

### TERMOLOGIA E SCAMBI TERMICI

**Ga1.** Un calorimetro contiene 0.5 kg di ghiaccio e 0.5 kg di acqua in equilibrio termico alla temperatura di 0°C. Trascurando la capacità termica del calorimetro, la temperatura raggiunta a seguito dell'aggiunta di un blocco di 1 kg di acciaio alla temperatura di 300°C è (calore specifico dell'acciaio = 0.46 kJ/kg°C, calore specifico dell'acqua = 4.184 kJ/kg°C, calore di fusione del ghiaccio = 335 kJ/kg)

- (A) 0°C (B) 23°C (C) 43°C (D) oltre 100°C (E) \_\_\_\_\_

**Soluzione.** La massima quantità di calore ceduta dal pezzo di acciaio al calorimetro è pari a

$Q = m_{acc} c_s \cdot \Delta T = 1 \text{ kg} \cdot 0.46 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot 300^\circ\text{C} = 138 \text{ kJ}$ , mentre il calore necessario per sciogliere il pezzo di ghiaccio è  $Q_1 = m_{gh} \cdot \lambda_{fus} = 0.5 \text{ kg} \cdot 335 \text{ kJ/kg} = 167.5 \text{ kJ}$

Poiché  $Q < Q_1$ , si può concludere che in seguito all'aggiunta del blocco di acciaio, solo una parte del ghiaccio si scioglie e quindi la temperatura all'interno del calorimetro si mantiene a 0°C.

**Ga2.** Un metro cubo di gas naturale a 0°C e 1 atm (condizioni normali) sprigiona bruciando 37.3 MJ (equivalenti a 8.92 Mcal) di calore. Per scaldare da 5°C a 100°C 10 litri d'acqua occorre bruciare il gas contenuto (in condizioni normali) in un volume di

- (A) 0.106 m<sup>3</sup> (B) 445 litri (C) 35 litri (D) **1.06 m<sup>3</sup>** (E) 4450 litri

**Soluzione.** Ricordando la definizione di calore specifico, per riscaldare i 10 litri d'acqua da 5°C a 100°C occorrono  $Q = m c \Delta T = 4(10^6) \text{ J}$ . Il volume di gas da bruciare (in m<sup>3</sup>) sarà dunque il rapporto tra questo calore ed il calore  $q$  fornito da 1 metro cubo, quindi:

$$V = \frac{Q}{q} = \frac{4 \cdot 10^6 \text{ J}}{37.3 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3} = 0.106 \text{ m}^3$$

**Ga3.** Bruciando completamente 5 g di carbone si innalza la temperatura di 1 litro di acqua di 37 K. Il calore prodotto dalla combustione di 1 kg di questo carbone è

- (A) 1.5 MJ (B) 20 MJ (C) 24 MJ (D) **31 MJ** (E) 40 MJ

**Soluzione.** Occorre calcolare il calore di combustione del carbone, ovvero il rapporto fra il calore prodotto  $Q_1$  e la massa  $m_1$  del carbone bruciato. Il calore prodotto aumenta di 37 K la temperatura di  $m_2 = 1 \text{ kg}$  di acqua ( $c_s = 4.186 \text{ kJ/kg}$ ), quindi:

$$\frac{Q_1}{m_1} = \frac{c_s m_2 \Delta T}{m_1} = \frac{(4.186 \cdot 1 \cdot 37) \text{ kJ}}{5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}} \cong 31 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

che corrisponde al calore  $Q$  liberato dalla combustione di 1 kg di carbone.

**Ga4.** Un corpo nero è alla temperatura di 527°C. Per emettere una quantità di energia radiante al secondo doppia il corpo deve essere portato alla temperatura di

- (A) 1054 K (B) 951°C (C) 1600 K (D) **678°C** (E) \_\_\_\_\_

**Soluzione.** La legge dell'irraggiamento di Stefan-Boltzmann stabilisce che la potenza irradiata per unità di superficie è proporzionale alla quarta potenza della temperatura assoluta  $W/S \approx \sigma T^4$ .

