

# Molekulová fyzika a termika

## 9. Základní poznatky molekulové fyziky a termodynamiky

### 9.1 Základní poznatky o atomech a molekulách

V následující kapitole si zopakujeme a rozšíříme poznatky, které budeme uplatňovat po celou dobu studia částic a molekul. Nezapomínejte si sebou nosit MFChT, budete je potřebovat.

#### 9.1.1 Relativní atomová hmotnost

Klidová hmotnost atomu  $m_a$  je velmi malá.

Př.:  $m_H = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ,  $m_C = 19,926 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Bohužel reálně ji v tabulkách nenaleznete. V tabulkách je uvedena relativní (poměrná

atomová hmotnost)  $A_r$ , definována vztahem:  $A_r = \frac{m_a}{m_u}$ ,

$m_a$  - klidová hmotnost atomu

$m_u$  - je atomová hmotnostní konstanta.

**Jednotka**  $A_r$ :  $[A_r] = 1$ ,  $A_r$  - je nepojmenované číslo a nemá jednotku

#### Definice atomové hmotnostní konstanty

$m_u$  : jako  $\frac{1}{12}$  hmotnosti  $m_c$  atomu nuklidu uhlíku  $^{12}_6\text{C}$ .

#### Důkaz:

Protože  $m_c = 19,926 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ,  $m_u = \frac{19,926 \cdot 10^{-27}}{12} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Zpětná kontrola: Určíme  $A_r$  atomu  $^{12}_6\text{C}$ :  $A_r = \frac{m_c}{m_u} = 12$

#### Pamatuj

Klidová hmotnost atomu je řádově  $10^{-27} \text{ kg}$ .

**Pozor:** Některé prvky nemají hodnotu  $A_r$  celočíselnou. Značí to, že příslušný prvek se skládá s izotopů. Př: Fe -  $A_r = 55,847 \approx 56$

#### Příklady na procvičení:

Určete  $A_r$  jednotlivých prvků:

vodík  $A_r =$                       helium  $A_r =$                       síra  $A_r =$   
uhlík  $A_r =$                       kyslík  $A_r =$                       měď  $A_r =$

Urči klidovou hmotnost atomu síry.

### 9.1.2 Relativní molekulová hmotnost

Podobně pro molekuly zavádíme relativní (poměrnou) molekulovou hmotnost  $M_r$ ,

definovanou vztahem:  $M_r = \frac{m_m}{m_u}$ ,

$m_m$  - klidová hmotnost molekuly

$m_u$  - atomová hmotnostní konstanta

$M_r$  je též bezrozměrná fyzikální veličina. Pro některé organické a anorganické sloučeniny jsou hodnoty  $M_r$  rovněž uvedeny v tabulkách MFChT.

#### Jiný náhled na $M_r$ :

Relativní molekulová hmotnost  $M_r$  je rovna součtu relativních atomových hmotností všech atomů všech prvků v molekule obsažených.

#### Příklady na procvičení:

Urči  $M_r$  molekuly  $H_2SO_4$ .

Urči klidovou hmotnost  $m_m$  molekuly  $H_2SO_4$

### 9.1.3 Látkové množství

Jelikož látka se skládá z částic, byla ve fyzice a chemii zavedena veličina **látkové množství n**.

**Látkové množství charakterizuje látku z hlediska počtu částic (atomů, molekul, iontů), které tato látka obsahuje.**

Je-li v tělese z homogenní látky N částic, pak látkové množství n tohoto tělesa je definováno

vztahem:  $n = \frac{N}{N_A}$ ,

$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  je Avogadrova konstanta

#### Jednotky všech tří veličin:

počet částic N:  $[N] = 1$

Avogadrova konstanta:  $[N_A] = \text{mol}^{-1}$

látkové množství:  $[n] = \frac{[N]}{[N_A]} = \frac{1}{\text{mol}^{-1}} = \text{mol}$

#### Definice 1 molu:

O soustavě částic říkáme, že má látkové množství 1 mol, jestliže obsahuje právě tolik částic, kolik je atomů v nuklidu uhlíku  $^{12}_6\text{C}$  o hmotnosti 0,012 kg.

#### Avogadrova konstanta (Avogadrův zákon)

Číselná hodnota  $\{N_A\}$  Avogadrovy konstanty udává počet částic v tělese o látkovém množství 1 mol. Platí pro všechny látky.

