

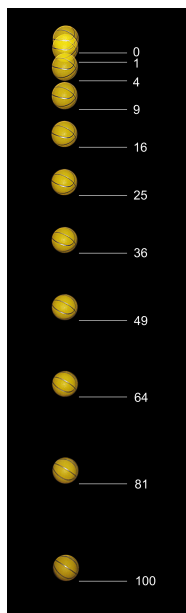
# Caduta Libera

(exp. id 20200902-1)

Un esperimento proposto da  
Giovanni Organitini – Sapienza Università di Roma & INFN-Sez. di Roma, Italy

## Introduzione

In questo esperimento, dedicato allo studio della caduta libera, indagiamo la maniera in cui cadono i corpi sotto l'azione del campo gravitazionale terrestre. In particolare, ci interessa studiare la



combinazione dei moti in due dimensioni e quantificare l'accelerazione dovuta alla gravità  $g$ . Per eseguire questo esperimento utilizziamo uno smartphone dotato di PHYPHOX, App gratuita disponibile per i principali sistemi operativi negli *App store* corrispondenti. Tra le possibili misurazioni effettuabili con PHYPHOX c'è la possibilità di registrare il tempo trascorso tra due eventi acustici. Questa misurazione si esegue utilizzando il "Cronometro Acustico". Esso inizia a misurare il tempo quando rileva, attraverso il microfono, un suono la cui intensità è superiore a una soglia definita dall'utente; il cronometro si ferma quando è rilevato un secondo evento. Dai manuali di fisica sappiamo che i corpi all'interno di un campo gravitazionale uniforme seguono una traiettoria parabolica la cui equazione del moto, in un sistema di riferimento bidimensionale con asse  $x$  orizzontale e asse  $y$  verticale, è

$$\begin{cases} x(t) = x_0 + v_x(0)t \\ y(t) = y_0 + v_y(0)t - \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

con  $g \simeq 9.8 \text{ m/s}^2$ . La posizione iniziale e la velocità del corpo sono rispettivamente  $(x_0, y_0)$  e  $(v_x(0), v_y(0))$ . Secondo queste equazioni, i moti lungo le direzioni  $x$  e  $y$  sono completamente disaccoppiati e indipendenti l'uno dall'altro. Di seguito supponiamo di ignorare quanto sopra e progettiamo un esperimento per apprenderlo dall'esperienza.

## Materiale Richiesto

1. Uno smartphone con PHYPHOX installato
2. Alcune monete di differente valore
3. Un metro a nastro o un righello
4. Supporti di diverse altezze, con superfici piane (tavoli, sedie, scatole, ecc.)
5. Un bastoncino (una penna, una forchetta, un righello, ecc.)
6. Una bilancia
7. Un computer per registrare i dati e produrre grafici. Il computer può servire anche per condurre l'analisi dei dati.

## Utilizzo del Cronometro acustico

---

Puoi trovare il cronometro acustico tra gli strumenti nella sezione MISURA DI TEMPO di PHYPHOX. La soglia, espressa in unità arbitrarie, dev'essere regolata in modo che sia superiore al rumore ambientale. Il ritardo minimo evita di avere un *trigger* di stop per tempi inferiori a quello dato. Questo può essere utile per evitare che gli echi del primo evento, ad esempio, raggiungano il microfono prima che si verifichi il secondo evento. Di solito i valori predefiniti vanno bene.

Cliccando sul piccolo triangolo, pulsante in alto a destra del display (pulsante di avvio), lo smartphone inizia ad 'ascoltare'. Batti le mani per avviare il cronometro. Applaudi di nuovo per fermarlo e leggere il tempo trascorso tra gli eventi sul display.

Nella scheda SERIE sono visualizzati fino a 5 eventi consecutivi. Il tempo  $n$  mostra il tempo trascorso tra l'evento  $n - 1$  e l'evento  $n$ . Nella vista PARALLELO vengono mostrati gli stessi tempi rispetto all'evento di partenza 0. Nella scheda MOLTI è possibile vedere un grafico del tempo registrato per ogni evento dall'inizio dell'esperimento insieme ad alcune statistiche. Prova ad applaudire più volte per vedere cosa succede in ciascuna visualizzazione.

Puoi interrompere l'esperimento utilizzando il pulsante di pausa e eliminare le misurazioni facendo clic sull'icona del cestino.

## Tempo di caduta in funzione della velocità iniziale

---

Metti una moneta vicino al bordo di un tavolo. Avvia il cronometro acustico, quindi colpisci la moneta con la punta del bastoncino. Il rumore dovrebbe essere sufficiente per avviare il cronometro. In caso contrario, regola la sua soglia.

Quando la moneta colpisce il pavimento, il rumore dovrebbe fermare il cronometro. Leggi il tempo trascorso  $t_i$  e prendine nota. Misura la distanza orizzontale  $x_i$  raggiunta dalla moneta rispetto al tavolo e annotala.

