Associazione per l'Insegnamento della Fisica

PROGETTO OLIMPIADI

Olimpiadi di Fisica

30ª Edizione

2016

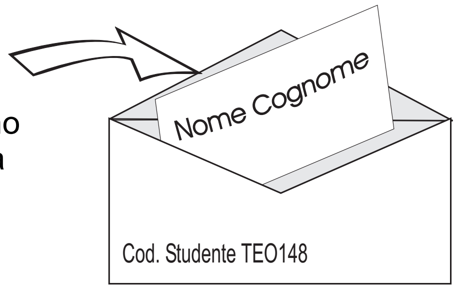
Gara Nazionale
Prova Teorica

Venerdì 15 Aprile 2016
Liceo Statale "Medi"
Senigallia (AN)

Non sfogliare questo fascicolo finché l'insegnante non ti dica di farlo.
Leggi ATTENTAMENTE le istruzioni !

ISTRUZIONI:

Tempo: 4 ore



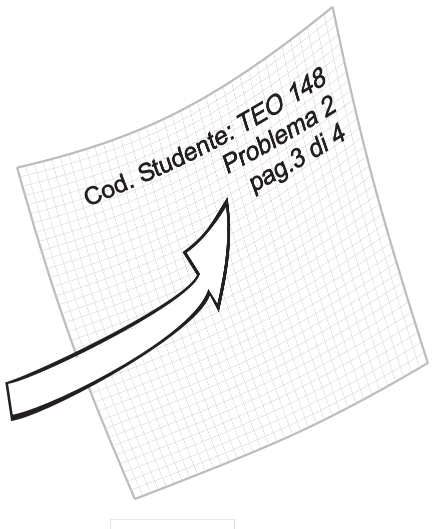
1. Appena ti verrà dato il via, scrivi chiaro il tuo **NOME e COGNOME sul cartoncino** che hai ricevuto insieme ai fogli e alle buste, grande e piccola; poi inserisci il cartoncino nella busta piccola e chiudila accuratamente. Metti subito la busta chiusa in quella grande, che userai alla fine per consegnare tutti i fogli.

Successivamente, NON dovrai scrivere il tuo nome su nessun foglio né sulle buste,

ma solo il "Codice Studente" !

2. Leggi con cura i testi dei tre problemi proposti.

3. E' assolutamente necessario, per non rischiare di essere penalizzati, **utilizzare un foglio diverso per ogni problema.**



4. Su ogni facciata scrivi chiaramente in alto a destra:

- il tuo **Codice Studente**
- il **numero** del problema
- il **numero di pagina** (a partire da 1 per ogni problema)
- il **numero totale di pagine** usate per quel problema:

per esempio pag 3 di 4.

La Gara Nazionale è realizzata con il sostegno di

Comune di Senigallia

Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca

Liceo Statale "Medi" Senigallia

ALCUNE COSTANTI FISICHE

Valori arrotondati, con errore relativo minore di 10^{-5}, da considerare **esatti**

COSTANTE	SIMBOLO	VALORE	UNITÀ
Velocità della luce nel vuoto	c	2.9979×10^{8}	$\mathrm{m\,s^{-1}}$
Carica elementare	e	1.60218×10^{-19}	C
Massa dell'elettrone	m_e	9.1094×10^{-31}	kg
		$= 5.1100 \times 10^{2}$	$\mathrm{keV}\ c^{-2}$
Costante dielettrica del vuoto	ε_0	8.8542×10^{-12}	$\mathrm{F\,m^{-1}}$
Permeabilità magnetica del vuoto	μ_0	1.25664×10^{-6}	$\mathrm{H\,m^{-1}}$
Massa del protone	m_p	1.67262×10^{-27}	kg
		$= 9.3827 \times 10^{2}$	$\mathrm{MeV}\ c^{-2}$
Costante di Planck	h	6.6261×10^{-34}	$\mathrm{J\,s}$
Costante universale dei gas	R	8.3145	$\mathrm{J\,mol^{-1}\,K^{-1}}$
Costante di Avogadro	N	6.0221×10^{23}	$\mathrm{mol^{-1}}$
Costante di Boltzmann	k	1.38065×10^{-23}	$\mathrm{J\,K^{-1}}$
Costante di Faraday	F	9.6485×10^{4}	$\mathrm{C\,mol^{-1}}$
Costante di Stefan–Boltzmann	σ	5.6704×10^{-8}	$\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-4}}$
Costante gravitazionale	G	6.674×10^{-11}	$\mathrm{m^3\,kg^{-1}\,s^{-2}}$
Pressione atmosferica standard	p_0	1.01325×10^{5}	Pa
Temperatura standard (0°C)	T_0	273.15	K
Volume molare di un gas perfetto in condizioni standard (p_0, T_0)	V_m	2.2414×10^{-2}	$\mathrm{m^3\,mol^{-1}}$
Unità di massa atomica	u	1.66054×10^{-27}	kg

