

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

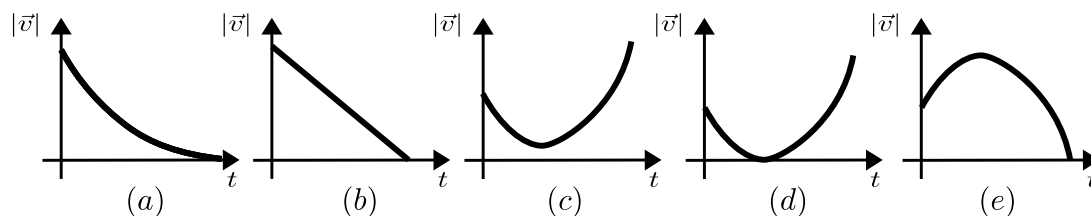
- Durata: 3 ore.
- La consultazione di appunti e documenti (scritti o in rete) non è autorizzata. L'uso della calcolatrice è autorizzato.
- Ricorda di giustificare i passaggi e di dettagliare i calcoli numerici.

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

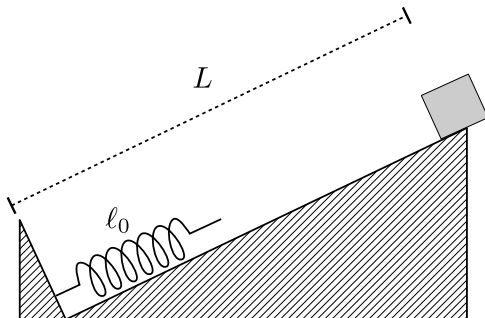
Un piccolo oggetto di massa  $m = 30$  g è sospeso a un filo di lunghezza  $L = 2$  m. La palla ruota percorrendo una traiettoria circolare di raggio  $r = 1$  m con velocità di modulo costante, in modo che il filo descrive la superficie di un cono. Determina il periodo di rotazione dell'oggetto.

### (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 diatomo 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:  $R = 8.314$  J/K/mol
- costante di Boltzmann:  $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$  J/K
- accelerazione di gravità:  $g = 9.81$  m/s<sup>2</sup>
- costante dielettrica del vuoto:  $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$  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 le 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,  $\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z + P = \text{cost}$ , 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  $d_1 = 2\text{ mm}$ ,  $d_2 = 4\text{ mm}$  e  $d_3 = 6\text{ mm}$  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°C a 100°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:  $R = 8.314$  J/K/mol
- costante di Boltzmann:  $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$  J/K
- accelerazione di gravità terrestre:  $g = 9.81$  m/s<sup>2</sup>

## (A) Domande teoriche e concettuali

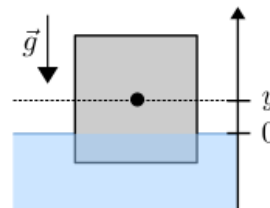
1. Su un corpo di massa  $m$  agiscono due forze  $\vec{F}_1 = F_{1x}\vec{e}_x$  e  $\vec{F}_2 = F_{2x}\vec{e}_x + F_{2y}\vec{e}_y$ , dove  $\vec{e}_x$  e  $\vec{e}_y$  sono i vettori di base associati rispettivamente all'asse  $x$  e  $y$ . Il corpo può muoversi solamente lungo l'asse  $x$ . Per quali 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  $r = 10$  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 di equilibrio  $y_{eq}$  del galleggiante. Mostra che l'equazione del moto del galleggiante può essere espressa in termini della variabile  $\tilde{y}$  nel modo seguente

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

e 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 incompressibile 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.

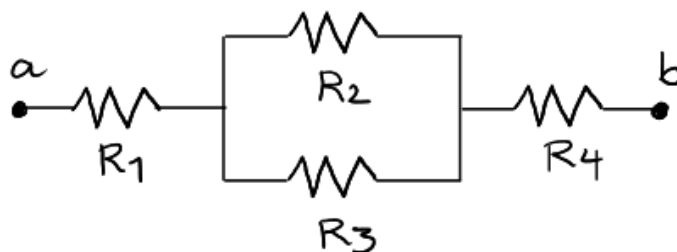
### (E) Frigorifero

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  $(9.1 \pm 0.2) \text{ cm}$  e la sua massa è  $(0.52 \pm 0.02) \text{ kg}$ . 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.

## Introduzione alla fisica: Prova scritta [24/06/2022]

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

## (A) Domande teoriche e concettuali

1. Che cosa si intende per forza conservativa? Dimostra che la forza di attrito radente in regime dinamico non è conservativa.
2. Un libro di fisica di 320 pagine misura  $(2.7 \pm 0.1)$  cm di spessore. Qual è lo spessore di 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.
3. L'interazione tra due particelle è descritta dalla seguente energia potenziale

$$E_p(r) = \epsilon \left[ \left( \frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left( \frac{\sigma}{r} \right)^6 \right]$$

dove  $\sigma$  e  $\epsilon$  sono delle costanti e  $r$  è la distanza tra le particelle. Traccia qualitativamente il grafico di  $E_p$  in funzione di  $r$  e determina l'espressione della posizione di equilibrio  $r_{eq}$

meccanico delle due particelle. Quale tipo di moto effettuano le particelle se la loro distanza differisce di poco da  $r_{eq}$ ? Giustifica la tua risposta.

4. In cosa consiste una trasformazione quasi-statica? Spiega la sua utilità ai fini del calcolo della variazione di una variabile di stato in una trasformazione termodinamica.
5. 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?