**Důkaz:**

$$n = \frac{N}{N_A} \Rightarrow N = n \cdot N_A = 1 \text{ mol} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ (částic)}$$

**Závěr:**

Z definice látkového množství tedy vyplývá, že počet atomů v nuklidu uhlíku  $^{12}_6\text{C}$  o hmotnosti 0,012 kg je roven číselné hodnotě Avogadrovy konstanty  $\{N_A\}$  a činí  $\{N_A\} = 6,022 \cdot 10^{23}$  atomů. (Lidově: ve 12 gramech nuklidu uhlíku  $^{12}_6\text{C}$  je obsaženo  $6,022 \cdot 10^{23}$  atomů uhlíku).

**Příklad na procvičení:**

Daný vzorek vodíku obsahuje  $36 \cdot 10^{23}$  molekul. Jaké je jeho látkové množství?

**9.1.4 Molární hmotnost  $M_m$** 

Molární hmotnost  $M_m$  je hmotnost 1 molu chemicky stejnorodé látky. Molární hmotnost je

$$\text{definována vztahem: } M_m = \frac{m}{n},$$

m – hmotnost látky,

n – látkové množství.

$$\text{Jednotka molárního množství: } [M_m] = \frac{[m]}{[n]} = \frac{\text{kg}}{\text{mol}} = \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$$

**Jiný způsob určení:**

Snadněji molární hmotnost určíme z relativní hmotnosti  $A_r$  nebo z relativní molekulové  $M_r$  hmotnosti takto:

$$M_m = A_r \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} \quad \text{- pro látky složené z atomů}$$

$$M_m = M_r \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} \quad \text{- pro látky složené z molekul}$$

**Důkaz:**

$$\text{klidová hmotnost molekuly: } m_m = \frac{m}{N},$$

m – celková hmotnost látky

N – počet molekul této látky

$$\text{celková hmotnost látky: } m = N \cdot m_m$$

$$M_m = \frac{m}{n} = \frac{N \cdot m_m}{n} = \frac{N \cdot m_m}{\frac{N}{N_A}} = m_m \cdot N_A = M_r \cdot m_u \cdot N_A = 0,012 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} = M_r \cdot \frac{1}{12} m_c \cdot N_A =$$

$$= M_r \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,012 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} = M_r \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$$

**Poznámka:** Některé zajímavé vztahy:  $M_m = \frac{m}{n} \Rightarrow n = \frac{m}{M_m}$

**Příklad na procvičení:**

Urči molární hmotnost

a)  $H_2O$

b)  $H_2SO_4$

**9.1.5 Molární objem  $V_m$**

Molární objem je objem 1 molu látky . Molární objem  $V_m$  tělesa z chemicky stejnorodé látky za daných fyzikálních podmínek (teploty, tlaku) definujeme vztahem :  $V_m = \frac{V}{n}$ ,

V – objem tělesa za daných fyzikálních podmínek,  
n - je odpovídající látkové množství.

**Jednotka molárního objemu:**  $[V_m] = \frac{[V]}{[n]} = \frac{m^3}{mol} = m^3 \cdot mol^{-1}$

**Poznámka:**  $V_m = \frac{V}{n} \Rightarrow V = V_m \cdot n$  případně  $n = \frac{V}{V_m}$

Často se molární objem určuje jako podíl molární hmotnosti  $M_m$  a hustoty látky  $\rho$  :  $V_m = \frac{M_m}{\rho}$

**Závěr:**

**Látkové množství určíme:**

$$n = \frac{N}{N_A}, \quad n = \frac{m}{M_m}, \quad n = \frac{V}{V_m}$$

$V_{m_n}$  - objem za normálního tlaku a teploty. Pro všechny plyny je stejný. Jeho hodnota je:  
 $0,02241 m^3 \cdot mol^{-1}$ .

## 9.2 Úvod do kinetické teorie látek

Základem kinetické teorie látek jsou tři experimentálně ověřené poznatky, které v další kapitolách probereme podrobněji:

- Látky kteréhokoli skupenství se skládají z částic.
- Částice se v látkách neustále a neuspořádaně pohybují.
- Částice na sebe navzájem působí silami. Tyto síly jsou při malých vzdálenostech odpudivé, při větších vzdálenostech přitažlivé.

### 9.2.1 Poznatky o atomu

**Atom je částice chemicky nerozložitelná.** Je to soustava elementárních částic, protonů a neutronů, tvořících jádro atomu, a elektronů, tvořících elektronový obal atomu.

