

## PROBLEMA 1

Un piccolo magnete permanente di massa  $m$  viene lasciato cadere liberamente in un tubo verticale e fisso, di materiale isolante come il plexiglas; si osserva che esso cade con la stessa accelerazione  $g$  con cui cadrebbe nel vuoto.

Se lo stesso magnete viene lasciato cadere in un tubo di rame di identiche dimensioni, si osserva che la velocità acquistata è inferiore a quella di caduta libera: il magnete si muove molto più lentamente, come se fosse sostenuto da un invisibile paracadute, come illustrato in Fig. 1 per due magneti lasciati cadere nello stesso istante dall'estremo superiore dei due tubi.

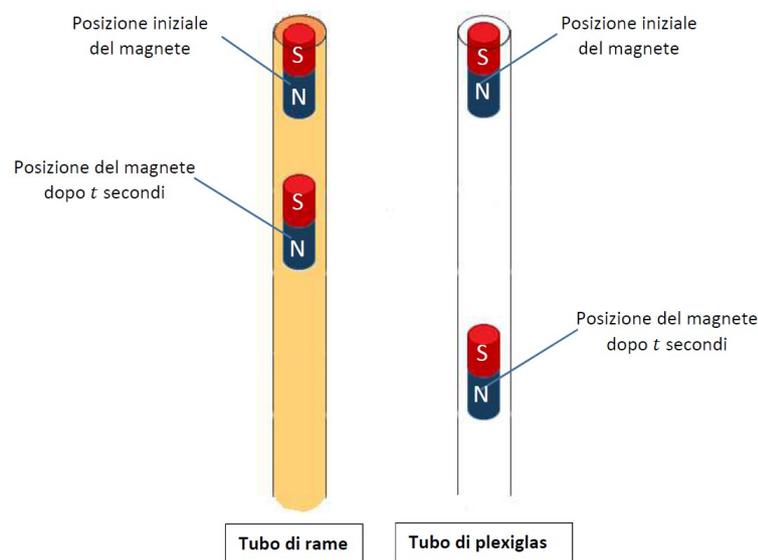


Figura 1

Infatti sul magnete in aggiunta alla forza peso agisce una forza diretta in verso opposto al moto che dipende dalla sua velocità.

Per capire quello che sta succedendo supponi, a un dato istante, di sostituire il tubo metallico con un tubo di plexiglas e di porre due spire conduttrici chiuse di resistenza elettrica  $R$  pari a  $1,0 \times 10^{-3} \Omega$ , una sopra e l'altra sotto il magnete come illustrato in Fig. 2.

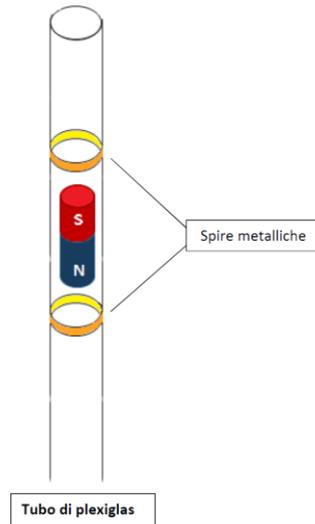


Figura 2

1. Mostra che anche in questo caso il moto del magnete è influenzato da una forza di resistenza passiva come quando cade nel tubo di rame. Spiega qualitativamente l'origine della forza di resistenza passiva e giustifica perché essa dipende dalla velocità. Individua e illustra con un disegno il verso delle correnti indotte nelle spire, spiegando inoltre come variano nel tempo a causa del moto del magnete. Discuti i cambiamenti che si producono se il magnete viene capovolto, in modo che il polo Nord e il polo Sud risultino scambiati.

In laboratorio, studi la velocità di caduta di un magnete di massa  $m = (2,35 \pm 0,01)g$  nel tubo di rame misurando con un cronometro il tempo di caduta da diverse altezze.

I dati sperimentali sono riportati nella tabella 1, nella quale  $h$  è l'altezza di caduta e  $\Delta t$  il tempo di caduta. L'incertezza sui valori delle distanze è di  $0,1 \text{ cm}$  e sui valori dei tempi dell'ordine di  $0,1 \text{ s}$ .