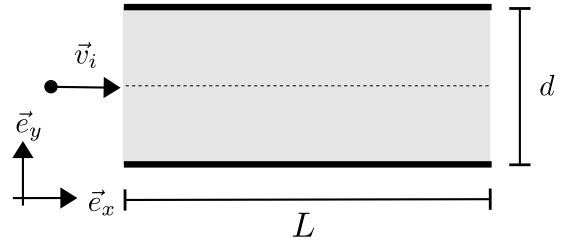
## (B) Luna park

In un'attrazione da luna park, le persone siedono su un seggiolino che segue una traiettoria circolare di raggio  $R = 5$  m mantenendo una velocità di modulo costante. Sapendo che l'accelerazione massima tollerata dall'uomo per questo tipo di moto è pari a  $8g$ , calcola il massimo numero di giri al minuto che potrà effettuare la ruota.



## (C) Protone in campo elettrico costante

Un protone di carica  $e$  e massa  $m$  entra in una regione compresa da due piastre metalliche, indicata da una regione grigia in figura, in cui è presente un campo elettrico costante  $\vec{E} = |\vec{E}|\vec{e}_y$ . In tale regione, sul protone non agiscono altre forze. Le due piastre sono separate da una distanza  $d$  e hanno lunghezza  $L$ . Il protone entra a metà altezza tra le due piastre e con una velocità  $\vec{v}_i = |\vec{v}|\vec{e}_x$  come indicato in figura.



1. Determina la velocità iniziale minima  $v_{min}$  (in modulo) del protone affinché esso esca dalla regione compresa tra le piastre, senza urtare contro di esse.
2. Supponendo  $|\vec{v}| > v_{min}$ , determina l'angolo di uscita  $\theta$ , ovvero l'angolo tra  $\vec{e}_x$  e il vettore velocità  $\vec{v}_f$  nell'istante in cui il protone esce dalla regione compresa tra le piastre.

## (D) Atmosfera isoterma

Supponi che l'atmosfera possa essere descritta come un gas perfetto di massa molare  $M_A = 28$  g/mol e di temperatura costante  $T = 300$  K e che valga l'equazione

$$\frac{dP}{dz} = -\rho g$$

dove  $P$  è la pressione dell'aria,  $\rho$  la sua densità e  $z$  è l'altitudine rispetto al livello del suolo. Tale equazione esprime la condizione di equilibrio meccanico per un fluido.

1. Determina la densità  $\rho$  in funzione di  $z$ , sapendo che la densità dell'aria al suolo è  $\rho_0$ .
2. A quale altitudine la densità dell'aria diventa pari alla metà di quella a livello del suolo?

### (E) Climatizzatore

Un climatizzatore d'appartamento funziona facendo compiere a un fluido un ciclo termodinamico composto da trasformazioni che supporremo 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 scambiato dal fluido durante un ciclo.

1. Traccia il diagramma termodinamico del climatizzatore e indica il segno di  $Q_c$ ,  $Q_f$  e  $W$ .
2. Di quanto varia l'entropia del fluido dopo un ciclo? Giustifica la tua risposta.
3. 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 [20/07/2022]

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

### (A) Domande teoriche e concettuali

1. Utilizzando il teorema dell'energia cinetica, dimostra che l'energia meccanica di un sistema su cui agiscono soltanto forze conservative è costante.
2. L'equazione di stato  $P(V - \alpha N) = Nk_B T$ , dove  $N$  è il numero di particelle e  $\alpha$  è un parametro, permette di descrivere con buona approssimazione il comportamento fisico di alcuni gas diluiti. Traccia l'equazione di stato nel diagramma  $(P, V)$ . In cosa differisce da quella dei gas perfetti? Qual è il significato fisico del parametro  $\alpha$  e qual è la sua unità di misura nel sistema internazionale?
3. Enuncia i primi due principi della termodinamica e descrivi sinteticamente il loro significato fisico.



4. Dimostra la legge di associazione in serie delle resistenze termiche ( $R = R_1 + R_2$ ) e poi quella delle resistenze termiche in parallelo ( $1/R = 1/R_1 + 1/R_2$ ). Per quale ragione tali leggi sono formalmente identiche a quelle trovate per le resistenze elettriche?

### (B) Pneumatici

Prima di partire per un viaggio in automobile, misuri la pressione degli pneumatici e trovi che il manometro indica 2.1 bar. La temperatura esterna è  $20^\circ$ . Alla prima sosta in autostrada, misuri nuovamente la loro pressione e ottieni 2.6 bar. E' importante notare che la pressione indicata dal manometro non è la pressione  $P$  dell'aria contenuta negli pneumatici, ma è  $P - P_{\text{atm}}$ , dove  $P_{\text{atm}}$  è la pressione atmosferica. Supponendo che l'aria contenuta negli pneumatici si comporti come un gas perfetto e che il volume da esso occupato sia costante, stima la temperatura dell'aria dentro gli pneumatici durante il viaggio.

*Nota:* il controllo della pressione degli pneumatici va sempre fatto "a freddo", entro una decina di chilometri dalla partenza, mai durante un viaggio!

### (C) Sfida!

Puoi far scivolare un piccolo oggetto metallico di massa  $m$  lungo un tavolo di legno la cui superficie è ortogonale a  $\vec{g}$ . L'attrito viscoso dell'oggetto con l'aria è trascurabile, ma non il coefficiente di attrito radente in regime dinamico ( $\mu_d > 0$ ). Un amico ti sfida a lanciare l'oggetto in modo che esso si fermi il più vicino possibile al bordo del tavolo. Durante il moto, l'oggetto resta sempre a contatto con il tavolo. La distanza tra il punto in cui lanci l'oggetto e il bordo del tavolo è  $L$ .

1. Determina l'espressione della velocità iniziale  $v_i$  che devi imprimere all'oggetto per farlo arrivare precisamente sul bordo del tavolo e vincere la sfida.
2. Calcola  $v_i$  utilizzando i seguenti valori numerici:  $m = 50$  g,  $\mu_d = 0.2$ ,  $L = 30$  cm.

### (D) Atmosfera terrestre

Modellizziamo l'atmosfera terrestre come un gas perfetto di massa molare  $M = 28$  g/mol a temperatura costante  $T = 20^\circ$ . Supponiamo inoltre che l'atmosfera sia in condizioni di equilibrio locale e che valga la legge fondamentale della fluidostatica.

