

## Introduzione alla fisica: Prova scritta [18/06/2021]

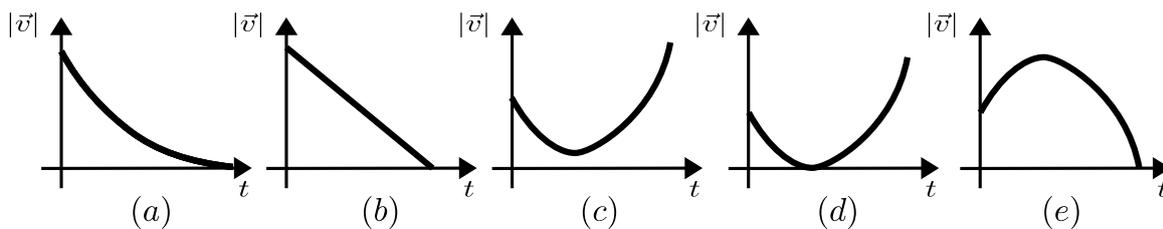
- Durata: 3 ore.
- La consultazione di appunti e documenti (scritti o in rete) non è autorizzata. L'uso della calcolatrice è autorizzato.
- Ricorda di giustificare i passaggi e di dettagliare i calcoli numerici.

Costanti:

- costante dei gas:  $R = 8.314 \text{ J/K/mol}$
- costante di Boltzmann:  $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
- accelerazione di gravità:  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

### (A) Domande teoriche e concettuali

1. Un corpo è lanciato in aria da terra e la sua velocità iniziale forma un angolo  $\theta$  rispetto all'orizzontale, con  $0 < \theta < 90^\circ$ . Supponendo di poter trascurare l'attrito con l'aria, quale dei seguenti grafici rappresenta il modulo  $|\vec{v}|$  della velocità del corpo in funzione del tempo mentre il corpo è in aria? Giustifica la tua risposta.



1. Un oscillatore armonico è composto da un corpo di massa  $m$  agganciata a una molla ideale di costante elastica  $k$ . L'unica forza che agisce sul corpo è la forza elastica della molla. (i) Determina il periodo di oscillazione  $\tau$  del corpo in funzione di  $k$  e  $m$ . (ii) Una misura sperimentale permette di determinare  $\tau$  per diversi valori di  $m$  per una data molla. Quale rappresentazione grafica dei dati sperimentali permette di verificare facilmente la relazione teorica? Giustifica la tua risposta.
2. Enuncia i primi due principi della termodinamica e spiega il loro significato fisico.
3. Il calore scambiato da un gas perfetto con l'ambiente esterno durante una compressione isoterma è: (i) positivo, (ii) negativo o (iii) nullo? Giustifica la tua risposta.
4. Dimostra la legge di composizione in serie e in parallelo delle resistenze termiche. Perché le resistenze elettriche e le resistenze termiche si compongono allo stesso modo?

### (B) Ordini di grandezza

Determina, dettagliando i tuoi calcoli, l'ordine di grandezza della massa della terra.

### (C) Pendolo conico

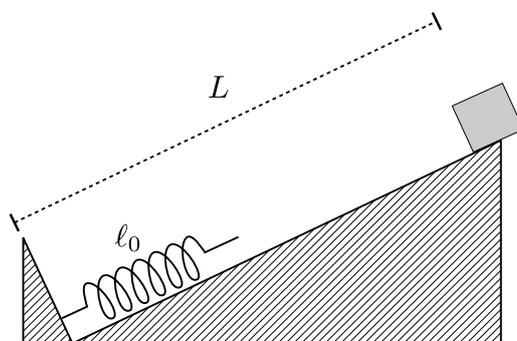
Un piccolo oggetto di massa  $m = 30 \text{ g}$  è sospeso a un filo di lunghezza  $L = 2 \text{ m}$ . La palla ruota percorrendo una traiettoria circolare di raggio  $r = 1 \text{ m}$  con velocità di modulo costante, in modo che il filo descrive la superficie di un cono. Determina il periodo di rotazione dell'oggetto.

### (D) Velocità limite

Una biglia sferica di raggio  $r$  è lasciata cadere in un alto recipiente cilindrico contenente dell'olio. Dopo una prima fase di accelerazione, la biglia raggiunge una velocità costante  $\vec{v}_l$  ("velocità limite"). La densità della biglia è  $\rho_b$  e quella dell'olio  $\rho$ . La forza di attrito viscoso dell'olio sulla biglia è descritta dall'espressione  $\vec{F}_a = -\xi\vec{v}$ , dove  $\xi$  è una costante e  $\vec{v}$  la velocità della biglia. Determina l'espressione del modulo della velocità limite  $v_l \equiv |\vec{v}_l|$ .

