

# TERMODYNAMIKA

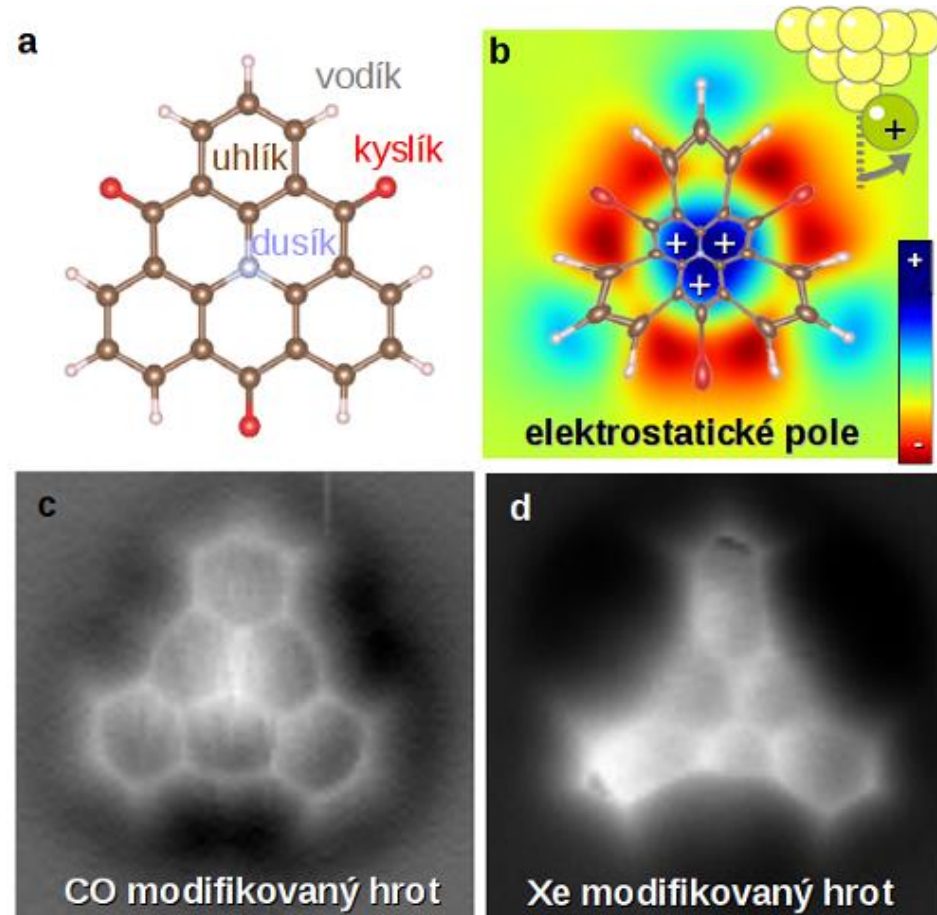
A close-up photograph of a lit matchstick. The matchstick is positioned diagonally from the bottom left towards the center. The head of the match is red and has a dark, charred tip. A large, bright orange and yellow flame extends from the tip, with a thick plume of blue smoke rising from it. The background is solid black, making the fire and smoke stand out prominently.

© 2022+ RNDr. Čeněk Kodejška, Ph.D.

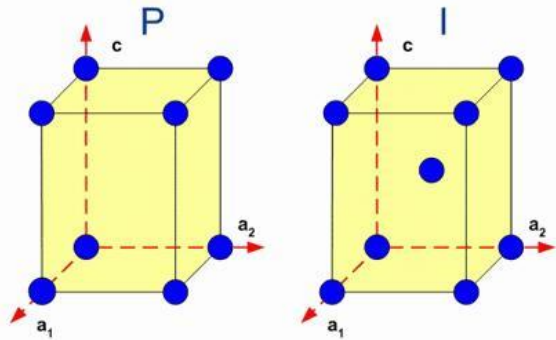
# 1. Základní poznatky molekulové fyziky

## Základy kinetické teorie stavby látek

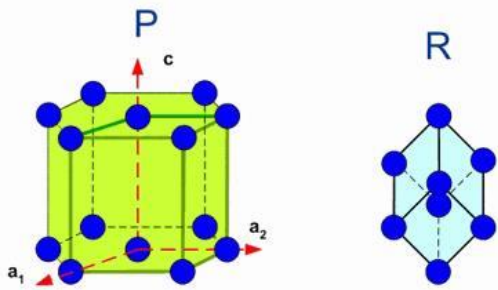
- Látka se skládá z částic
- Částice se pohybují neustále a neuspořádaně – **tepelný pohyb**
- Částice na sebe působí **přitažlivými** (větší vzdálenosti) i **odpudivými** (malé vzdálenosti) **silami**
- Nespojité (**diskrétní**) **struktura** látek
- Pohyb částic různou rychlostí – **rychlost má statistický charakter**



