

OLIMPIADI DI FISICA 2003

6 maggio 2003

Giochi di Anacleto: Istruzioni per la prova in laboratorio

Materiale riservato per i docenti

Scheda per la commissione che allestisce la prova e valuta i lavori degli studenti

La bottiglia zampillante

Presentazione

La “bottiglia zampillante” è un esemplare, a costo quasi nullo, della “Bottiglia di Mariotte”⁽¹⁾ che serve per ottenere un flusso costante di liquido da un recipiente. La bottiglia ha un tappo forato e attraversato da un tubicino che pesca nell’acqua contenuta nella bottiglia stessa. Un forellino sulla superficie laterale della bottiglia permette all’acqua di uscire, spinta dalla pressione idrostatica dell’acqua stessa. Sulla superficie dell’acqua contenuta nel tubicino che comunica con l’esterno la pressione è quella atmosferica, la stessa che c’è all’esterno del foro da cui esce l’acqua.⁽²⁾ Pertanto, in corrispondenza del foro, la differenza di pressione tra interno ed esterno è data dalla pressione idrostatica della sola colonna d’acqua che sta tra il livello della base del tubicino e quello del foro. Questa pressione resta costante e dà luogo a un flusso costante dell’acqua che esce dal foro, finché il livello dell’acqua nella bottiglia non scende sotto la base del tubicino. Da questo momento in poi il flusso decresce via via che il livello dell’acqua di abbassa.

Note di teoria

Nella prima fase la velocità v_1 di efflusso è

$$v_1 = \sqrt{2gh_c},$$

dove g è l’accelerazione di gravità e h_c è il dislivello costante tra il foro e la base della cannuccia. La relazione vale per un liquido ideale.

⁽¹⁾ Edmè Mariotte 1620-1684. Una trattazione della Bottiglia di Mariotte e di un suo uso didattico si trova in: E. Perrucca, Guida Pratica per Esperienze Didattiche di Fisica Sperimentale, Bologna 1938.

⁽²⁾ All’inizio, quando si apre il forellino e l’acqua comincia ad uscire, si vede il livello dell’acqua scendere solo nel tubicino fino a quando questo si vuota. La pressione sulla superficie libera dell’acqua nel tubicino è sempre quella atmosferica. La pressione uguale a quella atmosferica si troverà anche nella bottiglia piena d’acqua allo stesso livello della superficie libera dell’acqua nella cannuccia. A livelli superiori a questo, poiché siamo in condizioni di equilibrio idrostatico, ci sarà una pressione data dalla pressione atmosferica diminuita di quella esercitata da una colonna di liquido di altezza uguale al dislivello tra le due superfici. Appena l’acqua scende un pelo sotto la base del tubicino, entra una bolla d’aria e aumenta la pressione dell’aria nella bottiglia di quel po’ che basta a ripristinare il livello nel tubicino; questo si mantiene alla base del tubicino in un equilibrio autoregolato. Il livello dell’acqua nella bottiglia scende ed esce un getto d’acqua dal foro. Si nota chiaramente che il getto d’acqua pulsa con la stessa frequenza di ingresso delle bolle. La cannuccia si mantiene piena d’aria e al livello di base della cannuccia la pressione rimane uguale a quella atmosferica così che il getto continua ad uscire sempre con la medesima velocità fino a che, diminuendo il livello dell’acqua nella bottiglia, questo non raggiunge la base inferiore del tubicino. Da questo momento in poi l’acqua esce dal forellino come in una bottiglia priva di tappo.

Nella seconda fase, quando l'acqua è sotto la base della cannuccia, la velocità di uscita dell'acqua, v_2 , è

$$v_2 = \sqrt{2gh}.$$

La velocità ora diminuisce nel tempo poiché il dislivello h tra la superficie libera dell'acqua e il livello del foro va diminuendo. L'acqua che esce dal foro ha una gittata y che dipende sia dalla velocità di uscita del getto, sia dall'altezza z del foro rispetto al piano orizzontale di arrivo, o dove si effettua la misura. In condizioni ideali (assenza di resistenze passive),

$$y = 2\sqrt{hz}$$

come si può ricavare dalle tre equazioni seguenti:

