

Il pendolo: dalla cottura degli spaghetti alla rivelazione delle onde gravitazionali

PCCP
demonstrator

Nel suo famoso racconto di paura "Il pozzo e il pendolo" Edgar Allan Poe narra di una persona torturata da uno strumento oscillante alla fine del quale è attaccata una lama.



Orienting and Asking Questions

Provide Contact with the content and/or provoke curiosity

Introduzione

In questa lezione esploreremo il pendolo, un sistema meccanico molto semplice ma allo stesso tempo uno strumento estremamente potente per esplorare fenomeni fisici quali le oscillazioni, la gravità, la trasmissione delle vibrazioni e anche i concetti di velocità, accelerazione, energia e risonanza.

Come prima cosa, esploreremo come un pendolo possa venir usato per misurare il tempo. Questo ci permetterà allo stesso tempo di esplorare le proprietà di questo sistema.

Alla fine della lezione vedremo anche come questo dispositivo serva da base per i detector di onde gravitazionali come LIGO e Virgo. Questi strumenti sono riusciti a captare un'onda gravitazionale per la prima volta tra il 2015 e il 2017 (prima LIGO e successivamente LIGO e Virgo congiuntamente), una piccola increspatura nel tessuto dello spazio-tempo, predetta da Albert Einstein nel 1916 ma mai osservata prima.

Dentro LIGO e Virgo i pendoli vengono usati per ridurre la trasmissione delle vibrazioni terrestri allo strumento fino ad un livello compatibile con l'estrema sensibilità richiesta a questi detector: una variazione di distanza di un miliardesimo di miliardesimo di metro su una distanza di 4 km.

Misurare il tempo

Un pendolo è una massa attaccata ad un filo, niente di più. Un sistema molto semplice. In effetti però c'è un altro ingrediente invisibile: il campo gravitazionale (il fatto cioè che la Terra eserciti una forza che fa cadere gli oggetti verso il basso). Quando il pendolo viene spostato dalla sua posizione di equilibrio, inizia ad oscillare. Un'oscillazione è un movimento regolare. Contare le oscillazioni vuol dire misurare il tempo.

Quando un oggetto oscilla, possiamo definire due quantità fondamentali di questo moto: il suo periodo e la sua frequenza. Il periodo di oscillazione è definito come il tempo che il pendolo impiega a completare un ciclo completo (ossia a tornare nella posizione iniziale). Di solito questa quantità è misurata in secondi. La frequenza rappresenta invece il numero di oscillazioni compiute nell'unità di tempo, diciamo in 1 secondo. Le due quantità sono allora legate dalla relazione:

$$f = 1/T$$

Dove T è il periodo e f la frequenza. Vediamo immediatamente che la frequenza ha le unità di $1/s$, anche detto 1 Hertz (1 Hz).

La misura degli intervalli di tempo ha rappresentato una sfida fondamentale per il genere umano fin dal principio dei tempi.

Secondo te, quali erano i metodi utilizzati per misurare il tempo nelle epoche passate?

(e tra l'altro, cosa ci serve per poter misurare il tempo?)

Teacher Guidelines:

- Clessidre e meridiane sono oggetti affascinanti. Se il tempo lo permette, potete soffermarvi su questo punto, magari portando una clessidra in classe o mostrando delle immagini.
- Potete anche lanciare una discussione su "cos'è il tempo?". Il rischio è quello di una peregrinazione filosofica, ma potrebbe essere interessante raccogliere le opinioni degli studenti. Naturalmente in questo contesto parliamo del tempo fisico, ossia di come il tempo entri nelle leggi fisiche.

Un esperimento divertente: cucinare gli spaghetti con un pendolo

Immagina di non possedere alcun orologio e di dover misurare il tempo di cottura della tua pasta. Puoi usare un pendolo!

Un pendolo non è altro che un modo di misurare il tempo. Puoi dire: "Ci vogliono 463 oscillazioni per cuocere gli spaghetti". La prossima volta che li prepari puoi usare lo stesso numero di oscillazioni.

