

Termodinamica

Warm-Up questions

(Capitolo 4.1-4.3,4.7,4.8)

i. Dati 55 g di gas di ossigeno, trova il numero totale di molecole di ossigeno e la mole corrispondente. Qual è il vantaggio di utilizzare le moli come unità di misura?

Oxygen has a molar mass of $M = 32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. This gives the amount of moles for the oxygen gas $n = \frac{m}{M} = 1.7 \text{ mol}$. With the Avogadro constant one can find the absolute number $N = nN_A = 1.04 \cdot 10^{24}$.

ii. Una scatola contenente un gas alla temperatura di 20°C viene riscaldata fino a quando l'energia interna del gas raddoppia. Qual è la temperatura del gas ora?

The internal energy is proportional to the temperature. But we have to convert the temperature to Kelvin scale first. We get

$$T = 2(20 + 273.15)\text{K} = 586 \text{ K} = 313^\circ\text{C}$$

iii. Determina quale dei seguenti può influenzare l'energia interna di un gas:

- a) energia cinetica traslazionale delle molecole di gas
- b) energia termica delle molecole di gas
- c) energia potenziale dovuta alle attrazioni tra le molecole di gas
- d) energia di rotazione delle molecole di gas

Quali di queste contribuiscono all'energia interna di un gas ideale?

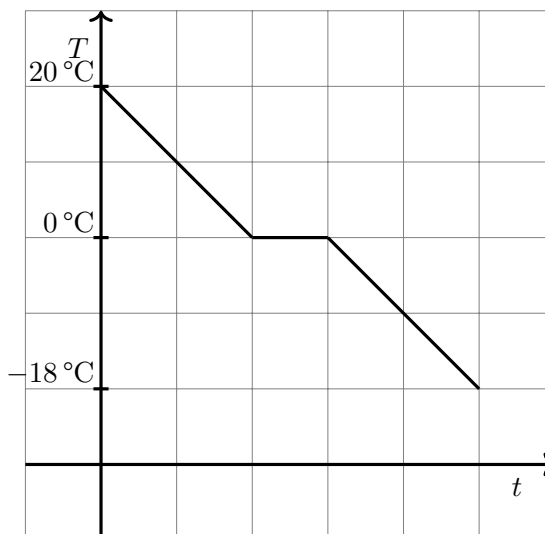
In general translation, rotation and potential energy contribute to the internal energy. Although transferring heat changes the internal energy it is not a part of the internal energy. In the ideal gas model the molecules are assumed to be point-like particles without molecular forces. Therefore only the translation energy contributes to the internal energy.

(Capitolo 4.4,4.13)

iv. Hai dell'acqua a temperatura ambiente (20°C) e vuoi fare un blocco di ghiaccio avente temperatura -18°C .

- a) Schizza la variazione di temperatura in funzione del tempo.
- b) Usi dell'azoto liquido per raffreddare l'acqua. Di quanto azoto liquido avrai bisogno per raffreddare (e ghiacciare) 100 grammi di acqua? Quantità utili: calore specifico dell'acqua $c_w = 4.18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, calore specifico del ghiaccio $c_i = 2.05 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, entalpia di fusione / calore di fusione dell'acqua $L_w = 333.5 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$, entalpia di evaporazione / calore di evaporazione dell'azoto $L_n = 199 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$.

- a) The important thing is that the water stays at 0°C during the phase transition from water to ice, so the temperature curve will look something like



- b) We first calculate how much heat per gram one needs to make the iceblock. We add all the contributions

$$c_{tot} = c_w \Delta T_w + L_w + c_i \Delta T_i = 454 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$$

with $\Delta T_w = 20^\circ\text{C}$ and $\Delta T_i = 18^\circ\text{C}$. We can compare this to latent heat of nitrogen to get the mass of liquid nitrogen needed to make the iceblock.

$$m_n = \frac{c_{tot}}{L_n} m_w = 228 \text{ g}$$

(Capitolo 4.5)

v. Una bolla d'aria sale dal fondo di un serbatoio d'acqua alto 1 m. Il suo volume iniziale è 5 cm^3 . Considerando che la temperatura dell'acqua è costante, qual è il suo volume in superficie?