### (E) Piano inclinato

Un blocco di massa  $m = 10$  kg è lasciato libero, con velocità iniziale nulla, alla sommità di un piano inclinato di lunghezza  $L = 3$  m. Il piano forma un angolo  $\theta = 30^\circ$  rispetto all'orizzontale. Il blocco scivola lungo il piano e colpisce una molla di costante elastica  $k = 2500$  N/m e lunghezza a riposo  $\ell_0 = 30$  cm, provocandone una compressione massima  $\Delta\ell = 10$  cm. L'estremità non libera della molla è fissata al fondo del piano inclinato. Determina il coefficiente di attrito dinamico tra il blocco e la superficie del piano inclinato.



### (F) Atmosfera isoterma

Modellizziamo l'atmosfera terrestre come un gas perfetto diatomico di massa molare  $M = 28$  g/mol e temperatura costante  $T = 300$  K. Determina la variazione della pressione  $P$  dell'atmosfera in funzione dell'altitudine  $z$ . Sapendo che la pressione a livello del suolo è  $P_0 = 10^5$  Pa, determina quindi la densità dell'atmosfera (i) a livello del suolo ( $z=0$ ) e (ii) quella sul Monte Bianco ( $z = 4800$  m).

### (G) Climatizzatore

Un climatizzatore d'appartamento funziona facendo compiere a un fluido un ciclo termodinamico in cui tutte le trasformazioni sono reversibili. Il fluido scambia calore con due termostati rispettivamente a temperatura  $T_c = 35^\circ$  (l'ambiente esterno all'appartamento) e  $T_f = 24^\circ$  (l'interno dell'appartamento). Indica con  $Q_c$  e  $Q_f$  il calore scambiato dal fluido durante un ciclo rispettivamente con il termostato caldo e con quello freddo. Indica con  $W$  il lavoro meccanico ricevuto dal fluido durante un ciclo. (i) Traccia il diagramma del climatizzatore e indica il segno di  $Q_c$ ,  $Q_f$  e  $W$ . (ii) Se  $W = 100$  J, quanto calore  $|Q_c|$  viene rilasciato nell'ambiente esterno all'appartamento per ciclo? Quanto calore  $|Q_f|$  viene estratto dall'appartamento? Commenta questo risultato.

# Introduzione alla fisica: Prova scritta [23/07/2021]

- Durata: 3 ore.
- La consultazione di appunti e documenti (scritti o in rete) non è autorizzata. L'uso della calcolatrice è autorizzato.
- Ricorda di giustificare i passaggi e di dettagliare i calcoli numerici.

Costanti:

- costante universale dei gas:  $R = 8.314 \text{ J/K/mol}$
- costante di Boltzmann:  $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
- accelerazione di gravità:  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- costante dielettrica del vuoto:  $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

## (A) Domande teoriche

1. Enuncia le tre leggi della dinamica newtoniana.
2. Dimostra che, per un corpo di massa  $m$  modellizzato come un punto materiale, la variazione di energia cinetica è pari al lavoro della risultante delle forze agenti sul corpo stesso (teorema dell'energia cinetica).
3. L'equazione di stato di van der Waals  $(P - a\frac{n^2}{V^2})(V - nb) = nRT$  permette di descrivere con buona approssimazione il comportamento fisico dei fluidi. Qual è il significato fisico e l'unità di misura nel sistema internazionale dei parametri  $a$  e  $b$ ?
4. Un modello teorico predice che la viscosità  $\eta$  di un liquido dipende dalla temperatura  $T$  secondo la relazione

$$\eta = \eta_0 \exp\left(\frac{E}{k_B T}\right)$$

dove  $\eta_0$  e  $E$  sono delle costanti per un dato liquido. Ti vengono forniti dei dati sperimentali per la viscosità della glicerina in fase liquida a diverse temperature: quale rappresentazione grafica dei dati permette di verificare facilmente la relazione predetta dal modello? Come puoi ottenere, da tale rappresentazione, il valore della costante  $E$ ?

5. Definisci le seguenti grandezze fisiche: (i) corrente termica, (ii) densità di corrente termica, (iii) conducibilità termica. Indica, per ciascuna di essa, l'unità di misura utilizzata nel sistema internazionale.

## (B) Ordini di grandezza

Determina l'ordine di grandezza del numero di molecole di azoto e ossigeno presenti nell'aria dell'aula in cui stai svolgendo l'esame.

