

TEPELNÉ VELIČINY A KALORIMETRIE

TEORETICKÝ ÚVOD

Teplo je jednou z forem energie a jeho jednotkou je joule. Obor, který se zabývá zákonitostmi výměny tepla mezi makroskopickými soustavami, se nazývá **kalorimetrie**.

Jednou z veličin, kterou často určujeme při tepelných měřeních, je množství tepla Q , které je třeba dodat termodynamické soustavě, aby zvýšila svou teplotu o jeden kelvin. Tato veličina se nazývá **tepelná kapacita** K soustavy a je přesně definovaná vztahem

$$K = \frac{dQ}{dT}, [K] = \text{J} \cdot \text{K}^{-1}. \quad (1)$$

Tepelná kapacita látky je přímo úměrná množství látky v daném systému. Dělíme-li tepelnou kapacitu systému jeho hmotností, dostaneme **měrnou tepelnou kapacitu** c .

$$c = \frac{K}{m} = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT}, [c] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}. \quad (2)$$

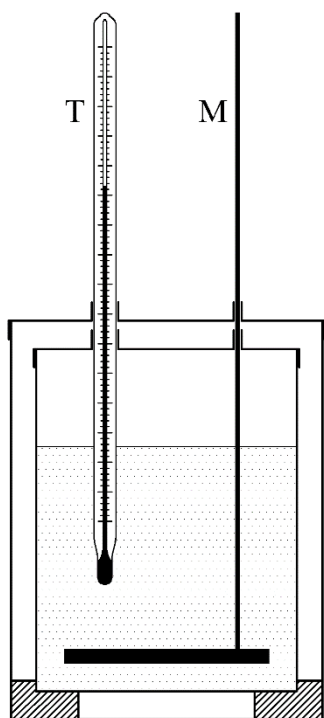
Ke změně skupenství látky (pevného v kapalném, kapalného v plynném a naopak), které u chemicky čistých látek za konstantního tlaku probíhá při stálé teplotě, je třeba určité množství tepla Q nazývaného **skupenské teplo** (tání, varu). Obecněji můžeme toto teplo definovat jako teplo potřebné k změně **fáze**. Změna fáze nastává i při zachování téhož skupenství (měnění se krystalová soustava). Protože se v průběhu změny skupenství či fáze teplota látky nemění, říká se někdy o tomto teple, že je utajené neboli **latentní**.

Podíl skupenského tepla Q a hmotnosti m látky je **měrné skupenské teplo** l příslušné skupenské přeměny, které je pro danou látku charakteristické. Přesně je měrné skupenské teplo l definováno vztahem

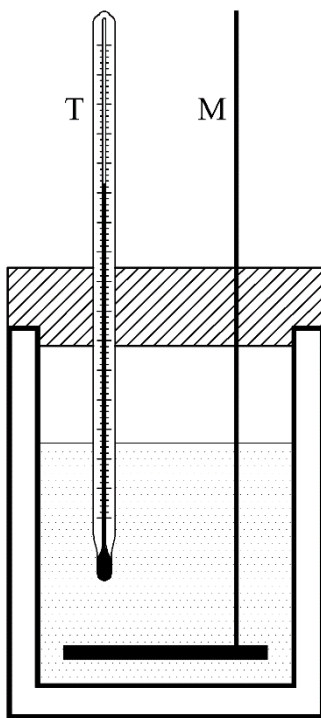
$$l = \frac{dQ}{dm}, [l] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}. \quad (3)$$

Pro kalorimetrická měření se používají **kalorimetry**. Jsou to nádoby, které mají dobré tepelně izolační vlastnosti, aby sdílení tepla mezi obsahem kalorimetru a jeho okolím bylo co nejmenší. Uvnitř kalorimetru dochází k přenosu tepla mezi proměřovaným vzorkem látky a vhodnou lázní. Teplota lázně se měří teploměrem. Nejjednodušším druhem kalorimetru je **kovový kalorimetr**, složený ze dvou plechových nádob, mezi nimiž je vzduchová mezera, vymezená korkovými vložkami, které vytvářejí tepelnou izolaci (obr. 1 a). Vnitřní nádoba bývá z lesklého mosazného plechu a je opatřena víčkem s dvěma otvory pro míchačku **M** a teploměr **T**. Podobně je konstruován **skleněný kalorimetr**. Dokonalejší tepelnou izolaci proti okolí poskytuje **Dewarova nádoba** (obr. 1 b), u níž je vyčerpán vzduch mezi jejími dvojitými skleněnými stěnami, opatřenými uvnitř zrcadlovým povrchem. Dewarova nádoba je uzavřena víkem z dobře tepelně izolujícího materiálu, do lázně v nádobě je vložen teploměr **T** a míchačka **M**. Ponoříme-li do kalorimetru topnou spirálu z vhodného odporového drátu, mluvíme o tzv. **elektrickém kalorimetru** (obr. 1 c). Teplo Q předané elektrickému kalorimetru se vyjádří ze známého elektrického příkonu P topné spirály a doby τ průchodu proudu