The pressure at the bottom is $p = \rho gh + p_{atm}$ at the surface $p = p_{atm}$. By the ideal gas law we get

$$V_{sur} = \frac{\rho gh + p_{atm}}{p_{atm}} V_0$$

We plug in the values and get

$$V_{sur} = \frac{1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 1 \text{ m} + 1 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}}{1 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}} \cdot 5 \text{ cm}^3 = 5.5 \text{ cm}^3$$

vi. Abbiamo un gas ideale con massa molare M.

- Qual è il rapporto tra la densità e la temperatura T? Qual è il rapporto tra la densità e la pressione p?
- Come sappiamo per esperienza, l'aria calda sale. Questo vale anche per i gas ideali? Se sì, perché?

- a) The density is $\rho = \frac{nM}{V}$ with n the numbers of particle in moles und V the volume of the gas. From the ideal gas law we get

$$\rho = \frac{nM}{V} = \frac{pM}{RT}$$

- b) We see that with higher temperature the gas becomes less dense. This means it experiences a buoyant force and ascends.

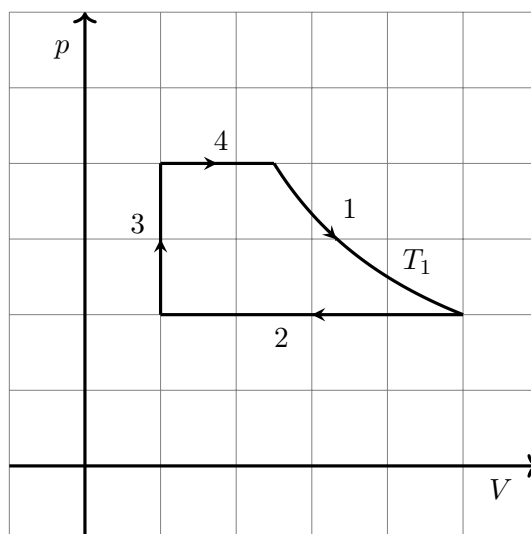
(Capitolo 4.9-4.11)

vii. Quali processi termodinamici (isobaro, isocoro, isotermico, adiabatico) descrivono al meglio i seguenti fenomeni:

- a) il riscaldamento di una mongolfiera
- b) la combustione interna di un motore diesel
- c) il gonfiaggio di un pallone da calcio

- a) The balloon is open so pressure and volume stays constant. This means the process is isochoric and isobaric. Note, this doesn't mean that the temperature remains constant, because the system is open and the amount of particles can change as well.
- b) The fuel burns so fast, that it cannot exchange heat with the environment. Therefore this is an adiabatic process.
- c) The shape of the football remains more or less the same and also the temperature stays constant. Therefore the process is isochoric and isothermic. As in subquestion a) this system is open, which means the pressure can change even though the volume and the temperature remain constant.

viii. Considera il ciclo termodinamico descritto nel seguente diagramma p-V (il processo 1 è isoterma alla temperatura T_1)



Descrivi qualitativamente il ciclo termodinamico in un diagramma T-V e in un diagramma p-T.

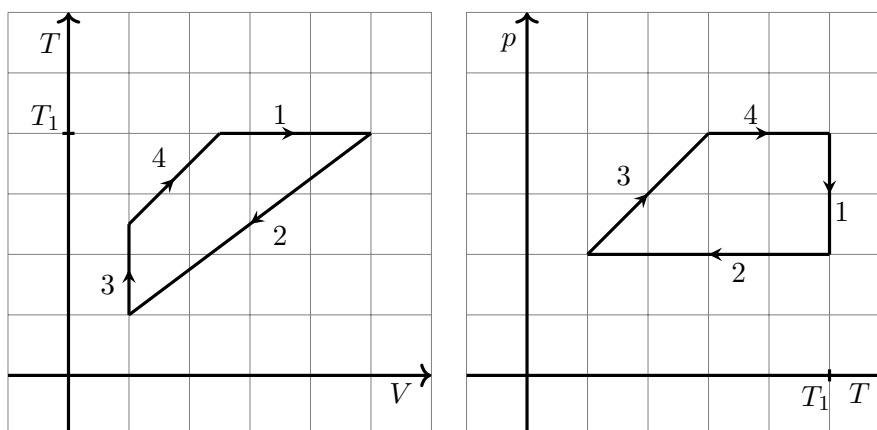
From the ideal gas law one can deduce how dependencies look like for the isobaric in the T-V diagram

