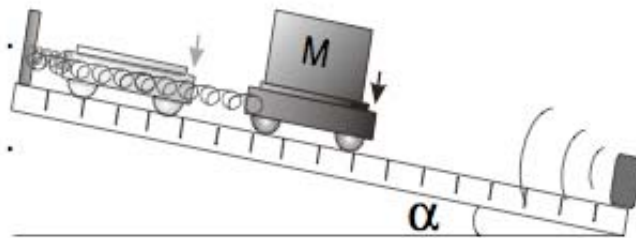


Studio del moto di un carrello in un piano inclinato II.

**1) Introduzione.**

Il carrello, carico con una massa appoggiata sopra, è collegato all'estremo del piano inclinato attraverso una molla di massa trascurabile. Se il piano è inclinato come in figura di un angolo  $\alpha$ , il peso allunga la molla fino a portarsi ad una nuova posizione di equilibrio. Spostando il carrello dalla posizione di equilibrio si determina un moto di oscillazioni smorzate, con uno smorzamento dovuto all'attrito presente tra carrello e piano ed eventualmente all'attrito viscoso dovuto all'aria.



**2) Strumentazione a disposizione.**

Ciascun gruppo ha a disposizione un piano inclinato lungo circa 2 m sul quale scorre un carrello. Il sistema è corredato da un sonar che misura la posizione del carrello in funzione del tempo. Lo strumento è interfacciato direttamente con un PC attraverso un programma di acquisizione dati che permette di visualizzare sia graficamente che sotto forma di tabella il risultato di ciascuna misura. E' inoltre possibile registrare su file le misure effettuate.

Per la misura sopra descritta sono disponibili anche una molla, due masse che si possono caricare sul carrello ed una "vela" che serve ad aumentare il contributo dell'attrito viscoso.

**3) Sequenza di operazioni in laboratorio.**

(A) Misura della massa  $m$  del carrello e di quella  $M$  delle due masse con cui il carrello viene caricato.

(B) Calibrazione. Sia la calibrazione del sonar che quella dello 0 dell'inclinazione va ripetuta e controllata come nell'esperienza precedente.

(C) Misura. In primo luogo occorre individuare un valore opportuno dell'angolo  $\alpha$  per il quale, spostando il carrello di una quantità opportuna dalla posizione di equilibrio, si abbia un buon numero di oscillazioni prima che il carrello torni a fermarsi nella posizione di equilibrio. Fissato l'angolo, l'angolo deve essere misurato. Quindi si procede alla misura della posizione  $x(t)$  del carrello in funzione del tempo, facendo partire il carrello da una posizione fissa a velocità nulla e attendendo che il carrello si fermi.

Si effettui questa misura in 3 diverse configurazioni:

- (1) con il carrello vuoto;
- (2) con il carrello caricato con le due masse
- (3) con il carrello caricato con le due masse sulle quali viene anche attaccata la "vela".

Per tutti i tre casi si suggerisce di ripetere la misura per un numero di volte  $N > 10$ .

Da ciascun grafico della posizione del carrello in funzione del tempo si determini:

→ il periodo delle oscillazioni  $T$ : si suggerisce per questa misura di valutare l'incertezza di misura valutando la deviazione standard tra le  $N$  misure fatte per ogni configurazione;

→ la posizione finale  $x_\infty$ : può accadere che per effetti di attrito statico la posizione in cui il carrello si ferma al termine della misura non coincida con la posizione di equilibrio  $x_{eq}$ . Questo fenomeno può essere facilmente messo in evidenza determinando la deviazione standard di  $x_\infty$  per le  $N$  misure fatte per ogni configurazione;

→ l'ampiezza dei massimi  $x_{max}(t)-x_\infty$  e dei minimi  $x_{min}(t)-x_\infty$  rispetto alla posizione finale in funzione del tempo.

**(E) Analisi dei dati.**

(1) Per le considerazioni fatte a proposito della non riproducibilità di  $x_\infty$  si suggerisce di riportare separatamente su carta millimetrata gli andamenti di  $x_{max}(t)-x_\infty$  e di  $|x_{min}(t)-x_\infty|$  in funzione di  $t$  per almeno un run in ciascuna delle tre configurazioni. Dai grafici, valutare qualitativamente se lo smorzamento è lineare (come dovrebbe essere nel caso di attrito radente/volvente) o esponenziale (caso dell'attrito viscoso) e commentare i risultati.

(2) Per ciascuno dei due casi senza "vela", si effettui graficamente un fit lineare degli andamenti sia di  $x_{max}(t)-x_\infty$  che di  $|x_{min}(t)-x_\infty|$  in funzione di  $t$ , determinando le due pendenze ( $a_{max}$  e  $a_{min}$ ) e le due intercette ( $b_{max}$  e  $b_{min}$ ). Dalle intercette si determini la posizione di equilibrio utilizzando la relazione:

$$x_{eq} = x_\infty - \frac{b_{min} - b_{max}}{2}$$

(3) Dalle due misure di  $x_{eq}$  condotte con il metodo descritto nel punto (2) sia per il caso del carrello vuoto ( $x_{eq}^{(1)}$ ) che per quello del carrello carico ( $x_{eq}^{(2)}$ ), si determini la costante di elasticità della molla:

$$k = \frac{Mg \sin \alpha}{|x_{eq}^{(2)} - x_{eq}^{(1)}|}$$

(4) Si verifichi che il periodo misurato  $T$  è consistente con il periodo calcolato sulla base della formula:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M+m}{k}}$$

(5) Infine dalle pendenze  $a_{max}$  e  $a_{min}$  ottenute facendo i fit dei run senza "vela", è possibile ricavare il coefficiente di attrito  $\mu$  secondo la relazione:

$$\mu = a \frac{Tk}{4(M+m)g \cos \alpha}$$

in cui  $a$  è la pendenza media ottenuta dai fit, mentre per  $T$  e  $k$  sono utilizzati i valori determinati sperimentalmente.