

SISTEMA

MECCANICA 2

NTP9900-4J

LUCCIO
ALFREDO

SCHEDE GUIDE MECCANICA 2

Cinematica e dinamica

Onde ed oscillazione

NTP9900-4J**MECCANICA 2**

Dinamica ed onde

Elenco delle esperienze**M 5 - Cinematica e dinamica**

M 5.1.	Moto rettilineo uniforme
M 5.2.	Moto vario
M 5.3.	Velocità istantanea e velocità media
M 5.4.	Moto uniformemente accelerato
M 5.5.	La caduta libera
M 5.6.	Azione di una forza costante su un corpo libero
M 5.7.	La legge fondamentale della dinamica
M 5.8.	Impulso e quantità di moto
M 5.9.	Misurazione dinamica della massa
M 5.10.	Conservazione della quantità di moto nell'urto
M 5.11.	Energia potenziale, energia cinetica

OM - Oscillazioni meccaniche

OM 1.11.	Il pendolo semplice
OM 1.12.	Il pendolo elastico
OM 1.13.	Il pendolo a lama (lamina oscillante)
OM 2.1.	Registrazione spazio - tempo di un moto armonico
OM 2.2.	Determinazione di g con il pendolo semplice
OM 2.3.	Misurazione dinamica della costante di elasticità di una molla elicoidale
OM 2.4.	Massa gravitazionale e massa inerziale
OM 3.1.	Risonanza del pendolo semplice
OM 3.2.	Risonanza del pendolo elastico
* OM 3.3.	Risonanza di una lamina oscillante
* OM 3.4.	Principio di funzionamento del frequenzimetro
OM 4.1.	Onde stazionarie trasversali
OM 4.2.	Onde stazionarie longitudinali

Per queste esperienze occorrono degli elementi dei Moduli Elettrologia 1 ed Elettrologia 2

CONTENUTO DEL MODULO : MECCANICA 2 - P9900-4J

MODULO MECCANICA 2 P 9900-4J**CINEMATICA, DINAMICA, ONDE ED OSCILLAZIONI****M2**

1M2	1	Guida in speciale profilato metallico, suddivisa in 2 elementi di cm 50 ciascuno
2M2	1	Elemento di congiunzione
3M2	2	Carrello sperimentale con astina
4M2	1	Molla d'urto per carrelli, coppia
5M2	1	Asta da stativo in ottone nichelato cm 6
6M2	1	Lamina elastica
7M2	1	Astina filettata con dadi a farfalla
16M2	1	Molla elicoidale 3N/m
17M2	1	Molla elicoidale 20N/m
8M2	1	Carrello con motore
9M2	1	Rotolo di carta di scrittura per marcatempo
10 M2	1	Marcatempo
11M2	1	Vibratore elettrico per esperienze sulle oscillazioni
12M2	1	Piattello portamasse a disco con gancio
13M2	3	Massa con intaglio g 10
14M2	4	Massa con intaglio g 50
15M2	1	Molla per carrelli
16M2	1	Carrucola con staffa
17M2	1	Supporto per punta scrivente
18M2	1	Elastico lunghezza m 3
19M2	1	Metro a nastro avvolgibile in custodia

ATTENZIONE:

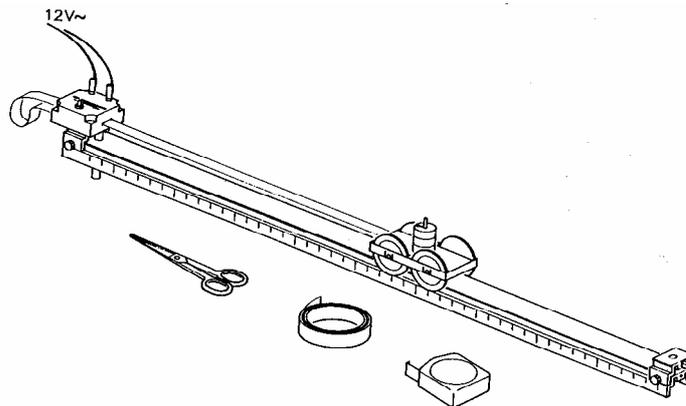
il numero progressivo e la lettera che precedono la descrizione costituiscono la cosiddetta "posizione" dell'elemento che lo contraddistingue nelle schede di sperimentazione.

GLI ELEMENTI CONTRASSEGNA TI CON "*"NON FANNO PARTE DELLA FORNITURA DEL MODULO MECCANICA 2 - P9900-4J - ESSENDO GIA' COMPRESI NEL MODULO MECCANICA 1

MOTO RETTILINEO UNIFORME

Elementi occorrenti:

9S	Forbici	1
14S	Cavaliere con foro	1
1M2	Guida in profilato lunghezza m 1	1
2M2	Elemento di congiunzione	1
8M2	Carrello con motore	1
10M2	Marcatempo	1
9M2	Rotolo di carta per marcatempo	1
19M2	Metro a nastro★	1
	Alimentatore	1
	Fili di collegamento	2
	Nastro adesivo	



Si dice che un corpo è in movimento, quando la sua posizione rispetto ad un sistema di riferimento cambia nel tempo, ovvero, quando misure della posizione del corpo, effettuate in tempi diversi, danno risultati diversi.

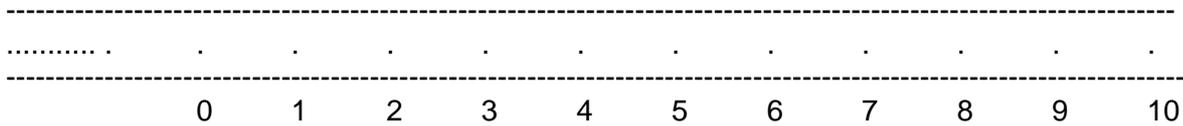
Il moto del corpo può avvenire in qualsiasi direzione ed in qualsiasi traiettoria, tuttavia, per studiare con mezzi semplici la relazione tra lo spazio ed il tempo, si supporrà che il corpo si muova lungo una linea retta parallela all'asse x del sistema cartesiano.

Apparecchi appositi per l'esperimento sono il carrello semovente, azionato da un motorino elettrico a pile, ed il marcatempo elettronico che registra su una striscia di carta metallizzata lo spazio percorso dal carrello in un tempo prefissato; l'esame della successione di punti sul nastro di carta consente di studiare qualitativamente e quantitativamente il moto del carrello.

Montaggio: la disposizione sperimentale è chiaramente rappresentata nell'illustrazione. La guida lunga 1 metri, utilizzata come rotaia per il carrello, è costituita dai due elementi da cm 50 congiunti dall'apposita piastrina e bloccati con due viti poste dallo stesso lato della guida (ciò garantisce l'allineamento ed annulla i "salti" nella zona di giunzione). Il marcatempo è fissato all'estremità sinistra della rotaia mediante il cavaliere, di cui è munito; all'estremità destra viene montato un secondo cavaliere in funzione di arresto del carrello. Tagliare una striscia di carta lunga 1 metro, farla passare nelle guide del marcatempo e fissarne l'estremità destra, con un pezzetto di nastro adesivo, al carrello; l'estremità sinistra della striscia di carta va pinzata al morsetto a bocca di coccodrillo del marcatempo per chiudere il circuito elettrico e far sì che la scintilla periodica, prodotta dal dispositivo elettronico, perfori la carta, segnando un puntino chiaramente visibile. Il marcatempo va collegato ad una sorgente di tensione alternata di max 15 V.

Esperimento: arretrare il nastro di carta ed il carrello fino a portare questo ultimo contro il marcatempo; posizionare l'interruttore su "100 ms" (0,1 s), avviare il carrello ed abbandonarlo; quando esso raggiunge il cavaliere di arresto, fermare il motore e portare la levetta dell'interruttore del marcatempo sulla posizione centrale (spento). Controllare che la perforazione del nastro sia regolare, quindi togliere il nastro dal carrello e dal marcatempo.

Una prima valutazione del tipo di moto può essere fatta, osservando che la distanza fra un punto e l'altro è costante su tutto il nastro, ad eccezione del primo tratto, che dovrà essere escluso, per il momento, dalle misurazioni:



Segnare con una matita colorata i punti 0, 10, 20 ecc. come nella figura, poi con il righello determinare gli spazi s_1, s_2, \dots misurati a partire dal punto 0. Annotare che lo spazio s_1 è stato percorso dal carrello nel tempo $t_1 = 10 \times 0,1 \text{ s} = 1 \text{ s}$, s_2 nel tempo $t_2 = 20 \times 0,1 \text{ s} = 2 \text{ s}$, ecc., poiché l'intervallo di tempo fra un puntino e l'altro è di 100 ms.

Conclusione: eseguire i rapporti $s_1/t_1, s_2/t_2, s_3/t_3$, ecc ...