Látky složené ze stejných atomů jsou chemické prvky. Jejich slučováním vznikají chemické sloučeniny. Poměry hmotností látek, které se slučují jsou stálé.

### 9.2.2 Pojem molekuly

Částicemi plynného skupenství nebývají vždy jednotlivé atomy. Jsou to zpravidla částice složené z více atomů a označujeme je jako molekuly. Poznanek byl objeven při pokusech se slučováním plynů (vodík s kyslík a dojde ke vzniku vody).

Částice plynů nazýváme molekulami a dělíme je na:

- jednoatomové (He, Ne, páry kovů)
- dvouatomové ( $H_2$ ,  $O_2$ )
- tříatomové ( $H_2O$ ,  $O_3$ )
- víceatomové ( $NH_3$ )

### 9.2.3 Rozměry a vzdálenosti molekul

Molekuly si nesmíme představovat jako kulová tělíska. Místo přesných hodnot rozměrů, můžeme určit prostě jaký připadá na jednu molekulu v kapalném či pevném skupenství.

Myšlenka: Rozměry a vzdálenosti molekul jsou řádově rovny  $10^{-10}$  m.

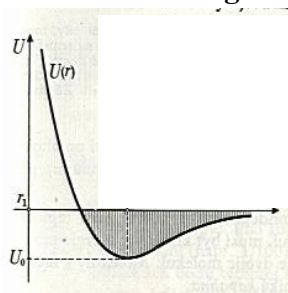
Ukazuje se, že nejbližší k sobě mají molekuly v pevném skupenství. Dále jsou od sebe molekuly v kapalném skupenství a nejdále jsou od sebe molekuly v plynném skupenství.

### 9.2.4 Molekuly v silovém poli sousedních molekul

Částice kapalných a pevných látek působí na sebe navzájem silami a shlukují se do soudržných celků. V okolí molekul jsou silová pole, která působí, že se molekuly přitahují a po dosažení vzdálenosti  $10^{-10}$  m se zase odpuzují. Při vzájemné vzdálenosti molekul, ve které se přitažlivé a odpudivé působení vyrovnává, molekuly zaujmou rovnovážnou polohu.

**Síly vzájemného působení molekul nazýváme molekulovými silami.**

### Potenciální energie dvou molekul při změně jejich vzdáleností



V důsledku přitažlivých a odpudivých molekulových sil mají molekuly vzájemnou polohovou (potenciální) energii. Při přibližování molekul konají práci přitažlivé molekulové síly a polohová energie molekul klesá. Když jsou molekuly velmi blízko sebe začnou konat práci odpudivé síly a díky tomu se molekuly vzdalují od sebe. Polohová energie dále klesá. Vzájemná polohová energie přiblížených molekul je záporná a při jejich vzdálení roste k nule. V určité vzdálenosti má dvojice molekul polohovou energii

$U_0$  nejmenší. Při spojování molekul uvázne molekula v poloze s nejmenší energií a při přechodu do této polohy se energie vždy uvolňuje.

## 9.2.5 Pohyb molekul

### Difúze

Molekuly jsou v neustálém pohybu. Kapaliny i plyny, které se stýkají a navzájem do sebe pronikají. **Tomuto jevu říkáme difúze.**

Pronikání kapalin je pomalejší než plynů, protože v kapalném prostředí mají molekuly menší rychlost než v prostředí plynném.

**Rychlost difúze se zvětšuje zvýšením teploty či zvýšením rychlosti molekul pomocí mechanických sil (mícháním).**

Molekuly při pohybu narážejí na stěny a vzniká tak tlak plynu na stěnu. Molekula působí na stěnu impulsem a stěna uděluje molekule impuls.

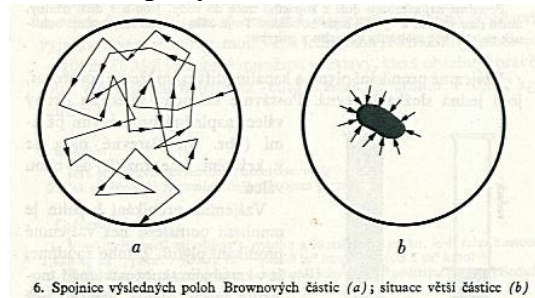
### Osmóza

Je to vlastně difúze mezi dvěma kapalinami. Probíhá díky tomu, že jsou kapaliny vzájemně odděleny polopropustnou blánou (např. biologickou membránou). Je to velmi důležitý proces v živých organizmech a v rostlinách. Např. buněčná blána obsahující plazmu živé buňky je polopropustná. Pronikají jí molekuly různých látek potřebných k výživě buňky. Molekuly bílkovin buněčná blána nepropustí.