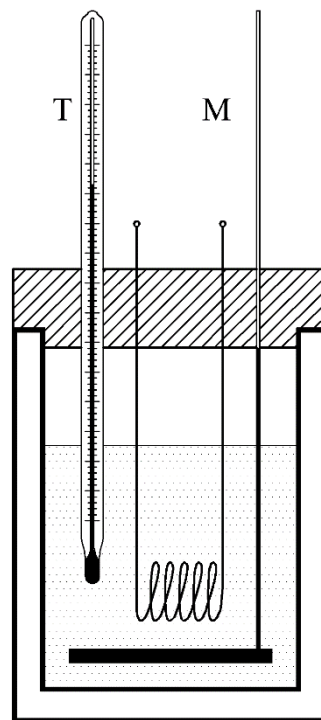
$$Q = P\tau. \quad (4)$$



Obr. 1 a



Obr. 1 b



Obr. 1 c

K výměně tepla nedochází jen uvnitř kalorimetru, ale část tepla přechází též na nádobu kalorimetru a jeho součásti. Teplo spotřebované k ohřátí samotného kalorimetru lze určit pomocí jeho tepelné kapacity K_K .

Tepelná kapacita kalorimetru je množství tepla, které je třeba dodat nádobě a všem součástem kalorimetru (jež jsou v tepelném styku s lázní kalorimetru), aby se její teplota zvýšila o 1 K. Jestliže např. původní teplota lázně i kalorimetru byla t_1 a po ohřevu se zvýšila na t_2 , pak na ohřátí nádoby s jejími součástmi se spotřebovalo teplo

$$Q' = K_K (t_2 - t_1) . \quad (5)$$

Tepelnou kapacitu **kovového** (resp. **skleněného**) kalorimetru lze určit násobením celkové hmotnosti vnitřní nádoby kalorimetru a dalších kovových (skleněných) součástí příslušnou měrnou tepelnou kapacitou kovu (skla). Vzhledem k tomu, že po skončené výměně tepla víčko obvykle nedosáhne teploty lázně, doporučuje se neuvažovat jeho tepelnou kapacitu. Tepelná kapacita teploměru je pro malou tepelnou vodivost skla dána jen tepelnou kapacitou části teploměru ponořené do kalorimetrické lázně. Určí se snadno u tlustostěnných rtuťových teploměrů (vyrobených z tlustostěnné kapiláry, na níž je přímo vyryta teploměrná stupnice) vzhledem k tomu, že teplo potřebné k ohřátí objemové jednotky látky o 1 K je pro sklo i rtuť přibližně stejné a je $c_{\text{obj}} = 1,93 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$.

K výpočtu tepelné kapacity ponořené části teploměru pak postačí stanovit její objem např. ponořením do kapaliny v odměrném válci.

Příklad:

Stanovení tepelné kapacity mosazného kalorimetru.

součást	hmotnost [kg]	měrná tep. kapacita [J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	tepelná kapacita [J · K ⁻¹]
vnitřní nádoba (bez víčka) míchačka	$m_1 = 0,1601$ $m_2 = 0,0206$	$c_1 = 3,85 \cdot 10^2$ $c_2 = 3,85 \cdot 10^2$	$m_1 c_1 = 61,64$ $m_2 c_2 = 7,93$
teploměr	ponořený objem [cm ³] $V = 2,6$	objemové teplo [J · cm ⁻³ · K ⁻¹] $c_{\text{obj}} = 1,93$	$V c_{\text{obj}} = 5,02$

Celková tepelná kapacita kalorimetru $K_K = \sum (K_K)_i = 74,59 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$.

