ESERCIZI DI FISICA GENERALE – nr. 21/07

1. Volete ripetere la storica esperienza di Joule, quella che permise di determinare l'equivalenza calore/energia meccanica. Per farlo prendete un recipiente con pareti termicamente isolate (ad esempio rivestite di polistirolo, neoprene, o altro materiale che forma strutture sottili separate da camerette d'aria). Il recipiente contiene una miscela di acqua e ghiaccio fondente in equilibrio termico fra loro. Al suo interno, inoltre, si trova un motorino elettrico che fa muovere delle palette; inizialmente il motorino è spento. Il movimento delle palette nell'acqua provoca attrito, e si supponga che **tutta** la potenza erogata dal motore sia in questo modo convertita in potenza che serve per riscaldare il sistema acqua+ghiaccio.
   a) Quanto vale la temperatura T del sistema?.
   T = ……… ^{0}C   0 ^{0}C, essendoci del ghiaccio fondente

   b) Il motorino viene acceso; sapendo che la sua potenza meccanica è W = 9.0 W, qual è la massa di ghiaccio M che si scioglie per ogni secondo? [Esprimete il "tasso" di fusione del ghiaccio, ed usate come calore latente di fusione (specifico) del ghiaccio il valore $\lambda_F = 3.0\text{x}10^5$ J/kg]
   M = …………………………………..…….. = ……… kg/s $W / \lambda_F = 3.0\text{x}10^{-5}$ kg/s   [infatti il ghiaccio in un intervallo ΔT riceve un calore $Q = W\,\Delta T$ che viene impiegato per fondere la massa di ghiaccio $m = Q / \lambda_F$. Notate che durante il processo si suppne che la temperatura della miscela resti sempre di 0 ^{0}C, cioè che ci sia sempre del ghiaccio fondente]

2. La misura del "potere calorico" di una sostanza (esempio, un alimento o un combustibile) viene spesso eseguita con le cosiddette "bombe calorimetriche": la sostanza viene inserita, in piccole quantità, all'interno di un recipiente massiccio, di capacità termica nota. Usando un innesco (esempio una scarica elettrica) ed iniettando nella camera del comburente (esempio ossigeno) si fa in modo che l'intera quantità di sostanza bruci **rapidamente**. L'aumento di temperatura del recipiente dà allora informazioni sul potere calorico da determinare. La vostra bomba calorimetria è costituita da un recipiente di ferro di massa m_F = 10 kg, a cui è collegato in contatto termico un termometro.
   a) Supponendo che il calore specifico del ferro (alle temperature di interesse per l'esperimento) sia c_F = 450 J/(kg K), quanto vale la capacità termica C della bomba?
   C = ……………………………….. = …….. J/K $m_F\, c_F = 4.50\text{x}10^3$ J/K

   b) Immaginate ora che il termometro sia costituito da un sottile tubicino di vetro **indeformabile** contenente dell'alcool etilico (coefficiente di dilatazione termica **volumica** $\lambda_V = 1.1\text{x}10^{-4}$ 1/^{0}C). Osservate che, in seguito alla combustione della sostanza incognita, la colonnina di alcool passa da una lunghezza iniziale h_0 = 40.0 cm ad una lunghezza finale h = 41.1 cm (dopo aver aspettato abbastanza tempo affinché tutto il calore della sostanza si sia trasferito alla bomba e di qui alla colonnina di alcool). Quanto vale l'aumento di temperatura ΔT registrato?
   ΔT = ……………………………….. = …….. ^{0}C $(h - h_0) / (h_0\, \lambda_V)$ = 250 ^{0}C   [notate che si è ritenuto che la sezione del tubicino di vetro non cambiasse, per dilatazione termica, durante il riscaldamento!]

   c) Sapendo che avete inserito nella bomba calorimetrica una quantita m = 100 g di sostanza incognita, quanto vale il potere calorico specifico c della sostanza? [Esprimetelo in kcal/(100 g), come per le merendine!]
   c = ………………………………..…. = …….. kcal/(100 g) $C\,\Delta T = 1.1\text{x}10^6$ J ~ $2.7\text{x}10^2$ kcal
   [dove abbiamo usato il fatto che il campione aveva massa m = 100 g, e l'equivalenza 1 cal = 4.186 J, e sfruttato il fatto che le differenze di temperatura in gradi Kelvin ed in gradi centigradi hanno la stessa espressione; notate che è il potere calorico di una carne grassa, che poi è circa la metà del potere calorico della benzina: pensateci quando banchettate per le prossime festività!!]

3. Una mole di gas perfetto biatomica, che inizialmente si trova nelle condizioni definite dalle variabili di stato $P_0 = 2.00\text{x}10^5$ Pa, V_0 = 2.00 l subisce una "strana" trasformazione che segue la legge PT^2 = *costante*. [Notate che in questa trasformazione pressione, volume e temperatura variano tutte e tre, e ci disinteressiamo del meccanismo fisico che eventualmente la realizza!]
   a) Quanto vale la temperatura iniziale T_0? [Prendete R = 8.31 J/(K mole) come valore della costante dei gas perfetti]
   T_0 = …………………………………... = ……… K $P_0\, V_0 / (nR)$ = 48.1 K [legge dei gas perfetti]

Francesco Fuso – tel 050 2214305 – e-mail: fuso@df.unipi.it – web page: http://www.df.unipi.it/~fuso/dida

b) Sapendo che alla fine della trasformazione il gas si trova alla pressione P_1 = 8.00x10^5 Pa, quanto valgono la temperatura T_1 e il volume V_1?