La grandezza $v = \frac{s}{t}$ è detta **velocità**: essa rappresenta lo spazio percorso dal carrello nell'unità

di tempo ed è, quindi, misurata in metri al secondo nel sistema SI.

Se nel piano cartesiano, con in ordinate lo spazio e in ascisse il tempo, si riportano i valori ricavati sperimentalmente e si congiungono i vari punti, si ottiene una retta passante per l'origine: ciò significa che, nel moto esaminato, lo spazio è direttamente proporzionale al tempo impiegato a percorrerlo:

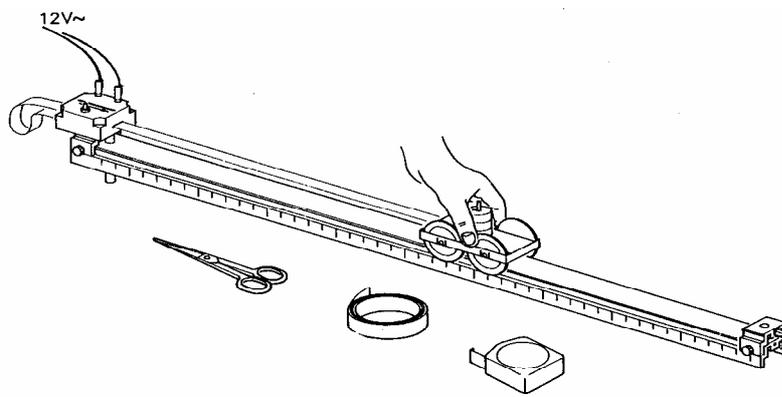
$$s = v \times t$$

Se nello stesso piano, con in ordinate la velocità ed in ascisse il tempo, si riportano i valori di v_1, v_2, v_3 , ecc... derivato dai calcoli e si congiungono i vari punti, si ottiene una retta parallela all'asse x, il che significa che la velocità è costante.

Il tipo di moto, nel quale la velocità del corpo è costante, è detto **moto rettilineo uniforme**.

MOTO VARIO

92	Forbici	1
14S	Cavaliere con foro	1
1M2	Guida in profilato lunghezza m 1	1
2M2	Elemento di congiunzione	1
3M2	Carrello sperimentale	1
8M2	Carrello con motore	1
10M2	Marcatempo	1
9M2	Rotolo di carta per marcatempo	1
14M2	Massa g 50 *	
19M2	Metro a nastro *	
Alimentatore		1
Fili di collegamento		2
Nastro adesivo		
Matita colorata		



Quando un corpo in movimento lungo una traiettoria rettilinea percorre spazi diversi in tempi uguali, significa che la velocità del corpo non è costante.

Questo tipo di moto, detto **moto vario**, verrà studiato in un semplice esperimento, allo scopo di approfondire il concetto di velocità.

Montaggio: la disposizione sperimentale è chiaramente rappresentata nell'illustrazione. La guida lunga 1 metro utilizzata come rotaia per il carrello, è costituita dai due elementi da cm 50, congiunti dall'apposita piastrina e bloccati con due viti poste dallo stesso lato della guida (ciò garantisce l'allineamento ed annulla i "salti" nella zona di congiunzione).

Il marcatempo è fissato all'estremità sinistra della rotaia mediante il cavaliere in funzione di arresto per il carrello. Il marcatempo deve essere collegato ad una sorgente di tensione alternata di max 15 V.

Tagliare una striscia di carta lunga un metro, farla passare nelle guide del marcatempo e fissarne l'estremità destra, con un pezzetto di nastro adesivo, al carrello normale, usato in questo esperimento al posto del carrello semovente; l'estremità sinistra del nastro di carta metallizzata va pinzata con il morsetto a bocca di coccodrillo del marcatempo per chiudere il circuito e far sì che la scintilla periodica prodotta dal dispositivo elettronico perfori la carta, segnando una serie di puntini chiaramente visibili.

Esperimento: arretrare il nastro di carta ed il carrello fino a portare quest'ultimo contro il marcatempo. Posizionare l'interruttore del marcatempo su "100 ms" (0,1 s), quindi spingere il carrello a mani, variando la velocità lungo il percorso due o tre volte; raggiunto il cavaliere di arresto, controllare che la perforazione del nastro sia regolare, portare quindi la levetta

dell'interruttore del marcatempo sulla posizione centrale (spento), staccare il nastro di carta dal carrello e dal marcatempo.

Una prima valutazione del moto può esser fatta, come di consueto, con attrezzature di questo tipo, osservando la disposizione dei punti sul nastro di carta: si osserva che, alle variazioni di velocità del carrello, operate a mano, corrispondono distanze diverse tra i punti e, più precisamente, laddove la velocità è stata più elevata, la distanza è maggiore, ove è stata più bassa la distanza è minore.

Segnare sul nastro, con una matita colorata, i punti 0, 5, 10, 15, 20, 25 ecc. fino al termine del percorso. Misurare con un righello la lunghezza degli spazi s_1 (fra il punto 0 ed il punto 5), s_2 (fra il punto zero ed il punto 10) e, di seguito, per tutti i valori di s .

Annotare a fianco di s_1 il tempo $t_1 = 0,5$ s, a fianco di s_2 il tempo $t_2 = 1$ s e così per tutti gli spazi misurati.

Conclusioni: eseguire i rapporti s_1 / t_1 , s_2 / t_2 , $s_3 / t_3, \dots$ onde ricavare il valore di v_1 , v_2 , v_3 , ecc. Tracciare il diagramma della velocità in funzione del tempo: la curva che si ottiene mostra come varia la velocità nel tempo ed è rappresentativa di questo tipo di moto, che è definito **moto vario**. Se si osserva con attenzione la successione die punti nel nastro di carta, si nota che, per esaminare meglio le variazioni della velocità, occorrerebbe ridurre l'ampiezza degli spazi alla distanza fra due punti (anziché 5 come nel procedimento eseguito).

Calcolare la velocità per i tratti di nastro, nei quali i punti sono maggiormente distanziati e nei tratti, nei quali essi sono più vicini fra loro.

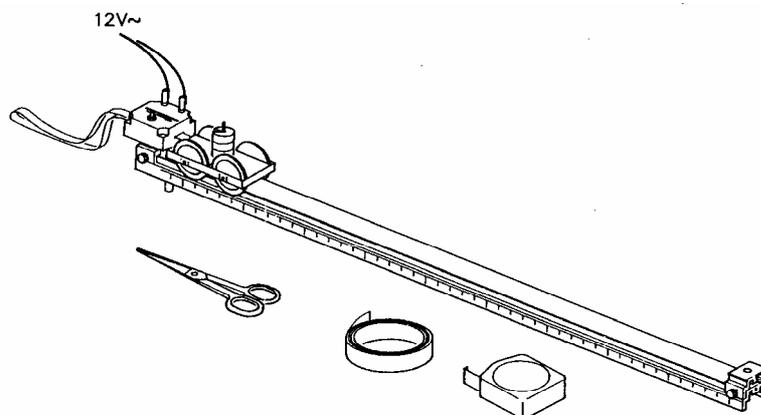
Calcolare la velocità del carrello fra il punto 0 e l'ultimo punto del nastro e, confrontandola con i valori calcolati in precedenza, descrivere il moto.

VELOCITA` ISTANTANEA E VELOCITA` MEDIA

M 5.3.

Elementi occorrenti:

9S	Forbici	1
13S	Cavaliere con foro e fenditura	1
14S	Cavaliere con foro	1
1M2	Guida in profilato lunghezza m 1	1
2M2	Elemento di congiunzione	1
3M2	Carrello sperimentale	1
5M2	Asta cm 6	1
10M2	Marcatempo	1
9M2	Rotolo di carta per marcatempo	1
14M2	Masse g 50 ★	3
19M2	Metro a nastro	1



Partendo dai risultati del precedente esperimento, con questa prova si vuole definire un modo corretto i concetti intuitivi di velocità media e velocità istantanea. Infatti, quando si dice "l'auto ha percorso 100 km in un'ora" non si considera che la velocità dell'auto nei 100 km di percorso, può essere stata diversa, ma semplicemente il fatto che, nel tempo di un'ora, l'auto ha percorso 100 km. Quando invece si dice "l'auto sta viaggiando a 100 km all'ora", si intende che tale è la velocità dell'auto nell'istante, in cui essa viene letta. Come si vede i due concetti, pur parlando sempre di velocità, sono notevolmente diversi e vanno ben compresi per evitare confusioni.