## (C) Distanza di sicurezza

Un'automobile viaggia lungo una strada provinciale con velocità  $v_1$ . All'istante  $t_i$ , il guidatore scorge davanti a sé un'altra automobile che procede più lentamente, con velocità costante  $v_2 < v_1$ , e frena. Vogliamo determinare la distanza di sicurezza  $d_{\min}$  tra la due automobili, ovvero la distanza minima tra le due automobili affinché sia evitato l'urto, calcolata all'istante  $t_i$ .

1. Trova la distanza di sicurezza  $d_{\min}$  supponendo che i freni possano fornire un'accelerazione negativa costante  $a$ .
2. Calcola il valore numerico di  $d_{\min}$  se  $v_1 = 90$  km/h,  $v_2 = 45$  km/h e  $a = -5$  m/s.

### (D) Fluidodinamica

Una colonna cilindrica di base  $A$  e altezza  $H$  è riempita integralmente d'acqua, che supporremo si comporti come un fluido ideale. La parte superiore della colonna è aperta ed è esposta alla pressione atmosferica  $P_{\text{atm}}$ . Sul fondo della colonna si trova un'apertura di area  $A'$ , molto più piccola di  $A$ :  $A'/A \ll 1$ .

1. Sfruttando il teorema di Bernoulli, mostra che l'altezza del livello dell'acqua  $h$  varia nel tempo secondo l'equazione

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{A'}{A}\sqrt{2gh} \quad .$$

2. Determina il tempo necessario per svuotare completamente la colonna e calcola il suo valore numerico per  $H = 2$  m,  $A = 0.6$  m<sup>2</sup> e  $A' = 6 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>.

*Richiamo:* Il teorema di Bernoulli afferma che, per un fluido ideale,  $\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gz + P = \text{cost}$ , dove  $\rho$  è la densità del fluido,  $v$  la sua velocità,  $z$  è l'altitudine e  $P$  la pressione.

### (E) Ciclo termodinamico

Un motore termico funziona secondo il seguente ciclo di trasformazioni quasi-statiche:

- 1  $\rightarrow$  2: riscaldamento a volume costante
- 2  $\rightarrow$  3: espansione adiabatica
- 3  $\rightarrow$  1: raffreddamento a pressione costante

Il sistema che effettua il ciclo può essere modellizzato come un gas perfetto di costante  $\gamma$ .

1. Traccia il ciclo nel diagramma  $(P, V)$ .
2. Determina l'efficienza  $e$  del ciclo in funzione del solo tasso di compressione  $x = V_3/V_1$ , dove  $V_1$  e  $V_3$  sono le pressioni del gas rispettivamente negli stati 1 e 3.

### (F) Capacità elettrica equivalente

Un elettricista ha a disposizione tre condensatori piani, che chiameremo 1, 2 e 3, ciascuno composto da due piastre di area  $A = 100\text{cm}^2$ . La distanza tra le piastre è  $d_1 = 2$  mm,  $d_2 = 4$  mm e  $d_3 = 6$  mm rispettivamente nel condensatore 1, 2 e 3.

1. Calcola la capacità in Farad di ciascuno dei condensatori
2. Quale tra le seguenti configurazioni permette all'elettricista di ottenere la massima capacità equivalente? Giustifica la tua risposta.

# Introduzione alla fisica: Prova scritta [10/09/2021]

*Durata: 3 ore. La consultazione di appunti e documenti (scritti o in rete) non è autorizzata. L'uso della calcolatrice è autorizzato.*

**Ricorda di giustificare i passaggi e di dettagliare i calcoli numerici.**

*Costanti:*

- costante universale dei gas:  $R = 8.314 \text{ J/K/mol}$
- costante di Boltzmann:  $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
- accelerazione di gravità terrestre:  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- costante di gravitazione universale:  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$
- costante di Coulomb:  $k_e = 8.99 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$

## (A) Domande teoriche

1. Indica l'espressione della forza gravitazionale  $\vec{F}_g$  e della forza elettrostatica  $\vec{F}_e$  tra due corpi puntiformi, rispettivamente di massa  $m_1$  e  $m_2$  e di carica  $q_1$  e  $q_2$ .
2. Fornisci sinteticamente l'interpretazione microscopica delle seguenti grandezze termodinamiche: (i) temperatura e (ii) entropia.
3. Definisci (i) la conducibilità termica e (ii) la conducibilità elettrica. Per ciascuna grandezza, indica l'unità di misura nel sistema internazionale. In quali materiali le due grandezze risultano fortemente correlate?
4. Durante un esperimento di laboratorio, alcuni studenti di fisica misurano l'accelerazione di gravità terrestre  $g$ . Quali tra i seguenti risultati *non* sono riportati correttamente? Spiega chiaramente perchè.

a)  $9.81 \pm 0.02$    b)  $(9.82 \pm 0.02) \text{ m/s}^2$    c)  $(9.8 \pm 0.12) \text{ m/s}^2$    d)  $(9.81 \pm 0.32) \text{ m/s}^2$

## (B) Ordini di grandezza

Determina l'ordine di grandezza del numero di palline da ping-pong che potrebbero entrare (senza essere schiacciate) nell'aula in cui stai svolgendo l'esame.