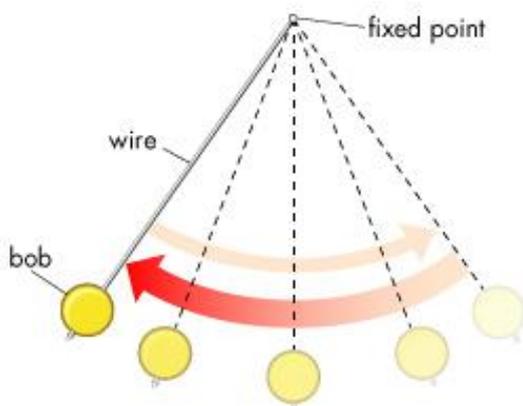
Puoi fare una prova e cucinare gli spaghetti con il tuo pendolo. Assaggiali mentre conti le oscillazioni. Quando gli spaghetti sono al dente, fermati. **Quante oscillazioni ci sono volute?**

Nell'esperimento condotto da noi, abbiamo usato un pendolo di lunghezza 0.37 cm. Gli spaghetti si sono cotti in 463 oscillazioni ed erano al dente.

A questo punto puoi fare il confronto tra il tuo pendolo e un orologio.

Misurando indipendentemente la frequenza delle oscillazioni, abbiamo trovato 0.75 Hz (ossia un periodo di 1.3 s). Quindi troviamo che 463 oscillazioni corrispondono a 617 secondi = 10 minuti e 17 secondi.

Secondo le indicazioni riportate sulla busta (vedere foto), la pasta si cuoce al dente in 10 minuti, quasi identico al tempo misurato con il pendolo.



© 2006 Encyclopædia Britannica, Inc.



Prova a ripetere l'esperimento. Ottieni lo stesso risultato?



Naturalmente altri studenti avranno una percezione diversa di cosa sia “al dente” e avranno anche costruito dei pendoli differenti, quindi il numero di oscillazioni necessarie sarà diverso per loro. Ma per quello che ti riguarda non hai bisogno di un altro orologio: il pendolo può tranquillamente essere il tuo unico orologio.

D'altra parte se vuoi condividere delle misure di tempo con altri, bisogna che i vostri pendoli siano uguali e che oscillino in sincrono. E quindi, come costruire un orologio che può essere condiviso? Quali sono le proprietà fondamentali di un pendolo?

Le proprietà del pendolo

Dimentichiamoci per un attimo della pasta e cerchiamo di comprendere meglio quali siano le proprietà importanti che definiscono le oscillazioni di un pendolo. Chiediamoci:

- Due pendoli con la stessa massa hanno lo stesso periodo?
- Due pendoli con la stessa lunghezza hanno lo stesso periodo?

Qui di seguito, condurrà degli esperimenti e registrerai le tue osservazioni per rispondere a queste domande.

Design/Model

Prendi un filo sottile e una palla. È importante che il filo sia sottile altrimenti l'elasticità del filo influenzerà la nostra misura. La palla, per la stessa ragione, non deve essere troppo leggera. Non una tonnellata ma neanche una piuma.

Una massa e un filo rappresentano un sistema piuttosto semplice con essenzialmente due parametri: il valore della massa e la lunghezza del filo (abbiamo scelto un filo sottile che, nel linguaggio dei fisici, significa un filo con diametro zero e zero elasticità. Se prendi un filo spesso o rigido (diciamo un'asta) la situazione cambia e si complica notevolmente).

Prepara una serie di pendoli: almeno due con la stessa massa ma lunghezza del filo differente e almeno due con la stessa lunghezza del filo ma differenti masse della palla.

Siamo adesso pronti per le nostre osservazioni!

Perform investigations

Prova adesso a misurare il periodo di oscillazione di ciascuno dei tuoi pendoli. Puoi usare il cronometro del tuo cellulare.

Adesso crea un grafico del periodo d'oscillazione in funzione della massa del pendolo e un secondo grafico del periodo in funzione della lunghezza del filo. Per ogni pendolo diverso prendi varie misure e fai la media dei risultati.