1. Determina la variazione della pressione  $P$  dell'atmosfera in funzione dell'altitudine  $z$ . La pressione a livello del suolo è  $P_{\text{atm}}$ .
2. Determina la densità  $\rho$  in funzione di  $z$ .
3. A quale altitudine la densità dell'aria diventa pari alla metà di quella a livello del suolo?

## (E) Ciclo di Carnot

Consideriamo una mole ( $n = 1$ ) di gas perfetto che effettua un ciclo di Carnot composto dalle seguenti trasformazioni reversibili

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

La temperatura del gas nello stato 1 è 410 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 ( $P, V$ )
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? Perché?
3. Calcola l'efficienza del ciclo.

## Introduzione alla fisica: Prova scritta [05/09/2022]

*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:  $R = 8.314$  J/K/mol
- costante di gravitazione universale:  $G = 6.674 \times 10^{-11}$  Nm<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>
- accelerazione di gravità terrestre:  $g = 9.8$  m/s<sup>2</sup>
- caloria: 1 cal = 4.18 J

## (A) Domande teoriche e concettuali

1. Fornisci una definizione operativa di forza e di massa. Esprimi quindi il secondo principio della dinamica newtoniana.
2. Un oscillatore armonico è composto da un corpo di massa  $m$  agganciato 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.
3. Un cilindro misura  $12.5 \pm 0.1$  cm di altezza e  $4.0 \pm 0.1$  cm di raggio. Determina l'incertezza relativa sul volume  $V$  del cilindro. Riporta il volume del cilindro nella forma  $V \pm \Delta V$ .
4. All'interno di un materiale è presente un campo elettrico  $\vec{E}$ . Definisci la differenza di potenziale elettrico  $\Delta V = V_A - V_B$  tra due punti A e B del materiale. A partire da quale legge fisica

è possibile ottenere la relazione  $\Delta V = RI$ , dove  $I$  è la corrente elettrica e  $R$  è la resistenza elettrica del materiale?

### (B) Accelerazione di gravità e latitudine

Stima il rapporto  $g_e/g_p$  tra l'accelerazione di gravità terrestre all'equatore e quella ai poli sapendo che il rapporto tra il raggio terrestre all'equatore e quello ai poli è  $R_e/R_p = 1.0034$ .

### (C) Palloncino nell'atmosfera

Un palloncino di forma sferica riempito di elio e ossigeno, di raggio  $r = 30$  cm e di massa complessiva  $m = 30$  g, è lasciato libero nell'atmosfera terrestre. Supponi che l'atmosfera sia in condizioni di equilibrio locale e che valga la legge fondamentale della fluidostatica. Modellizza l'aria presente nell'atmosfera come un gas perfetto di massa molare  $M = 28$  g/mol e di temperatura costante  $T = 300$  K.

1. Determina la variazione della pressione  $P$  in funzione dell'altitudine  $z$ , sapendo che la pressione a livello del suolo è  $P_0 = 10^5$  Pa.
2. A quale altitudine  $z_*$  il palloncino sarà in equilibrio statico?
3. Tale equilibrio è stabile, instabile o indifferente? Giustifica la tua risposta.

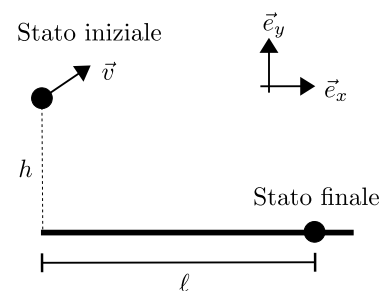
### (D) Getto del peso

Stabiliamo un semplice modello fisico per il "getto del peso" (specialità dell'atletica leggera).

Modellizzeremo il peso come una particella di massa  $m$ , di dimensioni trascurabili e senza attrito con l'aria. Il peso viene lanciato dall'atleta da un'altezza  $h$  rispetto al suolo. Scegliamo una base cartesiana  $\{\vec{e}_x, \vec{e}_y\}$  con  $\vec{e}_x$  parallelo al suolo. Le componenti cartesiane della velocità iniziale sono  $v_x$  e  $v_y$ .

1. Sotto queste ipotesi, determina l'espressione della gittata  $\ell$  del peso, ovvero la distanza tra la proiezione del peso sull'asse  $x$  al momento del lancio e la posizione in cui il peso tocca terra. vedi figura qui accanto in basso.

2. Quali parametri influenzano la gittata del peso e in che modo? Come si potrebbe sfruttare il modello per migliorare i risultati dell'atleta?



## (E) Produzione di ghiaccio

Un frigorifero riceve una potenza  $P = 100W$  e mantiene al suo interno una temperatura  $T_f = -5^\circ$  costante. La temperatura dell'ambiente retrostante, a cui il frigorifero cede calore, è  $T_c = 40^\circ$ . Supporremo che il frigorifero funzioni su cicli di durata  $\Delta t = 1s$  composti da trasformazioni reversibili.

Inseriamo nel frigorifero un litro d'acqua liquida a temperatura ambiente  $T_a = 20^\circ$ . Trascuriamo per semplicità la variazione della temperatura interna  $T_f$  a seguito dell'introduzione dell'acqua nel frigorifero. Determina il tempo necessario affinché l'acqua liquida si trasformi integralmente in ghiaccio e raggiunga la temperatura  $T = T_f$ .