Tepelnou kapacitu trubicového teploměru je možné určit tak, že do kalorimetru naplněného malým množstvím vody se vnoří část teploměru vyhřátého na vyšší teplotu. K výpočtu je třeba znát počáteční a konečnou teplotu kalorimetru, teplotu teploměru, tepelnou kapacitu kalorimetru a množství vody v kalorimetru. Obvykle však bývá hodnota tepelné kapacity používaného trubicového teploměru uvedena na kartě příslušné úlohy.

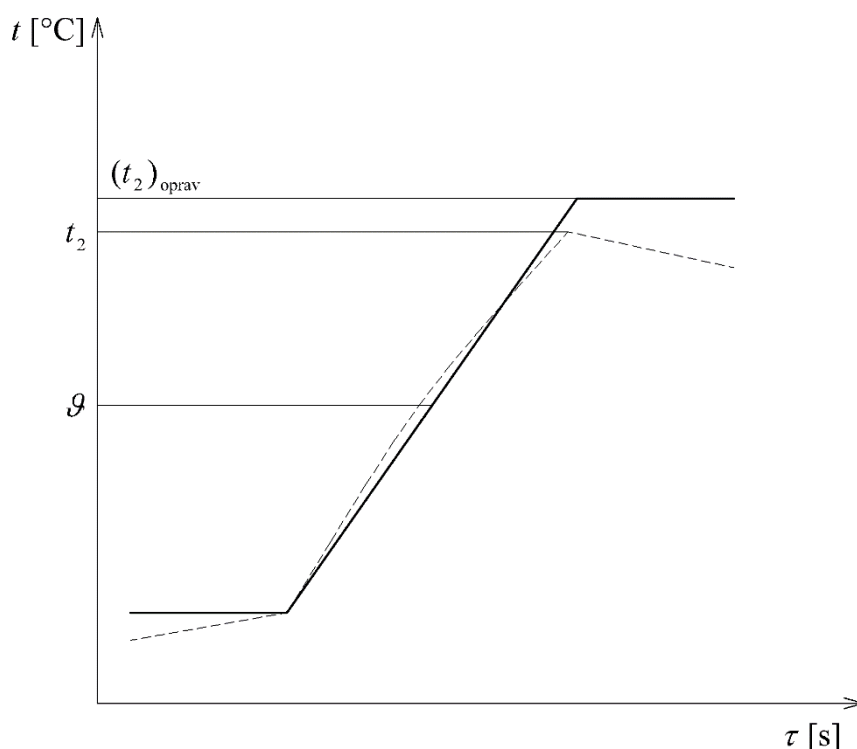
Výpočet tepelné kapacity kalorimetru podle výše uvedeného příkladu je možný pouze za předpokladu, že jsou známy hmotnosti jednotlivých částí kalorimetru a jejich měrné tepelné kapacity. Je-li mosazný kalorimetr opatřen topnou spirálou, nelze prakticky tento výpočet provádět, protože topná cívka je navinuta na izolační kostře, jejíž měrná tepelná kapacita a hmotnost nejsou dostatečně přesně známy. Podobně i v případě Dewarových nádob nelze tepelnou kapacitu spočítat a je nutno ji určit experimentálně. Pro profesionálně zhotovené kalorimetry je hodnota jejich tepelné kapacity změřena a dodávána jako součást zařízení výrobcem.

Tepelné ztráty vznikají i při dobré tepelné izolaci kalorimetrické nádoby, protože dochází k nežádoucí výměně tepla mezi kalorimetrem a jeho okolím nebo obráceně. V tepelné bilanci v kalorimetru tyto přenosy tepla označujeme jako tepelné ztráty.

Podrobný výpočet tepelných ztrát je poměrně složitý, protože v kalorimetru probíhají nestacionární tepelné procesy, zahrnující výměnu tepla prouděním (konvekcí), vedením (kondukcí) a v menší míře i zářením (radiací).

Často se omezujeme jen na přibližné stanovení tepelných ztrát, o kterých můžeme předpokládat, že jsou malé. Snížení tepelných ztrát dosáhneme tak, že volíme pokud možno počáteční teplotu kalorimetru takovou, aby se teplota kalorimetru při vlastním měření měnila přibližně souměrně kolem teploty místnosti. Potom lze korekce na tepelné ztráty, pokud jsou pro vyhodnocování vyžadovány, provést následujícím způsobem.