ALTRI DATI CHE POSSONO ESSERE NECESSARI

Valori arrotondati, con errore relativo minore di 10^{-5}, da considerare **esatti**.
Per semplicità – salvo che non sia detto esplicitamente – questi dati, quando riferiti ad una specifica temperatura, si potranno utilizzare anche ad altre temperature senza errori importanti.

Accelerazione media di gravità		g	9.8067	$\mathrm{m\,s^{-2}}$
Densità dell'acqua	(a 4°C)	ρ_a	1.000×10^{3}	$\mathrm{kg\,m^{-3}}$
Calore specifico dell'acqua	(a 20°C)	c_a	4.182×10^{3}	$\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}$
Calore di fusione dell'acqua		λ_f	3.335×10^{5}	$\mathrm{J\,kg^{-1}}$
Calore di vaporizzazione dell'acqua	(a 100°C)	λ_v	2.257×10^{6}	$\mathrm{J\,kg^{-1}}$

LEGGI CON CALMA E MOLTA ATTENZIONE!

È assolutamente necessario ricordarsi di NON SCRIVERE il proprio nome su nessun foglio (ad esclusione del cartoncino che va chiuso nella busta piccola, come detto in copertina). Si dovrà invece SCRIVERE solo il proprio **Codice Studente** (riportato sulla busta piccola colorata) su ciascun **Foglio Riassuntivo** e su ogni foglio a quadretti utilizzato.

Insieme ai testi, per ogni problema ti è stato consegnato un **Foglio Riassuntivo** sul quale dovrai riportare in modo sintetico le risposte ad ogni domanda; i valori numerici devono essere scritti con il corretto numero di cifre, in relazione ai dati forniti e – se necessario – con indicazione dell'unità di misura.

È ESSENZIALE che tutti i risultati (formali e numerici) che hai trovato per ciascun problema siano riportati sul corrispondente **Foglio Riassuntivo**, poiché questo costituisce la base della valutazione della tua prova.

Ricordati di usare un foglio a quadretti diverso per ogni problema e di scrivere per prima cosa, in alto a destra, il tuo **Codice Studente**!

Sui fogli a quadretti devono essere riportate le soluzioni dettagliate, cercando di limitare il testo scritto e di privilegiare invece equazioni, simboli, numeri e diagrammi.

Su ogni facciata dei fogli a quadretti con la soluzione di un problema va sempre scritto, in alto a destra, il numero del problema, il numero di pagina e il numero totale di pagine utilizzate per quel problema, come descritto in copertina.

Infine un utile consiglio: tieni presente che non sempre la soluzione di una domanda richiede di aver risolto le domande precedenti.

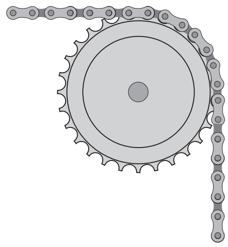
NOTA importante sui DATI NUMERICI: I dati numerici forniti nei singoli problemi, qualunque sia il numero di cifre con cui vengono scritti, si devono considerare noti con un'incertezza dello $0.1\,\%$, salvo esplicita indicazione contraria. Le costanti fornite nella tabella generale si possono invece considerare note con incertezza trascurabile. Di conseguenza si scrivano i risultati numerici, quando richiesti, con un numero di cifre appropriato all'incertezza del risultato stesso.

Materiale elaborato dal Gruppo

PROGETTO OLIMPIADI
Segreteria Olimpiadi Italiane della Fisica
e-mail: segreteria@olifis.it - Tel. 0732 1966045
WEB: www.olifis.it

P1 Lo stucco nel secchiello — Punti 100

Un secchiello di massa $m_1 = 850\,\mathrm{g}$ è appeso ad un filo inestensibile che passa nella gola di una carrucola ed è attaccato, all'altra estremità, ad un blocco di massa $M = 2.90\,\mathrm{kg}$ appoggiato su un piano orizzontale (vedi figura a sinistra).