Montaggio: la disposizione sperimentale è chiaramente rappresentata nella figura. La guida lunga 1 metro, utilizzata come rotaia per il carrello, è costituita dai due elementi da cm 50 congiunti nel modo usuale tramite la piastrina e le due viti di fissaggio. Il lato sinistro della rotaia deve essere sollevato di cm 3 dal piano del tavolo mediante l'astina da cm 6 di modo che la rotaia risulti leggermente inclinata; a questa stessa estremità deve essere fissato il marcatempo con il proprio cavaliere, mentre un secondo cavaliere va montato all'estremità opposta in funzione di arresto; un altro cavaliere servirà a trattenere il carrello nella posizione di partenza.

Caricare il carrello con 3 masse da g 50. Far passare attraverso la guida del marcatempo una striscia di carta lunga 1 metro circa e fissarne l'estremità destra al carrello con un pezzetto di nastro adesivo; l'altra estremità va pinzata, come al solito, al morsetto a bocca di coccodrillo del marcatempo. Collegare quest'ultimo ad una sorgente di tensione alternata di max 15 V.

Esperimento: spostare la levetta dell'interruttore del marcatempo su "100 ms" (0,1 s) e togliere il cavaliere, che trattiene il carrello.

Il carrello, così liberato, inizia il suo moto di discesa lungo la rotaia inclinata; quando esso raggiunge il cavaliere di arresto, riportare la levetta dell'interruttore del marcatempo al centro (spento) e controllare che la perforazione del nastro sia regolare. Quindi staccare il nastro dal carrello e dal marcatempo per poterlo esaminare.

Considerare come punto 0 un punto qualsiasi, ad esempio il quarto dall'origine e, a partire da questo, numerare 1, 2, 3, 4, ... 8 i punti successivi.

Preparare una tabella come quella sottoriportata e riportare in essa le distanze di ciascun punto dallo 0 ed i relativi tempi:

Punto	Spazio dal punto 0	Tempo	Velocità media
8	.... cm = ... m	0,8 s	..... m/s
7	.... cm = ... m	.... s	..... m/s
6	.... cm = ... m	.... s	..... m/s
5	.... cm = ... m	.... s	..... m/s
4	.... cm = ... m	.... s	..... m/s
3	.... cm = ... m	.... s	..... m/s
2	.... cm = ... m	.... s	..... m/s
1	.... cm = ... m	.... s	..... m/s

Seguendo l'ordine indicato calcolare con la relazione $v = \frac{s}{t}$ la velocità media per ogni singolo spazio e riportarne il valore in tabella.

Misurare la lunghezza dell'intero percorso del carrello (fra il punto di partenza e l'ultimo prunto del nastro) ed il tempo totale impiegato (occorre contare i singoli intervalli e moltiplicare per 0,1 s), poi calcolare la velocità.

Conclusioni: se si considerano i valori della velocità media riportati nella tabella, si può osservare che essi diminuiranno, avvicinandosi sempre di più alla velocità istantanea nel punto 0. La velocità istantanea può essere, pertanto, considerata la velocità media in uno spazio molto piccolo. Per conoscere la velocità istantanea nel punto 0 occorre, in base a questo concetto, misurare la distanza tra il punto -1 (cioè il punto che precede il punto 0) ed il punto 1 e dividere per 0,2 s (il tempo impiegato a percorrere i due tratti indicati). Se si conosce la velocità istantanea nel punto

iniziale e nel punto finale di un tratto qualsiasi del percorso del carrello, la velocità media è data dalla somma delle due velocità diviso 2. Fare la prova con i dati a disposizione in tabella, ad esempio, nel tratto compreso tra i punti 3 e 6.

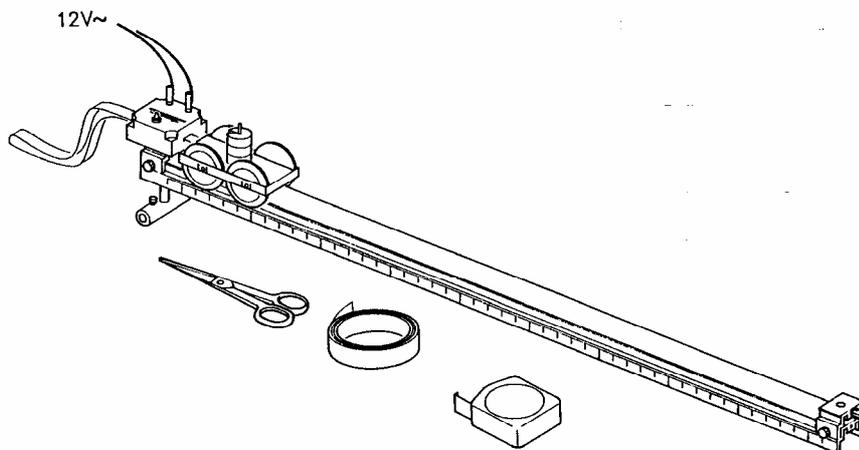
Infine, se la velocità istantanea del percorso è 0 e se si conosce la velocità media v_m , la velocità istantanea nel punto finale del percorso varrà ovviamente $2v_m$. Calcolare la velocità istantanea nell'ultimo punto del nastro dal valore della velocità media calcolato in precedenza.

MOTO UNIFORMEMENTE ACCELERATO

M 5.4.

Elementi occorrenti:

7S	Asta cm 10	1
9S	Forbici	1
10S	Morsetto cilindrico	1
14S	Cavaliere von foro	1
1M2	Guida in profilato lunghezza m 1	1
2M2	Elemento di congiunzione	1
3M2	Carrello sperimentale	1
10M2	Marcatempo	1
9M2	Rotolo di carta per marcatempo	1
14M2	Massa g 50 *	3
19M2	Metro a nastro *	1
	Alimentatore	1
	Fili di collegamento	2
	Nastro adesivo	



Nell'esperimento precedente si era già intuito che per descrivere il moto del carrello sul piano inclinato non era sufficiente determinare la velocità con la relazione $v = s/t$, in quanto essa aumentava continuamente con il trascorrere del tempo. Scopo della presente prova è studiare le caratteristiche di questo tipo di moto, detto **moto uniformemente accelerato**, ovvero stabilire la relazione spazio - tempo e la relazione velocità - tempo, nonché determinare la variazione di velocità Δv nell'intervallo di tempo Δt .

Montaggio: la disposizione sperimentale è chiaramente rappresentata nell'illustrazione. Innestare nel morsetto cilindrico l'asta da cm 10 che, a sua volta, dovrà essere infilata nel foro di sinistra della guida (montata nel modo consueto) in modo da poter regolare l'inclinazione, sollevandola inizialmente di circa cm 6. Montare da questo lato il marcatempo ed al lato opposto il cavaliere di

arresto. Portare la massa del carrello a 200 g, caricandolo con 3 masse da g 50, quindi appoggiarlo sulla rotaia. Far passare attraverso le guide del marcatempo un nastro di carta metallizzata lungo circa m 1 e fissarne l'estremità destra al carrello con un pezzetto di nastro adesivo; l'altra estremità va pinzata, come al solito, al morsetto a bocca di coccodrillo del marcatempo. Collegare quest'ultimo ad una sorgente di tensione alternata di max 15 V.

Arretrare il nastro ed il carrello fin contro il marcatempo e trattenerlo in questa posizione con il cavaliere.

Esperimento: spostare l'interruttore del marcatempo su "100 ms" (0,1 s) e togliere il cavaliere che trattiene il carrello fissandolo all'estremità della rotaia. Il carrello, così liberato, inizia il suo moto di discesa lungo la guida; quando esso raggiunge il cavaliere di arresto, riportare la levetta dell'interruttore sulla posizione centrale (spento) e controllare che la perforazione del nastro sia regolare; quindi staccare il nastro per poterlo esaminare.

A partire dal punto origine del moto (punto 0) numerare i punti 5, 10, 15, 20 ecc ..., poi segnare con un trattino il primo punto a sinistra ed a destra di ciascun punto di riferimento (cioè i punti 4 e 6, i punti 9 e 11, ecc ...). Misurare le distanze dal punto 0 dei punti 5, 10, 15, ecc ... e la lunghezza **d** dei segmenti 4-6, 9-11, ecc...; riportare i valori in tabella insieme ai corrispondenti tempi di percorrenza:

Spazi da 0 in cm	Tempo in s	d in cm	t in s	v = s/t in cm/s	Δv in cm/s	Δt in s	Δv/Δt in cm ²
5.	0,5	....	0,2	....	....	....	....
10.	1,0	....	0,2	....	....	....	....
15.	1,5	....	0,2	....	....	....	....
20.	2,0	....	0,2	....	....	....	....

Conclusioni: con i valori di **d** e **t** calcolare la velocità media per ciascun segmento (corrispondente alla velocità istantanea nei punti 5, 10, 15, ecc...).