Na obr. 2 je schematicky znázorněna plnou čarou závislost teploty t elektrického kalorimetru na čase τ při dokonalé tepelné izolaci a přerušovanou čarou časový průběh teploty kalorimetru s tepelnými ztrátami. Teplota okolí je označena symbolem ϑ . Rozdíly mezi oběma průběhy byly pro názornost zvětšeny.



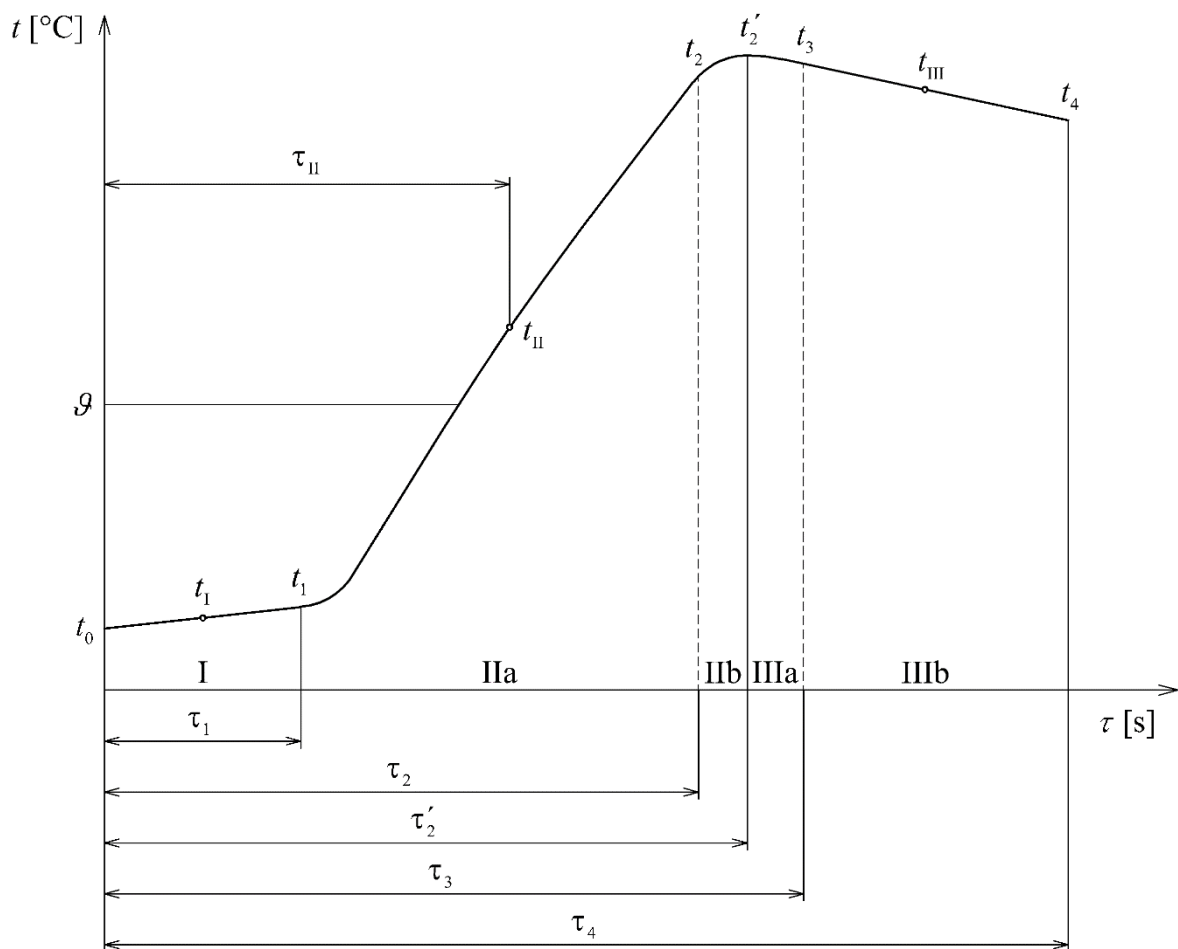
Obr. 2

Časový průběh se ještě komplikuje setrvačností topného systému, jak ukazuje průběh $t = f(\tau)$ znázorněný na obr. 3, který byl vyneseno pro jeden typický ohřev elektrického kalorimetru. Následující výklad vychází ze závislosti na obr. 3.