$h \text{ [cm]}$	$\Delta t \text{ [s]}$
80,0	5,7
70,0	5,0
60,0	4,3
50,0	3,6
40,0	2,9
30,0	2,2
20,0	1,5
10,0	0,9
5,0	0,5

Tabella 1

2. Deduci, dai dati riportati in tabella 1, i valori delle velocità medie di caduta dalle diverse altezze. Adoperando tali valori costruisci un grafico della velocità media in funzione dell'altezza, discutine qualitativamente l'andamento e determina il valore limite della velocità. Assumendo che la forza di resistenza passiva  $F_r$  possa essere approssimata con una forza proporzionale alla velocità  $v$ , cioè  $F_r = -kv$ . Considerando la forza totale agente sul magnete, illustra perché durante il moto la sua velocità aumenta fino a raggiungere una velocità limite. Determina infine il valore numerico di  $k$ , utilizzando il valore della velocità limite trovata dal grafico.
  
3. Discuti il bilancio energetico della situazione problematica proposta, sia nella fase di accelerazione sia quando il magnete raggiunge la velocità limite. Calcola al termine della caduta quanta energia meccanica è stata trasformata in altre forme di energia, specificando in quali forme.
  
4. Considera ora la situazione semplificata proposta precedentemente al punto 1 in cui il tubo di rame viene sostituito da un tubo di plexiglas e da due spire conduttrici di resistenza elettrica  $R$  pari a  $1,0 \times 10^{-3} \Omega$ .  
A partire da considerazioni sulla potenza dissipata determina il valore della corrente che circolerebbe nelle spire se il magnete raggiungesse la stessa velocità limite che raggiunge nel tubo di rame e se la corrente fosse la stessa in entrambe le spire. Utilizza questo valore per determinare la variazione di flusso del campo magnetico nell'unità di tempo che il moto del magnete indurrebbe sulle spire.  
Spiega inoltre perché se il tubo di rame (resistività  $\rho = 1,68 \times 10^{-8} \Omega m$ ) viene sostituito con un tubo di alluminio (resistività  $\rho = 2,75 \times 10^{-8} \Omega m$ ), il magnete raggiunge una velocità limite maggiore.

## PROBLEMA 2

Nel 1896 l'astronomo Edward Charles Pickering, analizzando lo spettro di emissione della stella Zeta Puppis, scoprì la presenza di alcune righe con lunghezza d'onda uguale a quella prevista dalla serie di Balmer e per questo da lui attribuite alla presenza di idrogeno nella stella. Scoprì inoltre la presenza di altre tre righe spettrali, chiamate righe di Pickering, di lunghezza d'onda  $\lambda$  rispettivamente pari a

$$455,1 \text{ nm} \quad 541,1 \text{ nm} \quad \text{e} \quad 1012,3 \text{ nm}$$

1. Utilizzando il modello atomico di Bohr, descrivi l'origine delle righe dello spettro dell'idrogeno e in analogia formula una possibile spiegazione della origine delle righe di Pickering presenti nello spettro della stella Zeta Puppis. Indica quali informazioni fisiche puoi ricavare dal loro valore numerico.

Pickering dedusse che i valori numerici delle lunghezze d'onda delle righe che portano il suo nome potevano essere ricavati dalla formula di Balmer,

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4 \dots$$

valida per le righe spettrali dell'idrogeno, utilizzando, però, a differenza di queste, valori di  $n$  seminteri.

2. Utilizzando i valori sperimentali dello spettro dell'idrogeno, riportati nella seguente tabella

$n$	$\lambda$ (nm)
3	656,3
4	486,1
5	434,1
6	410,2
7	397,0

determina graficamente o analiticamente il valore sperimentale della costante  $R_H$ , nota come costante di Rydberg, e calcola poi i valori dei numeri  $n$

seminteri a cui corrispondono le righe di Pickering, verificando così la correttezza della sua deduzione.

Le righe di Pickering possono essere ricavate anche da una formula dello stesso tipo di quella di Rydberg, utilizzando un valore diverso per il parametro  $R_H$ , che indichiamo con  $R'_H$ .

$$\frac{1}{\lambda} = R'_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

in cui gli indici  $n_1$  e  $n_2$  sono numeri interi con

$$n_1 = 1, 2, 3 \dots \dots \quad n_2 = 1, 2, 3 \dots \dots \quad n_2 > n_1$$

3. Dimostra che con  $n_1 = 4$  e  $R'_H = 4R_H$  si possono determinare valori interi di  $n_2$  che corrispondono a tutte le righe osservate, cioè sia alle righe di Pickering sia a quelle di Balmer dello spettro dell'idrogeno.

Successivamente fu mostrato che l'intero spettro della stella Zeta Puppis era dovuto alla presenza di ioni idrogenoidi (ioni con un solo elettrone esterno e nucleo formato da  $Z$  protoni) e non all'idrogeno, e che a questi ioni si poteva applicare il modello atomico di Bohr.