Calcolare le variazioni di velocità **Δv** tra i punti 0-5, 5-10, ecc... (cioè $v_5 - v_0$, $v_{10} - v_5$, $v_{15} - v_{10}$, ecc...) avvenute in intervalli di tempo uguali ($\Delta v = 0,5$ s).

Completare l'ultima colonna della tabella, calcolando i vari rapporti $\Delta v/\Delta t$, i quali rappresentano la variazione di velocità nell'unità di tempo, cioè l'accelerazione. L'uguaglianza, entro i limiti degli errori sperimentali, dei risultati indica che in questo tipo di moto l'accelerazione è costante: ciò spiega la definizione di "moto uniformemente accelerato".

Per studiare la relazione che lega la velocità al tempo, nel moto uniformemente accelerato, riportare nel piano cartesiano (tempi in asse x, velocità in asse y) i dati sperimentali della seconda e della quinta colonna della tabella: unendo i vari punti si ottiene una retta, passante per l'origine, la cui pendenza rappresenta l'accelerazione. Pertanto si ha: $v = a \times t$.

Per studiare la relazione che lega lo spazio al tempo, anziché usare i pochi valori di **s** e di **t** tabulati, conviene riprendere il nastro di carta e misurare con precisione le distanze dei primi 10 punti dall'origine del moto:

Spazi da 0 a in cm o mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tempi t in s	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
t ² in s ²	0,01	0,04	0,09	0,16	...	...	...	...	...	...
$\frac{s}{t^2}$ in $\frac{cm}{s^2}$	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Riportare i valori di **s** e di **t** nel piano cartesiano (in asse x i tempi, in asse y gli spazi) e congiungere i vari punti: si ottiene una parabola passante per origine. La relazione spazio-tempo nel moto uniformemente accelerato non è lineare.

Costruire un secondo grafico riportando in ascisse t^2 invece di t : si ottiene una retta passante per l'origine. Pertanto si deduce che s è proporzionale a t^2 . La relazione matematica che lega lo spazio al tempo nel moto uniformemente accelerato è: $s = \frac{1}{2} a t^2$.

Perché $\frac{s}{t^2} = \frac{a}{2}$?

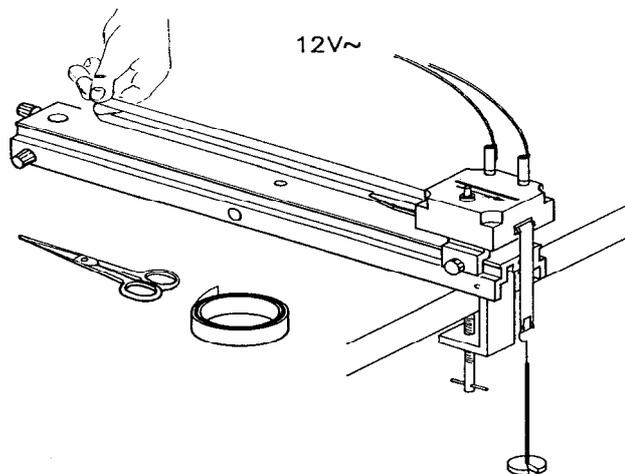
LA CADUTA LIBERA

M 5.5.

Elementi occorrenti:

1S	Base di sostegno cm 30	1
5S	Morsa da tavolo	1
9S	Forbici	1
10M2	Marcatempo	1
9M2	Rotolo di carta per marcatempo	1
12M2	Piattello portapesi *	1
19M2	Metro a nastro *	1

Alimentatore
Fili di collegamento
Nastro adesivo



Se si solleva un corpo da terra e lo si abbandona, esso ricade immediatamente per effetto della forza di gravità: la sua caduta libera è un moto uniformemente accelerato.

L'esperimento si propone di esaminare questo fenomeno e ricavare il valore dell'accelerazione g della gravità terrestre.

Montaggio: la disposizione sperimentale è chiaramente rappresentata nella figura. Fissare al bordo del tavolo, mediante la morsa, una base di sostegno, sul cui bordo estremo deve essere montato il marcatempo con il morsetto a bocca di coccodrillo rivolto verso il piano del tavolo. Tagliare una striscia di carta metallizzata lunga circa cm 100, farla passare nelle guide del marcatempo, osservando che la parte metallizzata sia rivolta verso l'alto; quindi ripiegare un paio di volte, per circa 2 cm di lunghezza, l'estremità sinistra (come nell'illustrazione) della striscia e fissarla con le ganasce del morsetto a bocca di coccodrillo; all'estremità libera agganciare il

piattello portapesi mediante un pezzo di nastro adesivo, poi con un dito arretrare il nastro, in modo che il piattello risalga fino a cm 10 dal marcatempo.

Esperimento: la prova da eseguire è molto semplice. Portare l'interruttore del marcatempo sulla posizione 10 ms (0,01 s), abbandonare il nastro con rapidità: il piattello nella sua caduta fino al pavimento trascina con sé, determinandone la perforazione ad opera delle scariche periodiche del temporizzatore elettronico.

Riportare l'interruttore nella posizione centrale ed osservare che la perforazione sia regolare, quindi staccare il nastro dal marcatempo e dal corpo di caduta. A partire dal punto 0 di inizio del moto segnare con una matita i punti 10, 20 e 30 : si avranno così tre spazi s_1 , s_2 e s_3 percorsi rispettivamente in 0,1 s - 0,2 s e 0,3 s.

Misurare ed annotare la lunghezza die tre tratti di nastro:

$$s_1 = \dots \text{ mm}$$

$$s_2 = \dots \text{ mm}$$

$$s_3 = \dots \text{ mm}$$

e dai suddetti valori calcolare:

$$s_2 - s_1 = \dots \text{ mm}$$

$$s_3 - s_2 = \dots \text{ mm}$$

Conclusione: l'esame della disposizione die punti sul nastro indica inequivocabilmente che il moto è accelerato. Poiché è noto dal precedente esperimento che l'accelerazione è data da

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\Delta s}{\Delta t^2}$$

sostituendo a Δs i valori di s_1 , $s_2 - s_1$ e $s_3 - s_2$ ed a Δt^2 il valore di 0,01 (i tre spazi sono percorsi, ciascuno, nello stesso intervallo di tempo $\Delta t = 0,1$ s), calcolare l'accelerazione subita dal corpo per effetto della gravità terrestre.

Dall'osservazione che l'accelerazione di gravità è costante si deduce che la caduta libera è un moto uniformemente accelerato.

L'accelerazione di gravità è indicata con la lettera **g** ; il suo valore, se la prova è stata effettuata con cura, è prossimo a 9,81 m/s².

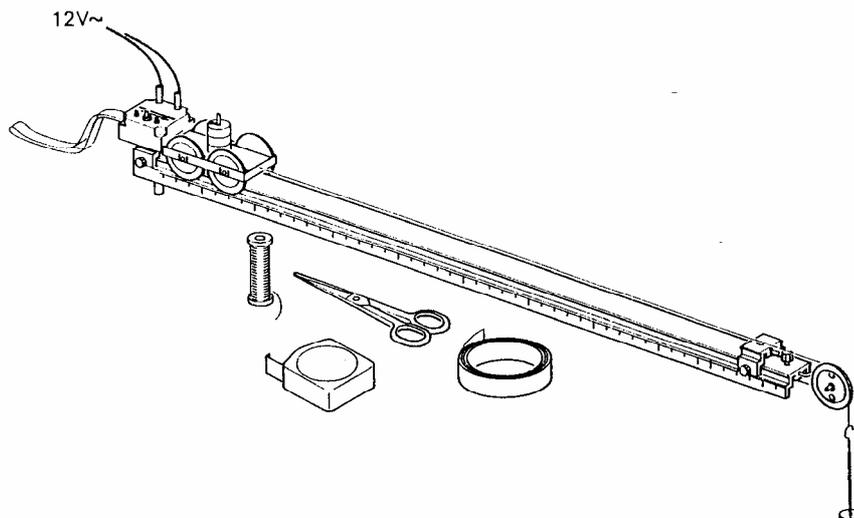
AZIONE DI UNA FORZA COSTANTE SU UN CORPO LIBERO

M 5.6.

Elementi occorrenti:

8S	Rocchetto di filo	1
9S	Forbici	1
14S	Cavaliere con foro	1
1MS	Guida in profilato, lunghezza m 1	1
2MS	Elemento di congiunzione	1
3M2	Carrello sperimentale	1
5MS	Asta cm 6	
10M2	Marcatempo	1
9M2	Rotolo di carta per marcatempo	1
12M2	Piattello portapesi *	1
14M2	Masse g 50 *	3
16S	Carrucola con staffa *	1

19M2 Metro a nastro ★ 1
Alimentatore, fili di collegamento - nastro adesivo



Quando ad un corpo libero (cioè privo di vincoli) viene applicata una forza costante, questa determina il moto rettilineo uniformemente accelerato del corpo, cioè un tipo di moto caratterizzato dal progressivo aumento della velocità.