V čase $\tau_0 = 0$ je v kalorimetru kapalina o teplotě $t_0 < \theta$. Během intervalu I (se střední teplotou t_1), kdy topení v elektrickém kalorimetru je vypnuto, dochází vlivem přenosu tepla z okolí k pozvolnému růstu teploty lázně v kalorimetru na teplotu t_1 . Zapne-li se v čase τ_1 topení, začne teplota lázně růst rychleji (interval IIa). Když v čase τ_2 topení vypneme, bude teplota lázně v důsledku setrvačnosti topného systému ještě stoupat. V čase τ'_2 dosáhne lázeň maximální teploty t_2 . Celému intervalu II přísluší střední teplota t_{II} (stanovená jako aritmetický průměr údajů teploměru odečítaných po stejných časových intervalech), kterou by kalorimetr dosáhl v intervalu II a má stálou hodnotu. V intervalu III opět teplota klesá, protože kapalina v kalorimetru má vyšší teplotu než okolí. Interval III můžeme ještě rozdělit na dvě části, a to na nelineární část III a, kdy doznívá setrvačnost topného systému a kombinuje se s přenosem tepla do okolí a na oblast III b o střední teplotě t_{III} s přibližně lineárním průběhem, která je ovlivněna výlučně ztrátami tepla z kalorimetru do okolí. Ke sdílení tepla kalorimetru s okolím dochází v průběhu celého výše popsaného procesu.

Maximální teplota t_2 naměřená v kalorimetru je tedy vlivem tepelných ztrát poněkud nižší, než jaká by byla maximální teplota $(t_2)_{\text{oprav}}$ na konci procesu výměny tepla uvnitř dokonale tepelně izolovaného kalorimetru (obr. 2). Korekce na tepelné ztráty se tedy provede tak, že k naměřené maximální teplotě t_2 přičteme opravu δ ve $^{\circ}\text{C}$, tedy

$$(t_2)_{\text{oprav}} = t_2 + \delta . \quad (6)$$



Obr. 3

Tepelná ztráta kalorimetru za jednotku času (např. 1 min.) Q_z je přímo úměrná rozdílu $(t - \vartheta)$ mezi okamžitou teplotou t v kalorimetru a stálou teplotou ϑ okolí. Označíme-li Δt jako pokles teploty v kalorimetru vlivem tepelných ztrát za jednotku času (tj. rozdíl Δt , o který je teplota v kalorimetru nižší, než kdyby byl dokonale izolován) je tento pokles (vztažený nejčastěji na 1 minutu, tzv. minutový pokles) úměrný okamžité teplotě, při níž proces výměny tepla probíhá $\Delta t \sim (t - \vartheta)$.

Určíme-li minutový pokles pro dvě střední teploty t kalorimetru, můžeme jej pro třetí střední teplotu určit lineární interpolací. Při střední teplotě t_I v intervalu I je střední minutový pokles

$$\Delta_I = \frac{t_0 - t_1}{\tau_1} < 0 ,$$

pro střední teplotu t_{III} v intervalu III je střední minutový pokles

$$\Delta_{III} = \frac{t_3 - t_4}{\tau_4 - \tau_3} > 0$$

a vzhledem k předpokládané lineární závislosti mezi Δt a t je na základě lineární interpolace střední minutový pokles v intervalu II

$$\Delta_{II} = \Delta_I + \frac{\Delta_{III} - \Delta_I}{t_{III} - t_I} (t_{II} - t_I) . \quad (7)$$

Jestliže doba trvání pokusu v intervalu II je $n^* = \tau'_2 - \tau_1$, pak oprava ve vztahu (6) bude $\delta = n^* \Delta_{II}$ a po dosazení do (6)

$$(t_2)_{\text{oprav}} = t_2 + n^* \Delta_{II} = t_2 + (\tau'_2 - \tau_1) \Delta_{II} . \quad (8)$$

Příklad:

Topnou spirálou v elektrickém kalorimetru byla ohřívána lázeň a zaznamenávány teploty v závislosti na čase. Teplota lázně byla při experimentu měřena teploměrem s dělením na desetiny kelvinu, na kterém byly odhadovány i části dílků.

V tab. 1. je uveden praktický návod, jak zaznamenávat měřené hodnoty v celém průběhu kalorimetrického měření.