Ripeti l'esperimento almeno cinque volte, dando alla moneta velocità diverse. La velocità iniziale  $v_i$  della moneta dev'essere correlata con  $x_i$ : più lunga è  $x_i$ , maggiore è  $v_i$ .

Disegna un diagramma  $t_i$  vs  $x_i$  e deduci da esso le conclusioni. Il tempo di volo dipende dalla velocità iniziale della moneta? In caso contrario, quanto tempo impiega per cadere? Esprimi correttamente le misurazioni.

## Tempo di caduta in funzione dell'altezza

---

Ripeti l'esperimento con la moneta partendo dal bordo di oggetti posti a diverse altezze  $h_i$ . Per ogni altezza, prendi alcune misurazioni, quindi calcola la media.

Disegna il diagramma di  $t_i$  vs  $h_i$ . Il tempo di volo dipende da  $h$ ? Come? Prova a tracciare il grafico di  $t_i^2$  in funzione di  $h$ . Il grafico è coerente con le previsioni?

Esegui una regressione lineare dei dati sperimentali con una retta di interpolazione e ricava i parametri del *fit*. Controlla se questi sono coerenti con i risultati attesi.

## Tempo di caduta in funzione della massa

---

Ripeti l'esperimento sopra descritto con monete di peso diverso. Stima i parametri della retta e tracciane un grafico della pendenza in funzione della massa della moneta, misurata con una bilancia. Il tempo di volo dipende dalla massa?

## Osservazioni generali

---

Cerca sempre di stimare correttamente le incertezze di ciascuna misurazione. Riesci a individuare qualche fonte di errore sistematico? Se sì, riesci a valutarne l'entità?

Prima di iniziare qualsiasi serie di misurazioni, esegui alcuni test per allenare la tua capacità di eseguire operazioni senza problemi. Annota le misurazioni in modo ordinato e completo (indicando valori, incertezze e unità di misura). Usa tabelle e grafici in modo appropriato.

# Per l'insegnante

(exp. id 20200902-1)

1. Un modo semplice per trattare i dati è registrarli su un foglio di calcolo di Google. A livello universitario, sarebbe opportuno salvare i dati in *files* di testo e recuperare i *files* tramite *scripts* Python per la loro analisi.
2. Verificare che gli echi non interferiscano con la misurazione. Gli echi possono attivare l'arresto del contatore, se abbastanza intensi. Per valutare i loro effetti, impostare a zero il ritardo del cronometro acustico, quindi produrre il suono di attivazione. Se gli echi sono importanti, il cronometro si ferma prima che la moneta tocchi il pavimento. Prendi nota del tempo registrato in pochi esperimenti e imposta un ritardo  $t_d$  abbastanza alto da evitare i loro effetti. Quindi, poiché  $h = \frac{1}{2}gt^2$ , imposta la minima altezza della moneta come  $\frac{k}{2}gt_d^2$  con  $1 < k < 2$ .
3. Questo esperimento è stato testato con successo presso l'Università Sapienza di Roma, corso di fisica del primo anno, 2020.

## Obiettivi, Livello di distribuzione e Durata

1. Obiettivo primario: destare interesse per le misure e familiarizzare con gli strumenti.
2. Obiettivo primario: ottenere dati che possono essere rappresentati e interpolati, senza la richiesta di eccessiva analisi.
3. Obiettivo secondario: Introduzione ai metodi di sperimentazione basati su strumenti digitali.
4. Adatto per: scuola superiore; primo anno dei corsi di laurea scientifici. Nella scuola superiore e nel primo anno dei corsi di laurea di scienze (escluso il corso di laurea in fisica), l'analisi dei dati può essere relativamente semplice. In questi casi, per stimare la pendenza di un modello lineare  $y = \alpha x + \beta$ , suggeriamo di calcolare tutti i possibili rapporti  $\frac{\Delta y}{\Delta x}$  e di prenderne la media. Allo stesso modo, l'intercetta può essere ottenuta calcolando la media di  $y - \alpha x$ .
5. Durata: 2 o 3 ore di acquisizione dati, +1 ora di rappresentazione dati, + scrittura di una breve relazione.

## Ulteriori informazioni online

Lasciate opinioni, suggerimenti, commenti e notizie sull'utilizzo di questa risorsa sul canale corrispondente a questo esperimento all'interno dello spazio di lavoro di Slack "smartphysicslab.slack.com". Gli insegnanti possono chiedere di essere registrati sulla piattaforma attraverso il modulo presente sulla *home page* di [smartphysicslab.org](http://smartphysicslab.org) e ottenere così l'invito alla registrazione su Slack ed essere inseriti nella *mailing list* di smartphysicslab.

Traduzione a cura di  
Graziano Surace  
Sapienza Università di Roma