Quando l'azione della forza cessa e non vi sono attriti, il corpo mantiene la velocità finale acquisita e da quell'istante in poi si muove di moto rettilineo uniforme, percorrendo spazi uguali in tempi uguali.

Montaggio: predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione.

All'estremità sinistra della rotaia viene fissato il marcatempo, dopo aver infilato nel foro verticale della stessa l'astina da cm 6, con la quale la rotaia potrà essere leggermente inclinata per compensare gli attriti (è sufficiente sollevarla di ca cm 1); nel foro longitudinale di destra viene fissata l'astina che sorregge la carrucola e, contro la vite di bloccaggio di quest'ultima, viene disposto il cavaliere di arresto del carrello. Caricare il carrello con 3 masse da g 50, poi tagliare un pezzo di filo di lunghezza tale da avere il piattello, ad esso legato, a cm 50 dal pavimento, quando, con la rotaia disposta in modo che la carrucola sporga dal bordo del tavolo, il carrello è nella posizione di partenza contro il marcatempo.

Tagliare una striscia di carta metallizzata lunga cm 100, farla passare nelle guide del marcatempo e fissarne le estremità, nel modo ormai noto, al carrello ed al morsetto a bocca di coccodrillo del marcatempo. Alimentare quest'ultimo con una sorgente di tensione di max 15 V alternata.

Esperimento: arretrare il nastro di carta ed il carrello fino a portare quest'ultimo contro il marcatempo e misurare con precisione la distanza del piattello (il cui peso è di 0,1 N) dal pavimento. Posizionare l'interruttore del marcatempo su "100 ms" (0,1 s) e liberare il carrello; quando questo raggiunge il cavaliere di arresto, riportare la levetta dell'interruttore del marcatempo sulla posizione centrale (spento). Controllare che la perforazione sia regolare, quindi staccare il nastro dal carrello e dal marcatempo per le successive valutazioni.

A partire dal punto 0 origine del moto segnare sul nastro con una matita la distanza **h** misurata in precedenza. Osservare la disposizione dei punti prima e dopo questa tacca, quindi misurare le distanze da 0 dei punti 5, 10 e 15 (spazi s_1 , s_2 , s_3 percorsi rispettivamente in 0,5, 1, e 1,5 s) ed annotarli per i calcoli:

$$s_1 = \dots \text{ mm} \quad s_2 = \dots \text{ mm} \quad s_3 = \dots \text{ mm}$$

$$s_2 - s_1 = \dots \text{ mm} \quad s_3 - s_2 = \dots \text{ mm}$$

Con la relazione $a = \frac{\Delta s}{\Delta t^2}$ calcolare l'accelerazione impressa al corpo dalla forza di 0,1 N nei tre spazi s_1 , $s_2 - s_1$ e $s_3 - s_2$, considerando che Δt vale 0,5 s in tutti e tre i casi. A partire dalla tacca misurare con precisione la distanza di ciascun punto dal successivo e confrontarne i valori, prendendone nota.

Conclusioni: con il primo esame del nastro si osserva che dal punto 0 alla tacca il moto è accelerato in quanto i punti hanno distanze progressivamente maggiori; la costanza di a nei tre spazi considerati mostra inoltre che il moto è uniformemente accelerato. Dalla tacca in avanti l'uguaglianza delle distanze fra i punti indica che il carrello, avendo percorsi spazi uguali in tempi uguali, si è mosso in quel tratto con moto uniforme. Pertanto si può affermare che l'applicazione di una forza costante ad un corpo libero, provoca il moto uniformemente accelerato di questo e che, al cessare dell'azione della forza, il corpo prosegue di moto uniforme, se non intervengono altre cause a variare tale situazione.

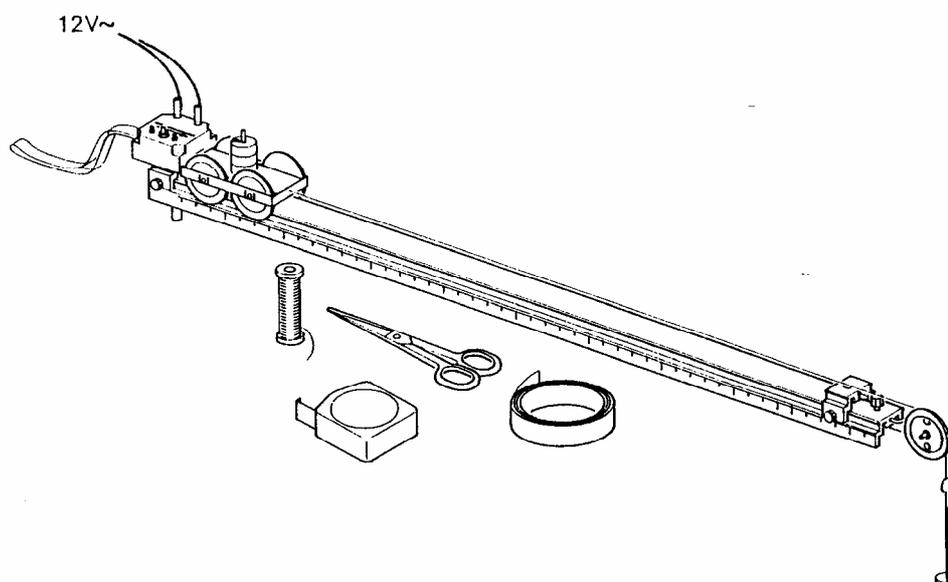
Contare sul nastro i punti compresi fra l'origine del moto e la tacca in modo da calcolare l'intervallo di tempo t , durante il quale la forza ha agito, poi, con il valore di a determinato in precedenza, calcolare mediante la relazione $v = a \times t$ la velocità istantanea del carrello nell'ultimo punto contato.

Calcolare la velocità istantanea del carrello nel tratto successivo alla tacca, applicando la relazione $v = s/t$. Si osserva che, entro i limiti degli errori sperimentali, cioè con buona approssimazione, i due valori di v coincidono a dimostrazione del fatto che, al cessare dell'azione della forza trainante il carrello si muove con la velocità acquisita nell'istante in cui la forza è venuta meno.

Elementi occorrenti:

8S	Rocchetto di filo	1
9S	Forbici	1
14S	Cavaliere con foro	1
1M2	Guida in profilato, lunghezza m 1	1
2M2	Elemento di congiunzione	1
3M2	Carrello sperimentale	1
5M2	Asta cm 6	1
10M2	Marcatempo	1
9M2	Rotolo di carta per marcatempo	1
12M2	Piattello portapesi *	1
13M2	Massa g 10 *	4
14M2	Massa g 50 *	3
16M2	Carrucola con staffa *	1
19M2	Metro a nastro *	1

Alimentatore, fili di collegamento - nastro adesivo



Acquisito il concetto che l'applicazione di una forza costante ad un corpo libero determina il moto uniformemente accelerato di questo, con la presente prova si intende studiare la relazione fra la forza applicata, la massa del corpo e l'accelerazione impressa. Questa relazione è nota come **principio fondamentale della dinamica**; da essa è ricavata direttamente la definizione del **Newton**, unità di misura della forza nel sistema SI.

Montaggio: predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione, seguendo le indicazioni già fornite nel precedente esperimento. Il filo deve essere più corto in modo da sfruttare la massima altezza di caduta del peso acceleratore (forza applicata, tramite il filo, al carrello).

Esperimento 1: la massa da accelerare è costituita dal carrello, caricato con 4 masse cilindriche (3 da g 50 e 1 da g 10), e dal piattello: la massa complessiva di g 220 deve restare invariata nelle due prove. Nella prima la forza applicata è rappresentata dal peso del solo piattello (0,1 N), nella seconda prova occorre spostare la massa da g 10 dal carrello al piattello (in tal modo il peso trainante diventa 0,2 N).

Il procedimento di sperimentazione è quello ormai consueto : spostare la levetta dell'interruttore del marcatempo su "100 ms" (0,1 s), abbandonare il carrello dalla posizione di partenza contro il marcatempo ed attendere che raggiunge il cavaliere di arresto, quindi riportare la levetta dell'interruttore del marcatempo sulla posizione centrale (spento) e controllare che la perforazione sia regolare. Staccare il nastro di carta e contrassegnarlo con "**F₁ = 0,1 N**".

Sostituire il nastro di carta e procedere nello stesso modo per la seconda prova "**F₂ = 0,2 N**".