Consiglio: quando costruisci il grafico periodo vs lunghezza, è meglio disegnare il quadrato del periodo in funzione della lunghezza.

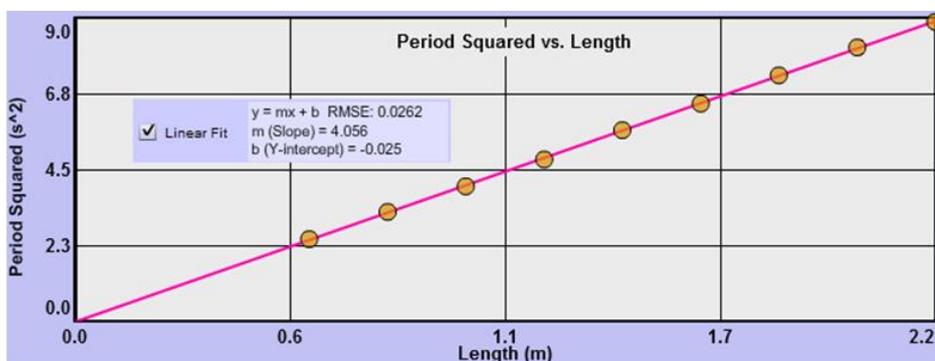
Analysis and Interpretation: Gather result from data

Adesso che hai preso tutti i dati necessari e li hai ordinati in un grafico cosa puoi dedurre dalla correlazione tra il periodo e i due parametri fisici del pendolo, la massa della palla e la lunghezza del filo?

Questi risultati ti sembrano intuitivi o ti sorprendono?

Al termine della tua indagine, quello che avresti dovuto trovare è che:

1. Il periodo del pendolo non dipende dalla sua massa.
2. Il quadrato del periodo dipende linearmente dalla lunghezza del filo.



Teacher Guidelines

In funzione del livello della classe, potete introdurre qui una spiegazione del campo e della forza gravitazionale per facilitare la comprensione delle ragioni profonde del risultato osservativo ottenuto.

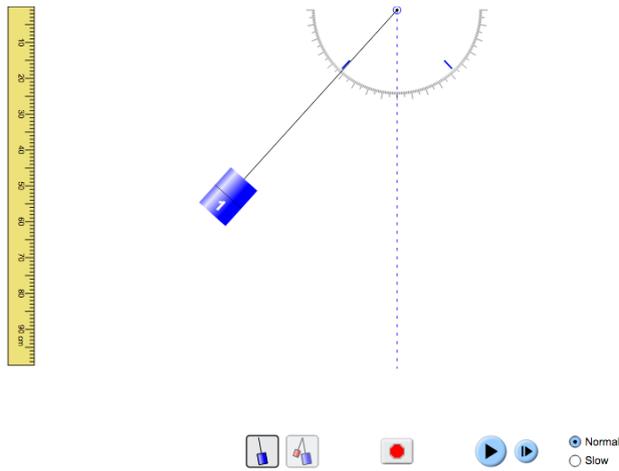
Adesso hai un criterio oggettivo per costruire un orologio riproducibile: due pendoli della stessa lunghezza avranno lo stesso periodo indipendentemente dalla massa.

Un'indagine virtuale

La realtà è sempre più sorprendente (e complessa) del mondo virtuale. Ma a volte è utile e istruttivo semplificare le situazioni.

Il PHET project crea strumenti di simulazione per insegnanti e studenti su vari argomenti. Dai un'occhiata alla simulazione del pendolo e divertiti a giocare con un pendolo virtuale

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/pendulum-lab>



Conclude and communicate result/explanation

1. Scrivi un resoconto degli esperimenti eseguiti assicurandoti di mettere in luce i punti seguenti: contesto, metodo, risultati, discussione.
2. Registra un video o un audio di 1 minuto descrivendo quello che hai fatto (contesto, metodo, risultati, discussione). Se decidi di girare un video puoi mostrare i risultati ottenuti in termini di grafici e schemi.