# 1. Základy kinetické teorie stavby látek



Tetragonální soustava



Hexagonální soustava

Trigonální soustava

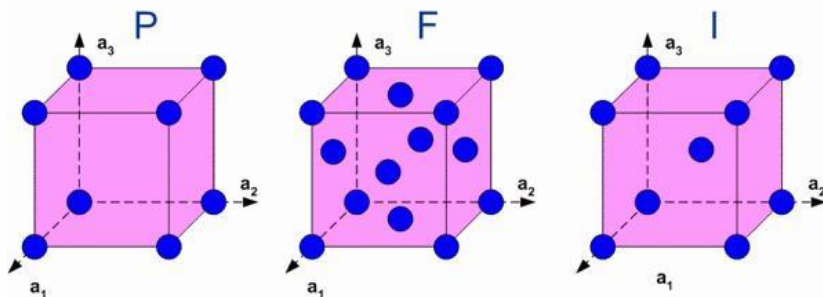
Cínovec - kasiterit



chalkopyrit



Apatit



Kubická soustava



NaCl

# 1. Základy kinetické teorie stavby látek

## Experimentální důkazy

- Difuze
- Brownův pohyb
- Tlak plynu

# 1. Základy kinetické teorie stavby látek

## Difuze – samovolné pronikání částic jedné látky mezi částice druhé látky

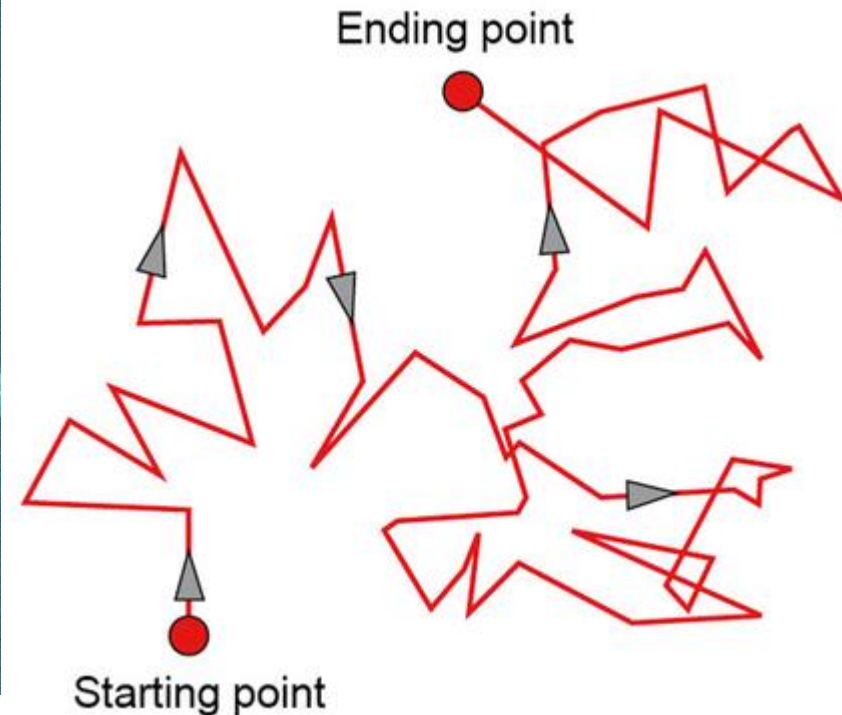
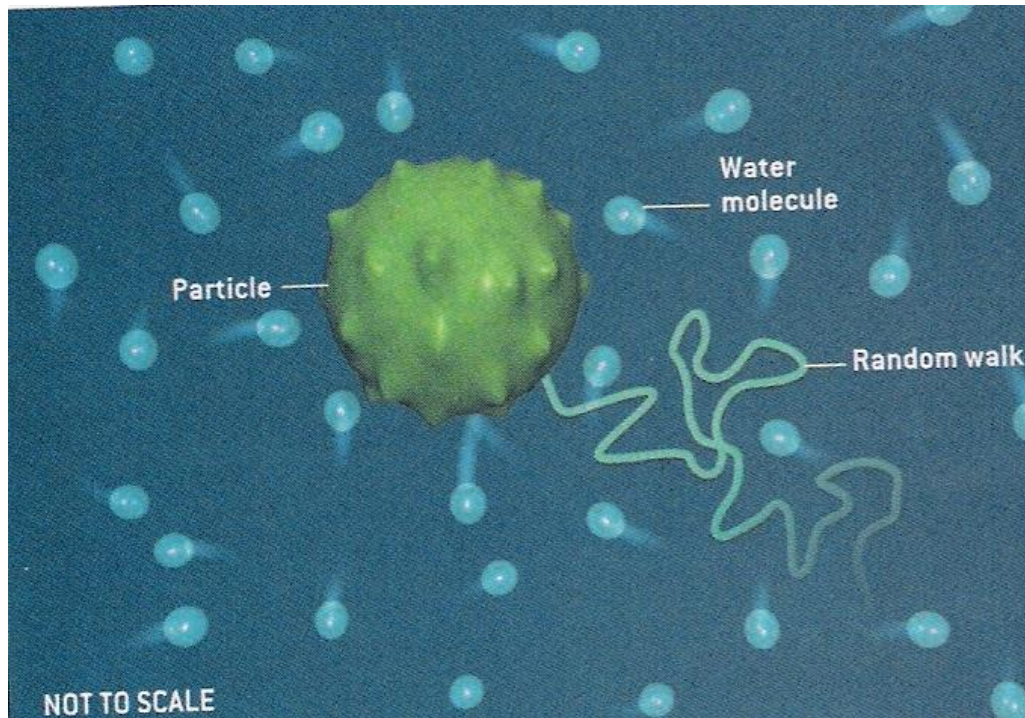
- Z oblasti vysoké koncentrace pronikají částice do oblasti nízké koncentrace
- Probíhá v plynech, kapalinách, pevných látkách (integrované obvody, fotovoltaika, kompost)
- Biologie: osmóza, ionty prvků v těle – krevní obraz
- Potravinářství: sterilizace potravin cukrem (sirupy) nebo solí (maso)



