teplo, které musíme při ohřívání dodat tělesu je určeno vztahem $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$, kde c je množství tepla, které musíme dodat 1 kg látky, aby se ohřál o 1 K (měrná tepelná kapacita).

Př. 7: 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?

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

Práce vykonaná varnou konvicí (a tedy energie dodané ve formě tepla):

$$W = Pt = 2200 \cdot 270 \text{ J} = 594000 \text{ J}$$

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

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

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

Při zvedání předmětů musíme vykonat práci, která se rovná potenciální energii, kterou

předmět získá: $W = mgh \Rightarrow h = \frac{W}{mg}$

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

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

Měrná tepelná kapacita vody je přibližně $4260 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. 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 wattů.

Tabulkové hodnoty c (na dvě platné číslice):

látka	voda	led	Petrolej	líh	olovo	hliník	železo	měď
$c [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$	4200	2000	2100	2500	130	900	450	380

Dodatek: V tabulkách jsou hodnoty c uvedeny přesněji, ale vzhledem k tomu, že měrná tepelná kapacita se s teplotou mění a při všech praktických pokusech dochází ke znatelným ztrátám, považuji přesnost na dvě platné číslice za dostačující. S měrnou tepelnou kapacitou plynů je to složitější a budeme se jí zabývat později.

Př. 8: 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. 9: 1 kg neznámé kapaliny zahříváme stejným vaříčem 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 neznámé 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. 10: V největším systému vodopádů na světě na řece Iguacu na hranicích mezi Argentinou a Brazílií padá do hloubky 70 m v době dešťů 6500 m³ 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?

$$h = 70 \text{ m}, \quad c = 4200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \quad \Delta t = ?$$

Předpoklad: všechna potenciální energie se změní na vnitřní energii vody \Rightarrow

$$E_p = \Delta U = Q$$

$$mgh = mc\Delta t$$

$$\Delta t = \frac{gh}{c} = \frac{10 \cdot 70}{4200} \text{ K} = 0,17 \text{ K}$$

Teplota vody se zvýší o 0,17 K.

Shrnutí: V mnoha situacích je výhodné určit celkovou spotřebu pomocí jednotkové spotřeby v nejjednodušším případě (například teplo pomocí měrné tepelné kapacity).