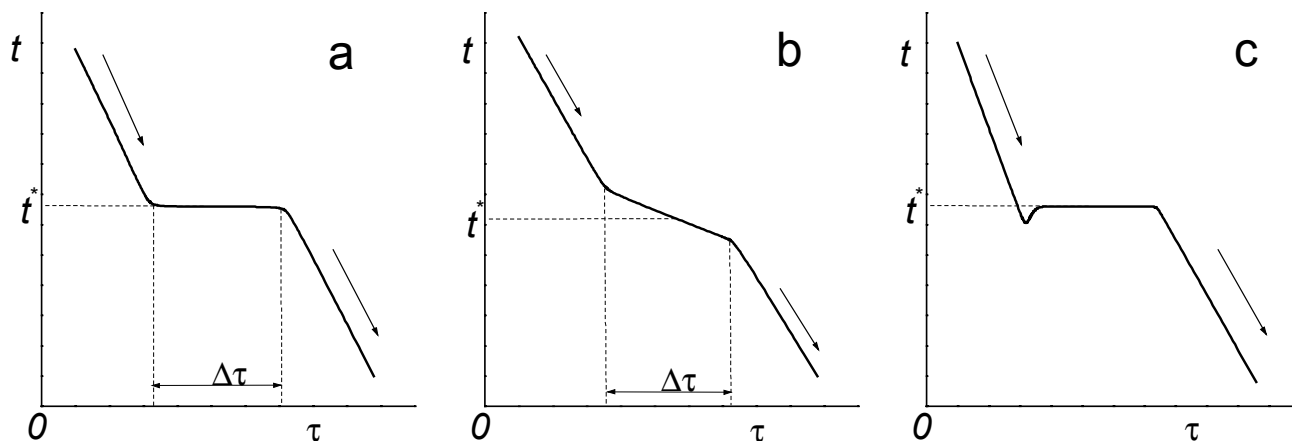


## VIII. Kalibrace odporového teploměru a termočlánu - fázové přechody

### Fázové přechody

**Bod tání (tuhnutí)** látky je teplota, při níž je pevná fáze v termodynamické rovnováze s fází kapalnou při daném vnějším tlaku. V mezích obvyklých změn barometrického tlaku lze však považovat bod tání (tuhnutí) za stálý. Chemicky čisté krystalické látky tají a tuhnou při stejné teplotě. Látky chemicky nečisté a směsi (látky amorfni) tají (tuhnou) v jistém teplotním intervalu. Měření bodu tání (tuhnutí) lze provádět přímou metodou tak, že se měřené látky dodává nebo odebírá teplo rovnoměrně s časem a sleduje se časová závislost teploty vzorku. Nastává-li v látce fázová přeměna, zůstává při ní teplota látky konstantní, neboť dodávané (odebírané) teplo se jí zúčastňuje.

Pro praktickou realizaci metody je výhodnější nechat měřenou látku samovolně chladnout. Tímto způsobem se totiž velmi snadno realizuje přibližně rovnovážné odnímání tepla. Jde-li o látku chemicky čistou je časový průběh teploty znázorněn na obr. 1a. Bod tuhnutí je dán teplotou  $t^*$ , na níž se teploměr ustálil během chladnutí kapalně fáze látky, tj. teplotu příslušnou časové prodlevě závislosti  $t = f(\tau)$ . Změna fáze chemicky čisté látky je tedy dějem izotermickým a teplota, při níž ke změně fází dochází, je přesně definována. U chemicky nečistých látek a směsí (obr. 1b) lze považovat za bod tuhnutí střední teplotu v místě nejmenšího teplotního spádu. Na obr. 1c je znázorněn časový průběh teploty při chladnutí a tuhnutí chemicky čisté látky včetně jejího *podchlazení*. Kapalná fáze se podchladí, necháme-li ji tuhnout bez míchání a beze zbytku pevné fáze, která byla předtím roztavena. Vhodíme-li do ní krystalek pevné fáze, začne ihned tuhnout a její teplota rychle stoupne na bod tuhnutí.



obr. 1: Příklad časového průběhu teploty při chladnutí a tuhnutí: a) chemicky čistých látek, b) látek chemicky nečistých a směsí, c) chemicky čisté krystalické látky včetně jejího podchlazení

**Bod varu.** Bodem varu látky je zvykem nazývat teplotu, při níž napětí nasycených par kapalně fáze látky je právě rovno vnějšímu tlaku. Bod varu je na rozdíl od bodu tání silně závislý na tlaku, takže je vždy nutné ho pro daný tlak určovat. *Normálním bodem varu* rozumíme bod varu za normálního barometrického tlaku  $p_0 = 1,01325 \cdot 10^5$  Pa (= 760 torrů).

**Teplota varu vody** závisí na atmosférickém tlaku. Pro bod varu vody  $t_p$  při tlaku  $p$  platí

$$t_p = 100,0 + 28,0216 \left( \frac{p}{p_0} - 1 \right) - 11,642 \left( \frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 + 7,1 \left( \frac{p}{p_0} - 1 \right)^3, \quad (1)$$

kde  $t_p$  je udáno ve stupních Celsia.