Indicato con  $T_1 = (527+273) \text{ K} = 800 \text{ K}$  la temperatura del corpo e con  $T_2$  la temperatura dove l'emissione raddoppia si ha  $2 = W_2/W_1 = T_2^4/T_1^4 \Rightarrow T_2 = T_1 \sqrt[4]{2} = 800 \text{ K} \cdot 1.189 = 951 \text{ K} = 678^\circ\text{C}$

**Ga5.** Il coefficiente di espansione  $\beta = \frac{\Delta V}{V \cdot \Delta T}$  per il mercurio vale  $1.82 (10^{-4})/^\circ\text{C}$ . Se la densità del

mercurio a 0°C è di  $13600 \text{ kg/m}^3$ , la sua densità a 50°C in  $\text{kg/m}^3$  è di circa

- (A) 13724 (B) 123.76 (C) 9100 (D) 13476 (E) **13477**

**Ga6.** Sia data una sostanza il cui calore specifico  $c$  dipenda dalla temperatura secondo la legge lineare  $c = A \cdot T + B$ , dove  $T$  è la temperatura del corpo,  $A = 3 \cdot 10^{-3} \text{ cal/g} \cdot \text{K}^2$  e  $B = 0.25 \text{ cal/g} \cdot \text{K}$ . Quanto calore è necessario somministrare ad una massa  $m = 300 \text{ g}$  di tale sostanza affinché la sua temperatura passi da  $T_1 = 400 \text{ K}$  a  $T_2 = 500 \text{ K}$ ?

- (A) **48 kcal**      (B) 330 kJ      (C) 27.5 kJ      (D) 5986 J      (E) 64.5 kJ

**Ga7.** La capacità termica molare dell'argento (massa molare = 107.87 g/mol), alla pressione atmosferica, nell'intervallo fra 50 K e 100 K, varia con la temperatura secondo la legge sperimentale:  $C = -0.628 + 0.318T - 0.00109T^2$ , dove  $C$  è misurata in J/mol·K.

Trovare la quantità minima di calore che è necessario somministrare a 316 g di argento affinché la sua temperatura passi da 50 K a 90 K.

- (A) 1507 J      (B) 1143 J      (C) 5425 J      (D) 2398 J      (E) **1892 J**

**Ga8.** Una calorimetro è costituito da 30 g di alluminio (calore specifico 0.22 kcal/kg·°C) e contiene 400 g di acqua. Inizialmente si trova a 38°C; dopo l'aggiunta di una massa di ghiaccio a 0 °C si porta alla temperatura di 5°C. Se il calore specifico dell'acqua è di 4.186 kJ/kg·°C e il calore latente di fusione del ghiaccio è di 334.4 kJ/kg, la massa di ghiaccio aggiunta è di

- (A) 0.180 kg      (B) **0.158 kg**      (C) 0.098 kg      (D) 197 g      (E) 287 g

**Ga9.** Un chilo di zinco fuso a 420°C (sua temperatura di fusione, calore di fusione = 118 kJ/kg, calore specifico 0.385 kJ/kg °C) è versato in uno stampo di acciaio (calore specifico 0.46 kJ/kg °C) di 25 kg. inizialmente a 27°C. Trascurando le perdite, la temperatura finale dei due metalli sarà

- (A) **50°C**      (B) 100°C      (C) 150°C      (D) 400°C      (E) \_\_\_\_\_

**Ga10.** Uno scaldabagno riceve acqua fredda a 9°C e la scalda ad 80°C. Se si prelevano 0.3 litri/min, la potenza media che lo scaldabagno deve impiegare è di circa

- (A) 1.31 kW      (B) **1.48 kW**      (C) 2.16 kW      (D) 4.18 kW      (E) 6.60 kW

**Ga11.** Una lega di piombo ha un calore specifico di 0.837 kJ/kg °C e fonde a 300°C con un calore di fusione di 62.79 kJ/kg. Il calore necessario per fondere completamente una pallottola di 6 g che è originariamente a 0°C è

- (A) 1507 J      (B) 1143 J      (C) 5425 J      (D) 2398 J      (E) **1884 J**

**Ga12.** Un pezzetto di ghiaccio di 20 g posto a -50°C è convertito in vapor d'acqua a 150°C e alla pressione di un bar. Il calore di fusione del ghiaccio è circa 334.4 kJ/kg; il calore di evaporazione dell'acqua è 2260 kJ/kg. I calori specifici di ghiaccio e vapore valgono ambedue circa 2.09 kJ/kg °C. Il calore richiesto dalla trasformazione è di

- (A) 41.9 kcal      (B) 330 kJ      (C) 27.5 kJ      (D) 5986 J      (E) **64.5 kJ**

**Ga13.** Se la quantità di calore emessa al secondo da un corpo nero di forma sferica e raggio di 3 cm è di 2 kW, la sua temperatura è pari a circa