### Tlak plynu

Tlak plynu se rovná součtu všech složek impulsů molekul, kolmých na stěnu, narážejících na jednotku plochy za jednotku času. Tlak plynu roste se vzrůstající teplotou.

### Brownův pohyb

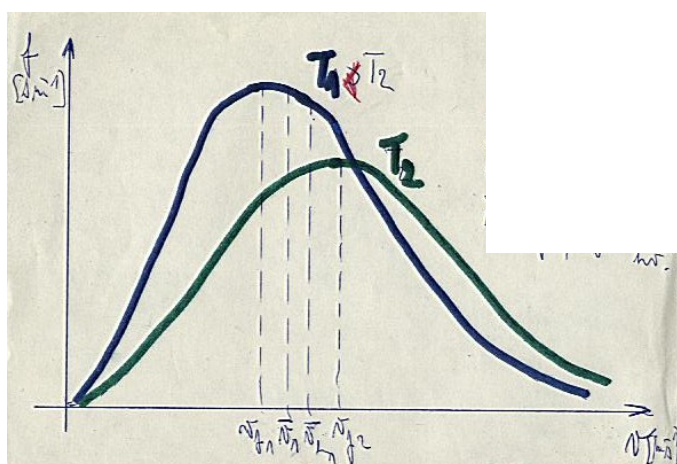


Pohyb molekul pozorujeme při Brownově pohybu. V tuhých látkách se molekuly též pohybují ale jejich pohyb je kmitavý okolo středních poloh částic.

Brownův pohyb je nepravidelný trhavý pohyb malých částeček rozptýlených v plynu nebo v kapalině. Větší částice se nepohybují, protože na ně narážení okolní molekuly současně ze všech stran a účinky jejich impulsů se ruší.

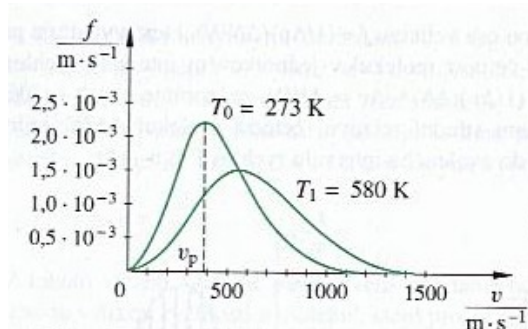
Při zvýšení teploty pozorujeme i zvětšení rychlosti Brownova pohybu a to je důkaz, že existuje souvislost rychlosti molekul a teploty.

## 9.2.6 Rozdělení rychlostí molekul v plynu



Molekuly plynu vykonávají neuspořádaný pohyb. Pohyb je ve všech směrech možný a žádný nemá přednost. Proto se mění velikost i směr rychlosti molekul. Pro obrovské množství molekul a jejich vzájemných nárazů nemůžeme rychlosti molekul měřit přímo. Na následujícím grafu si prohlédněte rozdělení rychlostí molekul v plynu.

Rychlosti molekul v plynu se rozdělují tak, že největšímu počtu molekul přísluší určitá střední rychlost, molekul s větší a menší rychlostí je tím méně čím více se jejich rychlost liší od středních rychlostí. Při popisu jevů využíváme teorii pravděpodobnosti. Ukazuje se, že pro popis existují pouze věty, které platí na celou soustavu a ne na jednotlivé molekuly. Tyto věty nazýváme statistickými.



Zavádíme statistický pojem **střední kvadratická rychlost** a označíme jí  $v_k$ . Mějme  $n$  molekul o hmotnosti  $m$ . Podle zákona rozdělení rychlostí má

$n_1$  molekul rychlost  $v$  v mezích  $v_1 + \Delta v$ .

Počet molekul je  $n = n_1 + n_2 + \dots + n_i$ .

Celková energie jejich posuvného neuspořádaného pohybu je:

$$E_k = \frac{1}{2}m(n_1v_1^2 + n_2v_2^2 + \dots + n_iv_i^2).$$

Při stejných rychlostech  $v_k$  všech molekul by byla energie:  $E_k = \frac{1}{2}nmv_k^2$ .