## (C) Attrito viscoso

Un oggetto di massa  $m$  si muove in un fluido viscoso. La forza di attrito viscoso tra il corpo e il fluido è  $\vec{F}_v = -\xi\vec{v}$ , dove  $\xi$  è il coefficiente di attrito viscoso e  $\vec{v}$  la velocità del corpo. Sul corpo non agiscono altre forze. Scegliamo il sistema di coordinate in modo che la velocità del corpo all'istante  $t_i$  sia  $\vec{v}_i = v_i\vec{e}_x$  e che la posizione  $\vec{r}$  del corpo all'istante  $t_i$  coincida con l'origine del sistema di coordinate,  $\vec{r}_i = \vec{0}$ .

1. Determina la velocità dell'oggetto  $\vec{v}$  in funzione del tempo  $t$  e verifica che la massa s'immobilizza se  $t \rightarrow \infty$ .
2. Determina la posizione dell'oggetto  $\vec{r}$  in funzione del tempo  $t$ .
3. Determina la distanza totale percorsa dalla massa, tra  $t = t_i$  e  $t = \infty$ .

## (D) Bungee jumping

Una ragazza di 60kg fa "bungee jumping" lasciandosi cadere (senza velocità iniziale) da un ponte, legata ad una corda elastica assicurata al ponte stesso. La lunghezza a riposo della corda è 11 m. La ragazza raggiunge il punto più basso della traiettoria 36 m sotto il ponte, prima di rimbalzare verso l'alto. Vogliamo determinare la durata del volo, dall'istante iniziale  $t_i$  del salto a quello finale  $t_f$  in cui raggiunge *per la prima volta* il punto più basso della traiettoria.

Trascurando ogni forma di attrito, possiamo separare il moto tra  $t_i$  e  $t_f$  in due parti:

- caduta libera per i primi 11 metri
- moto armonico per i successivi 26 metri

Rispondi alle seguenti domande:

1. Per quale intervallo di tempo la ragazza rimane in caduta libera?
2. Qual è la costante elastica  $k$  della corda?
3. Qual è la durata totale  $t_f - t_i$  del volo?

## (E) Ciclo di Carnot

Consideriamo una mole di gas perfetto che effettua un ciclo di Carnot composto dalle seguenti trasformazioni reversibili

- $1 \rightarrow 2$  e  $3 \rightarrow 4$ : adiabatiche
- $2 \rightarrow 3$  e  $4 \rightarrow 1$ : isoterme

La temperatura del gas nello stato 1 è 400 K, le pressioni negli stati 1, 2 e 3 sono rispettivamente  $P_1 = 9$  bar,  $P_2 = 3$  bar e  $P_3 = 1$  bar. Il parametro  $\gamma = C_P/C_V$  vale  $7/5$ .

1. Traccia il ciclo nel diagramma  $(P, V)$  indicando sugli assi i valori numerici di pressione e volume in ciascuno degli stati
2. Determina il lavoro e il calore scambiato dal gas durante ciascuna delle trasformazioni. Il ciclo corrisponde a un motore termico o a un frigorifero?
3. Determina l'efficienza del ciclo e calcola il suo valore numerico.

## (F) Bollitore elettrico

Un bollitore ben isolato termicamente, dotato di un conduttore metallico interno, porta la temperatura di 1 kg di acqua da  $10^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$  in 10 minuti. Il bollitore funziona con una differenza di potenziale  $\Delta V = 110$  V. La capacità termica del conduttore e del bollitore sono trascurabili rispetto alla capacità termica dell'acqua (ricorda che la capacità termica per unità di massa dell'acqua in fase liquida è  $c = 4.18$  J/K/g). Supporremo inoltre l'acqua incompressibile.

1. Qual è la resistenza elettrica  $R$  del conduttore metallico all'interno del bollitore?
2. Stima il costo del riscaldamento dell'acqua, assumendo un prezzo di 5 centesimi di euro per kilowattora.