Evaluation/reflection

Nota storica

Perché un metro è un metro? In altre parole, perché la l'unità di lunghezza è stata scelta esattamente a un metro e non la metà o il doppio?

La definizione di metro rappresenta il primo tentativo di creare una misura oggettiva di lunghezza basata su quantità fisiche piuttosto che “umane” (in precedenza la gente usava unità più “antropocentriche” come il pollice o il piede).

Un metro corrisponde alla lunghezza di un pendolo che batte ogni secondo (ossia con un periodo di 2 secondi). Questo corrisponde alla tua intuizione?

Il pendolo e i detector di onde gravitazionali

Per una comprensione più estesa del fenomeno delle onde gravitazionali e dei detector che le rilevano puoi fare riferimento al set di Demonstrators “Finding black-holes in a chirp”: how to understand the first gravitational-wave detection”, “Discovering and building a Michelson interferometer”, “Gravitational Wave noise hunting”, “Virgo Virtual Visit”, and finally “Control (class)room”.

La Terra vibra, anche se non ce ne rendiamo conto. Questo è dovuto all'interazione della crosta solida con l'atmosfera e gli oceani. Le vibrazioni terrestri vengono misurate con sismometri e gravimetri e sono di circa 1 micron ogni 10 secondi per un ambiente standard. Sembrano quantità piccole ma rappresentano uno spostamento enorme per Virgo e LIGO rispetto all'ampiezza delle onde gravitazionali.

Per mitigare l'effetto delle vibrazioni terrestri, Virgo e LIGO usano dei pendoli.

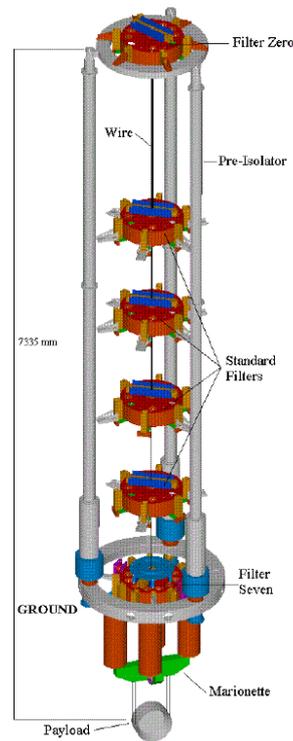
Oltre a misurare il tempo, infatti, un pendolo è essenzialmente un filtro: quando il suo punto di sospensione viene scosso, taglia via le frequenze alte della vibrazione. Solo le basse frequenze (periodi lunghi) vengono trasmesse al sistema. Se si scuote il punto di sospensione di un pendolo molto lentamente la massa seguirà il movimento. Viceversa, se lo si scuote velocemente (cioè con un periodo più breve di quello del pendolo), la massa vibrerà meno del punto di sospensione.

Prova con i tuoi pendoli e descrivi le tue osservazioni.

Guarda questo video in cui il premio Nobel Rei Weiss riproduce l'esperimento durante la conferenza stampa tenuta a febbraio 2016 per annunciare la prima rivelazione di onde gravitazionali (al minuto 28).

<https://www.youtube.com/watch?v=aEPlwEJmZyE>

In un detector di onde gravitazionali si usano pendoli molto più sofisticati.



Pendoli usati nel detector Virgo

Per aumentare l'effetto di attenuazione del pendolo, si usano catene di pendoli: un pendolo sospeso ad un pendolo sospeso ad un pendolo... per sette volte (o più).

Quando la Terra vibra rapidamente, le vibrazioni sono trasmesse attraverso la catena di pendoli fino allo specchio del detector ma lo specchio non si muove. È una massa libera come se si trovasse nello spazio interplanetario in assenza di gravità!

Con un pendolo siamo riusciti a disaccoppiare lo specchio dal suolo (almeno per vibrazioni rapide).

Conclusioni

Abbiamo visto come un sistema semplice come un pendolo (una palla attaccata ad un filo) si in grado di misurare il tempo (cioè sia un orologio) e allo stesso tempo di attenuare gli spostamenti rapidi del suolo, rendendo possibile la rivelazione delle onde gravitazionali.