T_1 = ………………………………….. = ……… K $\quad T_0 (P_0 / P_1)^{1/2} = 24.1$ K

V_1 = ………………………………….. = ……… K $\quad nRT_1/P_1 = nRT_0P_0^{1/2}/P_1^{3/2} = V_0(P_0/P_1)^{3/2} = 0.250$ l

c) Come si esprime la legge che lega pressione P e volume V per la trasformazione considerata?

………………………………….. = ……… $\quad P^3 V^2 = costante = P_0^3 V_0^2$ [si ottiene combinando la legge data con la legge dei gas perfetti]

d) Quanto vale il lavoro L fatto o subito dal gas?

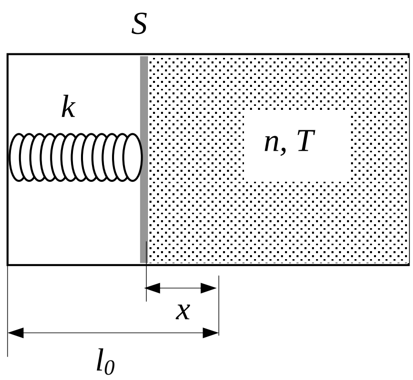
L = ………………………………….. = ……… J $\int_{V0}^{V1} P \, dV = P_0V_0^{2/3} \int_{V0}^{V1} (1/V^{2/3}) \, dV = P_0V_0^{2/3} 3 (V_1^{1/3} – V_0^{1/3}) = 3 P_0 (V_0^{2/3}V_1^{1/3} – V_0) = 3 P_0V_0 ((P_0/P_1)^{1/2} – 1) = - (3/2) P_0V_0 = - 600$ J

e) Quanto valgono variazione di energia interna ΔU del gas e calore Q da esso scambiato durante la trasformazione? [Ricordate che, per un gas perfetto biatomico, si ha $c_V = (5/2) R$]

ΔU = ………………………………….. = ……… J $\quad n c_V (T_1 – T_0) = n (5/2) R (T_1 – T_0) = n (5/2) R T_0 (1 – (P_0/P_1)^{1/2}) = (5/2) P_0V_0 (1 – (P_0/P_1)^{1/2}) = - (5/6) L = 500$ J [con un po' di algebra!]

Q = …………………………………….. = ……… J $\quad L + \Delta U = L/6 = - 100$ J

4. Una quantità n di moli di un gas perfetto monoatomico è contenuta nel recipiente rappresentato in figura. Il recipiente è costituito da un cilindro di area di base S chiuso da un tappo di massa trascurabile scorrevole senza attrito. Al tappo è attaccata una molla di massa trascurabile e costante elastica k; notate che nella parte di recipiente in cui è contenuta la molla è stato fatto il vuoto, cioè sul tappo **non** agisce la pressione atmosferica. Inizialmente il sistema è in equilibrio, il gas si trova alla temperatura T_0 e la molla si trova compressa per un valore x_0 rispetto alla sua lunghezza di riposo l_0. Successivamente il gas viene riscaldato fino alla temperatura T_1. In corrispondenza del riscaldamento si osserva che la molla viene compressa ulteriormente, fino a raggiungere il valore x_1, con $x_1 < x_0$. [Si supponga che l'espansione del gas avvenga passando attraverso successivi stati di equilibrio]



a) Quanto valgono la pressione P_0 del gas ed il volume V_0 da lui occupato inizialmente?

P_0 = …………………………………………… $\quad k x_0 / S$ [è la pressione dovuta alla forza della molla]

V_0 = …………………………………………… $\quad nRT_0/P_0$

b) Come si scrive la relazione che lega la pressione P al volume V in questa trasformazione? [Suggerimento: usate la "geometria" del sistema!]

…………………………………………… $\quad P = (k/S)x = (k/S)(V/S – l_0) = (k/S^2)V – kl_0/S$

c) Quanto vale il lavoro L compiuto dal gas nella trasformazione?

L = …………………………………………… $\quad - L_{ELA} = - (k/2) (x_1^2 - x_0^2)$ [il lavoro del gas è opposto a L_{ELA} compiuto dalla molla, che, sulla base delle leggi della meccanica, ha l'espressione appena scritta]

d) Quanto vale il calore Q scambiato dal gas nella trasformazione? [Per un gas monoatomico, ricordate che è $c_V = (3/2) R$]

Q = …………………………………………… $\quad L + \Delta U = - (k/2) (x_1^2 - x_0^2) + n(3/2)R (T_1 – T_0)$ [vedi sopra]