Università degli Studi di Padova
Corso di laurea a ciclo unico in Medicina e Chirurgia
Esame di Fisica e Biofisica
Prova di accertamento di Fisica – 14 febbraio 2025

1. Per misurare l'elasticità della capside di un virus si utilizza un Microscopio a Forza Atomica (AFM) ricorrendo alla tecnica della nanoindentazione. Il microscopio applica una forza variabile sulla capside che si comporta come una membrana elastica. Si nota che per una forza $F_{el} = 0.4\ \mathrm{nN}$ la deformazione della capside è $\Delta x = 14\ \mathrm{nm}$. Quanto vale l'energia elastica immagazzinata nella capside?
[ ] $0.3\ \mathrm{J}$
[ ] $0.3\ \mathrm{nJ}$
[X] $2.9 \cdot 10^{-18}\ \mathrm{J}$
[ ] $0.29 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{J}$

Dall'espressione del modulo della forza elastica $F_{el} = k\Delta x$i, ricaviamo

$$k = \frac{F_{el}}{\Delta x} = \frac{0.4\ \mathrm{nN}}{14\ \mathrm{nm}} = 0.03\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$$

quindi per l'energia elastica immagazzinata nella capside, avremo

$$E_{el} = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2 = \frac{1}{2}\left(0.03\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}\right)(14\ \mathrm{nm})^2 = 2.9 \cdot 10^{-18}\ \mathrm{J}$$

2. Un atleta di salto in alto con $m = 60.0\ \mathrm{kg}$ prima della gara consuma un pasto che fornisce un'energia di $E = 3.00 \cdot 10^3\ \mathrm{kcal}$. Se durante un salto l'atleta fosse in grado di convertire in energia potenziale gravitazionale il 3.3% di questa energia, quanto in altro potrebbe saltare?
[ ] $h = 0.7\ \mathrm{m}$
[ ] $h = 700\ \mathrm{cm}$
[X] $h = 700\ \mathrm{m}$
[ ] $h = 2.1 \cdot 10^3\ \mathrm{J}$

$$E = 3.00 \cdot 10^3\ \mathrm{kcal} = (3.00 \cdot 10^3\ \mathrm{kcal})(4187\ \mathrm{J/kcal}) = 12560 \cdot 10^3\ \mathrm{J}$$

Inoltre $E_{p_g} = mgh$, quindi

$$\frac{3.3}{100}E = mgh \rightarrow h = \frac{3.3}{100}\frac{E}{mg} = \frac{3.3}{100}\frac{12560 \cdot 10^3\ \mathrm{J}}{(60.0\ \mathrm{kg})(10\ \mathrm{m/s^2})} = 700\ \mathrm{m}$$

3. Il ciclotrone è un acceleratore di particelle utilizzato in ambito medico e scientifico. Quale dei seguenti fenomeni e leggi fisiche permette alle particelle cariche di guadagnare energia in questo dispositivo?
[ ] l'effetto fotoelettrico
[X] la forza di Lorentz e il campo elettrico alternato
[ ] l'induzione elettromagnetica
[ ] l'effetto tunnel

4. Uno sperimentatore vuole misurare la resistenza elettrica tra le sue mani. Per fare la misura stringe con ciascuna mano il capo di un cavo conduttore ciascuno collegato ai poli di un generatore di differenza di potenziale da $\Delta V = 100\ \mathrm{V}$. In questo modo il corpo dello sperimentatore funge da resistenza e chiude il circuito. La misura fornisce come risultato una resistenza $R = 2\ \mathrm{k\Omega}$. Qual è l'intensità della corrente che attraversa il corpo dello sperimentatore?
[ ] $500\ \mathrm{mA}$
[ ] $200\ \mathrm{A}$
[X] $50\ \mathrm{mA}$
[ ] $50\ \mathrm{A}$

$$i = \frac{V}{R} = \frac{100\ \mathrm{V}}{2\ \mathrm{k\Omega}} = 50\ \mathrm{mA}$$

5. Una mole di gas monoatomico viene sottoposta ad una espansione isoterma a $T = 37\ °\mathrm{C}$ che porta il volume da V_1 a $V_2 = 3V_1$. Il calore scambiato risulta pari a
[ ] 280 J assorbito dal gas
[X] 2830 J assorbito dal gas
[ ] 2 J ceduto dal gas
[ ] 2830 J ceduto dal gas

$$Q = nRTln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 8.31(273+37)ln(3) = 2830\ \mathrm{J}$$