$$\left(\frac{p}{nR}\right)V = T$$

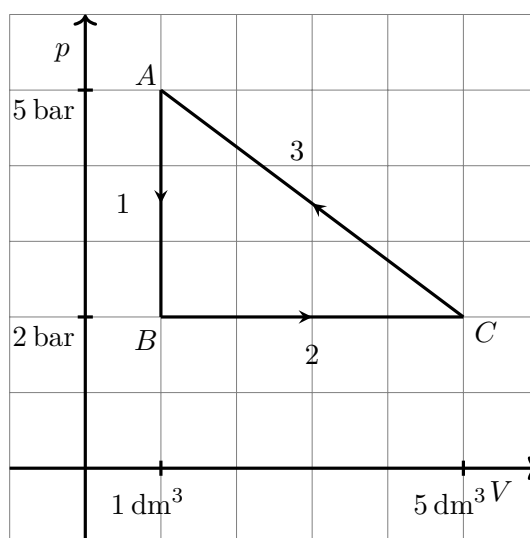
similarly we get for the isochoric process in the T-p diagram

$$\left(\frac{V}{nR}\right)p = T$$

The processes where one of the variables p, V, T remains constant is perpendicular to the corresponding axis. With this one finds how the process looks like in the p-T and T-V diagram



ix. Un motore termico riempito con una mole di un gas ideale segue il seguente ciclo termodinamico.



a) Come viene chiamato il tipo di processo delle tratte 1 e 2?

- b) In quali tratte del ciclo viene svolto lavoro dal motore termico e in quali tratte il lavoro è svolto sul motore termico (dall'esterno)? Calcola il valore del lavoro svolto (con il segno corretto) per ogni tratta.
- c) Qual è il lavoro netto svolto dal motore termico in un ciclo completo?
- d) Calcola il calore esterno che viene fornito ai nelle tratte 1 e 3. Qual è il flusso di calore netto in un ciclo completo?

a) process 1 is isochoric, process 2 isobaric

b) When the gas expands the machine gives mechanical work (process 2). When it contracts the machine consumes mechanical work (process 3). For process 1 the volume stays constant and therefore the machine neither gives nor consumes work. The quantitative number can be found by calculating the area below the curve of each subprocess

$$W_1 = 0, W_2 = -800 \text{ J}, W_3 = 1400 \text{ J}.$$

c) The netto work is just the sum of the work of all subprocesses

$$W = W_1 + W_2 + W_3 = 600 \text{ J}.$$

d) By the first law of thermodynamics we have

$$\Delta U = W + Q$$

in each process. For an ideal gas the change in internal energy is related to change in temperature

$$\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T,$$

which can also be related to the pressure and volume with the ideal gas law

$$T_i = \frac{p_i V_i}{n R}.$$

Combining all the formulas together we get

$$Q_i = \Delta U_i - W_i = \frac{3}{2} (p_{f,i} V_{f,i} - p_{i,i} V_{i,i}) - W_i,$$

where $p_{i,i}$, $V_{i,i}$ and $p_{f,i}$, $V_{f,i}$ are the initial respectively the final pressure and volume of each process. The numerical values are

$$Q_1 = -450 \text{ J}, Q_2 = 2000 \text{ J}, Q_3 = -2150 \text{ J}.$$

The netto heat is

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = -600 \text{ J}.$$

as expected, because we need to have $Q + W = \Delta U = 0$ for a cyclic process.