### Elektrické teploměry

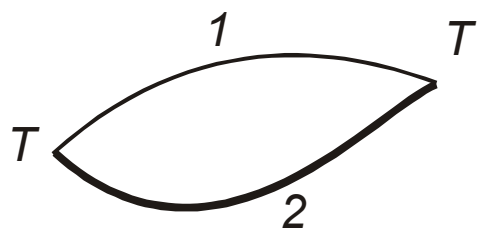
Elektrickými teploměry rozumíme buď termočlánky nebo teploměry odporové. Činnost termočlánku je založena na Seebeckovu termoelektrickém jevu.

**Seebeckův jev.** Mezi koncovými průřezy vodiče se udržuje napětí  $\Delta U$ , jestliže mezi nimi je teplotní rozdíl  $\Delta T$ . Při malých rozdílech je napětí  $\Delta U$  úměrné teplotnímu rozdílu

$$\Delta U = \alpha \Delta T, \quad (2)$$

kde  $\alpha$  je termoelektrický koeficient vodiče. Má u kovů hodnoty řádu  $10^{-6}$  až  $10^{-5}$   $\text{VK}^{-1}$  a u polovodičů  $10^{-5}$  až  $10^{-3}$   $\text{VK}^{-1}$ . Hodnoty  $\alpha$  jsou kladné nebo záporné a jejich znaménko souhlasí se znaménkem Hallovy konstanty. U některých polovodičů byly zjištěny teplotní obory, v nichž má  $\alpha$  stálou hodnotu.

Seebeckův jev se obvykle pozoruje a využívá se ho k různým účelům v uzavřeném obvodu složeném ze dvou různých vodičů 1 a 2 (kovových nebo polovodičových), jejichž konce mají dokonalý vodivý styk zaručený spojením (obr. 2). Udržíme-li rozdíl  $\Delta T$  mezi teplotami  $T$  a  $T' = T + \Delta T$  obou spojů, vzniknou v obvodu dvě napětí



obr. 2: Termočlánek

$$\Delta U_1 = \alpha_1 \Delta T \text{ a } \Delta U_2 = \alpha_2 \Delta T, \quad (3)$$

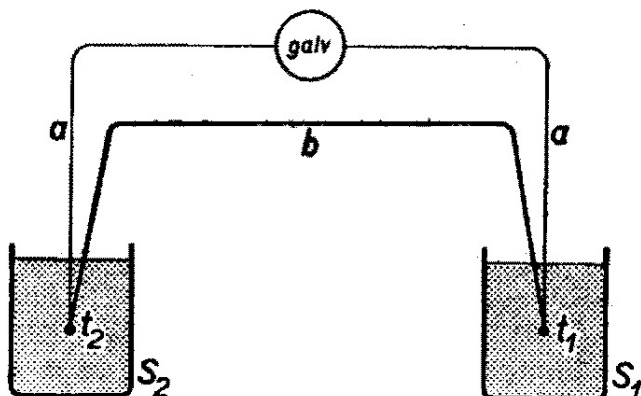
která působí proti sobě a dávají vznik výslednému elektromotorickému napětí

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta U_1 - \Delta U_2 = (\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T = \alpha_{12} \Delta T. \quad (4)$$

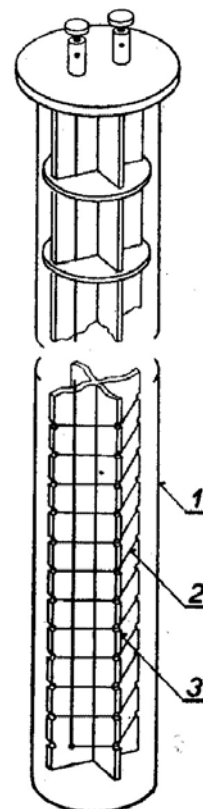
Veličina  $\alpha_{12}$ , rovná algebraickému rozdílu hodnot  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$ , se nazývá *termoelektrický koeficient* dvojice vodičů 1-2.

**Termočlánky** se tedy skládají ze dvou různých kovových vodičů na konci svařených, vhodně zvolených pro měření teplotní obor. (V praxi se užívá asi deseti vybraných dvojic materiálů. Termočlánky se značí J, K ... a jejich kalibrace je známá. Liší se např. vhodností pro určité rozpětí teplot nebo do různých prostředí.) Pro nejjednodušší měření teploty prostřednictvím termočlánků se využívá zapojení se srovnávacím koncem – dvojitý termočlánek uspořádaný podle obr. 3. Termočlánek se pak skládá z měřicího konce, kterým měříme teplotu a ze srovnávacího konce, který je umístěn v prostředí s konstantní teplotou. V praxi se nejčastěji pro tento účel využívá nádoba (termoska) s tajícím ledem, která s dostatečnou přesností zajišťuje teplotu  $0^\circ\text{C}$ . Průměr drátku termočlánku volíme malý, obvykle 0,3 až 1 mm, s ohledem na chyby způsobené vedením tepla. Výhodou termočlánků je, že mají malou tepelnou kapacitu, a tím i malou setrvačnost. Vzhledem k tomu ovlivňují jen nepatrně teplotu zkoumaného tělesa. Další jejich

výhodou je, že vzhledem k malým rozměrům spojů lze jimi měřit teploty i v těžko přístupných místech zkoumaných těles. Nevýhodou je naopak jejich značná tepelná vodivost při měření teploty nekovů.



