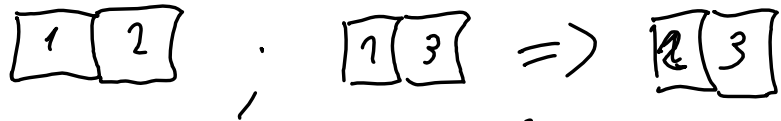


Termodinamica

Principio 0, Calore, Propagazione, Dilatazione termica

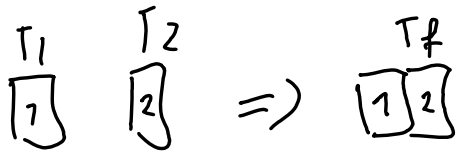


$$Q = \downarrow \Delta \bar{T} = \underbrace{m c \Delta T}_{\downarrow}$$

$$Q > 0 \quad \bar{T}_f > \bar{T}_i$$

$$Q = 0 \quad \bar{T}_f = \bar{T}_i$$

$$Q < 0 \quad \bar{T}_f < \bar{T}_i$$



$$Q_1 + Q_2 = 0$$



$$m_1 c_1 (T_f - T_1) + m_2 c_2 (T_f - T_2) = 0$$

$$\underbrace{m_1 c_1 T_f} - \underbrace{m_1 c_1 T_1} + \underbrace{m_2 c_2 T_f} - \underbrace{m_2 c_2 T_2} = 0$$

$$T_f = \frac{m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2}$$

Exercice

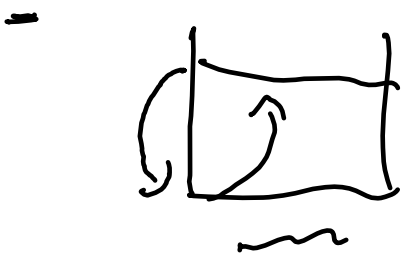
$$1 \text{ cal} = 4186,5 \text{ J}$$

$$\frac{dT}{dk}$$

- Conduction



$$Q = K \frac{\Delta T}{\Delta x} L$$



$$P = \sigma \epsilon T^4$$

$\epsilon = 1$
 $\epsilon = (0.1)$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4$$

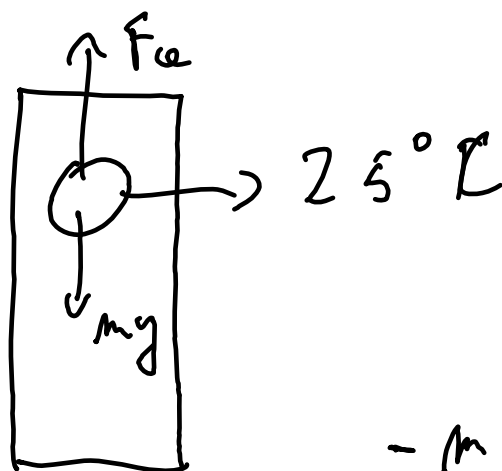
Esercizio 1 (Termometro di Galilei)

Un termometro di Galilei si presenta come un cilindro di vetro riempito con una soluzione alcolica. All'interno vengono inserite delle sferette di vetro. La densità del liquido nel termometro varia al variare della temperatura esterna. Le sferette possono dunque galleggiare o andare a fondo. La temperatura è segnata dalla prima sferetta galleggiante più in basso (vedi figura).

↓

Supponendo di avere un cilindro con superficie di base $S = 10 \text{ cm}^2$ e riempito di fluido fino ad un'altezza $h = 22 \text{ cm}$ a temperatura $T_0 = 0^\circ \text{C}$, determinare i raggi delle sfere alle quali associare la temperatura $T_1 = 25^\circ \text{C}$. Per lo svolgimento dell'esercizio supponiamo che la massa delle sferette sia costante $m = 1.2 \text{ g}$, variando solo il volume.