Siano $\mu_\mathrm{s} = 0.72$ e $\mu_\mathrm{d} = 0.64$ i coefficienti di attrito, rispettivamente statico e dinamico, tra il blocco e il piano d'appoggio. Si trascuri la massa del filo e quella della carrucola. Si supponga che la carrucola possa ruotare sul proprio perno con attrito trascurabile.

1. Si dimostri che in questa situazione il sistema, inizialmente fermo, è in equilibrio, e si calcoli il modulo della forza d'attrito tra il blocco e il piano.

Una palla di stucco, di massa $m_2 = 570\,\mathrm{g}$, viene fatta cadere verticalmente nel secchiello e, arrivata sul fondo, vi aderisce senza rimbalzare e senza far oscillare il secchiello. Sia $v = 4.2\,\mathrm{m\,s^{-1}}$ la velocità della palla al momento dell'impatto.

Sia $F(t)$ l'intensità della forza che la palla esercita sul secchiello per un breve intervallo di tempo Δt. Si indichi con F_p il suo valore massimo (detto *di picco*) e con $<F>$ il suo valore medio durante l'urto. Posto $<F> = \alpha F_\mathrm{p}$, il valore di α dipende dai dettagli dell'urto, ovvero dalla forma del picco nel grafico $F(t)$; valori ragionevoli possono variare nell'intervallo tra 0.5 e 0.8. Si supponga che nel nostro caso sia $\alpha = 0.7$.

2. Tenendo conto di tutte le forze in gioco (anche di quelle non impulsive) si trovi qual è il minimo valore che dovrebbe avere la durata Δt dell'urto affinché il secchiello e il blocco non vengano messi in moto dall'urto.

Si supponga, d'ora in poi, di poter trattare l'urto come istantaneo.

3. Si calcoli la velocità V del secchiello immediatamente dopo l'urto.

4. Si calcoli l'accelerazione a del secchiello dopo l'urto.

Si consideri ora una situazione in cui la carrucola è sostituita da una ruota dentata di massa $m_3 = 750\,\mathrm{g}$ (a destra in figura), il filo è sostituito da una catena ideale perfettamente flessibile e di massa trascurabile incastrata nella ruota. Per il calcolo del momento d'inerzia si supponga di poter assimilare la ruota dentata a un disco omogeneo di raggio R.

5. Si calcoli, in questa nuova situazione, la velocità V' del secchiello subito dopo l'urto.

6. Si determini l'accelerazione a' del secchiello dopo l'urto.

P2 Da lontano verso il solenoide — Punti 100

Si consideri un solenoide compatto di raggio R, di lunghezza finita ma molto maggiore del raggio, con n spire per unità di lunghezza ottenute con un filo molto sottile, tale che il suo spessore possa essere trascurato e che ogni spira possa essere descritta come una circonferenza su di un piano perpendicolare all'asse del solenoide.

Gli effetti della gravità potranno essere ignorati e la permeabilità magnetica dell'aria sarà identificata con quella del vuoto μ_0.

Di solito, in queste condizioni, il campo magnetico generato dalla corrente costante I che scorre nel filo è approssimato con un campo uniforme all'interno del solenoide ($\vec{B}_\mathrm{int}$), parallelo ed orientato come l'asse z, mentre non si considera il campo esterno $\vec{B}_\mathrm{est}$.

