

Associazione per l'Insegnamento della Fisica

Giochi di Anacleto

IN LABORATORIO

6 Maggio 2005

Istruzioni per l'allestimento della

Materiale riservato per i docenti

UN PARACADUTE INVISIBILE

Presentazione

Per illustrare gli effetti dell'induzione elettromagnetica si può lasciar cadere una pastiglia magnetica dapprima attraverso un tubo di plastica, tenuto in posizione verticale, e poi attraverso tubi di rame o di alluminio. La variazione di flusso di induzione magnetica dovuta alla caduta del magnete induce correnti parassite nel tubo metallico e queste a loro volta determinano una forza che agisce sul magnete e che, per la legge di Lenz, tende a ridurne la velocità fino a raggiungere, se il magnete è abbastanza intenso e il tubo abbastanza stretto e a pareti sufficientemente spesse, una velocità limite. Questa dimostrazione viene spesso presentata nei musei della scienza riscuotendo sempre notevole successo per la meraviglia suscitata dall'inatteso rallentamento del magnete.

Un semplice modello prevede una forza resistente \vec{R} proporzionale alla velocità del corpo in caduta, collineare ad essa e con verso contrario, $\vec{R} = -c\vec{v}$. Il magnete allora, entro al tubo metallico, è soggetto alla forza complessiva data dalla resistenza e dal suo peso: la seconda legge della dinamica si scrive in questo caso nella forma $mg - cv = m dv/dt$; integrando si ricava l'equazione del moto dove la velocità assume andamento esponenziale e tende ad un valore limite $v_l = mg/c$. Relazioni analoghe si troveranno in tutti i casi in cui una forza si oppone al moto di un oggetto con intensità proporzionale alla sua velocità. La seconda parte della prova è volta ad evidenziare questo fatto.

Probabilmente una buona parte degli studenti che partecipano ai Giochi di Anacleto non ha conoscenze sufficienti sul fenomeno dell'induzione magnetica per spiegare, sia pure a grandi linee, ciò che succede e pochi dominano la matematica necessaria per elaborare un modello efficace del fenomeno. In questa proposta perciò non si entra nel merito della natura del fenomeno che viene analizzato suggerendo invece un approccio mirato a descrivere il modo in cui si svolge, a mettere in luce alcuni parametri significativi ed a determinare alcune relazioni fra di essi. Lo studente che affronta la prova di Anacleto avrà il compito di indagare il moto del magnete in diversi tratti del tubo e di osservare che, con i magneti ed i tubi proposti, i dati di misura sono compatibili con una velocità costante. Si potrà dunque ipotizzare l'esistenza di una forza frenante che a regime è pari al peso del magnete.

La situazione di regime e la corrispondente velocità limite si stabiliscono in tempi molto brevi. Uno studio accurato sull'andamento del transitorio in analoga situazione, condotto con un sistema di sensori interfacciati a computer, è descritto in un lavoro del 2002 di A. Sconza e G. Torzo¹. Inoltre, come si evince da un altro lavoro condotto da McLatchy ed altri,² l'effetto che può avere la

¹ A. Sconza, G. Torzo - Il freno elettromagnetico: un altro esperimento sulla legge di Lenz - La Fisica nella Scuola XXXV (3) 2002

² S. MacLachy, P. Backman, L. Bogan - A quantitative magnetic braking experiment - Am. J. of Phys. 61 (12) 1993.

resistenza dell'aria in analoghe condizioni è risultato trascurabile, circa 0.1% delle forze elettromagnetiche che agiscono sul magnetino in caduta all'interno del tubo metallico. In questo articolo viene elaborato anche un modello in buon accordo con i dati sperimentali per la velocità limite in relazione ai parametri significativi del sistema e soprattutto alla distribuzione del campo magnetico generato dal magnetino durante la sua caduta entro il tubo. La trattazione è interessante e lascia spazio ad ulteriori indagini; sicuramente è condotta ad un livello più arduo di quanto si voglia nei Giochi di Anacleto, per cui rimandiamo chi fosse interessato all'articolo originale.

Materiali e preparazione dell'esperimento

Si usano per la prova piccoli magneti con momento magnetico decisamente più intenso di quelli comuni. Nelle nostre misure abbiamo utilizzato magneti tratti dalle confezioni di costruzioni che si trovano facilmente nei negozi di giocattoli, nei supermercati o anche dai giornalai o su www.PlastWood.com. Una confezione del costo di poco più di 5 Euro contiene materiali per quattro postazioni di lavoro. Vi si trovano 4 magnetini cilindrici di 2 cm circa ai quali sarebbe consigliabile togliere la plastica di rivestimento per ottenere un diametro di 5.0 mm; nella medesima confezione ci sono anche 5 magnetini più corti, di circa 1.5 cm, che si utilizzano per bloccare gli altri magnetini entro al tubo all'altezza stabilita.