(coefficiente di dilatazione volumetrica $\alpha = 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, $\rho_0 = 0.806 \text{ g/cm}^3$)



$$-mg + \rho(T)Vg = 0$$

$$-mg + \rho(T) V g = 0$$

$$e^{n \approx 1 + k}$$

$$\alpha = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad \alpha = K^{-1}$$

$$\alpha = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \Rightarrow \int \frac{dV}{V} = \int \alpha dT$$

$$\ln \frac{V_f}{V_i} = \alpha (T_f - T_i)$$

$$\frac{V_f}{V_i} = e^{\alpha (T_f - T_i)} \Rightarrow V_f = V_i \cdot e^{\alpha (T_f - T_i)}$$

$$V_f = V_i [1 + \alpha (T_f - T_i)]$$

$$-m \cancel{g} + \rho(T) \underset{\uparrow}{V} \cancel{g} = 0$$

$$V_f = V_i [1 + \alpha (T_f - T_i)]$$

$$\rho(T) = \frac{m}{V} = \frac{m \alpha}{V_0 (1 + \alpha T)}$$

$$-m + \rho(T_1) V = 0$$

$$V = \frac{m_v}{\rho(T_1)} = \frac{m_v}{\rho_0} (1 + \alpha T) = 1.54 \text{ m}^3$$

$$R = 0.77 \text{ m}$$

Esercizio 2 (dilatazione termica)

Una sbarra di alluminio lunga $l_1 = 1.2$ m è posta accanto ad una sbarra di rame lunga l_2 . Ad una estremità le due sbarrette sono poste contro lo stesso supporto, dall'altra estremità sono libere. Quanto deve essere l_2 affinché la differenza $l_2 - l_1$ sia costante al variare della temperatura?



$$\lambda_1 = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$$

$$\lambda_2 = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$$

$$l_1(T) = l_1 (1 + \lambda_1 \Delta T)$$

$$l_2 - l_1$$

$$l_2(T) = l_2 (1 + \lambda_2 \Delta T)$$

$$l_2(T) - l_1(T) = l_2 + l_2 \lambda_2 \Delta T - l_1 - l_1 \lambda_1 \Delta T$$

$$l_2(T) - l_1(T) = \underline{l_2} + l_2 \lambda_2 \Delta T - \underline{l_1} - l_1 \lambda_1 \Delta T$$

$$\underbrace{l_2(T) - l_1(T)}_{\Delta T} = \underbrace{(l_2 - l_1)}_{\Delta T} + \underbrace{\cancel{\Delta T}(l_2 \lambda_2 - l_1 \lambda_1)}_{\cancel{\Delta T}}$$

$$\frac{\Delta l(T)}{\Delta T} = \frac{\Delta l_0}{\Delta T} + (l_2 \lambda_2 - l_1 \lambda_1)$$

$$\frac{dl}{dT} = \frac{dl_0}{dT} + (l_2 \lambda_2 - l_1 \lambda_1)$$

$\downarrow$ $\downarrow$
 0 0

$$\frac{dL}{dL}$$

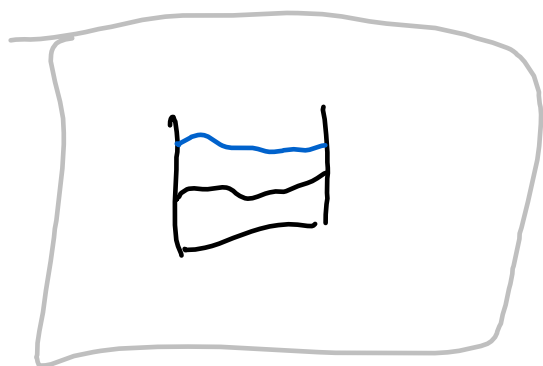
$$l_2 = l_1 \lambda_1 / \lambda_2$$

$$l_2 \lambda_2 - l_1 \lambda_1 = 0 \Rightarrow l_2 = l_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Esercizio 3 (Temperatura di equilibrio)