Applicando la relazione $a = 2s/t^2$, calcolare l'accelerazione impressa alla massa di g 220 m nella prima prova (F₁ = 0,1 N) e nella seconda prova (F₂ = 0,2 N) ed annotarne i valori:

$$\begin{array}{ll} \text{con } F_1 = 0,1 \text{ N,} & \text{accelerazione} = \dots \text{ m/s}^2 \\ \text{con } F_2 = 0,2 \text{ N,} & \text{accelerazione} = \dots \text{ m/s}^2 \end{array}$$

Esperimento 2: la forza motrice deve restare invariata nelle due prove al valore di 0,1 N. viene invece variata la massa totale da accelerare, che, nella prima prova è di 100 g (massa del carrello con 1 massa da g 50 + massa da g 10 del piattello) e nella seconda prova viene raddoppiata a g 220 (massa del carrello con 3 masse da g 50 e 1 da g 10 + la massa di g 10 del piattello).

Procedere sperimentalmente come nella prima prova, in modo da ottenere due nastri, che verranno contrassegnati il primo con "**m₁ = 110 g**" ed il secondo con "**m₂ = 220 g**".

Calcolare l'accelerazione in entrambi i casi ed annotarne i valori

$$\begin{array}{ll} \text{con } m^1 = g \ 110, & \text{accelerazione} = \dots \text{ m/s}^2 \\ \text{con } m^2 = g \ 220, & \text{accelerazione} = \dots \text{ m/s}^2 \end{array}$$

Conclusioni: il confronto tra la forza applicata al corpo di massa costante e l'accelerazione ad esso impressa, oggetto di studio nel primo esperimento, mostra che l'accelerazione è direttamente proporzionale alla forza applicata.

Nel secondo esperimento, mantenendo costante la forza applicata, si ottiene che l'accelerazione è inversamente proporzionale alla massa.

Riunire i risultati delle quattro prove in una sola tabella come è sotto indicato e calcolare i prodotti **m x a** da inserire nell'ultima colonna:

Forza F in N	Massa m in kg	Accelerazione a in m/s ²	m x a in kg x m/s ²
0,1	0,22	.....	.....
0,2	0,22	.....	.....
0,1	0,11	.....	.....
0,1	0,22	.....	.....

La relazione **F = m x a** esprime il **principio fondamentale della dinamica**.

Esperimento 3: fissare la massa da accelerare a $g = 200$: cioè $g = 180$ per il carrello con due masse aggiuntive da $g = 50$ e 3 da $g = 10 + g = 20$ per il piattello con una massa da $g = 10$. In tal modo la forza motrice sarà di $0,2 \text{ N}$.

Procedere come nelle prove precedenti in modo da ottenere un nastro, sul quale poter calcolare l'accelerazione impressa dalla forza $0,2 \text{ N}$ alla massa di $0,2 \text{ kg}$.

Conclusioni: con i dati di questa prova e con i risultati riscontrati in precedenza procedere induttivamente con i seguenti calcoli:

Forza: $0,2 \text{ N}$	Massa: $0,2 \text{ kg}$	Accelerazione: m/s^2
Forza: 1 N	Massa: $0,2 \text{ kg}$	Accelerazione: m/s^2
Forza: 1 N	Massa: 1 kg	Accelerazione: m/s^2

Il **Newton** è la forza che imprime alla massa di 1 kg l'accelerazione di $1 \text{ metro al secondo per secondo}$.

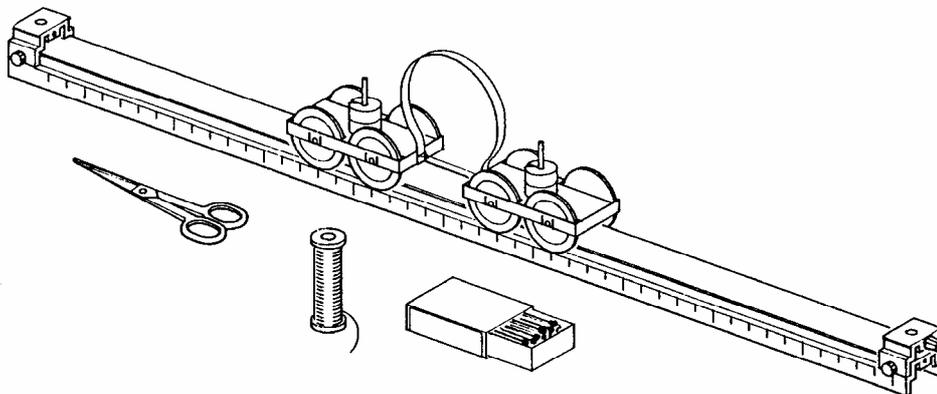
IMPULSO E QUANTITA' DI MOTO

M 5.8.

Elementi occorrenti:

8S	Rocchetto di filo	1
9S	Forbici	1
13S	Cavaliere con foro e fenditura	1
14S	Cavaliere con foro	1
1M2	Guida in profilato lunghezza $m = 1$	1
2M2	Elemento di congiunzione	1
3M2	Carrelli *	2
14M2	Massa $g = 50$ *	4
15M2	Molla per carrello	1

Fiammiferi



Quando un corpo di massa m si muove di moto rettilineo con velocità v , il suo stato di moto è caratterizzato dalla grandezza $p = m \times v$, detta **quantità di moto**. Se al corpo viene ora applicata una forza esterna F , esso viene accelerato e, al termine dell'intervallo di tempo Δt , nel quale la forza F ha agito, la velocità del corpo risulta v_1 e la quantità di moto $p_1 = m \times v_1$. La variazione $\Delta p = mv_1$ della quantità di moto del corpo, dovuta all'azione della forza F , è uguale al prodotto della forza stessa per l'intervallo di tempo Δt :

$$F \times \Delta t = \Delta p$$

la grandezza $I = F \times \Delta t$ è detta **impulso** della forza. La relazione suddetta vale, ovviamente, anche se prima dell'applicazione dell'impulso, il corpo era fermo ($p^{\circ} = mv^{\circ} = 0$).
Scopo dell'esperimento è studiare il rapporto fra l'impulso e la quantità di moto.

Montaggio: predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione.

Appoggiare i carrello sulla rotaia e caricarli entrambi con una massa da g 50 (la massa di ciascuno sarà così di g 100). Stringere la molla con un pezzo di filo, onde porla in tensione, poi inserire le estremità nell'incavo dei carrelli previsto allo scopo. Portare i carrelli al centro della rotaia e montare alle estremità della stessa i due cavalieri di arresto, i quali dovranno essere posizionati, in ciascuna prova, in modo da essere raggiunti nello stesso istante dai due carrelli.

Esperimento: preparare una tabella come quella sottoriportata, nella quale raccogliere i dati sperimentali delle tre prove indicate:

Massa carrelli m' m''	Rapporto $m' : m''$	Punto di partenza m' m''	Percorso s' s''	Rapporto $s' : s''$
100g 100g	30 57	.....	.....
150g 100g	30 57	.....	.....
200g 100g	30 57	.....	.....

Brucciare con un fiammifero il filo che comprime la molla: questa si estende, grazie alla sua forza elastica, lanciando i carrelli in direzioni opposte fino ad urtare i cavalieri di arresto, la posizione dei quali va determinata, in ciascuna delle tre prove, onde avere urti contemporanei.

Annotare come punto di partenza la posizione, sulla rotaia, dello spigolo esterni di ciascun carrello (in tabella, a titolo di esempio, sono stati riportati, per il carrello sinistro il punto 30 , e per il carrello destro il punto 57, poiché la lunghezza complessiva die due carrelli e della molla compressa è di circa cm 27). Poi, a partire da questo punto misurare le distanze s' ed s'' percorse dai due carrelli nelle condizioni di urto contemporaneo.

Conclusioni: poiché nelle condizioni scelte il tempo di percorrenza degli spazi s' e s'' è identico per entrambi i carrelli ($t' = t'' = t$), si ha:

$$v' = \frac{s'}{t} \quad \text{e} \quad v'' = \frac{s''}{t}$$

quindi

$$s' : s'' = v' : v''$$

Dal confronto die rapporti $m' : m''$ e $s' : s''$, considerando che è $s'' : s' = v' : v''$ si ottiene $m'v' = m''v''$.

Impulsi uguali producono dunque uguali variazioni della quantità di moto.