$$\text{velocità di efflusso} \quad v_2 = \sqrt{2gh}$$

$$\text{gittata} \quad y = v_2 t$$

$$\text{spostamento verticale} \quad y_{\text{vert}} = \frac{1}{2}gt^2$$

La gittata misurata sperimentalmente risulta molto minore di quella calcolata e dipende dal diametro e dalla forma del forellino. Si osserva comunque che la gittata segue le sorti della velocità e della differenza di pressione tra interno ed esterno del foro: restano costanti finché vale il regime di Mariotte, oppure diminuiscono insieme quando il livello dell'acqua nella bottiglia sta sotto alla base del tubicino.

Materiali e preparazione dell'esperimento

- Bottiglia di plastica da 1,5 ℓ . La bottiglia ha un'altezza compresa tra 32 e 35 cm e va forata a circa 10 cm dal fondo. Per farlo si consiglia di usare un ago da cucire grosso, di quelli da lana, con la punta scaldata alla fiamma. Il forellino deve avere un diametro di circa 1,5 mm. Se è troppo stretto l'acqua esce troppo lentamente, se è troppo largo il getto può risultare irregolare. È consigliabile usare una bottiglia che non presenti anse troppo marcate per evitare errori di parallasse nella misura del livello h dell'acqua con il righello appoggiato alla superficie laterale della bottiglia. Le anse però non influiscono sull'andamento della gittata y in funzione del dislivello h .
- Tappo a vite della bottiglia, forato ed attraversato da un tubicino di vetro o di plexiglas trasparente delle dimensioni di una cannuccia da bibite. Se non fosse possibile trovare il tubicino trasparente si può usare una cannuccia da bibite, ma in questo caso si perderà la possibilità di osservare il movimento dell'acqua all'interno del tubicino. Il tappo a vite della bottiglia si può forare con un trapano o con un ferro da calza metallico, grosso e arroventato; si inserisce il tubicino lasciandone sporgere da 10 a 15 cm dalla parte che entrerà nella bottiglia. Con il tappo avvitato la distanza fra la base del tubicino interna alla bottiglia e il livello del foro dovrebbe essere di 10 ÷ 12 cm. Sigillare l'ingresso del tubicino nel tappo con adesivo lasciandolo asciugare bene.
- Vaschetta per raccogliere l'acqua che uscirà dalla bottiglia. È sufficiente una teglia da forno di alluminio da 3 litri. Si trovano nei supermercati: una coppia costa circa 1 Euro. Le dimensioni di quella usata nelle prove erano 29 cm × 22 cm × 4,5 cm. Si possono usare anche vaschette di plastica di forma simile e di capacità fino a 6 litri.
- 2 elastici
- Righello millimetrato (20 cm) che verrà applicato nel corso della prova sulla parete della bottiglia con i due elastici. Serve per misurare i dislivelli h e h_c . Gli studenti dovranno quindi porre lo "zero" della scala il più vicino possibile al forellino. Per misurare h_c con facilità e senza errori di parallasse, si consiglia di attendere il momento in cui l'acqua è arrivata alla base della cannuccia.
- Righello millimetrato (30 cm o 40 cm a seconda delle dimensioni della vaschetta) per misurare la gittata. La lunghezza del righello dipende dalla distanza tra i suoi due punti di appoggio. Non deve essere appoggiato sul fondo della vaschetta, perché il getto si allarga "atterrando" e inoltre, come l'acqua sale nella vaschetta, si sposta facilmente fluttuando.
- Base d'appoggio per la bottiglia. Serve per portare il fondo della bottiglia al livello del righello con cui si misurerà la gittata. Si possono usare spessori di legno o di polistirolo (larghi), o piccoli contenitori a forma di parallelepipedo o a tronco di cono rovesciati (per esempio quelli da 250 g di ricotta).
- Stuzzicadenti. Serve per tappare il forellino.