Risultati anche migliori si possono ottenere con piccole pastiglie magnetiche di neodimio - ferro - bromo con diametro di 8.0 mm e spessore 4.0 mm: si possono acquistare su internet, con denominazione Neodym, per esempio sul sito www.opitec.it o sul sito www.wondermagnets.com dove si trovano anche diversi suggerimenti per dimostrazioni didattiche.

IMPORTANTE: nell'acquisto di magneti particolarmente intensi (grandi dimensioni, intensità speciali) seguire le avvertenze di sicurezza del venditore.

Ciascuna postazione di lavoro dovrà disporre di un tubo metallico di rame o alluminio, lungo 2 metri. Il diametro del tubo sarà adattato a quello del magnete che vi deve cadere ed esservi contenuto di misura. Il rame però è notevolmente più costoso dell'alluminio quindi si consiglia di usare tubi di alluminio possibilmente abbastanza spessi (2 - 3 mm) così da compensare la minore conducibilità ed ottenere un buon effetto frenante con una bassa resistenza elettrica ed un'alta densità di corrente.

Tubi di rame di uguale lunghezza e diametro interno e con spessori diversi, o con uguale lunghezza e spessore e diverso diametro possono essere utilizzati per interessanti dimostrazioni (ed esplorazioni) in classe da condurre nella fase di discussione dopo la prova. Sarebbe bene disporre anche di un tubo di plastica rigida per il confronto.

Le pastiglie magnetiche al neodimio possono spezzarsi a seguito di urto: per tale motivo e per evitare rincorse nel caso che cadendo rotolino in giro per l'aula, sarà prudente fornire delle scatoline di raccolta entro cui appoggiare la base inferiore del tubo.

Per studiare la relazione fra velocità limite e massa che cade si trattiene il magnete all'interno del tubo, all'altezza voluta, con un altro magnete. Poi si lascia cadere nel tubo un piccolo segmento di tondino d'ottone: tolto il magnete che funge da fermo, magnetino e tondino d'ottone cadranno solidalmente. Abbiamo usato tondini di ottone di diametro non superiore a 0.5 cm fatti tagliare in tratti di lunghezza di circa 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, e 15.0 cm. Si ricavano da un tondino di ottone di uno o due metri di lunghezza. Va fornita la densità lineare del tondino. In questo caso gli studenti calcolano la massa dei diversi segmenti dopo averne misurata la lunghezza ed aggiungono la massa del magnetino che deve venire fornita.

Se dovesse essere difficile procurarsi i segmenti di tondino d'ottone o anche se si volesse alleggerire il lavoro degli studenti si può fornire loro dei dadini d'ottone tutti uguali in modo che ad ogni misura possano aggiungere una massa di 2 - 3 grammi. La variante va spiegata prima dell'inizio della prova a cura dell'insegnante che vi assiste e la massa dei dadini fornita, insieme a quella del magnete.

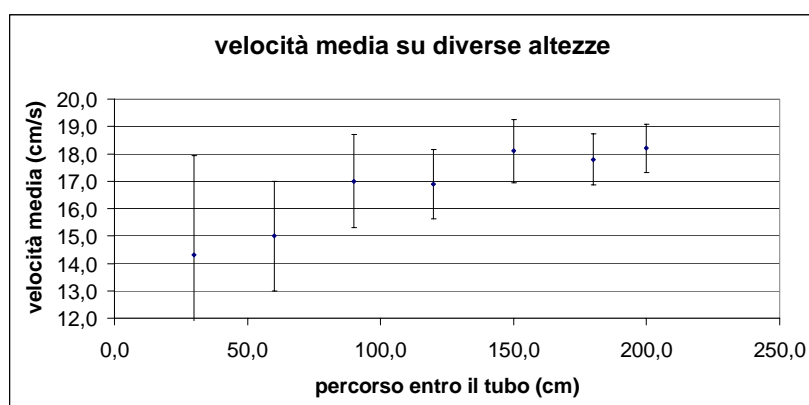
Esempio di risultati ottenuti

Con un tratto di tubo di alluminio lungo 201.5 cm, con diametro esterno di 0.80 cm e diametro interno di 0.55 cm e un magnete cilindrico lungo 2.05 cm, di diametro 0.50 cm e massa 4.3 g abbiamo trovato:

h (cm)	dh (cm)	t _{media} (s)	dt (s)	v (cms ⁻¹)	dv (cms ⁻¹)
200,0	0,5	11,0	0,2	18,2	0,9 (5%)
180,0	0,5	10,1	0,1	17,8	0,9 (5%)
150,0	0,5	8,3	0,1	18,1	1,1 (6%)
120,0	0,5	7,1	0,1	16,9	1,3 (7%)
90,0	0,5	5,3	0,1	17,0	1,7 (10%)
60,0	0,5	4,0	0,0	15,0	2,0 (13%)
30,0	0,5	2,1	0,1	14,3	3,6 (25%)

L'altezza di caduta è h, dh l'incertezza sulle sue misure, t il tempo medio di caduta per tre successive prove, dt la semidisposizione massima di queste misure, v e dv la velocità media e la sua incertezza.