6. Due resistenze ($R_1 = 10\ \mathrm{k\Omega}$ e $R_2 = 15\ \mathrm{k\Omega}$) sono collegate in parallelo e, assieme ad un condensatore $C = 100\ \mathrm{nF}$, collegato ad esse in serie, formano un circuito RC la cui costante di tempo risulta
[ ] $6\ \mathrm{ms}$
[ ] $60\ \mathrm{\mu s}$
[ ] $6\ \mathrm{s}$
[X] $0.6\ \mathrm{ms}$

$$\tau = RC = R_{eq}C = \frac{(R_1R_2)}{R_1+R_2}C = \frac{150\cdot 10^6}{25\cdot 10^3}100\cdot 10^{-9}\ \mathrm{s} = \frac{150\cdot 100}{25}10^{-6}\ \mathrm{s} = 6\cdot 10^{-4}\ \mathrm{s}$$

7. Ad un paziente ($m = 50\ \mathrm{kg}$) viene effettuata una radiografia all'addome irraggiandolo con un fascio di potenza $P = 1\ \mathrm{mW}$ per $t = 30\ \mathrm{s}$. Sapendo che complessivamente solo il 50% dei raggi X deposita energia nel materiale organico, la dose efficace è
[ ] $0.3\ \mathrm{Gy}$
[X] $0.3\ \mathrm{mGy}$
[ ] $6\ \mathrm{mGy}$
[ ] $0.02\ \mathrm{mGy}$

$$H = w_{rX}\frac{\Delta E}{m} = w_{rX}\frac{P\Delta t}{m} = 1\frac{0.5(1\cdot 10^{-3}\ \mathrm{W})(30\ \mathrm{s})}{50\ \mathrm{kg}} = 0.3\ \mathrm{mGy}$$

8. Un fotone di luce rossa ha una lunghezza d'onda di $700\ \mathrm{nm}$. Qual è la sua energia in elettronvolt (eV)?
[X] $1.89\ \mathrm{eV}$
[ ] $2.35\ \mathrm{eV}$
[ ] $3.25\ \mathrm{eV}$
[ ] $4.06\ \mathrm{eV}$

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(4.14 \cdot 10^{-15}\ \text{eV·s})(3.00 \cdot 10^{8}\ \text{m·s}^{-1})}{700 \cdot 10^{-9}\ \text{m}} = 1.89\ \text{eV}$$

9. Una persona ha un potere di accomodazione di 1.75 diottrie e un punto remoto di 4.00 metri. Il punto prossimo di questa persona è:
[ ] 0.50 D
[X] 0.50 m
[ ] 2.00 D
[ ] 2.50 m

$$A = \frac{1}{z_P} - \frac{1}{z_R} \to z_P = \left(A + \frac{1}{z_R}\right)^{-1} = \left(1.75\ m^{-1} + \frac{1}{4.00\ \text{m}}\right)^{-1} = 0.50\ \text{m}$$

10. Il difetto di massa di un nucleo atomico è dovuto:
[ ] all'errore di misurazione nella determinazione della massa nucleare
[ ] alla presenza di elettroni che contribuiscono alla massa totale del nucleo
[ ] all'effetto della gravità sui nucleoni all'interno del nucleo
[X] alla conversione di una parte della massa dei nucleoni in energia di legame nucleare

11. Un contatore Geiger è posto vicino a una sorgente di ${}^{60}Co$, che ha un'emivita $T_{1/2} = 5.27$ anni. Il contatore registra inizialmente 3000 conteggi al minuto. Senza modificare la posizione relativa tra sorgente e contatore, quanti conteggi al secondo si avranno dopo 15 anni?
[ ] 60
[ ] 50
[ ] 15
[X] 6.95

$$C(t) = C_0 e^{-(\ln 2)t/T_{1/2}} = \left(\frac{3000\ \text{conteggi}}{60\ \text{s}}\right) e^{-15(\ln 2)/5.27} = 6.95\ \ \text{conteggi/s}$$

12. Una macchina per la produzione di raggi X produce fasci di frequenza massima $f_{MAX} = 1.0 \cdot 10^{19}$ Hz. Quanto vale la differenza di potenziale cui sono sottoposti gli elettroni che per frenamento producono i raggi X? ($h = 6.6 \cdot 10^{-34}$ J · s)
[ ] $11 \cdot 10^{-34}$ V
[ ] 41 V
[X] 41 kV
[ ] 66 kV

$$e\Delta V = hf_{MAX} \to \Delta V = \frac{hf_{MAX}}{e} = \frac{(6.6 \cdot 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s})\ (1.0 \cdot 10^{19}\ \text{Hz})}{1.6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}} = 41\ \text{kV}$$

Problema 1

$n = 0.5$ moli di gas ideale biatomico inizialmente a pressione $p_A = 1$ atm, volume $V_A = 12.5$ litri e temperatura $T_A = 300$ K, subiscono le seguenti trasformazioni reversibili: ($R = 8.3145$ J/mol K)

1) $A \to B$: espansione isobara fino a raddoppiare il volume
2) $B \to C$: riscaldamento a volume costante fino a $T_C = 900$ K
3) $C \to D$: compressione adiabatica fino a riportare il gas al volume iniziale.

