Associazione per l'Insegnamento della Fisica
Progetto Olimpiadi

OLIMPIADI DI FISICA 1994

Gara Nazionale

Senigallia, 14-17 Aprile 1994

Alcune costanti fisiche

COSTANTE	SIMBOLO	VALORE	UNITÀ
Velocità della luce nel vuoto	c	3.00×10^{8}	$\mathrm{m\,s^{-1}}$
Carica elementare	e	1.60×10^{-19}	C
Massa dell'elettrone	m_e	9.11×10^{-31}	kg
Costante dielettrica del vuoto	ε_0	8.85×10^{-12}	$\mathrm{F\,m^{-1}}$
Permeabilità magnetica del vuoto	μ_0	1.26×10^{-6}	$\mathrm{H\,m^{-1}}$
Massa del protone	m_p	1.67×10^{-27}	kg
Costante di Planck	h	6.63×10^{-34}	J s
Costante universale dei gas	R	8.31	$\mathrm{J\,mol^{-1}\,K^{-1}}$
Numero di Avogadro	N	6.02×10^{23}	$\mathrm{mol^{-1}}$
Costante di Boltzmann	k	1.38×10^{-23}	$\mathrm{J\,K^{-1}}$
Costante di Faraday	F	9.65×10^{4}	$\mathrm{C\,mol^{-1}}$
Costante di Stefan–Boltzmann	σ	5.67×10^{-8}	$\mathrm{W\,m^{-2}}$
Costante gravitazionale	G	6.67×10^{-11}	$\mathrm{m^3\,kg^{-1}\,s^{-2}}$
Volume molare di un gas ideale in condizioni standard ($T = 0°\mathrm{C}$, $p = 101\,\mathrm{kPa}$)	V_m	2.24×10^{-2}	$\mathrm{m^3\,mol^{-1}}$

Materiale prodotto dal Gruppo

PROGETTO OLIMPIADI

c/o Liceo Scientifico G. Bruno

via Baglioni 26, 30173 Venezia Mestre

fax: 041–5840462

PROBLEMA n. 1

100 Punti

Un cilindro isolato termicamente è separato in due scomparti contigui: il primo contiene 32 g di ossigeno (O_2) in un volume di $23.0\,\mathrm{dm}^3$, alla pressione di $1.015 \times 10^5\,\mathrm{N\,m^{-2}}$; il secondo scomparto, alla stessa temperatura del primo, contiene 4.0 g di ozono (O_3) alla pressione di $0.973 \times 10^5\,\mathrm{N\,m^{-2}}$.

Messi in comunicazione i due scomparti, si genera una miscela dei due gas e, a seguito di una lenta reazione $2\,O_3 \rightarrow 3\,O_2$, alla fine la quantità di ozono presente nel cilindro è del tutto trascurabile.

Durante la reazione un pistone – anch'esso a tenuta di calore – consente di mantenere costante la pressione all'interno del cilindro mentre si riscontra un aumento di volume di $33.6\,\mathrm{dm}^3$.

1. Determinare la pressione iniziale della miscela dei due gas.

2. Mostrare che la reazione avvenuta nel cilindro è esotermica e valutare l'energia sviluppata in questa reazione da una mole di ozono.

3. Nella formazione di ossigeno l'ozono si dissocia secondo la reazione

$$O_3 \rightarrow O_2 + O$$

. e quindi l'ossigeno atomico si ricombina in ossigeno molecolare. Sapendo che l'energia minima richiesta per la dissociazione di una molecola di ossigeno è $\epsilon_D = 8.14 \times 10^{-19}\,\mathrm{J}$ stimare, anche in base ai dati precedenti, l'energia di dissociazione di una molecola di ozono.

NOTE:
– Si risolva il problema nell'ipotesi che i due gas si comportino come gas ideali;
– il peso atomico dell'ossigeno è 16;
– il calore specifico molare dell'ozono a volume costante, nelle condizioni proposte, è approssimabile con ${}^7\!/_2\,R$.

PROBLEMA n. 2

100 Punti

H. Helmholtz nel 1860 ha condotto una ricerca sperimentale sul suono emesso da un violino studiando il comportamento della sua sorgente – una corda che vibra, sollecitata da un archetto – mettendo anche a punto procedimenti ingegnosi per ottenere gli elementi necessari ad una descrizione matematica del moto della corda nel suo complesso. Scrisse che "durante gran parte di ogni vibrazione la corda viene trascinata dall'arco. Poi, improvvisamente, essa si stacca e rimbalza, quindi viene ricatturata da altre parti dell'arco e di nuovo trascinata".