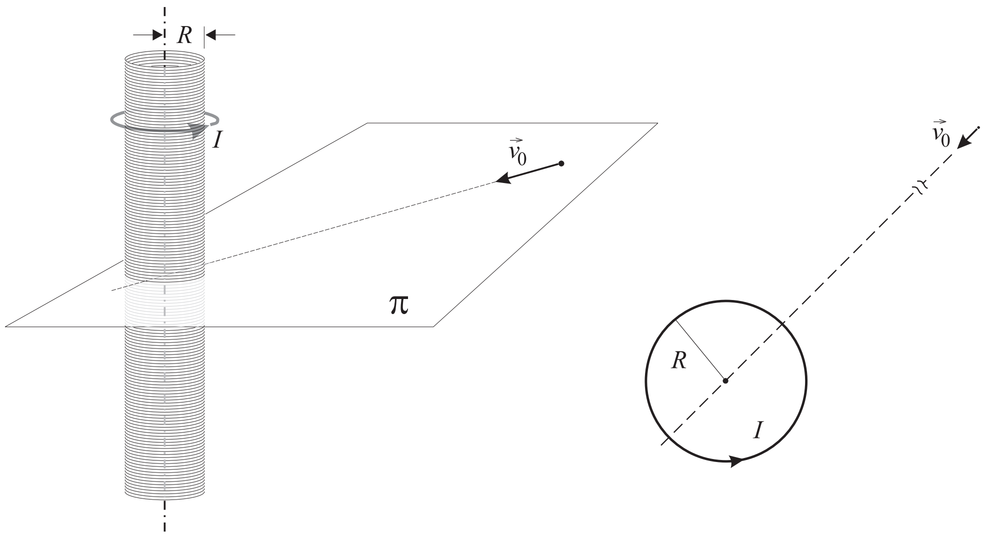
1. Esprimere, in funzione dei dati, il modulo di $\vec{B}_{\text{int}}$ e del flusso Φ_{int} di $\vec{B}_{\text{int}}$ attraverso una sezione ortogonale al solenoide passante per il suo centro, nell'approssimazione che il campo $\vec{B}_{\text{int}}$ sia uniforme.

In alcuni fenomeni, come quello che sarà esaminato in questo problema, il campo magnetico esterno non è affatto trascurabile anzi è proprio il campo esterno che crea gli effetti interessanti. In questo problema non sarà mai necessario calcolarne l'intensità ma solo conoscerne la direzione e il flusso.

Si consideri il piano π perpendicolare all'asse del solenoide per il suo punto medio, sul quale i punti saranno individuati da una coppia di coordinate polari (r, φ) con origine nel centro del solenoide. Nei punti del piano π, esterni al solenoide, il campo magnetico è parallelo a quello interno ma con verso opposto.

2. Si dimostri che il flusso Φ_{est} attraverso la sola superficie del piano π esterna al solenoide è uguale e contrario al flusso interno Φ_{int} e se ne scriva l'espressione.

Per esplorare il campo magnetico esterno si può pensare di lanciare un elettrone (di massa m e carica $-e$) da un punto del piano π, a grande distanza, esattamente verso l'asse del solenoide. La velocità iniziale dell'elettrone sia di modulo $v_0 \ll c$ e in direzione ortogonale all'asse del solenoide.



Se la corrente I nel solenoide è nulla o molto piccola l'elettrone urta la superficie del solenoide; se la corrente è maggiore di un valore I_{min} questo non succede.

3. Scrivere l'espressione della forza che fa deviare l'elettrone; dimostrare poi che la traiettoria dell'elettrone è piana e disegnarla schematicamente nel caso particolare $I = I_{\text{min}}$, indicando con P il punto in cui l'elettrone è alla minima distanza dall'asse del solenoide.

Si consideri il momento $\vec{\mathcal{M}}$ della forza individuata al punto precedente, calcolato rispetto all'asse del solenoide.

4. Si dimostri che, in un punto generico della traiettoria dell'elettrone a distanza r dall'asse, il modulo $\mathcal{M}$ di tale momento può essere scritto come $\mathcal{M} = -erB_{\text{est}}(r)v_r$ dove v_r è la componente radiale della velocità, cioè $v_r = dr/dt$.

In presenza di un momento non nullo della forza, il momento angolare L dell'elettrone, rispetto all'asse del solenoide, non è costante ma varia al variare della distanza r dall'asse del solenoide. Sarà utile, nel seguito, trovare una relazione tra la variazione del momento angolare dell'elettrone e il flusso Φ_{est} ottenuto come la somma (integrale) dei contributi infinitesimi di flusso $d\Phi$ attraverso corone circolari di superficie infinitesima, di raggio r e spessore dr.

