

NOTA 1:

La molla è pretensionata: in assenza di forze esterne la sua lunghezza è superiore alla lunghezza a riposo (quella che avrebbe se il diametro del filo che costituisce le sue spire fosse inferiore); occorre applicare una forza di una certa entità prima di osservare un allungamento. Pertanto appendendo piccole masse potrebbe non esserci un allungamento della molla e quindi nessun moto del pendolo.

Sezione 1: misura statica della costante elastica di una molla

Appendere una massa variabile alla molla, smorzare eventuali oscillazioni e misurare la quota (rispetto al piano di appoggio) di un punto solidale con la massa.

Dallo studio  $Z$  vs  $M$  dell'andamento statico della quota ( $Z$ ) in funzione della massa ( $M$ ) ricavare il valore della costante elastica della molla.

Utilizzare la bilancia per la misura delle 11 masse  $M$ .

Sezione 2: misura dinamica della costante elastica di una molla (pendolo verticale)

Appendere una massa variabile alla molla, spostare di pochi centimetri il sistema dalla posizione di equilibrio e lasciare oscillare verticalmente il sistema.

Visualizzare l'andamento della forza in funzione del tempo. Determinare il periodo a partire dalla misura del tempo necessario affinché la forza compia 10 oscillazioni (l'incertezza della misura del tempo è legata alla frequenza di campionamento del sensore).

Dallo studio dinamico dell'andamento del periodo in funzione della massa ricavare il valore della costante elastica della molla (linearizzare la funzione da studiare).

Sezione 3: misura della costante elastica di una molla

Dai risultati delle sezioni precedenti ricavare il valore della costante elastica della molla

NOTA 2: a partire dagli appunti presi a lezione dovrete essere in grado di determinare le relazioni da graficare ...

**L'ESECUZIONE DI TUTTE LE MISURE RICHIEDE MOLTO TEMPO. APPENA DI UNA SEZIONE AVETE REALIZZATI I GRAFICI, FATEMELI CONTROLLARE E PASSATE ALLA SEZIONE SUCCESSIVA.**

**SOLO TERMINATE LE MISURE COMPLETATE LE TABELLE CON LE INCERTEZZE ED ELABORATE I DATI FINALI.**

Sezione 1: **dipendenza del periodo del pendolo dalla sua lunghezza** (metro, cronometro) *1 ora*

- 1) Fissare la lunghezza  $L$  del pendolo al valore nominale di 30 cm; misurare con attenzione il valore esatto (al decimo di divisione) e riportarlo in tabella (ripetere la misura alcune volte per poter calcolarne la deviazione standard).
- 2) Lasciare il pendolo dopo averlo spostato di circa 5 cm dalla verticale; aspettare che le oscillazioni si siano stabilizzate (oscillazioni contenute in un piano); far partire il cronometro in corrispondenza di una elongazione massima e arrestarlo in corrispondenza del compimento della decima oscillazione (attenzione allo sbaglio frequente di misurare la durata di 5 o 9 periodi !)
- 3) Riportare in tabella la durata  $t_{10}$  delle 10 oscillazioni (ripetere la misura più volte per determinarne la precisione)
- 4) Ripetere la sequenza dei punti 1, 2, 3 ma misurando, una sola volta, la lunghezza e la rispettiva durata  $t_{10}$  di 10 oscillazioni per alcuni valori equispaziati della lunghezza del pendolo compresi tra 15 e 45 cm.
- 5) A partire dalla relazione  $\omega_0^2 = g/L$  linearizzare la funzione che lega  $T$  a  $L$ , tabulare i valori da graficare e le loro incertezze [ $L$  30 cm  $\rightarrow$  tipo A; altri  $L \rightarrow$  tipo B]
- 6) Graficare i risultati della tabella, tracciare la retta che meglio approssima i punti sperimentali; ricavare  $p$  e  $q$ ; ricavare con i minimi quadrati la pendenza  $p$  (con la sua incertezza) e l'intercetta  $q$ , confrontare  $p$  e  $q$  del grafico con  $p$  e  $q$  dei minimi quadrati.
- 7) Noto il titolo del grafico ricavare la misura di  $g$ .