# Introduzione alla fisica: Prova scritta [29/09/2021]

*Durata: 3 ore. La consultazione di appunti e documenti (scritti o in rete) non è autorizzata. L'uso della calcolatrice è autorizzato.*

**Ricorda di giustificare i passaggi e di dettagliare i calcoli numerici.**

*Costanti:*

- costante universale dei gas:  $R = 8.314 \text{ J/K/mol}$
- costante di Boltzmann:  $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
- accelerazione di gravità terrestre:  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

## (A) Domande teoriche e concettuali

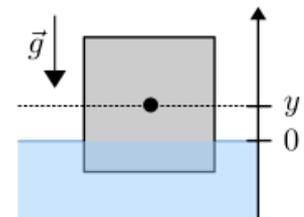
1. Su un corpo di massa  $m$  agiscono due forze  $\vec{F}_1 = F_{1x}\vec{e}_x$  e  $\vec{F}_2 = F_{2x}\vec{e}_x + F_{2y}\vec{e}_y$ , dove  $\vec{e}_x$  e  $\vec{e}_y$  sono i vettori di base associati rispettivamente all'asse  $x$  e  $y$ . Il corpo può muoversi solamente lungo l'asse  $x$ . Per quali valori di  $F_{1x}$ ,  $F_{2x}$  e  $F_{2y}$  il lavoro  $W$  compiuto dalla risultante delle forze è nullo? Se  $W$  è nullo, cosa puoi concludere circa la natura del moto del corpo?
2. Una macchina termica lavora a contatto con due termostati, rispettivamente a temperatura  $T_f$  e  $T_c > T_f$ . Definisci l'efficienza della macchina termica nel caso in cui essa sia (i) un motore termico o (ii) un frigorifero. In ciascuno dei casi, precisa il segno del calore scambiato dalla macchina termica con ciascun termostato e il segno del lavoro scambiato complessivamente dalla macchina termica con l'esterno nel corso di un ciclo.
3. Un dizionario di 760 pagine misura  $(4.2 \pm 0.1)$  cm di spessore. Quanto è spessa una pagina? Qual è l'incertezza sullo spessore di una pagina? Riporta il risultato finale nella forma  $X \pm \Delta X$ , facendo attenzione al numero di cifre significative.
4. Definisci le seguenti grandezze fisiche e indica, per ciascuna di essa, l'unità di misura utilizzata nel sistema internazionale: (i) modulo della quantità di moto, (ii) coefficiente di attrito dinamico, (iii) corrente elettrica, (iv) conducibilità elettrica.

## (B) Ordini di grandezza

Qual è l'ordine di grandezza del numero di molecole d'aria contenute in un palloncino gonfiabile di raggio  $r = 10 \text{ cm}$ ?

## (C) Galleggiante di sughero: statica

Un piccolo galleggiante di sughero, di forma cubica e lato  $L$ , è appoggiato sulla superficie dell'acqua. La densità del sughero è  $\rho_s$  e quella dell'acqua è  $\rho_a > \rho_s$ . Studiamo la condizione di equilibrio statico del galleggiante, supponendo che il cubo si disponga come nella figura qui sotto e possa muoversi unicamente lungo l'asse verticale (senza rotazione).



1. In condizioni di equilibrio statico, qual è il volume immerso  $V_{eq}$  del galleggiante?
2. Scegliamo l'origine dell'asse verticale come in figura, in modo che  $y$  individui l'altezza del centro del cubo (indicato in figura) rispetto alla superficie dell'acqua. Esprimi  $y$  in funzione del volume immerso  $V_i$ . Attenzione:  $V_i$  è il volume immerso in una configurazione qualsiasi, non necessariamente in equilibrio.

3. Determina  $y$  nei tre casi seguenti: (i)  $V_i = 0$ , (ii)  $V_i = L^3$  e (iii)  $V_i = V_{eq}$ . I casi (i) e (ii) ti permetteranno di verificare la correttezza dell'espressione trovata al punto 2.

### (D) Galleggiante di sughero: dinamica

Riprendiamo l'esercizio precedente per studiare, sotto le stesse ipotesi, il moto del galleggiante per piccoli spostamenti rispetto alla posizione di equilibrio.

1. Determina la risultante delle forze sul galleggiante in funzione dell'altezza  $y$  del centro rispetto alla superficie dell'acqua.
2. Definiamo la variabile  $\tilde{y} = y - y_{eq}$ , che misura lo scarto rispetto all'altezza dcdi equilibrio  $y_{eq}$  del galleggiante. Mostra che l'equazione del moto del galleggiante può essere espressa in termini della variabile  $x$  nel modo seguente

$$\frac{d^2\tilde{y}}{dt^2} = -\frac{\rho_s g}{\rho_a L}\tilde{y}$$

1. Determina il periodo delle oscillazioni del galleggiante attorno alla configurazione di equilibrio.

### (E) Variazione di entropia dell'acqua

Un litro di acqua in fase liquida, inizialmente a una temperatura di  $20^\circ$ , viene riscaldato quasi-staticamente a pressione atmosferica costante fino a raggiungere  $100^\circ$ . La capacità termica dell'acqua a pressione costante è  $c_P = 4.18 \times 10^3 \text{ J/K/kg}$  e la sua densità è  $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

1. Calcola il calore ricevuto dall'acqua durante la trasformazione.
2. Calcola la variazione di entropia  $\Delta S$  dell'acqua tra lo stato iniziale e quella finale.
3. Cosa ti permette di dedurre il segno di  $\Delta S$ ? Giustifica attentamente la tua risposta.