# 1. Základy kinetické teorie stavby látek

## Brownův pohyb – vzniká působením molekul prostředí na makročástici

- Robert Brown (1773-1858) – skotský fyzik; 1827 pohyb rozdrčených pylových zrn ve vodě
- podstatu vysvětlil až v roce 1905 A. Einstein
- 1827 – od tohoto roku kalendář začíná pondělím; + A. Volta, L. v. Beethoven
- 1828 - \* Jules Verne, Henrik Ibsen, L.N. Tolstoj
- Youtube: [https://www.youtube.com/watch?v=6VdMp46ZIL8&ab\\_channel=AlexanderC](https://www.youtube.com/watch?v=6VdMp46ZIL8&ab_channel=AlexanderC)



# 1. Základy kinetické teorie stavby látek

**Tlak plynu** – vzniká působením molekul plynu na stěny **uzavřené** nádoby

- nafouknutá pneumatika
- kompresor
- Spreje, deodoranty
- Parní turbína
- Youtube: [https://www.youtube.com/watch?v=t0iHHH187Tc&ab\\_channel=PaulaAlmeida](https://www.youtube.com/watch?v=t0iHHH187Tc&ab_channel=PaulaAlmeida)



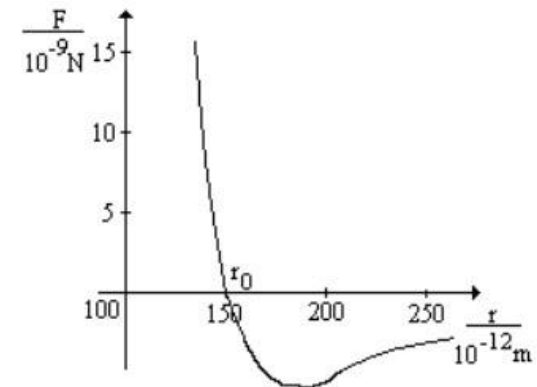
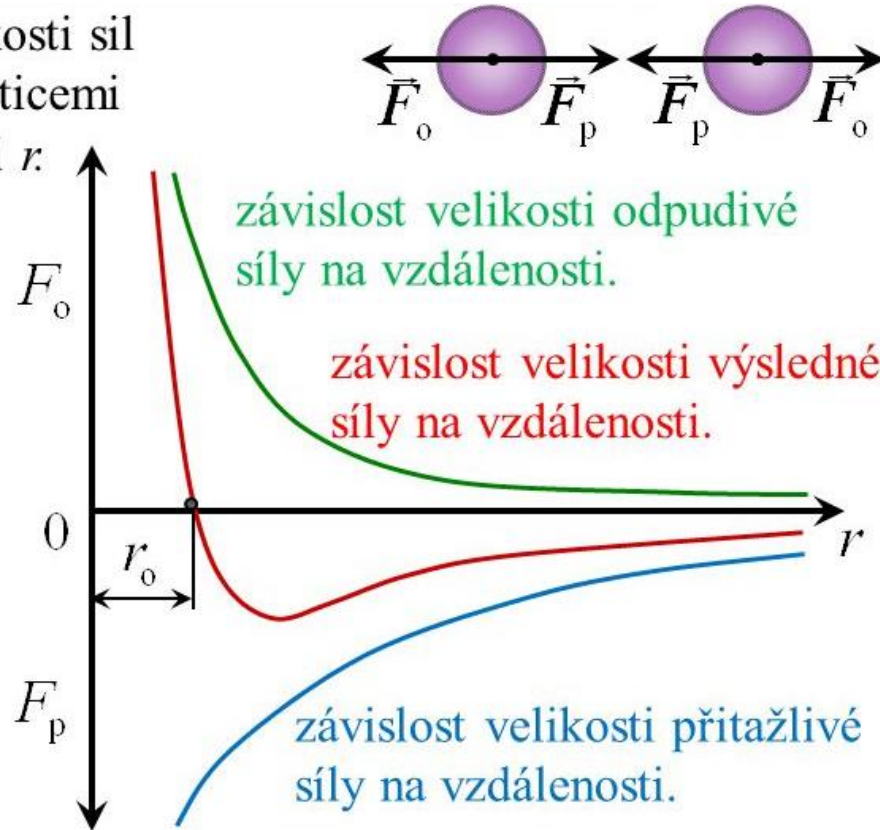
# 1. Základy kinetické teorie stavby látek

## Vzájemné působení částic – přitažlivé a odpudivé síly

Graf závislosti velikosti sil působících mezi částicemi na jejich vzdálenosti  $r$ :

Jsou-li částice ve vzdálenosti  $r_0$ , jsou v rovnovážné poloze.