Z rovnosti předcházejících vztahů můžeme učinit následující závěr:

$$v_k^2 = \frac{1}{n}(n_1v_1^2 + n_2v_2^2 + \dots + n_iv_i^2).$$

### 9.2.7 Vnitřní energie molekulové soustavy

Molekuly se pohybují, a proto mají kinetickou energii, kterou můžeme pro  $n$  molekul vyjádřit:  $E_k = \frac{1}{2}nmv_k^2$ .

Molekuly soustavy charakterizuje kromě pohybu pole molekulových sil. Soustava molekul je proto charakterizována polohovou energií  $E_p$ .

Celková energie soustavy molekul nazveme **vnitřní** a určíme jí takto:  $U = E_k + E_p$ .

Velikost vnitřní energie souvisí se stavem soustavy. Máme tři základní stavy soustavy:

#### a) Plyn

Molekuly soustavy mají větší  $E_k$  než  $E_p$ . Zůstávají zde volné molekuly a tvoří plyn.

#### b) Kapalína

Plyn se mění v kapalinu při určité nižší teplotě. Začnou se vytvářet shluky molekul, a proto  $E_k$  musí být menší než  $E_p$ . Takto vzniká kapalína.

#### c) Pevná látka

Snížíme opět teplotu a molekuly se váží do pravidelných uspořádání. Zmenšuje se i polohová energie molekul, protože každá molekula se váže pevně s více sousedními molekulami.

## 9.2 Teplota

Teplotu jsme nejprve měřili hmatem. Takto získané tepelné pocity jsou však nespolehlivé pro posouzení tepelného stavu látek. Ukazuje se, že se změnou teploty se mění některé vlastnosti látek, např. : objem, pružnost tuhých látek, tlak plynu, atd. **Tepelným stavům, proto přiřazujeme veličinu zvanou teplota.** Teplota nám zpětně určuje stav látky.

### 9.2.1 Teplotní stupnice a teplotní stupeň

Při měření teploty vycházíme od takové vlastnosti některé látky, která se s teplotou mění lineárně (např. rtuť a líh). Význačné stavy látek určují základní teploty. Díky nim sestrojíme teplotní stupnici.

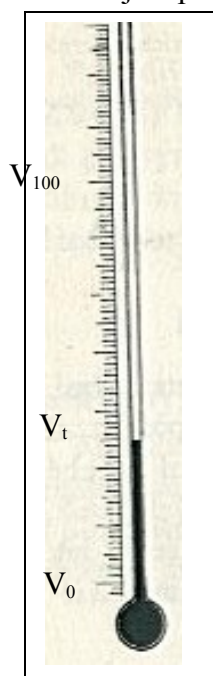
#### Teplotní stupnice

Sestrojíme jí pomocí dvou základních teplot:

**1. bod mrazu** – určuje teplotu tajícího ledu za normálního tlaku,

**2. bod varu** – určuje teplotu par vařící se vody při normálním tlaku.

K sestrojení stupnice je třeba zvolit nulový bod. Volíme bod mrazu. Jednotkou teplotního rozdílu je teplotní stupeň.



Stavy látky měříme teploměrem.

Teplotu můžeme měřit pomocí změn objemu (tlaku).

Zajímají nás objemy:  $V_0, V_{100}, V_t$ .

**Změna objemu na jeden stupeň je:**  $\frac{(V_{100} - V_0)}{100}$  nebo  $\frac{(V_t - V_0)}{t}$ .

porovnáme objemové změny:  $\frac{(V_{100} - V_0)}{100} = \frac{(V_t - V_0)}{t}$  a z nich plyne:

$$t = \frac{(V_t - V_0)}{(V_{100} - V_0)} * 100 \quad [^{\circ}C]$$

Ve vodíkovém teploměru se místo objemu do daného vzorce dosazuje tlak.

V soustavě SI je jednotkou teplotního rozdílu je jeden kelvin (K). Běžně se používá Celsiova stupnice.

Vztah mezi Celsiovou a termodynamickou stupnicí (kelvinova):  $T = t + 273,15$

Kromě stupnice Celsiové a termodynamické používáme stupnici Fahrenheitovu.

### 9.2.2 Rozsah teplotních měření

Příklady látek používaných k měření teploty a jejich teplotní možnosti:

rtuť – teplota tuhnutí: ( $-39^{\circ}C$ ) – teplota varu: ( $357^{\circ}C$ )

K měření nižších teplot používáme líh - teplota tuhnutí: ( $-114^{\circ}C$ ).