*Dati:*

- Capacità termica molare del ghiaccio  $c_s = 9 \text{ cal/K/mol}$
- Capacità termica molare dell'acqua liquida  $c_l = 18 \text{ cal/K/mol}$
- Calore latente molare di fusione  $L_f = 1440 \text{ cal/mol}$
- Massa molare dell'acqua:  $M = 18 \text{ g/mol}$

## Introduzione alla fisica: Prova scritta [30/09/2022]

*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. (i) Fornisci l'espressione vettoriale della forza gravitazionale  $\vec{F}_{12}$  su un corpo di massa  $m_1$  dovuta a un corpo di massa  $m_2$ . (ii) Un esperimento permette di determinare il modulo  $|\vec{F}_{12}|$  della forza gravitazionale in funzione della distanza  $r$  tra i due corpi. Quale grafico permette di verificare facilmente la relazione attesa tra queste due grandezze? Giustifica la tua risposta.
2. Le seguenti equazioni mettono in relazione un'energia  $E$ , la massa di un corpo  $m$ , la sua temperatura  $T$ , la sua velocità  $\vec{v}$  e la sua altezza rispetto al suolo  $h$

$$(a) E = \frac{1}{2}m(\vec{v} \cdot \vec{v}) \quad (b) E = \exp\left(-\frac{mgh}{k_B T}\right) \quad (c) E = \frac{\pi^2}{4}k_B T \quad (d) E = \frac{2(mgh)^2}{m|\vec{v}|^2}$$

Utilizzando l'analisi dimensionale, stabilisci quali equazioni sono fisicamente accettabili e quali

no, spiegando in ciascun caso perchè.

3. (i) Enuncia il secondo principio della termodinamica e (ii) fornisci un'interpretazione microscopica dell'entropia.
4. 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?

### (B) Incidente autostradale

Nel corso di un incidente in autostrada, un'automobile subisce un urto perfettamente anelastico contro un automezzo in panne, fermo in mezzo all'autostrada. Stima l'ordine di grandezza dell'energia (in Joule) dissipata durante l'urto.

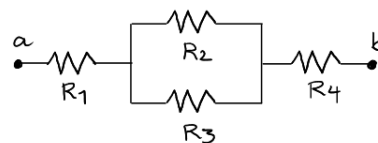
### (C) Massa appesa a una molla nel campo di gravità terrestre

Una molla ideale di massa trascurabile e di costante elastica  $k$  è agganciata a un'estremità al soffitto di una stanza. Scegliamo l'origine del sistema di coordinate in corrispondenza della posizione dell'estremità libera della molla a riposo. Una corpo di massa  $m$  viene quindi appeso all'estremità libera della molla e si può muovere lungo l'asse  $z$ . Tale asse è orientato parallelamente al vettore accelerazione di gravità terrestre,  $\vec{g} = g\vec{e}_z$ .

1. Determina la posizione di equilibrio  $z_{eq}$  del corpo.
2. Esprimi l'energia potenziale  $E_p$  del sistema {molla, corpo} in funzione di  $z$ . L'equilibrio trovato al punto precedente è stabile, instabile o indifferente? Giustifica la tua risposta.
3. Scrivi l'equazione del moto del corpo e risolvi, determinando la funzione  $z(t)$  con le condizioni iniziali seguenti:  $z(0) = z_{eq} + \delta$ ,  $v_z(0) = 0$ .

### (D) Circuito elettrico con resistenze

1. Enuncia le regole di composizione delle resistenze elettriche in serie e in parallelo.
2. Trova quindi la resistenza equivalente tra i punti  $a$  e  $b$  indicati in figura. I valori delle resistenze sono  $R_1 = 4\Omega$ ,  $R_2 = 8\Omega$ ,  $R_3 = 10\Omega$ ,  $R_4 = 8\Omega$ .
3. Calcola la corrente in ciascuna delle resistenze se viene applicata una differenza di potenziale di 12V tra  $a$  e  $b$ .



### (E) Ciclo di Otto

Consideriamo il ciclo di Otto per descrivere un motore a combustione. La miscela di gas e carburante sarà modellizzata come un gas perfetto diatomico di parametro  $\gamma = 1.4$  che effettua un ciclo composto dalle seguenti trasformazioni quasi-statiche:

- 1 → 2: compressione adiabatica
- 2 → 3: riscaldamento isocoro
- 3 → 4: espansione adiabatica
- 4 → 1: raffreddamento isocoro

Il rapporto  $x = V_1/V_2$  tra il volume occupato dal gas nello stato 1 e quello occupato nello stato 2 definisce il tasso di compressione del motore.

1. Traccia il ciclo nel diagramma  $(P, V)$ .
2. Determina l'efficienza  $e$  del motore ed esprimila quindi in funzione dei soli parametri  $\gamma$  e  $x$ .
3. Calcola il tasso di compressione necessario a raggiungere un'efficienza del 50%.

## Introduzione alla fisica: Prova scritta [20/01/2023]

*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:  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

### (A) Domande teoriche e concettuali

1. Enuncia i tre principi della dinamica newtoniana
2. Alcune misure sperimentali del moto di un corpo che segue un'orbita circolare di raggio  $r$  permettono di determinare l'accelerazione centripeta  $a_c$  in funzione del modulo della velocità del corpo  $v$ . (a) Spiega perchè un grafico in scala logaritmica (log-log) permette di verificare facilmente la relazione tra  $a_c$  e  $v$ , per  $r$  fissato. (b) Come cambierà il grafico discusso al punto (a) se le misure sono ripetute per un valore  $r' = 2r$  del raggio?
3. Un sistema meccanico è caratterizzato dall'energia potenziale

$$U(x) = \epsilon \left[ 1 - \left( \frac{x}{\sigma} \right)^3 \right]^2$$

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

4. Definisci le seguenti grandezze fisiche e indica per ciascuna l'unità di misura nel sistema internazionale: (a) entropia di Boltzmann, (b) coefficiente di attrito statico, (c) costante

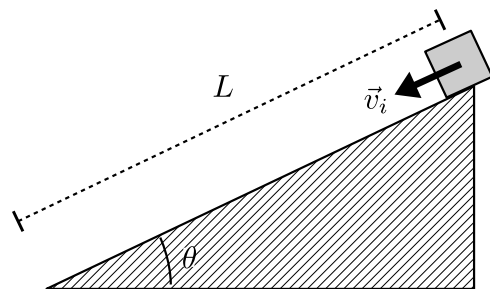
elastica, (d) conducibilità elettrica.