Výsledná síla působící mezi částicemi je nulová.





# 1. Základy kinetické teorie stavby látek

## Modely struktur látek různých skupenství

### Pevné látky

- Částice uspořádané v krystalové mřížce (kromě amorfních látek)
- Přitažlivé síly: velké – vlastní objem a tvar
- Odpudivé síly: velké – nestlačitelné
- **$E_p > E_k$**  – částice převážně kmitají kolem rovnovážné polohy v mřížce

### Kapalné látky

- Molekuly se volně pohybují
- Přitažlivé síly: působí pouze na nejbližší částice – tekutost, dělitelnost
- Odpudivé síly: velké – nestlačitelné
- **$E_p \approx E_k$**  – částice kmitají kolem rovnovážné polohy a současně se pohybují v celém objemu kapaliny

### Plynné látky

- Volný pohyb částic:  **$E_p < E_k$**  – rychlost řádově  $10^2$  m/s
- Přitažlivé síly: malé – nemají vlastní objem a tvar, rozpínavost
- Odpudivé síly: malé – stlačitelné

# 1. Základy kinetické teorie stavby látek

## Stavové veličiny a rovnovážný stav soustavy

### Stavové veličiny

- Různá tělesa mají různé fyzikální vlastnosti:  $m$ ,  $V$ ,  $T$ ,  $\rho$
- **Tlak** –  $p$
- **Objem** –  $V$
- **Termodynamická teplota** –  $T$
- Při vzájemném kontaktu s okolím dochází ke změně stavových veličin
- Počáteční a konečný stav
- Izolovaná soustava – nedochází k výměně energie a částic s okolím

### Rovnovážný stav a rovnovážný děj

- Stav kdy se nemění stavové veličiny  $p$ ,  $V$ ,  $T$  – jsou konstantní
- Za sebou jdoucí sled rovnovážných stavů
- Reálný děj – většinou nerovnovážný, rovnovážný probíhá-li pomalu
- utajený var

# 1. Základy kinetické teorie stavby látek

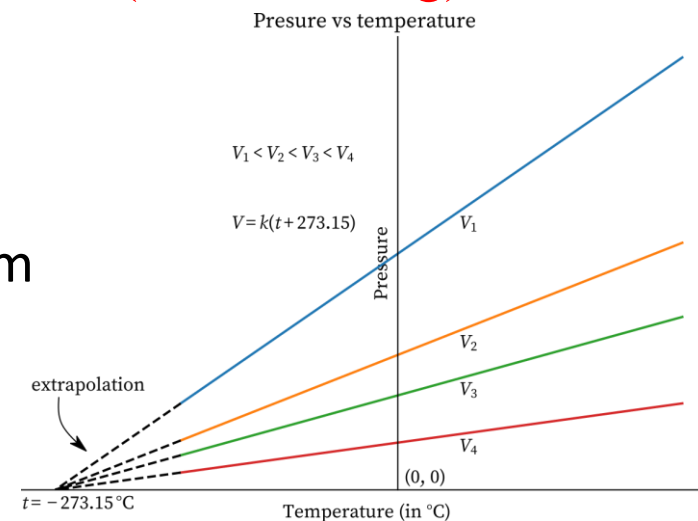
## Teplota a její měření

### Teplotní stupnice

- Teplota – fyzikální veličina charakterizující velikost vnitřní energie tělesa
- Celsiova – rovnovážný stav vody a ledu: 0°C, voda-sytá pára: 100 °C
- Fahrenheitova – 0°F: chlorid amonný, voda, led; 98°F: teplota člověka
- **Teplotní stupnice závisí na použité teploměrné látce (voda, líh, Hg)**

### Termodynamická teplota

- Lord Kelvin – **William Thomson (1824-1907)**
- pV diagramy různých plynů se protnou v jednom bodě: 0 K = -273,15 °C
- **Termodynamická teplota –  $T$  [ $T$ ] = K (kelvin)**  
**je univerzální, nezávisí na konkrétní látce**
- Základním bodem je teplota **trojného bodu vody**
- **$t = (T - 273,15)^\circ\text{C}$**
- **$T = (t + 273,15)\text{K}$**



$$\Delta t = \Delta T$$

# 1. Základy kinetické teorie stavby látek

## Teplota a její měření

### Druhy teploměrů

- kapalinové (Hg, líh)
- bimetalové
- digitální – termistorové
- bezkontaktní – IČ čidlo
- termograf – zapisuje teplotu na papír
- pyrometr – měření vysokých teplot řádově  $10^3$