Na základě středních minutových poklesů Δ_I , Δ_{III} a příslušných středních teplot t_I a t_{III} byl vypočítán střední minutový pokles Δ_{II} v měřené oblasti podle vztahu (7).

$$\Delta_{II} = \Delta_I + \frac{\Delta_{III} - \Delta_I}{t_{III} - t_I} (t_{II} - t_I) = -0,05 + \frac{0,04 - (-0,05)}{29,48 - 10,22} (20,6 - 10,22) \cong -0,002 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$$

Opravená hodnota vzestupu teploty způsobená elektrickým ohřevem je pak podle (8)

$$(t_2)_{\text{oprav}} - t_1 = t_2 + n^* \Delta_{II} - t_1 = 29,7 + 21,5(-0,002) - 10,35 = 19,307 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Z tohoto výsledku je vidět, že oprava teploty na tepelné ztráty není výrazná v případě, kdy teplota okolí leží přibližně kolem středu intervalu II.

Z experimentálního i početního hlediska je výhodné volit střední teplotu v intervalu II rovnu teplotě okolí ϑ (což prakticky znamená vypnout topení o chvíli dříve, než kalorimetr dosáhne teploty $\vartheta + (\vartheta - t_I)$). V takovém případě je korekce na tepelné ztráty prakticky nulová, jak lze

ukázat podle vztahu (7), kam dosadíme $t_{II} = \frac{t_{III} + t_I}{2}$.

$$\Delta_{II} = \Delta_I + \frac{\Delta_{III} - \Delta_I}{t_{III} - t_I} (t_{II} - t_I) = \Delta_I + \frac{\Delta_{III} - \Delta_I}{t_{III} - t_I} \frac{t_{III} - t_I}{2} = \Delta_I + \frac{\Delta_{III} - \Delta_I}{2} = \frac{\Delta_{III} + \Delta_I}{2} .$$

Bude-li $t_{III} \cong \vartheta$ je $\Delta_I \cong -\Delta_{III}$ a vychází, že $\Delta_{II} = \frac{\Delta_{III} + \Delta_I}{2} \approx 0$.

I		II a		II b		III a	
čas min	teplota °C	čas min	teplota °C	čas min	Teplota °C	čas min s	Teplota °C
0	10,1	5	10,35	25	29,52	26 0	29,7
1	10,15	6	11,2	26	29,7	30	29,7
2	10,2	7	12,25			27 0	29,67
3	10,25	8	13,3			30	29,63
4	10,3	9	14,3			28 0	29,6
5	10,35	10	15,3			30	29,58
						29 0	29,54
doba trvání: $\tau_1 - \tau_0 = 5 \text{ min}$ $t_I = \frac{\sum t_i}{6} = \frac{61,35}{6} = 10,22 \text{ °C}$ t_I je aritmetický průměr teplotních údajů čili teplota středu intervalu I, tzn. v čase $\tau = 2,5 \text{ minuty}$ $\Delta_I = \frac{t_0 - t_1}{\tau_1 - \tau_0} = \frac{10,1 - 10,35}{5} = -0,05 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$		11 16,3 12 17,3 13 18,3 14 19,25 15 20,2 16 21,2 17 22,2 18 23,15 19 24,08 20 25 21 25,9 22 26,8 23 27,7 24 28,6 25 29,52				III b 29 29,54 30 29,50 31 29,47 32 29,42 33 29,38 34 29,34	
		počáteční teplota $t_1 = 10,35 \text{ °C}$ maximální teplota $t_2 = 29,7 \text{ °C}$ doba ohřevu $n = \tau_2 - \tau_1 = 20 \text{ minut}$ celková doba intervalu II $n^* = 21 \text{ minut}$ střední teplota celého intervalu II $t_{II} = \frac{451,90}{22} = 20,54 \text{ °C}$ (lze určit přibližně jako teplotu, odpovídající středu celého intervalu II)					doba trvání: $\tau_4 - \tau_3 = 5 \text{ min}$ $t_{III} = \frac{\sum t_i}{6} = \frac{176,6}{6} = 29,44 \text{ °C}$ t_{III} je aritmetický průměr teplotních údajů ve III b, čili teplota středu intervalu III b, $\Delta_{III} = \frac{t_3 - t_4}{\tau_4 - \tau_3} = \frac{29,54 - 29,34}{5} = 0,04 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$

Hodnoty měrných tepelných kapacit některých látek běžných v technické praxi při teplotě 20 °C jsou obsaženy v tab. 2. Tabulka 3 udává měrnou tepelnou kapacitu destilované vody v teplotním intervalu (0 – 100) °C při normálním tlaku 101,325 kPa.