## (B) Ordini di grandezza

Stima l'ordine di grandezza della massa di acqua liquida presente sulla terra.

## (C) Piano inclinato con attrito

Un cubo di massa  $m$  viene fatto scivolare lungo un piano inclinato di lunghezza  $L$ . La velocità iniziale del cubo è orientata lungo il piano, diretta verso il basso, con modulo  $v_i$ . La pendenza del piano rispetto all'orizzontale è  $\theta$ . Il coefficiente di attrito dinamico tra il cubo e il piano è  $\mu_d$ .



1. Mostra che esiste un angolo  $\theta^*$  tale che se  $\theta < \theta^*$  il moto è uniformemente accelerato con accelerazione  $\vec{a}$  opposta in verso a  $\vec{v}_i$ .
2. Supponendo  $\theta < \theta^*$ , determina la velocità iniziale minima affinché il cubo arrivi in fondo al piano.

## (D) Raffreddamento di una bibita

Vuoi raffreddare una bibita (330 mℓ), inizialmente a temperatura ambiente  $T_a = 25^\circ$ , utilizzando dei cubetti di ghiaccio di volume  $V = 1 \text{ cm}^3$ , inizialmente a temperatura  $T_i = -5^\circ$ . Supporremo che la densità della bibita e la sua capacità termica siano uguali a quelle dell'acqua liquida. Quanti cubetti di ghiaccio devi utilizzare affinché la temperatura della bibita, una volta che i cubetti si sono sciolti integralmente, sia inferiore a  $5^\circ$ ?

*Dati:*

- densità del ghiaccio  $\rho_g = 0.92 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ .
- massa molare dell'acqua  $M = 18 \text{ g/mol}$
- capacità termica molare del ghiaccio  $c_g = 9 \text{ cal/K/mol}$
- capacità termica molare dell'acqua liquida  $c_l = 18 \text{ cal/K/mol}$
- calore latente molare di fusione del ghiaccio  $L_f = 1440 \text{ cal/mol}$

## (E) Doppio vetro ed efficienza energetica

Un appartamento ha quattro finestre. Due di essere sono composte da un doppio pannello di vetro ("doppio vetro"); le altre due sono a pannello singolo ("vetro singolo"). Ciascun pannello di vetro ha spessore 5 mm e superficie  $A = 3 \text{ m}^2$ . La separazione tra i pannelli del doppio vetro

è 10 mm e lo spazio intermedio è riempito d'aria. La conducibilità termica del vetro  $\lambda_v = 2 \frac{W}{mK}$  e quella dell'aria  $\lambda_a = 2 \times 10^{-2} \frac{W}{mK}$ .

1. Calcola la corrente termica ceduta dalla casa all'ambiente esterno attraverso le 4 finestre se la temperatura interna è  $20^\circ C$  e quella esterna  $5^\circ C$ .
2. Di che fattore verrebbe ridotta la corrente termica se le 2 finestre a vetro singolo venissero sostituite con finestre a doppio vetro?



# Introduzione alla fisica: Prova scritta [23/06/2023]

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

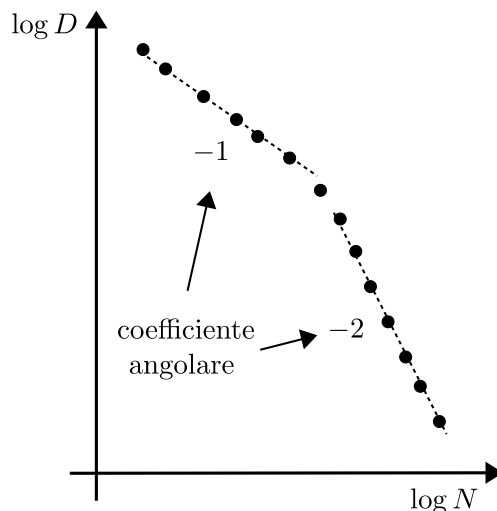
**Ricorda di giustificare i passaggi e di dettagliare i calcoli numerici.**

*Costanti:*

- costante di Boltzmann:  $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$  J/K
- accelerazione di gravità terrestre:  $g = 9.8$  m/s<sup>2</sup>

## (A) Domande teoriche e concettuali

1. Definisci *operativamente* le seguenti grandezze fisiche: (i) forza; (ii) massa inerziale.
2. Enuncia il secondo principio della termodinamica. Fornisci quindi l'interpretazione microscopica dell'entropia secondo Boltzmann.
3. Dimostra la legge di associazione in serie e in parallelo delle resistenze termiche. Per quale ragione tali leggi sono formalmente identiche a quelle trovate per le resistenze elettriche?
4. I materiali plastici sono composti da lunghe molecole a forma di catena. Moderne tecniche di sintesi permettono di controllare precisamente il numero  $N$  di atomi contenuti in ciascuna molecola. Inoltre, quando tali materiali sono in fase liquida, le molecole si muovono all'interno del materiale e il moto del loro centro di massa può essere quantificato da una grandezza fisica  $D$ , chiamata coefficiente di diffusione. La relazione tra  $D$  e  $N$  è oggetto di studio in fisica statistica ed è illustrata nella figura qui accanto per un tipico materiale plastico. Quale legge fisica lega  $D$  e  $N$  se le molecole sono corte (cioè, se  $N$  è piccolo)? E se sono lunghe? Giustifica la tua risposta.

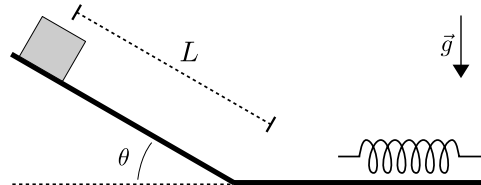


## (B) Ordini di grandezza

Stima l'energia cinetica della terra associata al moto del suo centro di massa attorno al sole (distanza terra-sole:  $R = 1.5 \times 10^8$  km).