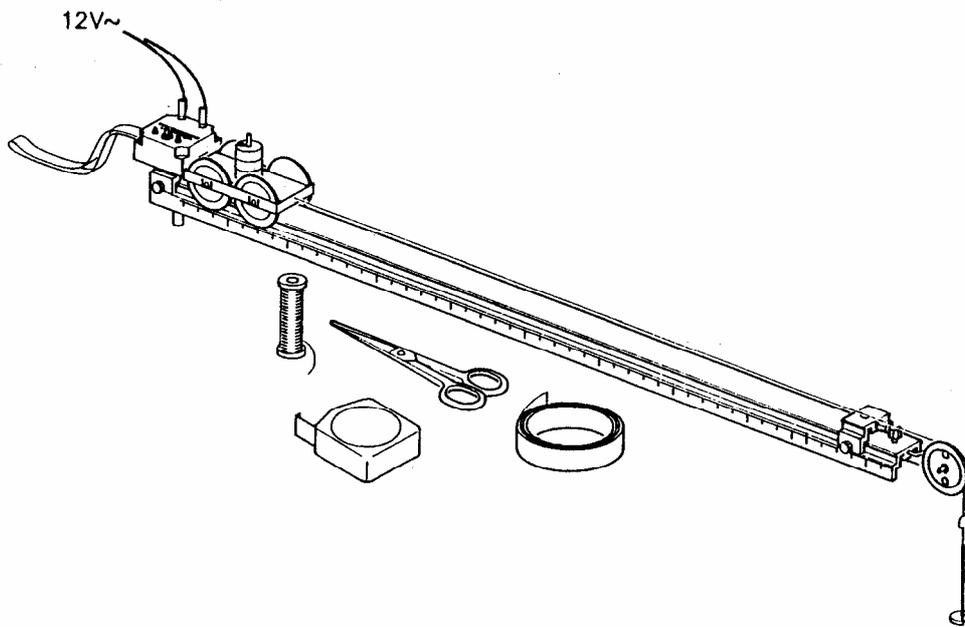
MISURAZIONE DINAMICA DELLA MASSA

M 5.9.

Elementi occorrenti:

8S	Rocchetto di filo	1
9S	Forbici	1
12S	Morsetto doppio	1
13S	Cavaliere con foro e fenditura	1
14S	Cavaliere con foro	1
1M2	Guida in profilato lunghezza m 1	1
2M2	Elemento di congiunzione	1
3M2	Carrelli *	2
14M2	Massa g 50 *	4
15M2	Molla per carrello	1

Fiammiferi



Nello studio dell'impulso e della quantità di moto si è osservato che l'applicazione di un identico impulso a due corpi liberi accelera i due corpi a velocità inversamente proporzionali alle loro masse. Il metodo di confronto delle velocità, già usato nell' esperimento M 5.8. rappresenta, quindi, uno strumento per misurare dinamicamente la massa di un corpo.

Montaggio: disporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione. Montare i due cavalieri di arresto alle estremità della rotaia. Appoggiare i due carrelli su di essa, poi stringere con un pezzo di filo la molla, onde porla in tensione, ed infilarne l'estremità nell'incavo, previsto allo scopo, dei carrelli. Portare i carrelli al centro della rotaia e caricarli entrambi con una massa cilindrica da g 50 (onde eseguire la prima delle prove indicate nella tabella).

Esperimento: bruciare con un fiammifero il filo, che tiene compressa la molla: ciò provoca la repentina estensione della stessa, grazie alla quale i carrelli vengono lanciati in direzioni opposte fino ad urtare i cavalieri di arresto.

Se la posizione di questi ultimi viene fissata, per tentativi, in modo che i carrelli li raggiungano nello stesso istante, il confronto tra le velocità dei due carrelli si riduce al confronto fra gli spazi percorsi nello stesso tempo. Riunire in una tabella come quella sottoriportata i dati sperimentali ricavati dalle prove indicate (la tabella costituisce un esempio che può essere variato a piacere).

Massa carrelli m'	m''	Rapporto $m' : m''$	Punto partenza m'	m''	Punto arrivo m'	m''	Percorso s'	s''	Rapporto $s' : s''$
100g	100g	1 : 1	30	57	15	72	15	15	1 : 1
200g	100g	.....	...	...	...	...	..	..	.....
150g	100g	.....	...	...	...	...	..	..	.....
150g	50g	.....	...	...	...	...	..	..	.....
200g	50g	.....	...	...	...	...	..	..	.....

Annotare come punto di partenza la posizione sulla rotaia dello spigolo esterno di ciascun carrello e come punto di arrivo lo spigolo interno del cavaliere di arresto corrispondente: lo spazio percorso da ciascuno sarà, ovviamente, la distanza fra i due punti (nella tabella, a titolo di esempio, sono riportati i dati sperimentali della prima prova).

Effettuare tutte le prove tabellate ed inoltre una ulteriore prova con un corpo di massa ignota, ad esempio, un morsetto.

Conclusioni: dal rapporto fra le velocità die due corpi (che nel metodo qui descritto si riduce al rapporto fra gli spazi percorsi nello stesso intervallo di tempo) e dalla conoscenza del valore della massa di un corpo si può misurare dinamicamente la massa incognita del scondo corpo.

La massa, determinata con metodi dinamici, è detta **massa inerziale**, in quanto rappresenta l'inerzia, cioè la resistenza, che il corpo oppone al suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme.

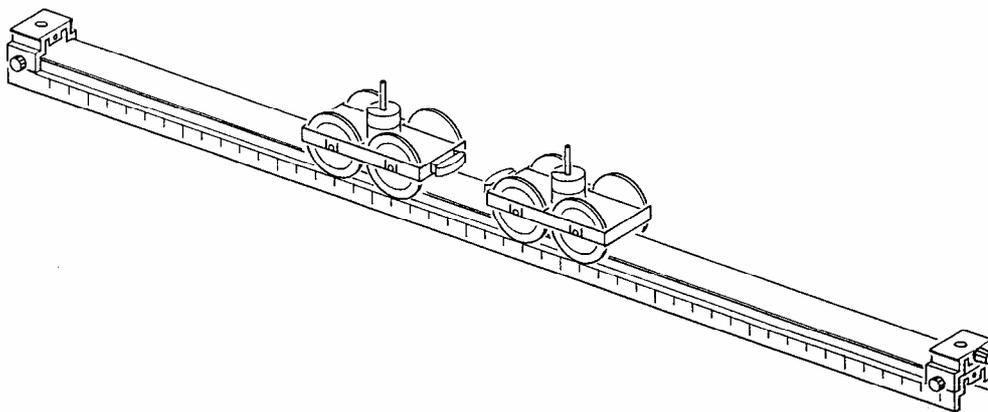
La massa determinata con metodi statici (con la bilancia, ad esempio)è detta massa **gravitazionale**.

CONSERVAZIONE DELLA QUANTITA' DI MOTO NELL' URTO

5.10

Elementi occorrenti:

13S	Cavaliere con foro e fenditura	1
14S	Cavaliere con foro	1
1M2	Guida in profilato lunghezza m 1	1
2M2	Elemento di congiunzione	1
3M2	Carrelli	2
4M2	Molla d'urto per carrelli	2
14M2	Massa g 50	4



La meccanica newtoniana consente di studiare gli urti elastici.

Scopo del presente esperimento è esaminare, sia pure dal punto di vista qualitativo, le più semplici ed immediate conseguenze.

Montaggio: l'apparecchiatura deve essere predisposta come appare nella figura. Alle estremità della rotaia, disposta orizzontalmente sul tavolo da sperimentazione, vengono montati due cavalieri di arresto. Ogni carrello va munito della propria molla per l'urto elastico.

Esperimento 1: appoggiare un carrello sulla rotaia e dargli una spinta in modo che esso vada ad urtare con la molla contro un cavaliere. Poiché il cavaliere costituisce un ostacolo fisso (ad esempio una parete), il carrello viene rinviato ad opera della forza elastica della molla, con la stessa velocità lungo la rotaia, ma in senso inverso.

Esperimento 2: lanciare i due carrelli l'uno contro l'altro, con la stessa velocità, in modo che si incontrino al centro della rotaia; ogni carrello deve essere munito della molla d'urto come nell'illustrazione. Nel caso ideale, i due carrello, all'atto dell'urto, dovrebbero invertire la loro velocità.

Esperimento 3: montare sui due carrelli dell'esperimento 2 una massa con intaglio da g 50; disporre un carrello al centro della rotaia, poi, dall'estremità della stessa, lanciare il secondo carrello in direzione del primo in modo da provocare l'urto. Valutare la velocità dei carrelli prima e dopo l'urto.

In teoria il carrello in movimento, nell'istante dell'urto contro il carrello fermo di uguale massa, dovrebbe fermarsi, mentre il carrello fermo dovrebbe partire con la stessa velocità del carrello urtante.

Esperimento 4: riportare un carrello al centro della rotaia e l'altro nella posizione di lancio come nell'esperimento 3. Caricare con altre tre masse da g 50 il carrello, che verrà lanciato, e lasciare invariata la massa del carrello fermo. Lanciare il carrello ed osservare cosa accade nell'urto.

In teoria il carrello di massa minore (quello fermo) dovrebbe essere spinto in avanti ad una certa velocità, mentre il carrello urtante, di massa più elevata, dovrebbe seguirlo con velocità minore.