- (A) 1311°C      (B) **1330 K**      (C) 1800 K      (D) 1800°C      (E) 1281 K

### TEORIA CINETICA DEI GAS

**Gc1.** La velocità quadratica media del baricentro della molecola di cloro ( $m = 1.18 (10^{-25}) \text{ kg} \cong 71 \text{ u.m.a.}$ ) a 0°C vale all'incirca ( $k_B = 1.38(10^{-23}) \text{ J/K}$ )

- (A) 520 m/s      (B) 7.740 km/h      (C) 980 km/s      (D) **309 m/s**      (E) 780km/h

**Soluzione.** La molecola di cloro è biatomica, quindi possiede tre gradi di libertà di traslazione lungo gli assi e due gradi di libertà di rotazione. Per il principio di equipartizione dell'energia ad ognuno

dei gradi di libertà corrisponde un'energia cinetica media pari a  $1/2 k_B T$ . La velocità quadratica media si ottiene dall'energia cinetica media di traslazione, alla quale corrispondono  $3/2 k_B T$ , dove  $T = 0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$ . Eguagliando le due espressioni dell'energia si ottiene:

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} k_B T \Rightarrow v \cong 309 \text{ m/s}$$

**Gc2.** Una molecola biatomica è idealizzata come un bastoncino leggero con due masse alle estremità e momento d'inerzia rispetto al baricentro di  $6.5(10^{-47}) \text{ kg m}^2$ . La velocità quadratica media di rotazione  $\sqrt{\langle \omega^2 \rangle}$  alla temperatura di  $10^\circ\text{C}$  vale (in rad/s)

- (A)  $1.4(10^{12})$       (B)  $4.5(10^{12})$       (C)  **$1.1(10^{13})$**       (D)  $1.4(10^{13})$       (E)  $2.3(10^{13})$

**Soluzione.** La molecola, oltre ai gradi di libertà di traslazione, possiede due gradi di libertà di rotazione intorno a due assi passanti per il baricentro, quindi, per il principio di equipartizione dell'energia, a tali gradi di libertà è associata l'energia cinetica media  $k_B T$ . Ricordando che la costante di Boltzmann è uguale al rapporto fra la costante universale  $R$  dei gas e il numero di Avogadro  $N_A$ , e vale:  $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ , eguagliando l'energia cinetica media di rotazione a  $k_B T$ , si ricava la velocità quadratica media di rotazione, cioè:

$$E_c = \frac{1}{2} I \langle \omega^2 \rangle = k_B T \Rightarrow \langle \omega^2 \rangle = \frac{2k_B T}{I}$$

$$\langle \omega^2 \rangle = \frac{2 \cdot 1.38 (10^{-23}) \text{ J/K} \cdot 283 \text{ K}}{6.5(10^{-47}) \text{ kg m}^2} = \frac{7.81(10^{-21})}{6.5(10^{-47})} \text{ rad}^2/\text{s}^2 = 1.20(10^{26}) \text{ rad}^2/\text{s}^2$$

Quindi  $\langle \omega \rangle = \sqrt{1.20(10^{26})} \text{ rad/s} = 1.09(10^{13}) \text{ rad/s} = 1.1(10^{13}) \text{ rad/s}$

**Gc3.** La velocità quadratica media di una molecola di  $\text{H}_2$  (massa di una mole =  $2.016 \text{ g}$ ) a  $100^\circ\text{C}$  è di circa

- (A)  **$2150 \text{ m/s}$**       (B)  $340 \text{ m/s}$       (C)  $0.98 \text{ km/s}$       (D)  $7300 \text{ km/h}$       (E)  $4.61(10^6) \text{ m}^2/\text{s}^2$

**Gc4.** La velocità quadratica media del baricentro di una molecola di gas perfetto alla temperatura di  $27^\circ\text{C}$  e alla pressione di  $1.01 \text{ bar}$  vale  $v_0$ . Se la pressione viene mantenuta costante e la temperatura viene aumentata di  $300^\circ\text{C}$  la velocità diventa

- (A)  $2 v_0$       (B)  **$1.41 v_0$**       (C)  $v_0$       (D)  $0.707 v_0$       (E)  $0.5 v_0$

**Gc5.** La temperatura nello spazio è di circa  $-270^\circ\text{C}$ . La velocità quadratica media di un protone (massa =  $1.67 (10^{-27}) \text{ kg}$ ) nello spazio causata dal moto di agitazione termica è di circa ( $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ )

- (A)  $279 \text{ m/s}$       (B)  **$272 \text{ m/s}$**       (C)  $161 \text{ m/s}$       (D)  $228 \text{ m/s}$       (E)  $314 \text{ m/s}$

**Gc6.** Per avviare la reazione di fusione nucleare in un gas di deuterio, l'energia cinetica media di un nucleo  $^2\text{H}$  deve essere di almeno  $1.15 (10^{-13}) \text{ J}$ . La temperatura del gas è di circa ( $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ )

- (A)  **$5.6 (10^9) \text{ K}$**       (B)  $2.8 (10^9) \text{ K}$       (C)  $8.3 (10^9) \text{ K}$       (D)  $< 10^8 \text{ K}$       (E)  $> 10^{10} \text{ K}$

## TERMODINAMICA

### Equazione di stato del gas perfetto

**Gb1.** La massa di una mole di molecole di metano è di  $16 \text{ g/mol}$ . Considerandolo un gas perfetto, a  $20^\circ\text{C}$  e alla pressione di  $101 \text{ kPa}$ , il metano avrà una densità di

(A) 21.0 kg/m<sup>3</sup>      (B) **0.66 kg/m<sup>3</sup>**      (C) 0.66 g/cm<sup>3</sup>      (D) 0.068 g/cm<sup>3</sup>      (E) 0.98 kg/m<sup>3</sup>

**Soluzione.** Indicando con  $n$  il numero di moli contenute in un volume  $V$  e con  $M$  la massa di una mole di molecole, la densità  $\delta$  del metano si ricava dall'equazione di stato dei gas perfetti:

$$\delta = n M/V = M p/RT = 0.66 \text{ kg/m}^3$$

**Gb2.** Un pallone parzialmente gonfio contiene 500 m<sup>3</sup> di elio a 27°C e al livello del mare (pressione 1 bar). Alla quota di 5400 m la pressione è di 0.5 bar e la temperatura è di -3 °C.

Il volume del pallone è diventato approssimativamente (in m<sup>3</sup>)

(A) 350      (B) 450      (C) 600      (D) 750      (E) **900**

**Soluzione.** Indicando con l'indice "0" le variabili a livello del mare e con "f" le variabili alla quota

superiore, l'equazione di stato dei gas perfetti fornisce  $V_f = \frac{nRT_f}{p_f}$        $V_0 = \frac{nRT_0}{p_0}$

Poiché  $n$  non cambia, eliminando  $n$  dalle due equazioni si ottiene  $V_f = \frac{T_f p_0 V_0}{p_f T_0} = 900 \text{ m}^3$

**Gb3.** Un gas ideale si trova alla pressione di 1.52 (10<sup>6</sup>) Pa e a 25°C. Se è costituito da idrogeno (massa molecolare 2.016,  $R = 8.314 \text{ J/K mole}$ ) la sua densità in kg/m<sup>3</sup> è di circa

(A) 0.809      (B) 0.401      (C) **1.24**      (D) 0.613      (E) \_\_\_\_\_

**Gb4.** Una bombola di 25 litri contiene 84 g di N<sub>2</sub> (massa di una mole di molecole di azoto  $m_{\text{mol}} = 28 \text{ g/mol}$ ) alla pressione assoluta di 4.21 bar (1 bar = 10<sup>5</sup> Pa). La temperatura dell'azoto è di

(A) 573 K      (B) 212 °F      (C) **150 °C**      (D) 1271 K      (E) 998 °C

**Gb5.** Nel motore diesel, il pistone comprime l'aria ad un sedicesimo del volume originale; se all'inizio l'aria era in condizioni normali (0°C e 1.01 bar) e dopo la compressione e combustione si trova a 50.5 bar e contiene lo stesso numero di moli iniziali, la temperatura all'interno del cilindro vale

(A) 650 K      (B) 450 °C      (C) **853 K**      (D) 651 °C      (E) 1010 K

**Gb6.** Un contenitore metallico stagno contiene inizialmente 1 m<sup>3</sup> di O<sub>2</sub> alla pressione di 2.5 MPa e alla temperatura di 20°C. Nel contenitore vi è una sostanza solida che si ossida lentamente senza cambiare apprezzabilmente il suo volume. Quando la pressione nel contenitore è di 2.0 MPa e la temperatura di 15°C sono state consumate un numero di moli di ossigeno pari a

