

Il pendolo

(“Esperienza a casa” per il corso di Fisica 1)

Materiale occorrente.

Del filo di cotone (o di nylon o spago sottile) di cui poter tagliare pezzi di lunghezza variabile. Alcuni oggetti di forma e materiali diversi, che possano essere legati facilmente al filo (piombi da pesca o da pacchi, bulloni, pezzi di legno, pezzi di spugna o di polistirolo, palline per albero di Natale, ecc.). Una riga millimetrata o un metro da falegname. Una bilancia. Un goniometro. Un orologio con cronometro (o... lancetta dei secondi). Fogli di carta bianchi, punesse o chiodini, fogli di carta millimetrata.

Fase esplorativa con osservazioni qualitative (e qualche conteggio).

Attrezzatevi per eseguire gli “esperimenti”. Cominciate, dunque, a costruire qualche pendolo e a farlo pendolare.

Il vostro pendolo è un sistema fisico che ha alcune caratteristiche che non cambiano nel tempo: chiamiamo queste caratteristiche, quando siano delle ben precise grandezze fisiche, “parametri”. I parametri principali del sistema “pendolo” sono tre: la lunghezza del filo ([1]da dove a dove?); la massa del corpo ([2]come si misura?); le dimensioni lineari del corpo ([3]di che cosa si tratta?).

[4]In quali stati può trovarsi il nostro sistema? Immobilità, movimento?

[5]Se in movimento, che cosa ne descrive lo stato? [6]Lo stato varia con continuità? [7]Che cos'è uno stato istantaneo?

Osserviamo pendoli diversi: [8]si riesce, e come, a fare in modo che il moto si svolga in un piano verticale fisso (cioè che non varia nel tempo la sua *giacitura* spaziale)?

Ammettiamo allora di esserci riusciti: [9]quali sono le variabili che caratterizzano lo stato istantaneo? Angolo, ascissa curvilinea sulla traiettoria, velocità angolare, velocità scalare? ([10]Qualcuno ha da dire qualcosa sulla velocità vettoriale?).

Il pendolo “interagisce” con l'ambiente esterno:

a) [11]Se immobile, provate a dire, qualitativamente, quali “forze” agiscono su di esso.

b) [12]Se in movimento, agiscono ancora le “forze” dette prima? E si aggiungono altre forze?

Anche le forze sono definite da alcuni parametri. Non li esamineremo e non ci occuperemo delle forze, per ora.

Abbiamo parlato di stato istantaneo e delle variabili che lo caratterizzano; [13]ma che cos'è l'istante? E che cos'è il tempo? È una variabile o, meglio, è una “coordinata”? È continua? Come si misura?

Torniamo ad osservare il moto del pendolo. Esso pendola, oscilla, si muove di moto approssimativamente periodico ([14]provate a spiegare a parole che cosa significa “periodico” e perché, nel nostro caso, il moto sarebbe solo *approssimativamente* periodico).

In realtà, gradualmente (in modo diverso per diversi pendoli e in diverse condizioni), il pendolo oscilla con ampiezza angolare (attenzione, qui intendiamo l’ampiezza **massima**) sempre minore ([15]qual’è la causa di questo fatto? Si può evitare?). Fate in modo di rendere quanto più possibile trascurabile (almeno entro un numero non troppo alto di oscillazioni) questa diminuzione dell’ampiezza. [16]Come l’avete ottenuto ed entro quante oscillazioni complete avete potuto considerare il moto meno approssimativamente periodico?

[17]Che cos’è quell’intervallo di tempo che chiamiamo “Periodo”? [18]Pendoli diversi (in che cosa *diversi*?) hanno periodi diversi?

Fissato un sistema-pendolo, anche se c’è una piccola diminuzione dell’ampiezza sembra che ad ampiezze minori corrispondano velocità minori, in maniera che le due cose si “compensino” e che il tempo impiegato a compiere un’oscillazione completa si mantenga lo stesso (costante). Questo sembra vero per pendoli con corpi non troppo leggeri e per oscillazioni di ampiezza iniziale non troppo grande (cosiddetto “**isocronismo delle piccole oscillazioni**”).

[19]Se questo è vero e dunque siete in grado di costruire un pendolo per il quale possiamo assumere che numeri uguali di oscillazioni definiscano intervalli uguali di tempo, non abbiamo allora costruito un buon “misuratore del tempo”?

Dunque è importante verificare l’ipotesi dell’isocronismo delle oscillazioni o della costanza del periodo; ma come si fa a verificare questa ipotesi?

Vediamo: bisogna considerare insieme due pendoli A e B e farli oscillare insieme. (Questo esperimento si fa meglio in coppia, senza fermare i due pendoli). Prendeteli non troppo leggeri, in modo da attenuare lo smorzamento, ed eventualmente di lunghezze diverse. Fateli partire insieme (allo stesso istante) da ampiezze iniziali anche diverse (ma non troppo grandi) e contate le oscillazioni di entrambi nello stesso tempo (qualunque, arbitrariamente definito da un inizio e una fine); chiamiamo questi due numeri n_A e n_B (ovviamente non necessariamente numeri interi, approssimateli però con frazioni semplici); ripetete con intervalli di tempo diversi e considerate per ogni tempo e quindi per ogni coppia n_A e n_B il rapporto $\frac{n_A}{n_B} = r_{AB}$. [20]Rimane costante?