### (F) Doppio vetro

Una casa ha 6 finestre, ciascuna composta da un doppio pannello di vetro. Ciascun pannello ha spessore 5 mm e superficie  $A = 3 \text{ m}^2$ . La separazione tra i due pannelli del doppio vetro è 10 mm e lo spazio intermedio è riempito d'aria. La conducibilità termica del vetro  $\lambda_v = 2 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$  e quella dell'aria  $\lambda_a = 2 \times 10^{-2} \frac{\text{W}}{\text{mK}}$ .

1. Calcola la resistenza di una singola finestra.
2. Calcola il calore totale ceduto dalla casa attraverso le 6 finestre durante un'ora, se la temperatura interna è  $20^\circ\text{C}$  e quella esterna  $5^\circ\text{C}$ .

# Introduzione alla fisica: Prova scritta [11/02/2021]

*Durata: 3 ore. La consultazione di appunti e documenti (scritti o in rete) non è autorizzata. L'uso della calcolatrice è autorizzato.*

**Ricorda di giustificare i passaggi e di dettagliare i calcoli numerici.**

*Costanti:*

- costante universale dei gas:  $R = 8.314 \text{ J/K/mol}$
- costante di Boltzmann:  $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
- costante di gravitazione universale:  $G = 6.674 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$
- accelerazione di gravità terrestre:  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

## (A) Domande teoriche e concettuali

1. Determina la differenza percentuale tra l'accelerazione di gravità terrestre al polo nord e quella all'equatore, sapendo che la distanza tra il baricentro della terra e la superficie terrestre al polo nord è  $6.356 \times 10^6 \text{ m}$  mentre quella all'equatore è  $6.378 \times 10^6 \text{ m}$ .
2. Un sistema meccanico è caratterizzato dall'energia potenziale

$$U(x) = \epsilon \left[ 1 - \left( \frac{x}{\sigma} \right)^2 \right]^2$$

dove  $x$  è una coordinata spaziale che descrive la configurazione del sistema, mentre  $\epsilon$  e  $\sigma$  sono delle costanti. Determina le configurazioni di equilibrio del sistema, indicando per ciascuna di esse se l'equilibrio è stabile, instabile o indifferente. Traccia infine il profilo dell'energia potenziale  $U(x)$ .

3. Enuncia i primi due principi della termodinamica.
4. Definisci operativamente le seguenti grandezze fisiche e indica, per ciascuna di esse, l'unità di misura utilizzata nel sistema internazionale: (i) massa (inerziale), (ii) lavoro, (iii) quantità di moto.

## (B) Ordini di grandezza

La teoria cinetica dei gas permette di determinare la seguente relazione tra l'energia cinetica media di un gas perfetto e la sua temperatura  $T$

$$\frac{1}{2} m \langle |\vec{v}|^2 \rangle = \frac{3}{2} k_B T$$

dove  $\langle \rangle$  indica una media statistica e  $m$  è la massa delle molecole del gas. Utilizza questa relazione per stimare l'ordine di grandezza della velocità tipica  $\sqrt{\langle |\vec{v}|^2 \rangle}$  delle molecole d'aria a temperatura ambiente.

## (C) Misura del coefficiente di attrito

Un blocco di massa  $m$  è posto alla sommità di un piano inclinato di un angolo  $\theta$  rispetto all'orizzontale, nel campo di attrazione gravitazionale terrestre. L'angolo  $\theta$  può essere fatto variare a piacimento. Effettuando l'analisi delle forze agenti sul blocco, proponi un metodo per misurare (i) il coefficiente di attrito statico  $\mu_s$  tra blocco e piano e (ii) il coefficiente di attrito dinamico  $\mu_d$  tra blocco e piano.