### (C) Molla

Un corpo di massa  $m = 0.5$  kg può scivolare senza attrito lungo un piano inclinato di un angolo  $\theta = 30^\circ$  rispetto all'orizzontale. Il corpo si trova a una distanza  $L = 1$  m dal punto di raccordo con un piano orizzontale, privo di attrito, al cui fondo è fissata una molla ideale di costante elastica  $k = 100 \text{ N/m}$ .



1. Calcola il modulo della velocità del corpo nel punto di raccordo con il piano orizzontale.
2. Calcola la massima compressione della molla quando il corpo giunge a contatto con essa.
3. Determina l'altezza massima raggiunta dal corpo sul piano inclinato, nel ritornare indietro dopo l'urto con la molla.

### (D) Caduta libera

Una sfera di massa  $m$  è in caduta libera nell'atmosfera terrestre, in prossimità della superficie. Oltre alla forza peso  $m\vec{g}$ , il corpo è sottoposto a una forza di attrito viscoso di modulo  $\vec{F}_v = -a\vec{v}$ , dove  $a$  è una costante. La sfera viene lasciata cadere con velocità iniziale nulla da un'altezza  $h$ .

1. Determina il modulo della velocità  $v = |\vec{v}|$  in funzione del tempo.
2. Determina la velocità limite,  $v_\ell = \lim_{t \rightarrow \infty} v$ .
3. Determina l'altezza minima  $h$  affinché il corpo raggiunga  $v_\ell$  a meno del 10% prima di raggiungere il suolo.

### (E) Ciclo di Otto

Consideriamo il ciclo di Otto per descrivere un motore a combustione. La miscela di gas e carburante sarà modellizzata come un gas perfetto di parametro  $\gamma$  costante che effettua un ciclo composto dalle seguenti trasformazioni quasi-statiche:

- $1 \rightarrow 2$ : compressione adiabatica
- $2 \rightarrow 3$ : riscaldamento isocoro
- $3 \rightarrow 4$ : espansione adiabatica
- $4 \rightarrow 1$ : raffreddamento isocoro

Il rapporto  $x = V_1/V_2$  tra il volume occupato dal gas nello stato 1 e quello occupato nello stato 2 definisce il tasso di compressione del motore.

1. Traccia il ciclo nel diagramma  $(P, V)$ .
2. Determina l'efficienza  $e$  del motore ed esprimila quindi in funzione dei soli parametri  $\gamma$  e  $x$ .
3. Cosa si deve fare per aumentare l'efficienza del motore? Quale aspetto pratico impedisce di aumentare arbitrariamente l'efficienza di un tale motore a combustione?

# Introduzione alla fisica: Prova scritta [17/07/2023]

*Durata: 3 ore. Sono vietati la consultazione di appunti e documenti (scritti o in rete) e l'utilizzo di computer, smartphone, smartwatch e dispositivi analoghi. L'uso della calcolatrice è autorizzato.*

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

*Costanti:*

- costante di Boltzmann:  $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$  J/K
- costante dei gas:  $R = 8.314$  J/K/mol
- accelerazione di gravità terrestre:  $g = 9.8$  m/s<sup>2</sup>

## (A) Domande teoriche e concettuali

1. (a) Definisci la condizione di (i) equilibrio statico e (ii) equilibrio meccanico.  
(b) Spiega perchè (ii) è una condizione necessaria ma non sufficiente a (i).  
(c) Definisci le nozioni di equilibrio meccanico stabile, instabile e indifferente.
2. L'equazione di stato di van der Waals

$$\left[ P + a \left( \frac{n}{V} \right)^2 \right] (V - bn) = nRT,$$

- dove  $n$  è la quantità di sostanza, permette di descrivere con buona approssimazione il comportamento fisico di fluidi diluiti. Qual è il significato fisico dei parametri  $a$  e  $b$ ? Quali sono le loro unità di misura nel sistema internazionale?
3. Il lato di un cubo misura  $(2.55 \pm 0.05)$  cm. Determina l'incertezza relativa sul volume  $V$  del cubo. Riporta il volume del cubo nella forma  $V \pm \Delta V$ .
  4. Definisci (i) la conducibilità termica e (ii) la conducibilità elettrica. In quali materiali le due grandezze risultano fortemente correlate?

## (B) Ordini di grandezza

Stima il numero di palline da ping-pong che possono essere trasportate da un camion.

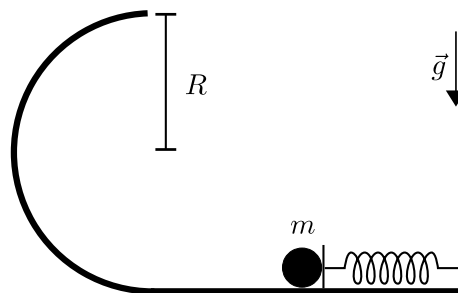
## (C) Densità dell'atmosfera terrestre

Modellizziamo l'atmosfera terrestre come un gas perfetto diatomico di massa molare  $M_A = 28$  g/mol a temperatura  $T = 20^\circ$  costante. Orientiamo l'asse  $z$  parallelamente al vettore  $\vec{g}$  e in senso opposto ad esso, ponendo l'origine dell'asse a livello del suolo.

1. Calcola la densità  $\rho_0$  dell'atmosfera a livello del suolo, supponendo che la pressione a livello del suolo sia  $P_0 = 10^5$  Pa.
2. Determina la densità  $\rho$  dell'atmosfera in funzione dell'altezza  $z$  rispetto al suolo.
3. Calcola l'altezza  $z^*$  a cui la densità diventa la metà di  $\rho_0$ , secondo il modello utilizzato.