K měření vyšších teplot používáme kapalné kovy (cín – až do  $1560^{\circ}C$ ).

V oboru vysokých teplot se provádějí přesná měření pomocí pyrometrů.

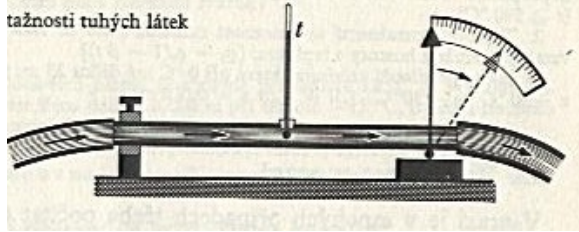
Při měření vyšších teplot se používá kapalinový teploměr se zkrácenou stupnicí a označujeme jej jako lékařský.

## 9.3 Teplotní roztažnost tuhých látek

### 9.3.1 Délková teplotní roztažnost

Se změnou teploty se mění i objem tuhých látek, přitom se s teplotou mění každý rozměr tělesa. Převažuje-li délka tělesa, mluvíme o **teplotní délkové roztažnosti**.

#### Pokus:



Budeme studovat teplotní roztažnost. Abychom zajistili rovnoměrné ohřátí tělesa, použijeme k tomu těleso o tvaru trubice. Trubicí ohříváme proudící vodou, jejíž teplotu měříme teploměrem  $t$ . Trubicí na jednom místě upevníme.

Má-li trubice při počáteční teplotě  $t_0$  délku  $l_0$  a

při teplotě  $t$  délku  $l_t$ . Poměr prodloužení trubice a zvýšení teploty zůstane stálý:

$$\frac{l_t - l_0}{t - t_0} = \frac{\Delta l}{\Delta t} = \text{konst.}$$

Každá látka se roztahuje různě, a proto zavádíme součinitel teplotní délkové roztažnosti:

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{l_t - l_0}{t - t_0} = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad \text{jednotka: } [\alpha] = \text{K}^{-1}$$

**délka trubice při počáteční teplotě  $t_0 = 0^\circ \text{C}$ :**  $l_t = l_0(1 + \alpha t)$

délka trubice při různých teplotách:  $l_t = l_0(1 + \alpha \Delta t)$

### 9.3.2 Objemová teplotní roztažnost

U těles se mění s rostoucí teplotou všechny rozměry a dochází ke změně objemu. Mění-li se všechny rozměry tělesa s teplotou stejně, mluvíme o tělese **teplotně izotropním**.

Jsou-li při teplotě  $t_0 = 0^\circ \text{C}$  rozměry kvádru z izotropní látky  $a_0, b_0, c_0$  a při teplotě  $t$   $a_t, b_t, c_t$ , je jeho výsledný objem:

$$V_t = a_t b_t c_t = a_0 b_0 c_0 (1 + \alpha t)^3 = V_0 (1 + 3\alpha t + 3\alpha^2 t^2 + \alpha^3 t^3) = V_0 (1 + 3\alpha t) = V_0 (1 + \beta t)$$

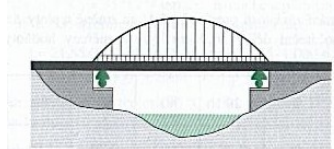
Zavedli jsme teplotní součinitel objemové roztažnosti hodnotou  $\beta = 3\alpha$

Ukazuje se, že objem je při stálém tlaku lineární funkcí teploty.

Anizotropní látky mají součinitel  $\beta$  v různých směrech různý.

### 9.3.3 Roztažnost v praxi

Teplotní roztažnost pevných těles se v praxi uplatňuje v mnoha případech:



**1) mostní konstrukce** – se zahříváním roztahují, a proto nesmí být připevněna k pilířům, ale pouze položena na ocelových válcích. Mostní konstrukce se může prodlužovat případně zkracovat.

**2) napínání lan, zavěšování vodičů** – lana a vodiče se musí nechat dostatečně prověšená, protože dochází k jejich zkracování v zimních měsících. Docházelo by k přerušení lan či vodičů.

**3) kovové kotle** – se nikdy nezazdíávají těsně, protože by se nemohly volně zvětšovat jejich rozměry. Podobně i teplovodního potrubí ve zdi.