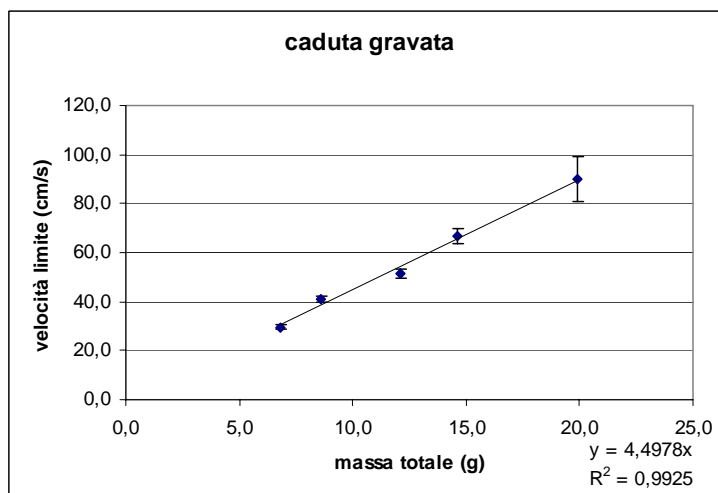
Una velocità di 17 cm/s potrebbe essere compatibile con tutte le misure rilevate ma si dovrebbe



anche osservare l'incertezza rilevante dei valori ottenuti nei due percorsi più brevi per cui, con precauzione, si conclude che, in base alle osservazioni fatte la velocità misurata del magnete è compatibile con un valore costante compreso fra 17,3 cm/s e 18,2 cm/s.

Per esplorare la dipendenza della velocità limite dalla massa il magnete è stato lasciato cadere sempre da un'altezza di 180 cm gravandolo via via con segmenti di tondino d'ottone. Anche in questo caso sono state prese tre misure per ogni caduta entro il tubo. La costante data dal rapporto fra il peso in caduta e la velocità limite è la costante di proporzionalità c fra la forza resistente e la velocità richiamata nella parte iniziale di queste brevi note.

m(gr)	v(cm/sec)	c=mg/v (Ns/m)
6,8	29,5	0,226
8,6	40,9	0,206
12,1	51,4	0,231
14,6	66,7	0,215
19,9	90,0	0,217



Conduzione della prova e valutazione

L'esperimento può risultare laborioso per studenti che non abbiano maturato abilità mirate nell'attività pratica. Si consiglia perciò che gli studenti conducano il lavoro a coppie. L'insegnante aggiungerà un punteggio positivo là dove la cooperazione avrà mostrato di funzionare, per la rapidità della conduzione delle misure ma anche per la distribuzione mirata e consensuale dei compiti. Se comunque gli studenti dovessero mostrare difficoltà a rispettare i tempi l'insegnante suggerirà di concludere bene almeno la prima parte con la raccolta e l'elaborazione dei dati, l'interpretazione motivata di quanto trovato ed i commenti sul lavoro fatto ed eventuali suggerimenti per migliorarlo.

GRIGLIA DI VALUTAZIONE	TOTALE PUNTI	100
PRIMA PARTE		
1. Tabella dei dati misurati chiaramente leggibile.....		
2. Unità di misura presenti e corrette		
3. Misure ripetute (almeno 3)		
4. Indicazione delle incertezze sulle misure di velocità		
5. Giustifica la velocità costante o non costante in base ai valori trovati e alle incertezze		
6. Mette in relazione correttamente la velocità costante con l'esistenza di una forza resistente e ne delinea le caratteristiche		
7. Altri accorgimenti motivati per migliorare le misure		
8. Altre osservazioni fondate volte ad interpretare il fenomeno in base ai dati		
9. ALTRO:		
10 ALTRO:		
SECONDA PARTE		
1 Tabella dei dati misurati chiaramente leggibile		
2. Unità di misura presenti e corrette		
3. Misure ripetute (almeno 3)		
4. Indicazione delle incertezze sulle misure di velocità		
5. Accuratezza nel riportare i dati nel grafico.....		
6. Andamento lineare riconosciuto e fondato		
7. Calcolo della costante (coefficiente angolare).....		
8. Eventuali osservazioni sensate e fondate sulle incertezze di misura.....		

9. ALTRO:	
10. ALTRO:	

In base agli obiettivi formativi della scuola relativi all'attività sperimentale nei corsi di fisica la commissione degli insegnanti responsabili della valutazione della prova distribuirà i punteggi fra le diverse voci suggerite, aggiungendone eventualmente altre.