Tabulka 2

Skupenství	Látka	Měrná tepelná kapacita c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
Pevné	Cín	227
	Hliník	896
	Křemík	703
	Měď	393
	Mosaz	395
	Nikl	448
	Olovo	129
	Platina	133
	sklo jenské	779
	sklo křemenné	728
	stříbro	235
	wolfram	134
	zinek	385
	zlato	129
	železo	450
Kapalné	Anilin	2050
	Benzen	1730
	Etylalkohol	2430
	Glycerín	2390
	olej olivový	1970
	petrolej	2090
	rtuť	139
	toluen	1690

Tabulka 3

t [°C]	c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	t [°C]	c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	t [°C]	c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
0	4217,8	35	4178,1	70	4189,7
5	4201,3	40	4178,4	75	4192,9
10	4192,2	45	4179,3	80	4196,4
15	4186,3	50	4180,5	85	4200,5
20	4181,8	55	4182,2	90	4205,2
25	4179,5	60	4184,3	95	4210,4
30	4178,4	65	4186,7	100	4216,0

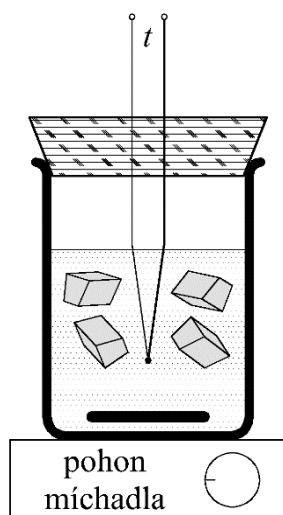
STANOVENÍ PARAMETRŮ FÁZOVÝCH PŘEMĚN

ÚLOHA č. 18

Způsob měření:

Schéma měření je na obr. 4. Do kalorimetru tepelné kapacity K_K naplněného teplou vodou hmotnosti m_V o teplotě $t_1 = (35 - 40)^\circ\text{C}$ vložíme kousek ledu hmotnosti m_L . Po jeho roztátí a výměně tepla se teplota kalorimetru ustálí na teplotě t_2 . Jestliže led má teplotu rovnou teplotě tání $\vartheta = 0^\circ\text{C}$, spotřebuje určité množství tepla ke své skupenské přeměně a voda z něho vzniklá spotřebuje další teplo k ohřátí na konečnou teplotu t_2 v kalorimetru. Za předpokladu, že nedochází k tepelným ztrátám, musí se teplo spotřebované ke skupenské přeměně ledu a ohřátí z něho vzniklé vody na teplotu t_2 rovnat teplu, které odevzdala voda a kalorimetr při ochlazení z teploty t_1 na teplotu t_2 . Tepelnou bilanci zapíšeme kalorimetrickou rovnicí ve tvaru

$$m_L l + m_L c_V (t_2 - \vartheta) = (K_K + m_V c_V) (t_1 - t_2) ,$$



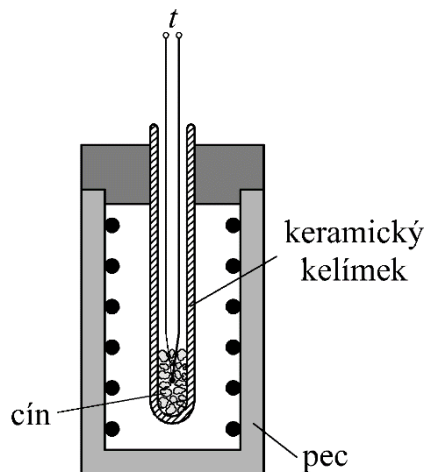
Obr. 4

a protože $\vartheta = 0^\circ\text{C}$, dostaneme pro l

$$l = \frac{(K_K + m_V c_V)(t_1 - t_2)}{m_L} - c_V t_2 , \quad (9)$$

t_1 , t_2 jsou teploty ve $^\circ\text{C}$.

Pro druhou část laboratorní úlohy ohříváme cín v kelímku nad teplotu tání. Po ohřátí nad teplotu tání necháme cín chladnout. Experimentální uspořádání je na obr. 5. Teplota se měří teploměrem s termočlánkem. Teplotu kovu sledujeme a zapisujeme buď ručně, anebo registrujeme pomocí počítače.