Calcolare:

1. il lavoro compiuto dal gas nelle tre trasformazioni (3 punti)

2. il calore totale scambiato lungo le tre trasformazioni. (2 punti)

Soluzione
Le tre trasformazioni (che non sono un ciclo!) sono:

- $A \rightarrow B$: isobara da V_A a $V_B = 2V_A$
- $B \rightarrow C$: isocora fino a triplicare la temperatura dello stato A ~~$T_1 \rightarrow 3\ T_1$ (ma T_3=3/2 T_2)~~
- $C \rightarrow D$: adiabatica fino a tornare a $V_A = V_D$ (ma ad una temperatura diversa da T_A)

Utilizziamo l'equazione di stato dei gas e il primo principio della termodinamica per calcolare il lavoro e il calore nelle tre trasformazioni.
1.

- Espansione isobara $A \rightarrow B$:
  Dello stato finale B conosciamo sia il volume che la pressione, per la temperatura abbiamo

$$T_B = p_A V_B / n R = 2p_A V_A / n R = 2T_A = 600 \text{ K}$$

Possiamo ora calcolare il lavoro compiuto dal gas e il calore scambiato lungo questa trasformazione

$$W_{A \rightarrow B} = p_A \Delta V_{A \rightarrow B} = p_A V_A = (10^5 \text{ Pa})(12.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3) = 12.5 \cdot 10^2 \text{ J}$$

Per il calore scambiato avremo

$$Q_{A \rightarrow B} = nc_p \Delta T_{A \rightarrow B} = n \frac{7}{2} R(2T_A - T_A) = n \frac{7}{2} RT_A = \frac{7}{2} p_A V_A = 43.75 \cdot 10^2 \text{ J}$$

Si tratta di un calore positivo e pertanto è assorbito dal gas

- Trasformazione isocora $B \rightarrow C$
  Essendo la trasformazione isocora, possiamo subito scrivere

$$W_{B \rightarrow C} = 0$$

Per il calore scambiato avremo

$$Q_{B \rightarrow C} = nc_v \Delta T_{C \rightarrow B} = n \frac{5}{2} R(3T_A - 2T_A) = n \frac{5}{2} RT_A = \frac{5}{2} p_A V_A = 31.25 \cdot 10^2 \text{ J}$$

Si tratta anche in questo caso di un calore positivo assorbito dal gas.

- Trasformazione adiabatica $C \rightarrow D$
  Dello stato finale di questa trasformazione conosciamo il volume ma non conosciamo né la pressione né la temperatura. Possiamo utilizzare una delle due forme dell'equazione che descrive la trasformazione adiabatica reversibile di un gas ideale per ricavarci la temperatura dello stato finale D (per il gas biatomico si ha $\gamma = c_p / c_V = 7/5$)

$$T_D V_D^{\gamma-1} = T_C V_C^{\gamma-1} \rightarrow T_D = T_C (V_C / V_D)^{\gamma-1} = 3T_A (2\, V_A / V_A)^{\gamma-1} = 900 \cdot 2^{7/5-1} = 1188 \text{ K}$$

A questo punto possiamo calcolare gli scambi energetici lungo questa trasformazione

Per il lavoro avremo

$$W_{C\to D} = -nc_v \Delta T_{C\to D} = -0.5\frac{5}{2}(8.3145\ \mathrm{J/mol\ K})(1188-900)\ \mathrm{K} = -30\cdot 10^2\ \mathrm{J}$$

Essendo la trasformazione adiabatica avremo inoltre

$$Q_{C\to D} = 0$$

2. In base a quanto ricavato al punto precedente, ricaviamo che il calore scambiato è

$$Q_{tot} = (43.75+31.25)\cdot 10^2\ \mathrm{J} = 75\cdot 10^2\ \mathrm{J}$$

Problema 2

Una sorgente sonora puntiforme emette un suono con un'intensità $\beta = 90\ \mathrm{dB}$ a una distanza $d_1 = 1\ \mathrm{m}$. Supponendo che il suono si propaghi in un mezzo omogeneo e isotropo senza assorbimento significativo, quale sarà l'intensità sonora in decibel a una distanza di $d_2 = 4\ \mathrm{m}$?

Soluzione

L'intensità sonora I segue la legge dell'inverso del quadrato della distanza: (1 punto)

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

Il livello di intensità sonora è dato da $\beta = 10\log\frac{I}{I_0}$, pertanto si ha: (1 punto)

$$\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1 = 10\log\frac{I_2}{I_1} = 20\log\frac{r_1}{r_2} = 20\log\frac{1}{4} \approx -12\ \mathrm{dB}$$

(2 punti).

