

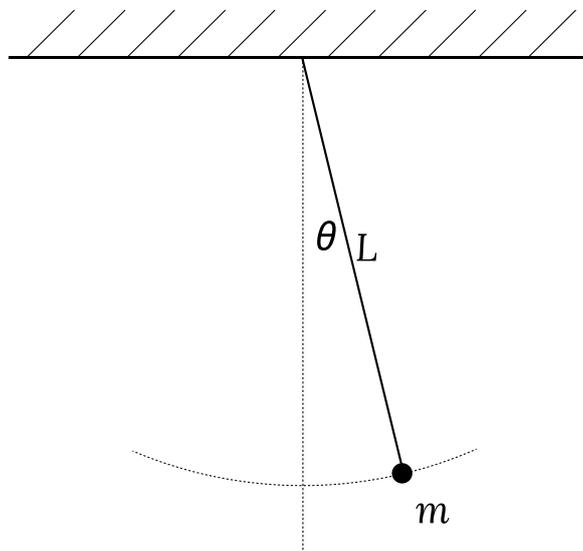
# Esperienza di laboratorio di Fisica 1

## Ingegneria Aerospaziale - Canale B

Jacopo Pazzini - Armando Francesco Borghesani

A.A. 2020-2021

L'esperienza di laboratorio consta nella costruzione di un pendolo semplice e nello svolgimento di misure con lo scopo di arrivare ad una stima dell'accelerazione di gravità.



È stato evidenziato a lezione come la descrizione del moto del pendolo si riconduce alla legge oraria:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \sin \theta = 0 \quad (1)$$

Sotto l'approssimazione di piccole oscillazioni il moto si riconduce a:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \theta = 0 \quad (2)$$

Equazione che descrive un moto armonico semplice del tipo:

$$\theta(t) = \theta_0 \sin(\omega t + \phi) \quad (3)$$

Con pulsazione e periodo dati da:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (4)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (5)$$

È quindi chiaro come dalla misura del periodo del pendolo, nota la lunghezza  $L$  di questo, si possa arrivare ad una misura indiretta dell'accelerazione di gravità:

$$g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2} \quad (6)$$

# 1 Costruzione del pendolo semplice

Viene richiesto di procedere alla costruzione di un pendolo semplice. La caratteristica fondamentale del pendolo semplice è di poter essere con buona approssimazione considerato come un punto materiale di massa  $m$  collegato ad una corda o filo inestensibile di lunghezza  $L$  e di massa trascurabile. Il filo è a sua volta vincolato in un punto, e il corpo è libero di oscillare descrivendo così il suo moto in un piano.

Il moto descritto dal corpo è con ottima approssimazione un moto armonico semplice, se si limita il moto alle piccole oscillazioni attorno alla posizione di equilibrio.

Affinché possiamo considerare valide tutte le approssimazioni fin qui elencate sarà necessario porre particolare cura alla costruzione del sistema:

- il corpo da collegare al filo deve essere il più possibile simmetrico, e di dimensioni trasverse trascurabili per essere ben approssimato ad un punto materiale (e non ad un corpo rigido)
- l'utilizzo di un corpo di piccole dimensioni contribuirà inoltre a poter considerare trascurabile l'attrito viscoso del corpo con l'aria
- la massa del corpo è poi da scegliere in maniera appropriata in relazione al filo/corda utilizzato. Affinché infatti possa valere l'approssimazione della corda come di una filo ideale, la massa di quest'ultima deve risultare trascurabile (quindi molto più piccola) della massa del corpo ad esso collegato
- perché possiamo svolgere lo studio delle *piccole* oscillazioni il massimo scostamento del corpo dalla verticale deve dare luogo ad un angolo piccolo (per il quale quindi valga l'approssimazione  $\sin \theta \approx \theta$ ). Per facilitare l'osservazione delle oscillazioni del pendolo è quindi consigliato utilizzare un filo di una lunghezza non inferiore agli 80 cm/1 m.

## 2 Descrizione degli strumenti di misura e caratterizzazione del sistema

Descrivere gli strumenti di misura utilizzati per lo svolgimento dell'esperienza di laboratorio, riportandone la sensibilità.

Svolgere una misura della massa  $m$ , e della distanza tra l'estremità vincolata del filo e il baricentro della massa ad esso collegata  $L$ , discutendo l'errore totale da associare a ciascuna misura.

## 3 Misura del periodo di oscillazione del pendolo

Al fine di misurare il periodo di oscillazione del pendolo si dovrà utilizzare un sistema adatto alla misura di tempo (ad esempio un orologio o il cronometro di uno smartphone). Descrivere anche per questo strumento la sensibilità che si attribuirà alle misure con esso effettuate.