# 1. Základy kinetické teorie stavby látek

## Molární veličiny

### Atomové konstanty

- **Avogadrova konstanta** – počet částic v 1 molu libovolné látky  
 $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  částic/mol (počet atomů uhlíku  $^{12}_6\text{C}$  o  $m = 12$  g)
- **Atomová hmotnostní jednotka** – 1/12 hmotnosti atomu uhlíku  $^{12}_6\text{C}$   
 $m_u = 1,6605 \cdot 10^{-27}$  kg

### Relativní atomová a molekulová hmotnost

- $A_r = \frac{m_a}{m_u}$        $m_a$  - klidová hmotnost atomu
- $M_r = \frac{m_m}{m_u}$        $m_m$  - klidová hmotnost molekuly

### Látkové množství a molární hmotnost

$$M_m = M_r \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

- $n = \frac{N}{N_A}$        $N$  – počet částic v daném množství látky
- $M_m = \frac{m}{n} = N_A \cdot m_0$        $m$  - hmotnost látky,  $m_0$  – hmotnost jedné částice

# 1. Základy kinetické teorie stavby látek

## Ukázkový příklad

### Výpočet hmotnosti molekuly kyslíku a molární hmotnosti

- $A_r(\text{O}_2) = 16$
- Kyslík tvoří dvouatomové molekuly:  $M_r(\text{O}_2) = 32$

$$m_0(\text{O}_2) = M_r \cdot m_u = 32 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 5,3136 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

$$M_m(\text{O}_2) = M_r \cdot 10^{-3} = 32 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

nebo 2. způsob

$$M_m(\text{O}_2) = N_A \cdot m_0 = 6,02232 \cdot 10^{23} \cdot 5,3136 \cdot 10^{-26} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} = 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$

### Výpočet rychlosti molekuly kyslíku při teplotě 0 °C

$$\begin{aligned} t &= 0 \text{ }^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K} \\ k_B &= 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \\ v &=? \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$v = \sqrt{\frac{3k_B T}{m_0}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 273,15 \text{ m}}{5,3136 \cdot 10^{-26} \text{ s}}} = \mathbf{461 \text{ m/s}}$$

# 2. Vnitřní energie, práce, teplo

## Vnitřní energie tělesa a její změny

### Vnitřní energie tělesa

- **Vnitřní energie tělesa** –  $U$   $[U] = \text{J (joule)}$
- Je dána součtem celkové  $E_k$  a  $E_p$  atomů a molekul v látce
- Při výpočtech neuvažujeme konkrétní velikost této energie, ale **změnu vnitřní energie  $\Delta U$**

Př. Jak se změní vnitřní energie tělesa o hmotnosti 2 kg při dopadu na zem z výšky 100 m?

$$m = 2 \text{ kg}$$

$$h = 100 \text{ m}$$

$$\Delta U = ? \text{ (J)}$$

$$\Delta U = \Delta E_p = mgh_1 - mgh_2 = mgh$$

$$\Delta U = 2 \cdot 10 \cdot 100 \text{ J} = 2000 \text{ J} = \mathbf{2 \text{ kJ}}$$

Vnitřní energie tělesa se zvýší o 2 kJ.

# 2. Vnitřní energie, práce, teplo

## Vnitřní energie tělesa a její změny

### Změna vnitřní energie

- konáním práce (tření při posouvání skříně)
- tepelnou výměnou (ohřev vody na čaj)
- zářením (Slunce)

### Změna vnitřní energie konáním práce

- třecí síly při posouvání tělesa, brždění auta, obrábění kovů, ložiska, mletí
- deformace tělesa (ohybem, kroucením – ohýbáním drátu ho lze rozdělit)
- stlačení nebo rozpínání plynu (motory aut, kompresor, deodorant ve spreji)

Př. Těleso o hmotnosti 1 kg klouže po nakloněné rovině délky 2,1 m, která svírá s vodorovnou rovinou úhel 30°. Velikost rychlosti na konci nakloněné roviny je 4,1 m/s. Určete přírůstek vnitřní energie tělesa vzniklý třením.

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$l = 2,1 \text{ m}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$v = 4,1 \text{ m/s}$$

$$\Delta U = ? \text{ (J)}$$

$$E_p = E_k + \Delta U$$

$$\sin \alpha = \frac{h}{l}$$

$$\Delta U = mgh - \frac{1}{2}mv^2$$

$$\Delta U = mgl \sin \alpha - \frac{1}{2}mv^2$$

$$\Delta U = 1 \cdot 9,81 \cdot 2,1 \sin 30 - \frac{1}{2}4,1^2 = \mathbf{1,9 \text{ J}}$$

Vnitřní energie tělesa se zvýší o 2 J.