- Un secchio con acqua.
- Bicchiere, da almeno 0,25 ℓ , o piccola caraffa o dosatore da cucina, o mestolo. Si usa sia per togliere l'acqua dalla vaschetta, sia per versare l'acqua nella bottiglia attraverso l'imbuto.
- Imbuto, per versare l'acqua nella bottiglia. A tale scopo si può attingere l'acqua dal secchio con il bicchiere.
- Carta assorbente. Ne serve una lunghezza di almeno 60 cm. Andrà sistemata tra l'apparecchiatura e il piano del tavolo per assorbire l'acqua che uscirà dal forellino, specialmente nella fase finale delle due prove, quando la gittata si riduce a zero e l'acqua scorre lungo la parete della bottiglia.
- Foglio protocollo e foglio di carta millimetrata per la relazione sull'esperimento e i grafici.

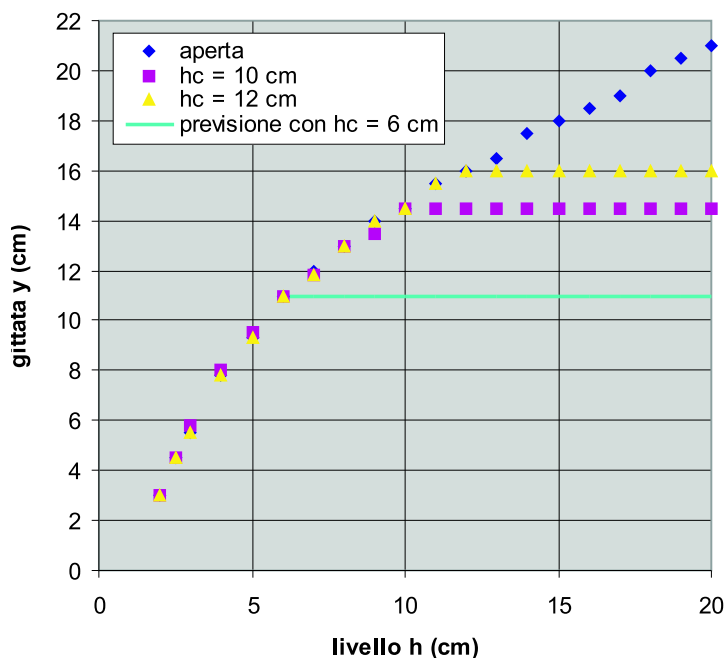
Volendo utilizzare la bottiglia di Mariotte per attività in classe si possono usare tubicini di vetro o di plexiglas con diametro esterno di circa 8 mm, lunghezza 30 cm. In questo caso il tappo va forato nel centro con una punta di trapano da 8 mm. Dopo aver infilato il tubicino si mette un po' di stucco da vetri tra il tappo e il tubicino per impedire il passaggio dell'aria. In tal modo il tubicino può scorrere nel foro fino a far sporgere la lunghezza desiderata. Si può anche confezionare un "tappo speciale" per la bottiglia con un po' di plastilina e farvi penetrare la cannuccia.

N.B. Per questa prova si utilizzeranno cannucce o tubicini fissati con adesivo al coperchietto, in modo che non possano scorrere e fornire una risposta sperimentale alla domanda 3, dove si chiede invece una previsione.

Conduzione della prova

È consigliabile far lavorare gli alunni a coppie nelle fasi di preparazione e di esecuzione dell'esperimento, o, al massimo, a gruppi di tre; queste due fasi dovrebbero richiedere complessivamente un tempo di circa 40 minuti. La relazione con tabelle, grafici, elaborazione dei dati e risposta alle domande andrà fatta individualmente. All'inizio della prova i materiali necessari sono già disposti sui banchi di lavoro. Ciascun alunno riceve una copia del testo ed è invitato a leggerlo prima di procedere con l'esperimento. Si avvisino gli alunni che dovranno organizzarsi per raccogliere i dati in un tempo definito (60 - 80 minuti tenendo conto del tempo necessario per la lettura e la comprensione del testo). Gli alunni dovranno avere ciascuno un foglio individuale per annotare le proprie osservazioni e per la raccolta dei dati. Il dispositivo sperimentale rimarrà a loro disposizione durante la stesura della relazione per eventuali controlli.