Viene quindi richiesto di procedere allo svolgimento di alcune misure di periodo di oscillazione del pendolo. A tal fine si porterà la massa in una posizione diversa da quella di riposo (compatibile con l'assunzione di piccoli angoli descritta in precedenza), dalla quale verrà poi rilasciata. Si consiglia di fare attenzione ai punti seguenti:

- per porre in oscillazione il pendolo è importante non fornire alcuna spinta iniziale alla massa in fase di rilascio
- è inoltre importante ridurre per quanto possibile movimenti "lateral" rispetto il piano di oscillazione, per evitare che il sistema si riconduca al caso di pendolo conico

Per misurare il periodo di oscillazione si consiglia di utilizzare come riferimento temporale ( $t_0 = 0$ ) una delle due posizioni estreme del pendolo (minimo/massimo valore di  $\theta$ ).

Procedere quindi alla misura del periodo del pendolo nelle seguenti condizioni:

1. svolgere  $N_1 = 40$  misure di periodo di una singola oscillazione
2. svolgere  $N_2 = 20$  misure di 10 oscillazioni

Utilizzando un foglio di calcolo (Microsoft Excel, Google Sheets, LibreOffice Calc, Apple Numbers, ...) per ciascun insieme di misure:

- descriverne media, scarto quadratico medio ed errore standard della media
- riportare i valori su di un ideogramma e su di un istogramma (con un appropriato numero di divisioni)
- determinazione del periodo del pendolo  $T$ , e attribuzione dell'errore casuale
- discutere possibili sorgenti di errore sistematico e come potrebbero essere ridotte o stimate

## 4 Verifica della dipendenze del periodo di oscillazione rispetto le caratteristiche del pendolo

È poi richiesto di confrontare le misure prese sotto diverse condizioni al fine di verificare la dipendenza (o indipendenza) del periodo dalle grandezze caratterizzanti il pendolo.

### 4.1 Dipendenza dalla massa

Modificare il pendolo semplice, variando, a parità di lunghezza  $L$ , la massa  $m$  ad esso collegato e ripetere le misure di periodo per 3 diverse configurazioni:

1.  $N = 10$  misure di periodi di 10 oscillazioni per  $m_1$
2.  $N = 10$  misure di periodi di 10 oscillazioni per  $m_2$
3.  $N = 10$  misure di periodi di 10 oscillazioni per  $m_3$

Misurare nuovamente e riportare la lunghezza del filo per ciascuna delle tre configurazioni.

- descriverne media, scarto quadratico medio ed errore standard della media
- realizzare un grafico bidimensionale in cui riportare il periodo  $T_i$  in funzione della massa  $m_i$
- svolgere una regressione lineare secondo l'equazione  $T_i = a + bm_i$ , e calcolare i parametri di intercetta ( $a$ ) e coefficiente angolare ( $b$ ), e loro errori
- calcolare il coefficiente di correlazione lineare  $r$  tra le due grandezze e commentare il risultato ottenuto

### 4.2 Dipendenza dalla lunghezza

Modificare il pendolo semplice, variando, a parità di massa  $m$ , la lunghezza  $L$  del filo, e ripetere le misure di periodo per 3 diverse configurazioni:

1.  $N = 10$  misure di periodi di 10 oscillazioni per  $L_1$
2.  $N = 10$  misure di periodi di 10 oscillazioni per  $L_2$
3.  $N = 10$  misure di periodi di 10 oscillazioni per  $L_3$

- descriverne media, scarto quadratico medio ed errore standard della media
- realizzare un grafico bidimensionale in cui riportare il *quadrato* del periodo  $T_i^2$  in funzione della lunghezza  $L_i$
- svolgere una regressione lineare secondo l'equazione  $T_i^2 = a + bL_i$ , e calcolare i parametri di intercetta ( $a$ ) e coefficiente angolare ( $b$ ), e loro errori
- calcolare il coefficiente di correlazione lineare  $r$  tra le due grandezze e commentare il risultato ottenuto

## 5 Misura dell'accelerazione di gravità

Avendo ora a disposizione numerosi insiemi di dati collezionati in un una varietà di configurazioni, ricavare per ciascuno di essi una misura accelerazione di gravità a partire dalla relazione:

$$g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2} \quad (7)$$

e per ciascun valore di  $g$  ricavare l'errore associato, ottenuto propagando opportunamente gli errori sulle grandezze misurate direttamente.

Avendo quindi diverse misure indipendenti di  $g$ , risultato di esperimenti con configurazioni indipendenti e quindi con diversi errori relativi associati, calcolare infine la media pesata e l'errore su di essa.