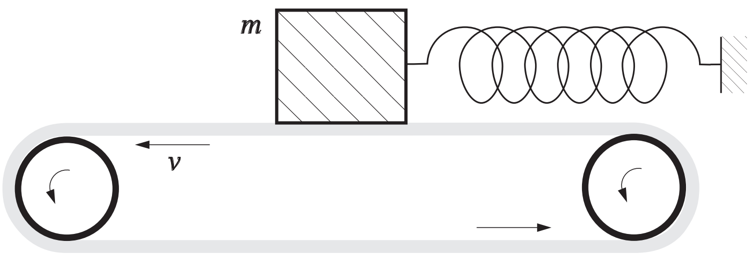
È molto difficile fare uno studio completo della situazione reale e ci accontenteremo di una analogia, semplificando drasticamente il problema: sostituiremo la corda con una massa attaccata ad una molla, immaginando che la massa sia sollecitata per attrito da un "archetto" costituito da un nastro scorrevole; affideremo al peso della massa il compito di simulare la pressione dell'archetto sulle corde, esercitata dal violinista.

La situazione ottenuta è rappresentata quindi dalla figura seguente; i valori numerici sono arbitrari.

Il blocco, di massa m, è attaccato ad una molla di costante k (con un estremo fisso) e striscia sul nastro, che scorre con velocità costante v trascinato da due rulli, come in figura. Sono noti i coefficienti di attrito statico e dinamico μ_{s} e μ_{d} fra blocco e nastro, che supporremo costanti.

Supponiamo anche che, inizialmente, il blocco sia mantenuto fermo in modo che la molla sia in condizioni di riposo. Ad un certo momento ($t = 0$) il blocco viene abbandonato e comincia a muoversi sotto l'azione del nastro.

Valori numerici
$m = 180\,\mathrm{g}$
$k = 2.5\,\mathrm{N/m}$
$\mu_{\mathrm{s}} = 0.5$
$\mu_{\mathrm{d}} = 0.3$
$v = 1.2\ \mathrm{m\,s^{-1}}$



1. Supponendo che la velocità del nastro, per tutto il tempo che ci interesserà considerare, sia abbastanza elevata da avere sempre strisciamento, calcolare a quale distanza dalla posizione iniziale il blocco si arresterà momentaneamente.

Segue a pagina 5 ⇒

2. Mostrare che in queste condizioni il blocco compirà oscillazioni armoniche e determinare la relativa ampiezza e periodo.

3. Determinare qual è la minima velocità del nastro che consente il moto descritto, verifica che con i dati numerici proposti la condizione è soddisfatta.

4. Se il nastro si muove a velocità inferiore a quella calcolata al punto 3), il moto del blocco è ancora periodico, ma non armonico; descriverne l'andamento e rappresentare, anche in modo qualitativo, il grafico della legge oraria.

5. Determinare la posizione del blocco nei punti significativi del diagramma tracciato e calcolare l'ampiezza del moto, ponendo ora $v = 0.5\,\mathrm{m\,s^{-1}}$.

PROBLEMA n. 3

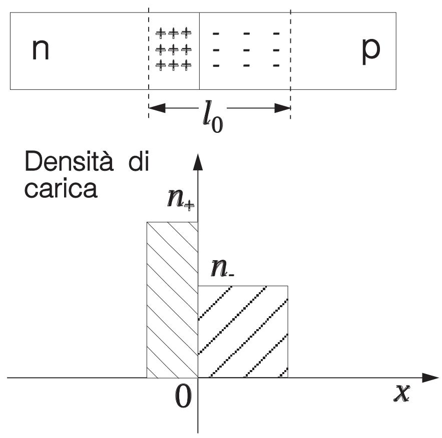
100 Punti

La conduttività elettrica di un semiconduttore può essere aumentata sostituendo alcuni atomi della struttura cristallina con altri di diversa specie, senza modificare la neutralità elettrica del campione. Tale processo è chiamato *"drogaggio"*.

Mediante il drogaggio di tipo n si aumenta la quantità di elettroni di conduzione; con il drogaggio di tipo p, invece, si producono delle lacune di elettroni dette "*buche*" le quali possono essere considerate come dei portatori di carica positiva uguale in valore assoluto a quella degli elettroni.

Una metà di un campione di semiconduttore, avente sezione quadrata di lato $d = 0.20\,\text{mm}$, viene drogata di tipo n e l'altra metà di tipo p, nella zona di separazione tra le due, detta "*giunzione*", alcuni elettroni migrano dalla parte di tipo n alla parte di tipo p ricombinandosi con le buche qui presenti. Al termine del processo si genera così una regione di ampiezza $\ell_0 \approx 0.5\,\mu\text{m}$ nella quale non ci sono più cariche libere di muoversi, che viene chiamata "*regione di svuotamento*".