Obr. 5

Proměříme nejdříve křivku tání cínu. Ohřev v pídce ukončíme až v okamžiku, kdy došlo k úplnému roztavení cínu v kelímku a teplota opět začala plynule stoupat. Poté necháme cín chladnout. Teplotu tuhnutí stanovíme jako začátek teplotního intervalu, kde cín začíná krystalizovat a teplota se přestává měnit. Ukončení krystalizace se určuje obtížněji, protože termočlánek nemusí být umístěn v blízkosti posledního zbytku kapalně fáze kovu. Měření ukončíme v okamžiku, kdy teplota začne opět klesat. Při chladnutí a tuhnutí chemicky čisté látky může dojít k jejímu podchlazení. Kapalná fáze se podchladí, nechá-li se tuhnout bez míchání a beze zbytku pevné fáze, která byla předtím roztavena. Tento efekt může způsobit rozdíl v teplotě tání a tuhnutí.

Mezi oběma křivkami, tání a tuhnutí, může být značný rozdíl, záleží na rychlosti, s kterou došlo k ohřevu.

Připomínky k měření a vyhodnocení:

Pro měření skupenského tání ledu použijte skleněný kalorimetr, jehož tepelná kapacita je uvedena na kartě úlohy. Do nádoby kalorimetru vlijte vodu o teplotě $t_1 = (35 - 40)^\circ\text{C}$.

K měření použijte led, který nesmí být mokrý. V laboratoři je k dispozici led, jehož teplota je blízká 0°C . Led vložte do kalorimetru v okamžiku, kdy se na jeho povrchu objeví voda, kterou musíte osušit. Pokud použijete led z mrazničky, musíte ho nechat 5 minut ležet na sítku při pokojové teplotě, teprve poté je jisté, že led bude mít teplotu 0°C .

Míchání lázně zajišťuje magnetické míchadlo, jehož vlastní tělískové míchadlo je uváděno do pohybu rotačním magnetickým polem při dnu nádoby.

Sledujte a zapisujte závislost teploty vody kalorimetru na čase. Zpravidla využíváme automatickou registraci pomocí počítače. Závislost teploty kalorimetru je možno rozdělit na tři intervaly:

I – interval volíme 5 minut, kalorimetr je zčásti naplněný vodou o teplotě vyšší než je teplota okolí. Vlivem přenosu tepla do okolí teplota pomalu klesá. Teplotu vody na konci tohoto intervalu položte rovnu t_1 .

II – interval, začíná od okamžiku vložení ledu až do jeho úplného roztátí. Teplota v tomto intervalu klesá velmi rychle. Hmotnost ledu m_L by měla být taková, aby se nejnižší dosažená teplota nacházela v rozmezí $(12 - 17)^\circ\text{C}$.

III – interval je určen pro vyhodnocení tepelných ztrát, podobně jako interval **I**. Teplota kalorimetru je nižší než teplota okolí, proto postupně stoupá v důsledku výměny tepla s okolím. Délku intervalu volte asi 8 minut.

Pozorování intervalu **I** zahajte až po dostatečně dlouhé době od naplnění kalorimetru vodou, aby se vyrovnala teplota kalorimetru a vody. Míchadlo musí být zapnuté po celou dobu měření.

Závislost teploty lázně na čase vyneste do grafu, z kterého odečtete hodnotu teploty t_2 . Nemusí to být vždy nejnižší naměřená teplota, neboť led nalézající se poblíže teplotního čidla někdy sníží jeho údaj na hodnotu nižší, než by odpovídalo hodnotě t_2 . V takovém případě je třeba určit t_2 z grafu nalezením průsečíku přímky extrapolovaného intervalu **III** a křivky intervalu

II. Teplotní ztráty není třeba započítávat, protože doba, během které dochází k tání ledu, je krátká. Pokud je u této úlohy realizováno měření teploty teplotním čidlem s výstupem na počítač, probíhá záznam teploty v závislosti na čase automaticky. Měrné skupenské teplo tání ledu stanovte podle vztahu (9) a výsledek porovnejte s tabulkovou hodnotou

$$l = 333,7 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

Různé zdroje systematických chyb metody způsobují, že relativní nejistota výsledku je asi 10 %. Uveďte možné vlivy, které se podle vašeho názoru podílejí na nejistotě výsledku.

Pro druhou část laboratorní úlohy ohřejte cín v kelímku nad teplotu tání. Sledujte a zapisujte teplotu taveného kovu po dostatečně malých časových intervalech. Druhou část měření začněte v okamžiku, kdy cín je roztaven.