# 2. Vnitřní energie, práce, teplo

## Tepelná výměna. Teplo. Měrná tepelná kapacita.

### Tepelná výměna

- **děj, při kterém částice teplejšího tělesa předávají srážkami svoji energii částicím studenějšího tělesa**
- Lžice ponořená do horké polívky
- Ohřívání vody na vařiči
- Chlazení potravin v ledničce
- Tavení kovů v pecích

### Teplo

- Je energie, která je buď pohlcena studenějším tělesem, nebo odevzdána teplejším tělesem při tepelné výměně
- Fyzikální veličina: **teplo**  $Q$  [ $Q$ ] = J (joule)      $1 J = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
- Rozlišujeme pojmy **teplo vs. teplota**

$$Q = cm\Delta T = cm(T_2 - T_1)$$

$m$  – hmotnost tělesa

$\Delta T = (T_2 - T_1)$  – změna teploty

# 2. Vnitřní energie, práce, teplo

## Měrná tepelná kapacita

Měrná tepelná kapacita –  $c$   $[c] = J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

- **materiálová konstanta charakterizující schopnost tělesa přijímat nebo odevzdávat teplo**
- **Číselně je rovna teplu, které přijme těleso o hmotnosti 1 kg při zvýšení teploty o 1 K (1°C)**
- Závisí na teplotě, takže je to konstanta jen pro určitý malý teplotní interval

### Tabulkové hodnoty

látka	$c(J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$
Fe	452
Cu	383
Al	896
Pb	129
<b>voda</b>	<b>4180</b>
vzduch	1005

# 2. Vnitřní energie, práce, teplo

## Měrná tepelná kapacita

### Měrná tepelná kapacita kovů

- Relativně malá
- Rychle se zahřejí (řezání dřeva, tavení kovů), rychle zchladnou

### Měrná tepelná kapacita vody

- Vysoká hodnota – pomalu se ohřeje, ale pomalu i chladne
- Boilery – Akumulace energie do ohřevu vody (FVE, TČ)
- Radiátory – teplonosné médium v domácnostech
- Mírné změny klimatu v přímořských oblastech – stabilní počasí

### Maxima a minima

látka	$c(J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$
Plynný vodík	14 300
Plynný radon	94

# 2. Vnitřní energie, práce, teplo

## Kalorimetrická rovnice

- **popisuje zákon zachování energie při tepelné výměně**
- Tepelná výměna mezi tělesy probíhá tak dlouho, až se teploty vyrovnají

## Kalorimetrická rovnice bez kalorimetru a s kalorimetrem

$$c_1 m_1 (T_1 - T) = c_2 m_2 (T - T_2)$$

$c_1, c_2$  - měrné tepelné kapacity těles

$m_1, m_2$  - hmotnosti těles

$T_1$  - počáteční teplota teplejšího tělesa

$T_2$  - počáteční teplota studenějšího tělesa

$T$  - výsledná teplota po dosažení rovnovážného stavu

$$c_1 m_1 (T_1 - T) = c_2 m_2 (T - T_2) + C_k (T - T_2)$$

$C_k$  - *tepelná kapacita kalorimetru* ( $\frac{J}{K}$ )

## 2. Vnitřní energie, práce, teplo

### Kalorimetrická rovnice

Př. Do vody o hmotnosti 6,7 g ponoříme teploměr o tepelné kapacitě 2,0 J/K. Před ponořením do vody ukazoval teplotu 17,8 °C, po dosažení rovnováhy teplotu 32,4 °C. Jaká byla teplota vody před měřením?

$$m_1 = 6,7 \text{ g} = 0,0067 \text{ kg}$$

$$C = 2,0 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$t_2 = 17,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t = 32,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = ? \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$c_1 m_1 (t_1 - t) = C(t - t_2)$$

$$t_1 = \frac{C(t - t_2)}{c_1 m_1} + t$$

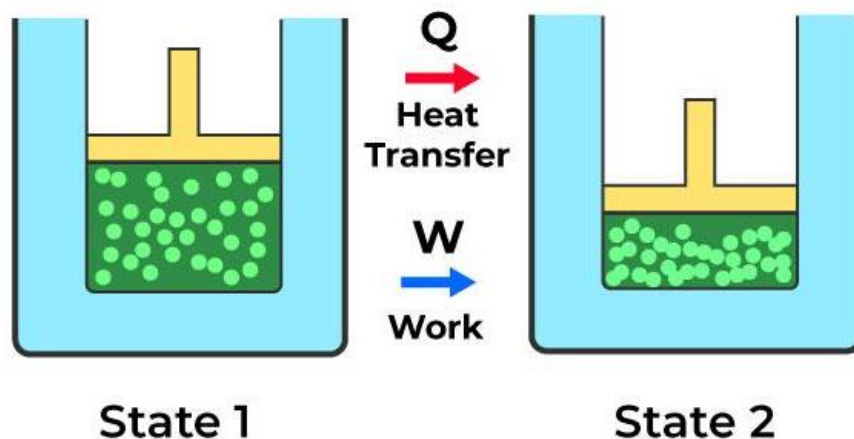
$$t_1 = \frac{2 \cdot (32,4 - 17,8)}{4180 \cdot 0,0067} + 32,4 = \mathbf{33,4 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Pozn. Indexem 1 značíme horkou vodu před ponořením teploměru, indexem 2 značíme teploměr, který přijal teplo od vody. Tepelná výměna tedy proběhla mezi horkou vodou a teploměrem.