4. Il modello di Bohr fornisce per la costante di Rydberg  $R_H$  dell'atomo di idrogeno l'espressione:

$$R_H = \frac{m_e e^4}{8h^3 \epsilon_0^2 c}$$

Considerando le modifiche da introdurre nel modello di Bohr per uno ione idrogenoide, ricava l'espressione della costante  $R'_H$ . Confrontando inoltre il valore sperimentale  $R'_H$  con il valore ricavato da tale relazione individua il valore di  $Z$  e determina così lo ione la cui emissione dà origine allo spettro di Zeta Puppis.

## QUESTIONARIO

### Quesito n. 1

Dimostra che per immagazzinare una quantità di energia  $U$  in un solenoide ideale di volume  $V$  nel vuoto, occorre generare al suo interno un campo magnetico  $B$  di intensità pari a:

$$B = \sqrt{\frac{2\mu_0 U}{V}}$$

dove  $\mu_0$  è la permeabilità magnetica nel vuoto. Calcola l'intensità della corrente elettrica che deve scorrere in un solenoide composto da  $N = 500$  spire, di lunghezza  $L = 5,0 \text{ cm}$  e volume  $V = 20 \text{ cm}^3$  affinché l'energia in esso immagazzinata sia  $U = 1,5 \text{ mJ}$ .

### Quesito n. 2

Un solenoide  $L_1$  ideale si trova all'interno di un secondo solenoide  $L_2$ , anch'esso ideale. Quest'ultimo viene alimentato con una corrente  $I$  che cresce linearmente nel tempo nell'intervallo  $0 - 30 \mu\text{s}$  secondo l'equazione:

$$I = kt$$

con  $k = 0,50 \text{ A/s}$ . Ai capi del solenoide interno  $L_1$ , durante l'intervallo di tempo in cui la corrente varia, si misura una forza elettromotrice.

- Spiega l'origine della forza elettromotrice e dimostra che essa risulta costante;
- calcola il valore del modulo di tale forza elettromotrice nel caso in cui i solenoidi  $L_1$  e  $L_2$  abbiano entrambi un numero di spire pari a 500, lunghezza pari a  $5,0 \text{ cm}$ , sezione  $S_1 = 1,0 \text{ cm}^2$  e  $S_2 = 4,0 \text{ cm}^2$  rispettivamente.

### Quesito n. 3

Per eseguire analisi spettrometriche di alcune particolari sostanze si utilizzano laser ad argon, che emettono un fascio luminoso verde di lunghezza d'onda  $514,5 \text{ nm}$ , potenza pari a  $1,0 \text{ W}$  e sezione di  $2,0 \text{ mm}^2$ . Ipotizzando che il fascio sia cilindrico, determina:

- quanta energia è contenuta in un metro di lunghezza del fascio;
- il valore massimo del campo elettrico e di quello magnetico associati al fascio;
- quanti fotoni al secondo vengono emessi dal laser.

### Quesito n. 4

In una cella fotoelettrica viene generata una corrente di saturazione  $I = 15\mu A$  sfruttando l'effetto fotoelettrico. Come catodo viene utilizzato un materiale metallico il cui lavoro di estrazione è di  $5,15 eV$ .

- a) Determina la lunghezza d'onda massima della radiazione incidente sul catodo capace di estrarre elettroni da esso;
- b) calcola il numero minimo di fotoni che ogni secondo devono incidere sul catodo, nell'ipotesi che solo il 75% di essi riescano ad estrarre un elettrone.

**Quesito n. 5**

L'astronave Millennium Falcon della Trilogia originale di Guerre Stellari ha una lunghezza a riposo pari a  $34,5 m$ . L'astronave, in viaggio con velocità  $0,90c$  rispetto a un sistema di riferimento inerziale, incrocia una seconda astronave identica che viaggia in direzione opposta con velocità  $0,75c$  rispetto allo stesso sistema di riferimento inerziale.

Qual è la lunghezza della seconda astronave misurata da un passeggero della prima astronave?

**Quesito n. 6**

Dimostra che a un elettrone non relativistico, accelerato da fermo mediante una differenza di potenziale  $\Delta V$  misurata in volt, si può associare un'onda di de Broglie la cui lunghezza d'onda  $\lambda$  può essere espressa dalla formula:

$$\lambda = \sqrt{\frac{1,504}{\Delta V}} nm$$

Calcola tale lunghezza d'onda per  $\Delta V = 50,0 V$ .