### (D) Limonata

Stai bevendo una limonata, aspirandola con una cannuccia. La cannuccia è cilindrica, con un diametro  $d = 1$  cm. Il bicchiere è a sua volta cilindrico, con un diametro  $D = 8$  cm. La cannuccia è immersa fino al fondo del bicchiere e il suo foro di uscita si trova a un'altezza  $h = 20$  cm dal fondo del bicchiere. Bevi la limonata mantenendo, a partire dall'istante  $t = 0$ , un flusso costante di portata di  $1 \text{ cm}^3/\text{s}$ . All'istante  $t = 0$  il bicchiere contiene  $V_0 = 200$  ml di limonata. Supporremo che la limonata si comporti come un liquido ideale incomprimibile di densità  $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$ . Ti trovi nel campo gravitazionale terrestre, a pressione atmosferica  $P = 1$  bar.

1. Determina l'altezza  $z(t)$  della superficie della limonata rispetto al fondo del bicchiere in funzione del tempo  $t$ , a partire da  $t = 0$  fino all'istante  $t^*$  tale che  $z(t^*) = 0$ . Traccia il grafico di  $z(t)$ .
2. Calcola il tempo  $t^*$  necessario per bere la limonata.
3. Determina la pressione  $P_b(t)$  che devi esercitare nella tua bocca in funzione del tempo per aspirare la limonata a portata costante.
4. Calcola la pressione finale  $P_b(t^*)$  nel momento in cui finisci di bere la limonata.

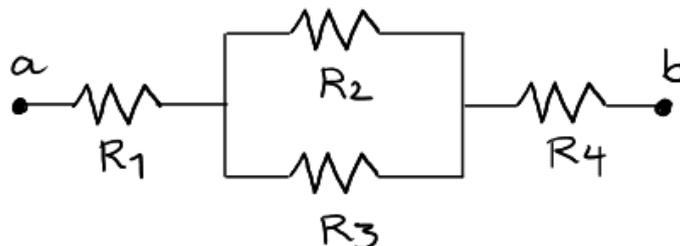
### (E) Frigorifero

Un frigorifero funziona grazie al ciclo termodinamico di un fluido che scambia calore con un termostato caldo a temperatura  $T_c = 40^\circ$  (l'ambiente esterno, ovvero l'aria nella parte retrostante il frigorifero) e un termostato freddo a  $T_f = 5^\circ$  (l'interno del frigorifero). Indica con  $Q_c$  e  $Q_f$  il calore scambiato dal fluido durante un ciclo, rispettivamente con il termostato caldo e con quello freddo. Indica con  $W$  il lavoro meccanico ricevuto dal fluido durante un ciclo. Supponi che le trasformazioni del fluido siano reversibili.

1. Traccia il diagramma termodinamico del frigorifero e indica il segno di  $Q_c$ ,  $Q_f$  e  $W$ .
2. Determina l'efficienza del frigorifero.
3. Sapendo che il frigorifero assorbe una potenza media pari a  $200 \text{ W}$  e che essa viene utilizzata integralmente per fornire il lavoro meccanico ricevuto dal fluido, calcola il flusso termico medio trasmesso dal frigorifero all'ambiente esterno.

### (F) Resistenza equivalente

Trova la resistenza equivalente tra i punti a e b indicati in figura e calcola la corrente in ciascuna delle resistenze se viene applicata una differenza di potenziale di  $12 \text{ V}$  tra i punti a e b. Dati:  $R_1 = 5\Omega$ ,  $R_2 = 10\Omega$ ,  $R_3 = 20\Omega$ ,  $R_4 = 5\Omega$ .



# Introduzione alla fisica: Prova scritta [25/02/2021]

*Durata: 3 ore. La consultazione di appunti e documenti (scritti o in rete) non è autorizzata. L'uso della calcolatrice è autorizzato.*

**Ricorda di giustificare i passaggi e di dettagliare i calcoli numerici.**

*Costanti:*

- costante universale dei gas:  $R = 8.314 \text{ J/K/mol}$
- costante di gravitazione universale:  $G = 6.674 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$
- accelerazione di gravità terrestre:  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

## (A) Domande teoriche e concettuali

1. Fornisci la definizione di (i) urto elastico e (ii) urto anelastico. Durante un urto anelastico, la quantità di moto è conservata?
2. Fornisci l'espressione dell'energia interna  $U$  e del calore specifico  $C_V$  di  $N$  particelle di gas perfetto monoatomico. Giustifica l'espressione dell'energia interna utilizzando il teorema di equipartizione dell'energia.
3. Le seguenti equazioni mettono in relazione la velocità di un corpo  $v$ , la sua accelerazione  $a$ , una lunghezza  $d$  e un intervallo di tempo  $t$ :

$$(a) a = \frac{v^2}{d^3} \quad (b) d = vt + at^2 \quad (c) \frac{1}{t} = \frac{v}{a} \quad (d) 1 = \log\left(\frac{vt}{d}\right)$$

Usa l'analisi dimensionale per stabilire quali equazioni sono fisicamente accettabili e quali no, spiegando in ciascun caso perchè.