**4) pružná kolena** – do kovových potrubí, kterými prochází horká pára, se vkládají pružná kolena, protože dochází k prodlužování či zkracování potrubí.

**5) spojování látek** – různorodé materiály podrobené teplotním změnám lze trvale spojit jen tehdy, mají-li přibližně stejné teplotní součinitele délkové roztažnosti. Př. Stejná teplotní

roztážnost oceli a betonu zajišťuje pevnost a stálost ocelobetonových konstrukcí. Příklady elektrického napětí u žárovek, doutnavek jsou z materiálu, který má teplotní součinitel délkové roztažnosti stejný jako použité sklo. Podobně je tomu s materiálem na zubní plomby a zuby.

**6) délková měřidla, odměrné válce, baňky, pipety, byrety** – udávají správnou hodnotu délky nebo objemu jen při teplotě, pro kterou byly opatřeny stupnicí.

**délková měřidla** - Přesné délkové normály se zhotovují z kovů o malém teplotním součiniteli délkové roztažnosti (např.: slitina platiny a iridia, z invaru – slitina železa a niklu).

**odměrné válce, baňky, pipety, byrety** - Skleněné odměrné nebo varné nádoby se dělají z křemenného skla, které má teplotní součinitel délkové roztažnosti o více než řád menší než obyčejné sklo. Tyto nádoby se dělají tenkostěnné, aby se při zahřívání rovnoměrně prohřívaly, rovnoměrně se roztahovaly a tím nepraskaly.

**7) bimetal** – Pevně spojené proužky dvou kovů s různými teplotními součiniteli délkové roztažnosti se při změně teploty deformují, prohýbají a stáčí. Používají se v kovových teploměrech, jsou součástí regulace termostatů v žehličce, chladničce.

**8) kolejnice** – při spojování dvou kolejnic se mezi nimi nechává mezera, protože se kolejnice mohou natahovat, případně zkracovat.

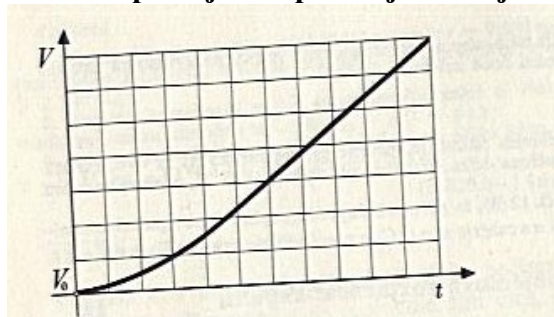
### 9.3.4 Teplotní objemová roztažnost kapalin

Různé kapaliny mají různé teplotní objemové součinitele a neroztahují se s teplotou rovnoměrně. Objemovou roztažnost měříme **dilatometrem**.



**Dilatometr** – je to nádoba známého objemu opatřená nahoře tenkou trubičkou s dělením v objemových jednotkách. Objem nádoby a jednotlivých dílků se určí např. vážením rtuti. Potom se dilatometr naplní zkoumanou kapalinou a zahřívá se přičemž se značí přírůstky teploty a přírůstky objemu kapaliny.

**Grafické znázornění teploty a jim odpovídajícím objemům:**



### Anomálie vody

Součinitel objemové roztažnosti kapalin je ve většině případech kladný. Velmi důležitou výjimku tvoří voda v teplotním intervalu:  $0\text{ }^{\circ}\text{C} - 4\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $3,98\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) má tento koeficient záporný a tento úkaz nazýváme jako **anomálie vody**.

### 9.3.5 Závislost hustoty tuhých látek a kapalin na teplotě

Se změnou teploty se mění objem tělesa, ale hmotnost zůstává stejná.

Jeli látka při  $t_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , počáteční objem  $V_0$ , počáteční hustota  $\rho_0$  a při teplotě  $t$ , objem  $V_t$  a

hustota  $\rho_t$  pak platí:  $V_0 \rho_0 = V_t \rho_t$  a konečnou hustotu určíme:  $\rho_t = \frac{V_0 \rho_0}{V_t} = \rho_0 \frac{1}{1 + \beta t}$ .

Je-li  $\beta > 0$  pak  $\rho_t < \rho_0$ , pak pro malé teploty  $t$  platí:  $\frac{1}{1 + \beta t} \doteq 1 - \beta t$

Výsledný vztah pro výpočet hustoty je:  $\rho_t = \rho_0(1 - \beta t)$ .