Esempio di risultati



BOTTIGLIA DA 1,5 LITRI				
livello h (cm) (incertezza $\pm 0,1$ cm)	gittata y (cm) (incertezza $\pm 0,5$ cm) ^(*)			
	bottiglia aperta	bottiglia con tappo e cannuccia		
		$h_c = 10$ cm	$h_c = 12$ cm	$h_c = 6$ cm
				Previsione
20	21,0	14,5	16,0	11,0
19	20,5	14,5	16,0	11,0
18	20,0	14,5	16,0	11,0
17	19,0	14,5	16,0	11,0
16	18,5	14,5	16,0	11,0
15	18,0	14,5	16,0	11,0
14	17,5	14,5	16,0	11,0
13	16,5	14,5	16,0	11,0
12	16,0	14,5	16,0	11,0
11	15,5	14,5	15,5	11,0
10	14,5	14,5	14,5	11,0
9	14,0	13,5	14,0	11,0
8	13,0	13,0	13,0	11,0
7	12,0	11,8	11,8	11,0
6	11,0	11,0	11,0	11,0
5	9,3	9,5	9,3	
4	7,8	8,0	7,8	
3	5,5	5,8	5,5	
2,5	4,5	4,5	4,5	
2	3,0	3,0	3,0	
1				
0				

(*) L'incertezza delle misure della gittata è dovuta principalmente alla pulsazione del getto.

Domanda 1

- 1.a Chiudendo con un dito la cannuccia si nota che la gittata in poco tempo diminuisce e si annulla, un po' d'acqua continua ad uscire scorrendo lungo la bottiglia.
- 1.b Sul foro, dalla parte interna alla bottiglia, la pressione fa equilibrio alla pressione atmosferica dalla parte esterna. La pressione idrostatica dell'acqua non si somma più alla pressione atmosferica, ma ad una pressione minore, dato che l'aria occupa ora anche il volume dell'acqua che ha continuato ad uscire per un po'.

Domanda 2

Bottiglia con imboccatura aperta: la gittata y diminuisce sempre più al diminuire del dislivello h .

Bottiglia con tappo e tubicino: la gittata y resta costante al diminuire del dislivello h , finché la superficie dell'acqua non arriva alla base della cannuccia ($h = h_c$). Da questo momento in poi la gittata y diminuisce come faceva con la bottiglia aperta.

Domanda 3

La risposta a questa domanda dipende dai dati sperimentali che potranno variare sensibilmente da una apparecchiatura a un'altra, dipendendo principalmente dall'altezza z del foro rispetto al righello orizzontale.

Con i dati dei grafici riportati sopra, le risposte sono (si vedano il grafico e la “previsione” nella figura precedente):

Per $h_c = 6$ cm

3.a con $h_1 = 4$ cm, $y_1 = 8$ cm. In questo caso, con $h_1 < h_c$, la gittata è la stessa che si avrebbe con bottiglia aperta.

3.b con $h_2 = 9$ cm, $y_2 = 11$ cm. In questo caso, invece, con $h_2 > h_c$, si è nella fase di gittata costante; y ha lo stesso valore che assume per $h = h_c$ negli altri due grafici.

Valutazione

Se le misure sono nettamente sbagliate, assegnare 0 punti alla tabella e alle risposte 3.a, 3.b.

GRIGLIA DI VALUTAZIONE :		Totale Punti 100
1	Tabella	25
1.1	Chiara	5
1.2	Completa (valore di h_c , almeno 15 misure per prova)	15
1.3	Cifre significative e/o incertezze	5
2	Grafici	25
2.1	Corretti	15
2.2	Indicazioni sugli assi	5
2.3	Incertezze	5
3	Risposta 1	15
3.1	Parte A	5
3.2	Parte B	10
4	Risposta 2	10
4.1	Descrizione dell'andamento di y nei due grafici, analogie e differenze	10
5	Risposta 3	25
5.1	Parte A	10
5.2	Parte B	15

Materiale prodotto dal Gruppo

	PROGETTO OLIMPIADI
	c/o Liceo Scientifico “U. Morin” - Mestre, VE
	Fax: 041 58 41 272 e-mail: olifis@libero.it
	www.cadnet.marche.it/olifis