obr. 3: Schéma zapojení dvojitého termočlánu



obr. 4: Odporový teploměr.

1 ochranná trubice

2 odporový drát

3 slídový nosník

**Odporové teploměry** jsou založeny na změně elektrického odporu kovů nebo polovodičů s teplotou. Pro kovy je střední teplotní součinitel elektrického odporu  $\bar{\alpha}$  kladný, pro polovodiče (termistory) záporný. Nejvhodnější látkou pro odporový teploměr je platina vzhledem ke své chemické netečnosti, vysokému bodu tání a dost velkému teplotnímu oboru, v němž se její teplotní součinitel odporu zvolna mění. Platinový teploměr je znázorněn na obr. 4. Odporový teploměr se skládá z keramického válečku s podélnými kanálky, v nichž je umístěno měrné vinutí z fyzikálně čisté platiny [2]. Oba konce keramického válečku jsou neprodyšně zataveny. Standardně vyráběné platinové odporové teploměry typu Pt100 jsou určeny pro přesné měření teploty v rozsahu od  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+800\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ke konstrukci odporových teploměrů se někdy používá i jiných kovů, které jsou levnější a často mají větší teplotní součinitel odporu. Tak např. pro velmi nízké teploty se používají olověné odporové teploměry [2].

### Kalibrace elektrických teploměrů

Závislost odporu platinového odporového teploměru  $R$  na teplotě  $t$  lze vyjádřit v nejjednodušším případě polynomem druhého stupně.

$$R = R_0(1 + At + Bt^2), \quad (5)$$

ve kterém  $R_0$ ,  $A$ ,  $B$  jsou konstanty na teplotě nezávislé, které lze určit změřením odporu při teplotách rovnovážných stavů (např. při bodu tuhnutí vody, bodu varu vody a bodu tuhnutí cínu). Bod tuhnutí vody je sekundárním referenčním bodem mezinárodní praktické teplotní stupnice 1968 (IPTS - 68) [1], zbývající dva jsou *definiční pevné body*.

Realizace teploty	Přiřazená hodnota
normální bod tuhnutí vody	$0\text{ }^{\circ}\text{C}$
normální bod varu vody	$100\text{ }^{\circ}\text{C}$
normální bod tuhnutí cínu	$232\text{ }^{\circ}\text{C}$

Jako elektrického odporového teploměru je užito platinového měřicího odporu DMT. Jmenovitý odpor při 0 °C je asi 100  $\Omega$ ,  $R_{100}/R_0 \sim 1,38$ .

Pro kalibraci termočlánku je připraven dvojitý termočlánek obsahující dva svařované spoje  $S_1$  a  $S_2$  kovových vodičů měď - konstantan. Studený spoj  $S_1$  budeme udržovat na teplotě  $t_1$  odpovídající bodu tání ledu. Termoelektrické napětí, které vznikne, uvedeme-li oba spoje na různou teplotu ( $t_1 < t_2$ ,  $t_2$  je teplota spoje  $S_2$ ), je úměrná rozdílu ( $t_1 - t_2$ ). Teplotní závislost lze opět aproximovat kvadratickou závislostí

$$\varepsilon = a + b(t_2 - t_1) + c(t_2 - t_1)^2, \quad (6)$$

v níž jsou  $a$ ,  $b$ ,  $c$  konstanty, které lze určit měřením.

Termoelektrické napětí se registruje zapisovačem. Termoelektrické napětí termočlánku Cu - konstantan, které vznikne při rozdílu  $\Delta t = 10$  K je orientačně 0,4 mV.

### ***Literatura:***

- [1] J. Brož, V. Roskovec, M. Valouch: Fyzikální a matematické tabulky, SNTL, Praha 1980
- [2] J. Brož a kol.: Základy fyzikálních měření I. SPN, Praha 1967, st. 3.1.2, čl. 3.1.2.4
- [3] J. Brož a kol.: Základy fyzikálních měření I. SPN, Praha 1983, st. 3.1.2, čl. 3.1.3.4, 3.1.3.5  
st. 3.3.1, čl. 3.3.1.2, 3.3.1.3
- [4] Z. Horák, F. Krupka, V. Šindelář: Technická fyzika, SNTL, Praha 1961, kap. 4.1.5., 5.8.5