### (D) Blocco su guida circolare

Un corpo di massa  $m$  viene spinto contro una molla ideale di costante elastica  $k$  disposta all'estremità di un piano orizzontale. La compressione iniziale della molla (rispetto alla sua posizione a riposo) è  $\Delta x$ . Il corpo viene quindi lasciato libero e parte con velocità iniziale nulla, muovendosi lungo una guida composta da un tratto orizzontale e da un semicerchio di raggio  $R$ . L'attrito tra il corpo e la guida è trascurabile.



Determina la compressione minima  $\Delta x^*$  affinché il corpo raggiunga il punto più alto della guida semicircolare, restando a contatto con la guida in tale punto.

### (E) Produzione di ghiaccio

Un frigorifero funziona facendo compiere a un fluido dei cicli di durata  $\Delta t = 1\text{ s}$  composti da trasformazioni reversibili. Il frigorifero mantiene al suo interno una temperatura  $T_f = -5^\circ$ , mentre la temperatura dell'ambiente circostante, a cui il frigorifero cede calore, è  $T_c = 35^\circ$ . Il lavoro meccanico scambiato dal fluido per unità di tempo è  $P = 200\text{ W}$ . Nel seguito supporremo  $T_f$  e  $T_c$  costanti.

1. Calcola l'efficienza del frigorifero.
2. Calcola il tempo necessario affinché un litro d'acqua liquida, posta nel frigorifero a temperatura  $T_i = 20^\circ$ , si trasformi integralmente in ghiaccio e raggiunga la temperatura  $T = T_f$ .

*Dati:*

- Capacità termica molare del ghiaccio  $c_s = 9\text{ cal/K/mol}$
- Capacità termica molare dell'acqua liquida  $c_l = 18\text{ cal/K/mol}$
- Calore latente molare di fusione  $L_f = 1440\text{ cal/mol}$
- Massa molare dell'acqua:  $M = 18\text{ g/mol}$

# Introduzione alla fisica: Prova scritta [01/09/2023]

*Durata: 3 ore. Sono vietati la consultazione di appunti e documenti (scritti o in rete) e l'utilizzo di computer, smartphone, smartwatch e dispositivi analoghi. L'uso della calcolatrice è autorizzato.*

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

*Costanti e dati utili:*

- costante di Boltzmann:  $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$  J/K
- costante dei gas:  $R = 8.314$  J/K/mol
- accelerazione di gravità terrestre:  $g = 9.8$  m/s<sup>2</sup>
- massa molare dell'aria:  $M_A = 28.9$  g/mol

## (A) Domande teoriche e concettuali

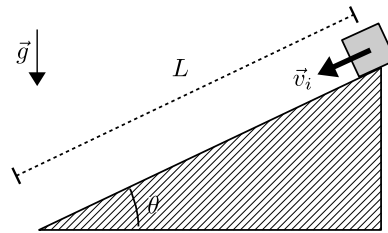
1. Indica l'espressione della forza gravitazionale  $\vec{F}_g$  e della forza elettrostatica  $\vec{F}_e$  tra due particelle, rispettivamente di massa  $m_1$  e  $m_2$  e di carica  $q_1$  e  $q_2$ .
2. Enuncia il secondo principio della termodinamica. Fornisci quindi l'interpretazione microscopica dell'entropia secondo Boltzmann.
3. Durante un esperimento di laboratorio, alcuni studenti di fisica misurano la costante dei gas  $R$ . Per ciascuno dei risultati qui sotto, indica se è *riportato* correttamente oppure no, spiegando chiaramente perchè:
  - a)  $(8.5 \pm 0.02)$  J/K/mol
  - b)  $(8.314 \pm 0.244)$  J/(K mol)
  - c)  $(10.1 \pm 0.4)$  J/K/mol
  - d)  $8.314$  J/K/mol  $\pm 0.002$
4. Dimostra la legge di associazione in serie delle resistenze elettriche ( $R = R_1 + R_2$ ) e poi quella delle resistenze elettriche in parallelo ( $1/R = 1/R_1 + 1/R_2$ ). Per quale ragione tali leggi sono formalmente identiche a quelle trovate per le resistenze termiche?

## (B) Ordini di grandezza

Stima l'ordine di grandezza del calore che è necessario sottrarre all'aria contenuta nell'aula in cui ti trovi affinché la sua temperatura si riduca di 10 K.

## (C) Piano inclinato con attrito

Un piccolo blocco di massa  $m$  scivola lungo un piano di lunghezza  $L$ , inclinato di un angolo  $\theta$  rispetto all'orizzontale. All'istante iniziale  $t = 0$ , il blocco si trova nel punto più alto del piano inclinato e parte con una velocità iniziale di modulo  $v_i > 0$ . Supporremo che, in regime dinamico, il coefficiente di attrito  $\mu_d$  tra il blocco e il piano sia costante e non dipenda dalla velocità del blocco.



1. Determina le leggi orarie del moto del blocco.
2. Determina l'angolo minimo  $\theta^*$  affinché l'accelerazione del blocco sia diretta verso il fondo del piano inclinato.
3. Se  $\theta > \theta^*$ , il blocco arriverà in fondo al piano inclinato qualunque sia la velocità iniziale ( $v_i > 0$ ). Supponendo invece  $0 < \theta < \theta^*$ , determina la velocità iniziale minima,  $v_i^*$ , affinché il blocco arrivi in fondo al piano inclinato.

### (D) Oscillatore armonico

Una piccola sfera di massa  $m$  è agganciata all'estremità di una molla ideale di costante elastica  $k$  e lunghezza a riposo  $\ell_0$ . L'altra estremità della molla è fissata a una parete che potremo considerare immobile. Sul sistema non agiscono ulteriori forze.

1. Supponendo che la sfera abbia velocità iniziale nulla, mostra che l'allungamento della molla rispetto alla sua lunghezza a riposo varia secondo la legge  $A \cos(\omega t)$ , dove  $A$  è l'allungamento iniziale e  $\omega$  è una costante di cui indicherai l'espressione.
2. Mostra che l'energia meccanica del sistema {sfera, molla} non varia nel tempo.
3. Sapendo che  $m = 0.5$  kg,  $k = 20$  N/m e  $A = 3$  cm, calcola la massima velocità della sfera durante il moto.