Una certa quantità di acqua con massa m_1 e temperatura $T_1=40\text{ }^{\circ}\text{C}$, viene unita ad una massa $m_2=2\text{ kg}$ di acqua a temperatura $T_2=10\text{ }^{\circ}\text{C}$. La temperatura all'equilibrio è $T_f=25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Il processo non è adiabatico e l'acqua cede all'esterno una quantità di calore pari a $Q=4\text{ Kcal}$. Calcolare m_1 .

$$(\lambda_1=2.4 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}, \lambda_2=1.7 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1})$$

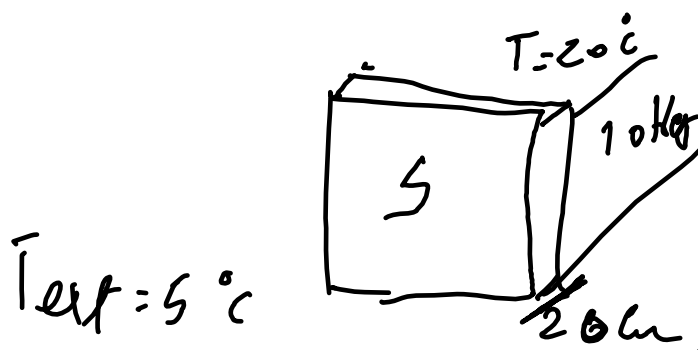


$$c_1 m_1 (\underline{T_f - T_1}) + c_2 m_2 (\underline{T_f - T_2}) = -Q$$

$$m_1 = \frac{-Q - c_2 m_2 (T_f - T_2)}{c_1 (\underline{T_f - T_1})_{\Delta T < 0}} = \frac{Q + c_2 m_2 (T_f - T_2)}{c_1 (T_1 - T_f)}$$

Esercizio 4 (Conduzione del calore)

Una massa di acqua $m=10 \text{ kg}$ ($c_{\text{H}_2\text{O}}=4186.8 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) è contenuta in una vasca. Ad esclusione di una, tutte le pareti sono perfettamente isolanti. La parete non isolante (di vetro) è spessa $h=20 \text{ cm}$ ed ha una superficie di $S=16 \text{ m}^2$. La temperatura dell'acqua è $T=20^\circ\text{C}$, mentre all'esterno la $T_{\text{ext}}=5^\circ\text{C}$. Calcolare l'energia per unità di tempo (la potenza) trasmessa attraverso la parete e in quanto tempo la temperatura dell'acqua si abbassa di 2°C .
(conducibilità termica del vetro $k=0.84 \text{ J/msK}$)



$$\frac{Q}{\tau} = K S \Delta T \approx 1 \text{ kW}$$

$\downarrow (T_i - T_e)$
 $\textcircled{K}$

$$Q = P \cdot \tau$$

$$Q = m c \Delta T$$

$\downarrow 2^\circ\text{C}$

$$P \tau = m c \Delta T \Rightarrow \tau = \frac{m c \Delta T}{P} \approx 180 \text{ h}$$

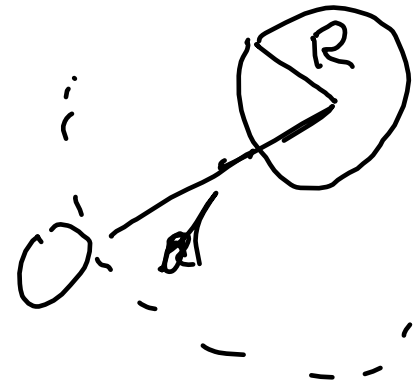
Esercizio 5 (irraggiamento)

Sapendo che la potenza per metro quadro irraggiata dal sole sulla Terra è $E=1350 \text{ W/m}^2$, che la distanza Sole-Terra è $r=1.5 \cdot 10^{11} \text{ m}$ e il raggio del sole è $R=6.96 \cdot 10^8 \text{ m}$, stimare la temperatura superficiale del Sole usando la legge di Stefan-Boltzmann.