Ripetete con ampiezze iniziali diverse e con coppie di pendoli diversi. [21]Che significato ha questo esperimento? La verifica della costanza del rapporto r_{AB} è equivalente alla verifica dell’ipotesi dell’isocronismo?

Se l’ipotesi è verificata significa che un qualunque pendolo (opportuno però..) può essere assunto come un buon misuratore del tempo, nel senso che numeri uguali di oscillazioni definiscono intervalli uguali di tempo. Si è così definito operativamente un “orologio”, cioè uno strumento attraverso cui misurare la variabile fisica “tempo”; e il periodo, T , per alcuni pendoli e per alcune oscillazioni, può effettivamente essere considerato una quantità ben definita.

Fase di analisi quantitativa.

Bene. Abbiamo dunque un orologio e potremmo costruirne uno che abbia il periodo di 1 secondo e così potremmo continuare i nostri esperimenti misurando il tempo con questo pendolo, ma per maggiore comodità decidiamo di usare un comune cronometro. Per migliorare la precisione della misura del periodo T di un pendolo, possiamo considerare la media fra un certo numero di oscillazioni successive, cioè possiamo misurare l'intervallo di tempo complessivo di durata di N oscillazioni complete (entro le quali lo smorzamento è trascurabile) e dividere poi per N .

Per prima cosa è opportuno verificare i **limiti di validità** dell'ipotesi precedentemente indagata di "costanza del periodo".

- a) [1] Si esplori come varia il periodo del pendolo, ad ampiezza iniziale costante (non troppo grande) e lunghezza costante, facendo variare la massa. Fissato, cioè, un certo numero opportuno di oscillazioni, su cui eseguire la media, si costruisca un diagramma del periodo del pendolo in funzione della massa del corpo, in modo da evidenziare un intervallo in cui il periodo si può considerare costante.
- b) [2] Si esplori come varia il periodo del pendolo, a massa costante (contenuta nell'intervallo precedentemente individuato) e lunghezza costante, facendo variare l'ampiezza iniziale (sempre eseguendo la misura su un opportuno numero N di oscillazioni). Si costruisca così un diagramma del periodo del pendolo in funzione dell'ampiezza iniziale, in modo da evidenziare l'intervallo di ampiezze in cui si può considerare valida l'ipotesi dell'isocronismo ([3] si convertano inoltre gli angoli da gradi in radianti e si evidenzino le differenze tra i valori in radianti degli angoli e i valori dei rispettivi seni trigonometrici).

[4] A questo punto, scegliendo opportunamente la massa e l'ampiezza iniziale, vogliamo studiare l'andamento del periodo al variare della lunghezza l del pendolo. Sempre su un certo numero N di oscillazioni complete misurate il periodo in funzione di una decina di valori diversi della lunghezza e riportate questi valori in un diagramma cartesiano. Sono compatibili i dati con una legge di proporzionalità? Se no, provate a graficare T in funzione di l^2 e poi a graficare T^2 in funzione di l . Ottenete in uno di questi due casi una relazione lineare? ("Compatibile con una relazione lineare" significa che in un piano cartesiano, in cui sugli assi avete messo le due grandezze che state indagando, i dati si dispongono a caso dai due lati di una retta e non troppo distanti).

[5] Si faccia, allora, una stima del coefficiente angolare della "**migliore**" retta "passante" per i punti e quindi del valore della costante che interviene nella relazione che lega il periodo T alla lunghezza l del pendolo. Discuteremo e confronteremo in classe questa stima con la legge teorica che dà il periodo del cosiddetto "**pendolo semplice**".

Ovviamente esistono metodi più raffinati ed elaborati per l'analisi approfondita di un test di ipotesi e per la stima dei parametri connessi. Vi verranno insegnati nel corso di Laboratorio di Fisica 1. Al di fuori dei limiti di validità dell'ipotesi di isocronismo, e cioè se il corpo con cui è realizzato il pendolo è abbastanza leggero e abbastanza grande, il moto risulta fortemente influenzato dalla resistenza dell'aria: l'ampiezza delle oscillazioni diminuisce a vista d'occhio,

tanto più rapidamente quanto maggiore è l'ampiezza iniziale, e quanto più "leggero" è il corpo a parità di forma e grandezza; misure quantitative permettono di mettere in evidenza una dipendenza alquanto complicata del periodo dall'ampiezza. Ci si trova di fronte ad un sistema *complesso*: tale cioè che il suo comportamento può essere descritto solo in termini di più variabili e più parametri (tutti fra loro correlati attraverso funzioni non elementari). Questa è una tipica situazione di qualsiasi scienza sperimentale: nessun fenomeno è immediatamente semplice e facilmente investigabile. Forse vi siete fatta una idea delle difficoltà di vario tipo ed entità cui ci si trova di fronte nel lavoro sperimentale.

Alberto Clarizia, novembre 2006

[Materiale rielaborato da alcune precedenti note del 1998 e, in parte, da alcune note di Paolo Guidoni,1996 ed Emilio Balzano,1994]