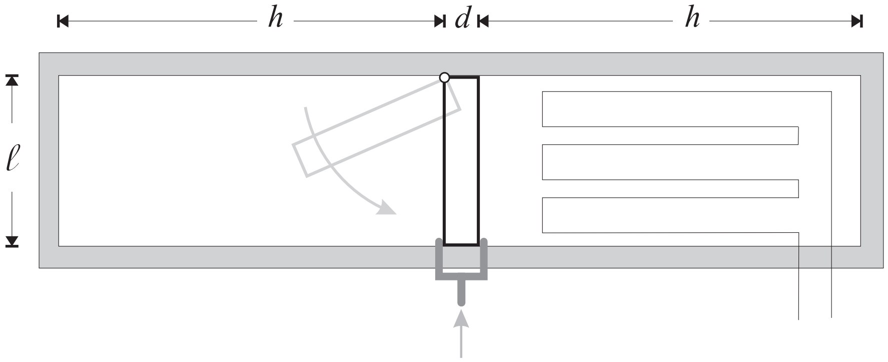
5. Scrivere di quanto varia L per una variazione dr della distanza r e dimostrare che dL è proporzionale a $d\Phi$.

6. Utilizzando la relazione di proporzionalità fra dL e $d\Phi$, esprimere il momento angolare dell'elettrone nel punto P di minimo avvicinamento (citato nella domanda 3) in funzione del modulo del flusso Φ_{est}.

7. Trovare infine l'espressione della corrente I_{min} oltre la quale l'elettrone non urta il solenoide, in funzione della velocità iniziale v_0 dell'elettrone e del raggio R del solenoide.

P3 Scalda e raffredda — Punti 100

L'interno di un contenitore con pareti isolanti a sezione quadrata è lungo $2h + d$. Un setto mobile di forma quadrata di lato ℓ e spessore d può essere ruotato per dividere a tenuta stagna in due parti uguali il contenitore.



Nel contenitore vengono immesse $2n$ moli di elio a temperatura T_0 e successivamente il setto viene lentamente abbassato e fissato con il blocco mostrato in figura; in questa è riportata schematicamente anche una resistenza elettrica r, la cui reale geometria è tale da poter scaldare uniformemente il gas contenuto nella camera di destra; il volume occupato dalla resistenza può essere ignorato. La capacità termica dell'elemento riscaldante e del setto siano trascurabili.

NOTA – *Attenzione a non confondere il simbolo r della resistenza con quello maiuscolo R della costante dei gas perfetti.*

Il circuito elettrico viene collegato ad un generatore di f.e.m. $\mathcal{E}$ per un breve tempo Δt. Si faccia l'ipotesi che in questo tempo il setto costituisca un buon isolante termico tra le due camere; in altri termini, il coefficiente k di conduzione termica del setto è piccolo ma non trascurabile su tempi lunghi.

1. Ricavare l'espressione della potenza W_r erogata dal riscaldatore e calcolare la temperatura T_1 del gas alla fine del riscaldamento.
2. Ricavare l'espressione del valore massimo della potenza W_d dispersa attraverso il setto durante il riscaldamento.
3. Dal confronto delle due potenze, individuare la condizione che deve soddisfare il coefficiente di conduzione k del materiale con cui è fatto il setto perché l'ipotesi che esso costituisca un buon isolante termico sia valida.
4. In termini delle grandezze date, esprimere la forza che il blocco deve esercitare sul setto al momento in cui si spegne l'elemento riscaldante.

Dato che il setto non è un perfetto isolante, le due parti di gas si porteranno in un tempo lungo all'equilibrio termico (questo è detto processo di *termalizzazione*).

5. Calcolare la temperatura di equilibrio termico T_eq del sistema.

Si indichi con dQ il calore scambiato in un tempo dt tra le due parti di gas, con T_f la temperatura del gas freddo, con T_c quella del gas caldo.

6. Poiché il processo di termalizzazione è irreversibile, l'entropia del sistema aumenta. Di quanto?

Per rendere reversibile il processo di termalizzazione, con delle opportune modifiche e dopo aver sostituito il setto con uno perfettamente isolante, si mettono in contatto le due camere attraverso una macchina reversibile di Carnot e si ripete l'esperienza facendo eseguire alla macchina cicli infinitesimi tra le temperature istantanee T_f e T_c dei due gas, fino a raggiungere l'equilibrio termico.

7. Spiegare perché la temperatura finale del gas sarà adesso minore di quella trovata sopra, al punto 5.
8. Determinare la temperatura di equilibrio termico T_rev, che si raggiunge facendo uso della macchina reversibile.