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

$$P = \sigma S T^4$$

$$e = 1$$

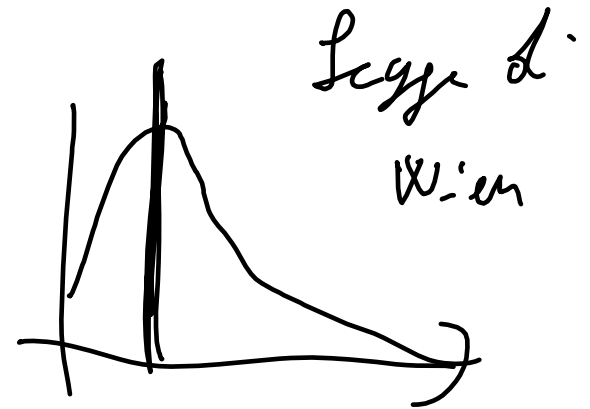


$$E = \frac{P}{S} = \sigma T^4$$

$$\begin{cases} P = \sigma 4\pi R^2 T^4 \\ P = E S = E \cdot 4\pi d^2 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} \cancel{\sigma} 4\pi R^2 T^4 &= E \cancel{4\pi} d^2 \\ T &= \sqrt[4]{\frac{E}{\sigma} \left(\frac{d}{R}\right)^2} \approx 5800 \text{ K} \end{aligned}$$

$$T \lambda_{\max} = 2,897 \cdot 10^{-3} \text{ m K}$$



$$\lambda_{\max} = \frac{2,897 \cdot 10^{-3}}{5,8 \cdot}$$

$$\lambda_{\max} \approx 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 500 \text{ nm}$$

Esercizio 6 (passaggi di stato)

Ad un blocco di ghiaccio di massa $m_g = 2 \text{ kg}$ che si trova inizialmente alla temperatura $T_g = -10^\circ\text{C}$ viene fornita una quantità di energia $Q = 4 \cdot 10^5 \text{ J}$. Calcolare quanto ghiaccio che si è trasformato in acqua.

$$c_{\text{ghiaccio}} = 2220 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} ; \lambda_{\text{fusione}} = 3.33 \cdot 10^5 \text{ J kg}^{-1}$$

$$Q_1 = c_{\text{ghiaccio}} \Delta T = m_g c_g (T_0 - T_g) =$$

$$T_0 = 0^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = 2 \cdot 2220 \cdot 10 = 44400 \text{ J} = 4,44 \cdot 10^4 \text{ J}$$

$$Q_2 = \lambda_f m_g$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = m_g c_g (T_0 - T_g) + \lambda_f m$$

$$\underline{Q - m_g c_g (T_0 - T_g)} = \lambda_f m \approx 1,07 \text{ kg}$$

Esercizio 7

Quanto calore bisogna fornire a una massa $m_a = 3 \text{ kg}$ di acqua inizialmente a $T_a = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ per trasformarla in vapore a $T_v = 150 \text{ }^\circ\text{C}$?

$$c_{\text{acqua}} = 4190 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1} ; \lambda_{\text{ev}} = 2.25 \cdot 10^6 \text{ Jkg}^{-1} ; c_{\text{vap}} = 2020 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

$$T_a \rightarrow T_e \quad T_e = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$\hookrightarrow$ evaporazione

$$\hookrightarrow T_e \rightarrow T_v$$

$$Q_1 = c_a m_a (T_e - T_a)$$

$$Q_2 = \lambda_{\text{ev}} \cdot m_a$$

$$Q_3 = c_v m_a (T_v - T_e)$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_{\text{Tot}}$$

$$Q_{\text{Tot}} = 7,3 \cdot 10^6$$