La parte di tipo n della regione di svuotamento è caratterizzata dalla presenza di cariche positive dovute agli ioni del reticolo cristallino; mentre la parte di tipo p dalla presenza di cariche negative localizzate intorno agli ioni del reticolo. Il grafico in figura mostra una possibile distribuzione della densità di carica elettrica in una giunzione. La densità della carica positiva nella parte di tipo n della regione di svuotamento (n_+) è 8.5×10^{16} cariche per cm^3, mentre la densità della carica negativa (n_-) nella parte di tipo p della regione di svuotamento vale 3.0×10^{15} cariche per cm^3.



1. Determinare e rappresentare graficamente il campo elettrico presente in tale giunzione.

2. Assegnando al potenziale elettrico il valore zero in un opportuno punto del semiconduttore, determinarne l'andamento nella regione di svuotamento. Considerando i valori forniti per la densità di carica elettrica e che il campione è complessivamente neutro, calcolare il massimo valore che la differenza di potenziale elettrico può assumere. Tale valore è chiamato "*barriera di potenziale*".

Segue a pagina 7 ⇒

Collegando gli estremi opposti del campione di semiconduttore con un filo metallico la giunzione viene cortocircuitata e si osserva che nel circuito così realizzato non circola corrente elettrica. Il fenomeno si può spiegare assumendo che agli estremi del campione si generi sempre una differenza di potenziale V_0 detto "*potenziale ohmico di contatto*", costante e indipendente dalla direzione e dall'intensità di una eventuale corrente elettrica che circola nel semiconduttore, che si oppone alla barriera di potenziale, e in questo caso la annulla.

3. Tenendo conto del fenomeno illustrato qui sopra, mostrare che la barriera di potenziale cambia quando agli estremi della giunzione viene applicata una differenza di potenziale elettrico esterno V_{est}. Determinare come dipende lo spessore ℓ della regione di svuotamento da V_{est}.

Quando varia l'ampiezza della regione di svuotamento rimangono costanti i valori della densità di carica elettrica, ma cambia la quantità totale di carica presente nelle due parti della giunzione. Si può parlare, in questo caso, di proprietà capacitive della giunzione.

4. Determinare il valore della capacità elettrica di transizione che è definita come $C_{\mathrm{T}} = (\Delta Q/\Delta V_{\mathrm{est}})$ dove ΔQ è la variazione di carica prodotta quando viene variato di ΔV_{est} il potenziale elettrico esterno applicato.

NOTA: Per un semiconduttore la costante dielettrica relativa vale $\varepsilon_{\mathrm{r}} = 12$.

PROBLEMA n. 4

100 Punti

Guidando in una giornata assolata su un tratto piano e rettilineo di autostrada si nota che, in lontananza, il manto stradale appare “bagnato”. Il fenomeno, noto da sempre a chi attraversa zone desertiche, viene detto *miraggio* ed è dovuto alla rifrazione atmosferica in presenza di un *gradiente termico* particolarmente accentuato nei bassi strati d'aria.

Si consideri uno strato d'aria piano e orizzontale, entro cui l'indice di rifrazione dipende solo dall'altezza. Sia α_i l'angolo di incidenza di un raggio di luce nello strato ed α_e l'angolo di emergenza dello stesso raggio dallo strato.

1. Mostrare che, fissato α_i, l'angolo α_e dipende solo dai valori che l'indice di rifrazione assume sulle superfici superiore ed inferiore dello strato.

Per l'indice di rifrazione dell'aria si osserva sperimentalmente che $n-1$ è proporzionale alla densità ρ

$$n - 1 = k\,\rho \quad \text{(legge di Gladstone \& Dale)}$$

e si misura $n = 1.00027$ in condizioni di pressione standard ad una temperatura di circa 27°C.

2. Mostrare che, per temperature prossime al valore dato, a pressione costante, l'indice di rifrazione dell'aria può essere approssimato dalla relazione $n = n_0\,(1 + \nu\,\Delta T)$. Verificare che $\nu = -0.9 \times 10^{-6}\,\mathrm{K}^{-1}$.

L'automobilista, che ha gli occhi ad un'altezza $h_0 = 1.4$ m dal suolo, ha l'impressione di vedere la strada bagnata ad una distanza d_0 di circa 200 m davanti a sé. Con buona approssimazione le traiettorie dei raggi luminosi possono essere assimilate a parabole (con asse verticale e concavità rivolta verso l'alto).

3. Calcolare la lunghezza del tratto di strada effettivamente visibile da parte dell'automobilista.

4. Determinare l'indice di rifrazione all'altezza dell'occhio del guidatore $[n(h_0)]$ in funzione dei parametri dati e dell'indice di rifrazione al suolo $[n_0]$. Può essere utile tenere presente che $h_0 \ll d_0$.

5. Supponendo per semplicità che il gradiente termico dell'aria sia uniforme, cioè che la temperatura T dell'aria vari linearmente con l'altezza h secondo la legge $T(h) = T(0) + \theta\,h$, determinare il gradiente termico θ.