## 2. Vnitřní energie, práce, teplo

### První termodynamický zákon

#### First Law of Thermodynamics



$$\Delta U = \Delta Q - W$$

$\Delta U$  – změna vnitřní energie plynu

$\Delta Q$  – teplo dodané plynu okolními tělesy

$W$  – práce vykonaná vnější silou při stlačení plynu

# 2. Vnitřní energie, práce, teplo

## První termodynamický zákon

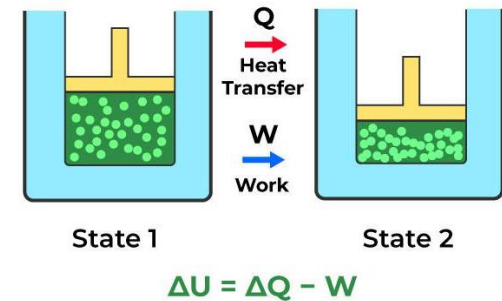
### 1. TMDZ z pohledu vnějších těles

$\Delta U$  – změna vnitřní energie plynu

$Q$  – teplo dodané plynu okolními tělesy

$W$  – práce vykonaná plynem

First Law of Thermodynamics



$$Q = \Delta U + W$$

Teplo  $Q$  dodané plynu se přemění na přírůstek vnitřní energie plynu  $\Delta U$  a práci  $W$ , kterou plyn vykoná.

# 2. Vnitřní energie, práce, teplo

## První termodynamický zákon

### Zvláštní případy

**Adiabatický děj** – izolovaná soustava,  $Q = 0$

- Veškerá práce, kterou plyn koná, jde na úkor jeho vnitřní energie.
- Veškerá práce vykonaná vnější silou se přemění na přírůstek vnitřní energie plynu.

$$\Delta U = -W$$

**Izochorický děj** –  $\Delta V = 0$ ,  $W = 0$

- Práce se nekoná, veškeré dodané teplo se přemění na přírůstek vnitřní energie plynu.

$$\Delta U = Q$$

**Izotermický děj** –  $\Delta T = 0$ ,  $\Delta U = 0$

- Veškeré dodané teplo se přemění na práci, kterou vykoná plyn.

$$Q = W$$

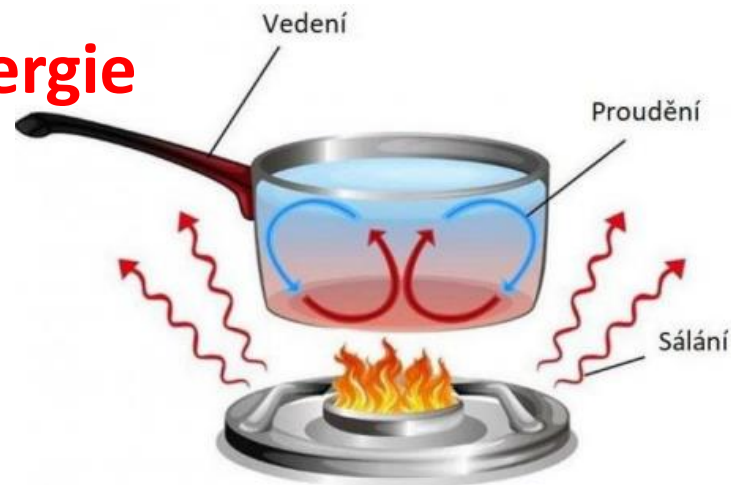


# 2. Vnitřní energie, práce, teplo

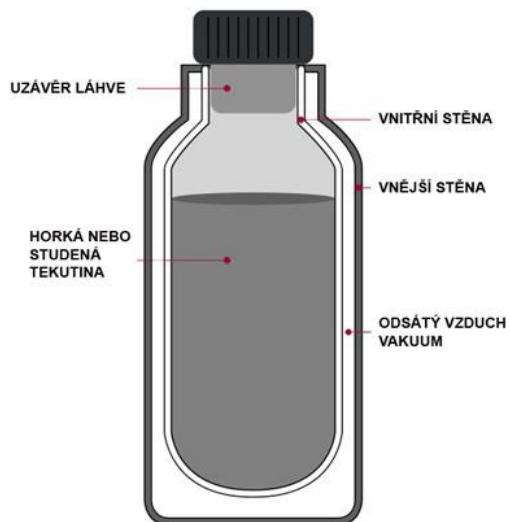
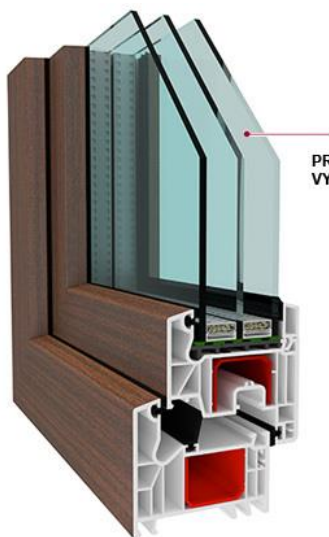
## Přenos vnitřní energie