Infine ricaviamo (1 punto)

$$\beta_2 = \beta_1 + \Delta\beta = 90\ \mathrm{dB} - 12\ \mathrm{dB} = 78\ \mathrm{dB}$$

Problema 3

Del sangue con viscosità $\eta = 2.1\cdot 10^{-3}$ Pa·s scorre con velocità $v_1 = 6.0\ \mathrm{cm/s}$ attraverso un'arteria di raggio $r_1 = 2.00\mathrm{mm}$ e lunghezza $L_1 = 0.20\mathrm{m}$. Il sangue si trova poi a scorrere con velocità $v_2 = 0.60\ \mathrm{mm/s}$ attraverso un capillare di raggio $r_2 = 3.0\mathrm{\mu m}$ e lunghezza $L_2 = 1.00mm$. Determinare:

1. la differenza di pressione ai capi dell'arteria e del capillare (3 punti)
2. la resistenza idrodinamica dell'arteria. (2 punti)

Soluzione

1. Sappiamo che la portata è data dalla relazione $Q = vS = v\pi r^2$, inserendo questa relazione nell'equazione di Poiseuille otteniamo

$$\Delta p = \frac{8\eta QL}{\pi r^4} = \frac{8\eta\pi r^2 L}{\pi r^4} = \frac{8\eta v L}{r^2}$$

Avremo quindi nei due casi

$$\Delta p_1 = \frac{8\eta v_1 L_1}{r_1^2} = \frac{8(2.1\cdot 10^{-3}\ \text{Pa·s})(6.0\cdot 10^{-2}\ \text{m/s})(0.20\ \text{m})}{(2.00\cdot 10^{-3}\ \text{m})^2} = 50\ \text{Pa}$$

$$\Delta p_2 = \frac{8\eta v_2 L_2}{r_2^2} = \frac{8(2.1\cdot 10^{-3}\ \text{Pa·s})(0.60\cdot 10^{-3}\ \text{m/s})(1.00\cdot 10^{-3}\ \text{m})}{(3.0\cdot 10^{-6}\ \text{m})^2} = 1.1\ \text{kPa}$$

2. Dalla definizione di resistenza idrodinamica otteniamo

$$R_1 = \frac{\Delta p_1}{Q_1} = \frac{\Delta p_1}{v_1 \pi r_1^2} = \frac{50\ \text{Pa}}{\pi(6.0\cdot 10^{-2}\ \text{m/s})(2.00\cdot 10^{-3}\ \text{m})^2} = 6.6\cdot 10^7\ \frac{\text{Pa·s}}{\text{m}^3}$$

Problema 4

Un microscopio composito è costituito da due lenti convergenti, la prima di distanza focale f_A e la seconda di distanza focale $f_B = 15$ cm. La prima lente è di vetro ($n = 1.5$) ed è piano-convessa, con la superficie sferica di raggio $R_1 = 1$ cm e l'altra $R_2 = \infty$). L'oggetto da visualizzare ha dimensione $h = 10$ µm ed è posizionato a $p_A = 5$ cm a sinistra della prima lente. La seconda lente è posizionata a $d = 16$ cm a destra della prima lente. Determinare:

1. la lunghezza focale della prima lente; (2 punti)
2. la posizione (rispetto alla seconda lente) dell'immagine finale. (3 punti)

Soluzione

1. La lunghezza focale della prima lente è data dalla legge del costruttore di lenti

$$\frac{1}{f_A} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) = (1.5-1)\left(\frac{1}{1\ \text{cm}} - \frac{1}{\infty}\right) = 0.5\ \text{cm}^{-1}$$

quindi

$$f_A = 2\ \text{cm}$$

2. L'immagine della prima lente è reale e, per la legge dei punti coniugati, si forma a

$$\frac{1}{q_A} = \frac{1}{f_A} - \frac{1}{p_A} = \frac{1}{2\ \text{cm}} - \frac{1}{5\ \text{cm}} = 0.3\ \text{cm}^{-1}$$

ovvero

$$q_A = 3.33\ \text{cm}$$

Quindi la sua posizione rispetto alla seconda lente risulta essere

$$p_B = (16 - 3.33)\ \text{cm} = 12.67\ \text{cm}$$

Usando di nuovo la legge dei punti coniugati otteniamo

$$\frac{1}{q_B} = \frac{1}{f_B} - \frac{1}{p_B} = \frac{1}{15\ \text{cm}} - \frac{1}{12.67\ \text{cm}} = -0.012\ \text{cm}^{-1}$$

e infine

$$q = -83.3\ \text{cm}$$