### (E) Ciclo di Carnot

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

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

La temperatura del gas nello stato 1 è 410 K, le pressioni negli stati 1, 2 e 3 sono rispettivamente  $P_1 = 9$  bar,  $P_2 = 3$  bar e  $P_3 = 1$  bar.

1. Traccia il ciclo nel diagramma  $(P, V)$
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? Perché?
3. Calcola l'efficienza del ciclo.

# Introduzione alla fisica: Prova scritta [19/01/2024]

*Durata: 3 ore. Sono vietati la consultazione di appunti e documenti (scritti o in rete) e l'utilizzo di computer, smartphone, smartwatch e dispositivi analoghi. L'uso della calcolatrice è autorizzato.*

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

*Costanti e dati utili:*

- costante di Boltzmann:  $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$  J/K
- costante dei gas:  $R = 8.314$  J/K/mol
- accelerazione di gravità terrestre:  $g = 9.8$  m/s<sup>2</sup>

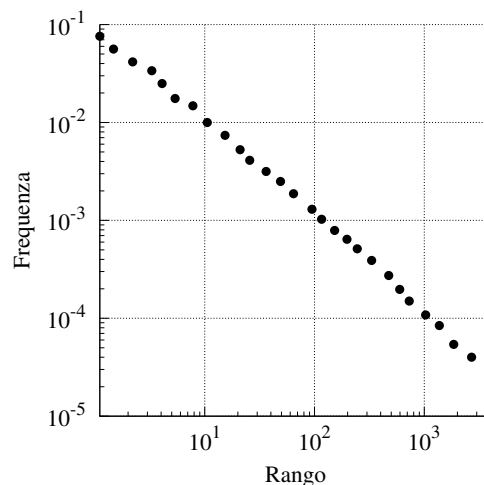
## (A) Domande teoriche e concettuali

1. Indica l'espressione della forza gravitazionale  $\vec{F}_g$  e della forza elettrostatica  $\vec{F}_e$  tra due particelle, rispettivamente di massa  $m_1$  e  $m_2$  e di carica  $q_1$  e  $q_2$ .
2. Fornisci una definizione operativa di temperatura. Quale osservazione empirica permette di definire una scala assoluta di temperatura (scala Kelvin)?
3. In cosa differiscono i frigoriferi e le pompe di calore? Definisci, in termini delle sole energie scambiate, l'efficienza di questi due tipi di macchine termiche e tracciane il diagramma termodinamico.
4. Stima l'ordine di grandezza della massa d'acqua presente sulla superficie della terra.

## (B) Statistica delle parole

La figura qui a lato mostra la frequenza  $f$  con cui appaiono le parole in un libro in lingua inglese (“*La guerra dei mondi*” di H. G. Wells) in funzione del rango  $r$  della parola. *Nota:* per rango s'intende che la parola più frequente ha rango 1, la seconda parola più frequente ha rango 2 e così via.

Stando a questi dati, quale funzione  $f = f(r)$  descrive bene la relazione tra  $f$  e  $r$ ? Giustifica la tua risposta.



## (C) Inseguimento stradale

Un'automobile guidata da un pirata della strada viaggia a una velocità costante  $v_p = 100$  km/h su una strada rettilinea in cui il limite è 50 km/h. Una moto della polizia stradale, inizialmente ferma in corrispondenza di un cartello pubblicitario, si mette al suo inseguimento partendo 5

secondi dopo che l'auto è passata davanti al cartello. La moto della polizia ha un'accelerazione costante  $a_m = 3.5 \text{ m/s}^2$ . Quanto tempo serve alla moto per raggiungere l'automobile del pirata?

### (D) Pallone aerostatico

Un pallone aerostatico sferico di raggio  $r = 5 \text{ m}$  e di massa complessiva  $m = 500 \text{ kg}$  (inclusa la cabina, di cui trascureremo il volume) è riempito di elio e azoto ed è lasciato libero nell'atmosfera terrestre. Supponi che l'atmosfera sia in condizioni di equilibrio locale e che valga la legge fondamentale della fluidostatica. Modellizza l'aria presente nell'atmosfera come un gas perfetto di massa molare  $M = 28 \text{ g/mol}$  e di temperatura costante  $T = 300 \text{ K}$ .

1. Determina la variazione della pressione  $P$  in funzione dell'altitudine  $z$ , sapendo che la pressione a livello del suolo è  $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$ .
2. A quale altitudine  $z_*$  il pallone sarà in equilibrio statico?



### (E) Raffreddamento dell'acqua

Dell'acqua in fase liquida, di massa  $m = 1 \text{ kg}$  e inizialmente a temperatura  $T_i = 100^\circ$ , viene raffreddata quasi-staticamente a pressione atmosferica costante fino a raggiungere  $T_f = 0^\circ$ . Supporremo che, in questo intervallo di temperatura, la capacità termica dell'acqua a pressione costante sia costante e valga  $c_P = 4.18 \times 10^3 \text{ J/K/kg}$ .

1. Calcola la variazione di entropia  $\Delta S$  dell'acqua.
2. L'acqua viene successivamente fatta cristallizzare sottraendole calore e si trasforma completamente in ghiaccio. Durante tale trasformazione, la temperatura dell'acqua resta costante a  $T_f = 0^\circ$ . Calcola la variazione di entropia dell'acqua durante la cristallizzazione, sapendo che il calore latente di fusione a pressione atmosferica vale  $L_f = 334 \text{ kJ/mol}$  e che la massa molare dell'acqua è  $18 \text{ g/mol}$ .
3. Enuncia il secondo principio della termodinamica. Le variazioni di entropia ottenute ai punti 1. e 2. sono in accordo con tale principio oppure no? Perché?