Sezione 2: **isocronismo delle piccole oscillazioni** del pendolo (cronometro, orologio) *20 minuti*

- 1) Far partire il pendolo (con una lunghezza nominale di 45 cm) e appena si stabilizzano le oscillazioni misurare la durata di 3 oscillazioni (riportare in tabella il tempo iniziale  $t = 0$  e la durata  $t_3$  di 3 oscillazioni)
- 2) Dopo un tempo  $t$  pari a mezzo minuto misurare la durata  $t_3$  di altre 3 oscillazioni
- 3) Continuare a misurare la durata di altre 3 oscillazioni ad intervalli di mezzo minuto per alcuni (4-5) minuti e tabulare i risultati
- 4) Ricavare la misura della pendenza dell'andamento di  $t_3$  vs  $t$ .

Sezione 3: **andamento temporale dell'ampiezza** dell'oscillazione (metro, cronometro) *1 ora*

- 1) Posizionare il metro in modo che lo zero coincida con la posizione di equilibrio del pendolo avendone fissata la lunghezza a  $L = 45$  cm nominali
- 2) Spostare orizzontalmente il pendolo di circa 15 cm e lasciarlo andare mentre parte il cronometro
- 3) Misurare (per 4-5 minuti) l'ampiezza  $A(t)$  (elongazione massima) ogni mezzo minuto
- 4) Tabulare i risultati (ampiezze e tempi); completare la tabella con le incertezze ...

- 5) Calcolare  $\ln [A(t)/(1 \text{ cm})]$  e riportare i valori in tabella; graficare  $\ln [A(t)/(1 \text{ cm})]$  vs  $t$  in carta lineare
- 6) Utilizzare la **carta semilogaritmica** riportando sull'asse logaritmico i valori  $A(t)/1 \text{ cm}$  (argomento della funzione logaritmo) e su quello lineare i tempi; tracciare la miglior retta e ricavarne la pendenza
- 7) Utilizzare i minimi quadrati (ricordatevi di calcolare i logaritmi delle ampiezze) per ricavare il valore di  $p$  con la sua incertezza

#### Sezione 4: **andamento temporale della velocità** massima del pendolo (fototraguardo) *1 ora*

- 1) Fissare a circa 30 cm la lunghezza del pendolo in modo che il cilindretto intercetti il raggio infrarosso emesso dal traguardo a fotocellula
- 2) Misurare la lunghezza  $L$  del pendolo e il diametro  $D$  del cilindretto
- 3) Impostare la misura di  $D$  come valore del parametro "ampiezza del pendolo" nel programma di acquisizione
- 4) Spostare lateralmente il pendolo di circa 10 cm
- 5) Far partire l'acquisizione (misura di periodo e velocità) e arrestarla dopo 4 -5 minuti
- 6) Copiare dalla tabella dei dati raccolti on-line solo i valori di  $T$  e  $V_{\text{MAX}}$  raccolti ogni 20 s circa
- 7) Graficare  $V_{\text{MAX}}$  vs  $t$  in **carta semilogaritmica**; ricavare la pendenza graficamente
- 8) Ricavare la pendenza e l'intercetta con i minimi quadrati

### CONFRONTI E COMMENTI

#### Sezione 1

Quanto vale la misura dell'accelerazione di gravità? È compatibile con  $g_N = 9,80665 \text{ m/s}^2$ ?

#### Sezioni 2, 3, 4

Come agisce l'attrito con l'aria sul moto del pendolo? Confrontare le previsioni teoriche con quanto osservato in laboratorio con particolare riferimento a:

- isocronismo delle oscillazioni:  $T = T(t)$  ?
- andamento temporale dell'ampiezza dell'oscillazione  $A(t) = A_0 e^{-\gamma t}$
- andamento temporale della velocità massima del pendolo  $V_{\text{MAX}}(t) = V_0 e^{-\gamma t}$
- valore del periodo dell'oscillazione (con e senza attrito) e sua dipendenza temporale

**pulsazione per piccole oscillazioni:** 
$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L} - \left(\frac{b}{2m}\right)^2} = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$$

**periodo in assenza di attrito** 
$$T = T_0 \left[ 1 + \frac{1}{4} \sin^2 \left( \frac{\vartheta_{\text{MAX}}}{2} \right) + \dots \right]$$