(A) 120      (B) **191**      (C) 310      (D) 410      (E) \_\_\_\_\_

**Gb7.** Una mole di un gas perfetto alla temperatura  $t=27^\circ\text{C}$  è contenuta in un recipiente cilindrico chiuso superiormente da un pistone scorrevole verticalmente con attrito trascurabile. Il pistone è in contatto con l'atmosfera esterna, ha massa  $M=50 \text{ kg}$  e superficie  $S=1 \text{ dm}^2$ . Trovare il volume  $V$  del gas

A) 21.0 m<sup>3</sup>      (B) 0.20m<sup>3</sup>      (C) **0.0166 m<sup>3</sup>**      (D) 0.068 dm<sup>3</sup>      (E) 0.98 m<sup>3</sup>

## TRASFORMAZIONI DEI GAS E PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

### Trasformazioni isovolumiche

**Gb13.** Per una guida sicura la pressione dei pneumatici di un modello d'auto non dovrebbe mai passare le 2.53 bar. Se in un giorno estivo la temperatura delle gomme arriva fino a 95°C a quale pressione posso al più gonfiare gli pneumatici se li controllo la mattina quando la loro temperatura è di 20°C?

- (A) 1.8 bar      (B) 2.5 bar      (C) 2.10 bar      **(D) 2.02 bar**      (E) \_\_\_\_\_

**Gb14.** Mezza mole di elio (massa molare 4g/mol) è sigillata in un contenitore a pressione e temperatura normali (0°C e 1.01 bar). Quanto calore bisogna fornire approssimativamente per raddoppiare la pressione del contenitore? (calore specifico  $c_v(\text{He})=3.14 \text{ J/g K}$ )

- (A) 41 kJ      (B) 2700 J      **(C) 1700 J**      (D) 1076 J      (E) 0.15 kWh

**Gb15.** Il cambio di energia interna di una mole di ossigeno, pensato come gas perfetto, quando viene portata da 150 K a 300 K in una trasformazione a volume costante è di circa

- (A) 1870 J      **(B) 3120 J**      (C) 4360 J      (D) 8310 J      (E) \_\_\_\_\_

### Trasformazioni isobare

**Gb16.** Il rapporto tra il lavoro compiuto ed il calore assorbito da una mole di gas monoatomico che si espande isobaricamente alla pressione di 1 bar, passando da 22.4 litri a 33.5 litri, è pari a

- (A) 0.27      (B) 0.33      **(C) 0.40**      (D) 0.67      (E) 0.73

**Soluzione.** Si deve utilizzare l'espressione del calore assorbito fornito dal primo principio della termodinamica  $\Delta Q = \Delta U + L = C_v \Delta T + p \Delta V$ .

La capacità termica molare del gas monoatomico è  $3R/2$  e il lavoro è  $p \Delta V = RT_{\text{fin}} - RT_{\text{in}} = R \Delta T$

$$\text{da cui si ottiene } \Delta Q = C_v \Delta T + p \Delta V = \frac{3}{2} R \Delta T + R \Delta T = \frac{5}{2} R \Delta T \Rightarrow \frac{p \Delta V}{\Delta Q} = \frac{R \Delta T}{5 R \Delta T / 2} = \frac{2}{5}$$

**Gb17.** Un metro cubo di elio inizialmente a 100°C e alla pressione di 1 bar è compresso isobaricamente a 0.75 m<sup>3</sup>. Il calore ceduto dall'elio durante la trasformazione vale circa

- (A) 41 kJ      (B) 52 kJ      **(C) 63 kJ**      (D) 98 kJ      (E) \_\_\_\_\_

**Gb18.** Una mole di elio a 101.3 kPa e a 0°C viene portata isobaricamente al doppio del suo volume iniziale. Il lavoro fatto dal gas è di circa

- (A) 1510 J      **(B) 2270 J**      (C) 2600 J      (D) 9800 J      (E) \_\_\_\_\_

**Gb19.** Una mole di un gas ideale monoatomico è chiuso in un cilindro verticale da un pistone di 60 cm<sup>2</sup> di area su cui è appoggiato un corpo di massa  $m = 8 \text{ kg}$ . Il lavoro fatto dal gas quando viene scaldato da 30°C a 100°C è di circa (pressione atmosferica = 100kPa,  $R = 8.314 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$ )

- (A) 39.1 J      **(B) 582 J**      (C) 652 J  
 (D) 109 J      (E) 341 J