### Tepelnou výměnou – vedením

- Ohřívání tyče na jednom konci
- Rukojetě hrnců a pánví
- **Dobré vodiče tepla:** kovy
- **Špatné vodiče tepla:** sklo, porcelán, dřevo, plast
- **Nejlepší izolace:** vakuum – okna, termosky
- **Dobrá izolace** – pórovité materiály obsahující vzduch: cihly, vata, srst, skelná vlákna



Přenos tepla



# 2. Vnitřní energie, práce, teplo

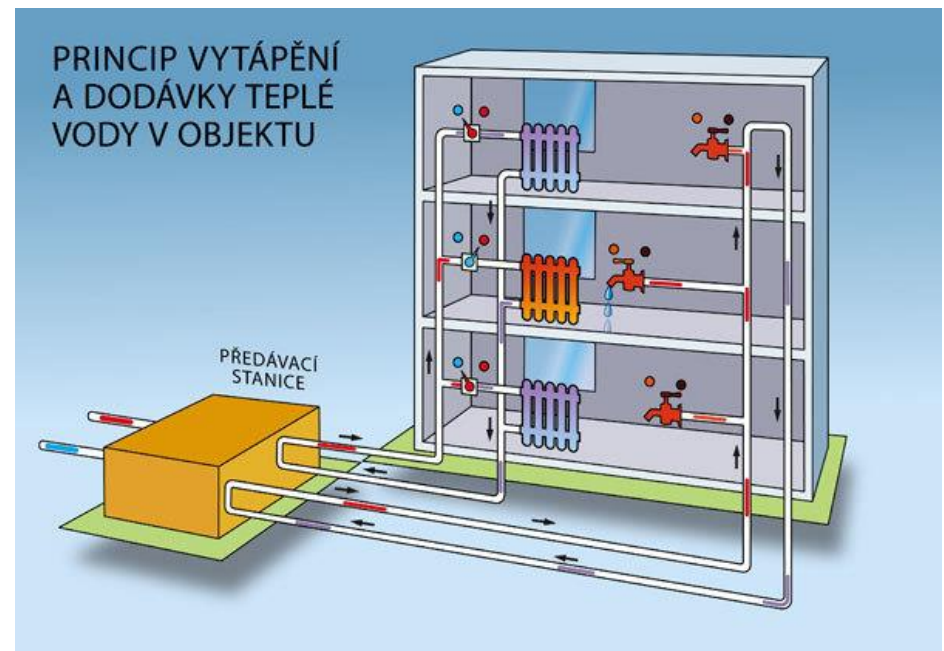
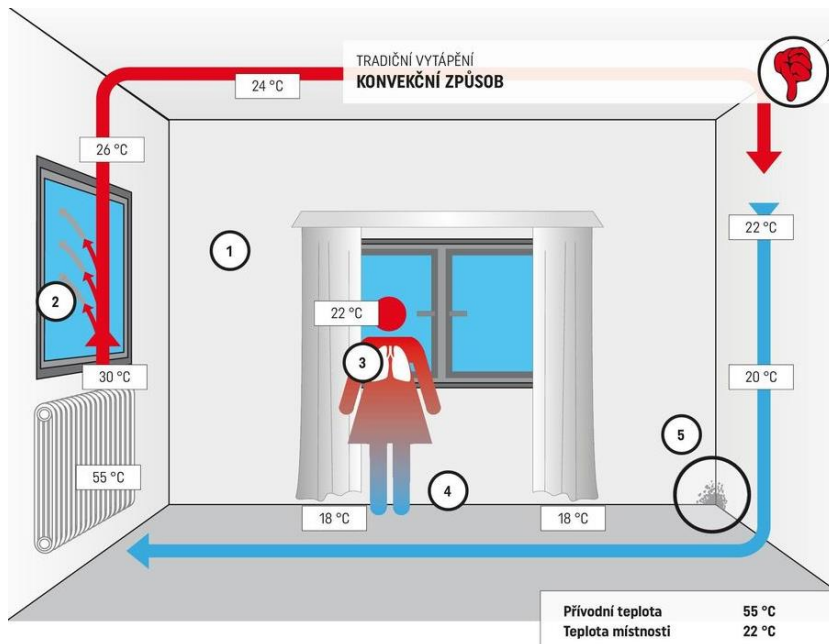
## Přenos vnitřní energie

### Tepelnou výměnou – prouděním (konvekci)

- Probíhá pouze v kapalinách a plynech
- Příklad: cirkulace ohřáté vody v topení, v hrnci, apod.
- Teplá voda má menší hustotu, stoupá samovolně, předává teplo radiátorům, ochlazená klesá zpět ke zdroji tepla – **samotíž**



Přenos tepla



# 2. Vnitřní energie, práce, teplo

## Přenos vnitřní energie

### Tepelnou výměnou – zářením

- Solární vodní kolektory – ohřev vody pro RD
- Horské slunce, solárko (nevytváří vitamín D)
- Sluneční záření – **solární konstanta:  $1361 \text{ W/m}^2$**   
**FVE panely, elektromobily (Sono Motors)**
- IČ panely – moderní zdroje topení v místnosti
- Mikrovlnná trouba