4. Il lato di un cubo di legno è  $(9.1 \pm 0.2)$  cm e la sua massa è  $(0.52 \pm 0.02)$  kg. A partire da queste due misure, calcola la densità in  $\text{kg/m}^3$  e l'incertezza ad essa associata, riportando il risultato nella forma  $\rho \pm \Delta\rho$ .

## (B) III legge di Keplero

Consideriamo il moto circolare di una massa  $m$  attorno ad un'altra massa  $M$  fissa all'origine di un sistema di riferimento inerziale.

1. Mostra che il periodo di rotazione  $\tau$  della massa  $m$  è proporzionale a  $R^{3/2}$ , dove  $R$  è il raggio dell'orbita (III legge di Keplero).
2. Per che fattore bisogna moltiplicare il raggio affinché il periodo raddoppi?
3. Quale rappresentazione grafica permette di verificare facilmente la III legge di Keplero a partire da un insieme di dati sperimentali?

## (C) Gita in montagna

Stai per fare una gita in montagna sull'altopiano del Montasio nelle alpi Giulie, situato a un'altitudine di 1800 m. Vuoi stimare la pressione atmosferica a cui ti troverai una volta arrivato lassù.

Assumeremo che la temperatura dell'atmosfera terrestre diminuisca in funzione dell'altitudine  $y$  secondo l'equazione

$$T(y) = T_0 - \alpha y$$

dove  $T_0$  è la temperatura dell'atmosfera a livello del mare e  $\alpha$  è una costante positiva chiamata "gradiente termico". Assumeremo inoltre che l'atmosfera si comporti come un gas perfetto di massa molare  $M_A = 28$  g/mol.

1. Determina l'espressione della pressione dell'atmosfera  $P(y)$  in funzione dell'altitudine  $y$ , sapendo che  $P_0 = P(y = 0)$  è la pressione a livello del mare.
2. Calcola la pressione sull'altopiano del Montasio, sapendo che la temperatura misurata lassù è  $5^\circ$  e che a livello del mare la temperatura è  $T_0 = 20^\circ$  e la pressione  $P_0 = 10^5$  Pa.

### (D) Motore a due tempi

Un motore a combustione interna a due tempi funziona secondo il seguente ciclo di trasformazioni quasi-statiche di una miscela di aria e carburante:

- 1  $\rightarrow$  2: combustione a volume costante
- 2  $\rightarrow$  3: espansione adiabatica
- 3  $\rightarrow$  1: raffreddamento a pressione costante

Il modello utilizzato in questo esercizio corrisponde a un ciclo di un sistema chiuso, in cui la miscela di aria e carburante è descritta come un gas perfetto di costante  $\gamma$ .

1. Traccia il ciclo nel diagramma  $(P, V)$
2. Determina l'efficienza del ciclo in funzione di  $\gamma$  e di  $V_3$  e  $V_1$ , ovvero i volumi del gas rispettivamente negli stati 3 e 1.
3. Calcola l'efficienza per un gas perfetto diatomico ( $\gamma = 1.4$ ) e un tasso di compressione  $x = V_3/V_1 = 4$

### (E) Risparmio energetico

Vuoi cambiare le 5 finestre del tuo appartamento per migliorare l'efficienza energetica. Allo stato attuale, tutte le finestre sono a vetro singolo di spessore  $d_1 = 10$  mm e conducibilità termica  $\lambda = 1 \frac{W}{mK}$ . Ogni finestra ha una superficie di  $3m^2$ . Una ditta di costruzioni ti propone di sostituirle con finestre a doppio vetro di uguale superficie, in cui ciascun vetro ha spessore  $d_2 = 5$  mm e conducibilità termica  $\lambda = 1 \frac{W}{mK}$ . I due vetri che compongono la finestra sono distanziati di  $D = 5$  mm e lo spazio intermedio è riempito di gas rarefatto di conducibilità termica  $\lambda_g = 3 \times 10^{-2} \frac{W}{mK}$ .

1. Calcola la resistenza termica di una finestra a vetro singolo
2. Calcola la resistenza termica di una finestra a doppio vetro
3. Definiamo il risparmio energetico come il rapporto tra il flusso termico prima della sostituzione delle finestre e quello dopo la sostituzione. Assumendo che la resistenza termica media di pareti, soffitto e pavimento resti invariato prima e dopo la sostituzione delle finestre, e sia pari a  $2 \times 10^{-3} \frac{K}{W}$ , determina il risparmio energetico introdotto dalla sostituzione delle finestre.