Esperimento 5: disporre ora al centro della rotaia il carrello con 4 masse aggiuntive e lanciargli contro il carrello con una sola massa. Osservare cosa accade nell'urto: il carrello carico, fermo, viene spinto in avanti a bassa velocità, il carrello urtante, più leggero, rimbalza indietro con velocità minore di quella che aveva prima dell'urto, ma pur sempre più elevata di quella del carrello pesante.

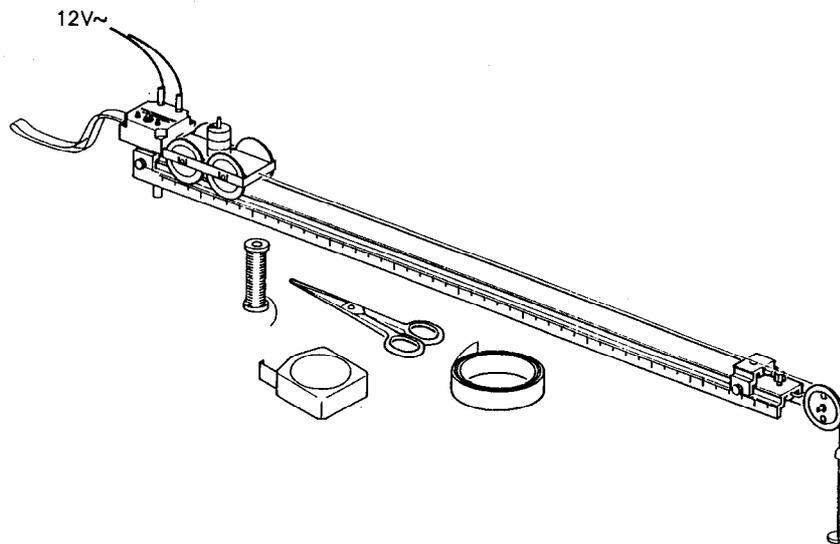
Conclusioni: come è noto dal precedente esperimento il prodotto della massa di un corpo per la velocità, di cui è animato, è detto **quantità di moto**.

Nell'urto elastico, esaminato con le cinque prove sopra descritte, la quantità di moto complessiva prima e dopo l'urto resta invariata: **conservazione della quantità di moto**.

Elementi occorrenti:

8S	Rocchetto di filo	1
9S	Forbici	1
14S	Cavaliere con foro	1
1M2	Guida in profilato, lunghezza m 1	1
2M2	Elemento di congiunzione	1
3M2	Carrello sperimentale	1
5M2	Asta cm 6	1
10M2	Marcatempo	1
9M2	Rotolo di carta per marcatempo	1
12M2	Piattello portapesi *	1
13M2	Massa g 10 *	4
14M2	Massa g 50 *	3
16M2	Carrucola con staffa *	1
19M2	Metro a nastro *	1

Alimentatore, fili di collegamento - nastro adesivo



Nel campo della gravità un corpo di massa m e di peso mg , situato all'altezza h dalla superficie terrestre, possiede un' energia potenziale (energia di posizione) $E_p = m \times g \times h$.

Se il corpo viene liberato e cade per effetto della gravità, la sua energia potenziale si trasforma via via in energia cinetica (energia di movimento): $E_c = \frac{1}{2} mv^2$ e, nel momento dell'impatto con il suolo, l'energia potenziale risulta completamente trasformata in energia cinetica.

Se ciò è vero, e l'esperimento si prefigge di dimostrarlo, $E_p = E_c$ ovvero $m \times g \times h = \frac{1}{2} mv^2$, essendo v la velocità istantanea del corpo al termine del percorso h .

Montaggio: predisporre l'apparecchiatura secondo l'illustrazione.

Infilare nel foro trasversale, situato all'estremità sinistra della rotaia, l' astina ca cm 6 in modo da sollevare di ca. 1-1,5 cm la rotaia stessa e compensare così gli attriti; in prossimità dell'astina montare il marcatempo, che dovrà essere alimentato con una sorgente di tensione alternata di max. 15 V.

Fissare nel foro longitudinale dell'estremità destra della rotaia l'astina della carrucola e contro la vite di bloccaggio di quest'ultima, montare il cavaliere di arresto del carrello. Tagliare un pezzo di filo lungo circa cm 150 e legarne un lato al carrello e l'altro al piattello, poi farlo passare nella gola

della carrucola; dopo aver caricato il carrello con 3 masse da g 50 (massa complessiva g 200) ed aver fatto passare nelle guide del marcatempo una striscia di carta metallizzata lunga circa cm 100, fissarne un'estremità al carrello stesso e l'estremità opposta al morsetto a bocca di coccodrillo del marcatempo. Arretrare nastro e carrello in modo da portare quest'ultimo contro il marcatempo e fissarne la posizione con un cavaliere. Caricare il piattello, la cui massa è di g 10, con una massa aggiuntiva da g 10 : in tal modo la forza traente sarà di 0,2 N. Regolare la lunghezza del filo in modo da disporre il piattello a cm 40 esatti dal pavimento.

Esperimento: spostare la levetta dell'interruttore del marcatempo su "100 s" (0,1 s), liberare quindi il carrello ed attendere che esso raggiunge il cavaliere di arresto all'estremità opposta della rotaia. Riportare la levetta dell'interruttore al centro (marcatempo spento) e controllare che la perforazione del nastro sia regolare. Ciò fatto, togliere il nastro ed osservare la disposizione dei punti: a partire dall'origine del moto la loro distanza aumenta progressivamente, in quanto il moto è uniformemente accelerato per il tratto lungo cm 40, nel quale la forza motrice di 0,2 N ha agito; da quel punto in avanti essi sono ugualmente distanziati, poiché il moto del carrello è uniforme. Calcolare la velocità finale del carrello, dopo aver misurato la distanza fra alcuni punti, a ciascuno dei quali corrisponde un intervallo di tempo di 0,1 s:

$$\Delta s = \dots \text{ cm} = \dots \text{ m} \qquad v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\dots m}{0,1s} \text{ m/s} = \dots \text{ m/s}$$

La velocità finale del carrello è : m/s

Confrontare il risultato ottenuto con il valore della velocità calcolato mediante il principio di conservazione dell'energia.

Energia potenziale = Energia cinetica

$$m \times g \times h = \frac{1}{2} M \times v^2 = \sqrt{\frac{2mgh}{M}}$$

m = 0,02 kg M =

ove **M** è la massa complessiva del carrello.

Ripetere l'esperimento con **M = 200g** e **m = 10 g** (cioè togliendo dal piattello la massa con intaglio da g 10).

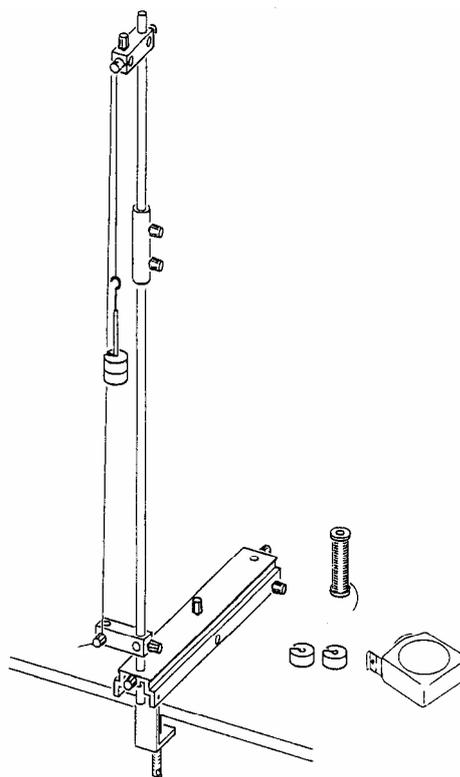
Conclusioni: nel processo di trasformazione dell'energia potenziale in energia cinetica la velocità finale dipende dall'altezza di caduta del corpo e dal valore della sua massa.

II PENDOLO SEMPLICE

Elementi occorrenti:

1S	Base cm 30		1
2S	Asta cm 25		1
5S	Morsa da tavolo		1
6S	Perno con astina		1
8S	Rocchetto di filo		1
9S	Forbici		1
10S	Manicotto di prolungamento	1	
12S	Morsetto doppio		2
29M1	Asta da stativo cm 50	1	
12M2	Piattello portapesi *	1	
14M2	Massa g 50 *		4
19M2	Metro a nastro *		1

Cronometro a mano



Il pendolo semplice è un sistema costituito da un corpo di massa m appeso ad un filo inestensibile, di massa trascurabile, fissato ad un supporto rigido.

Spostato leggermente dalla posizione di riposo e lasciato libero, il pendolo compie delle "oscillazioni" e, dopo qualche tempo, si ferma a causa degli attriti, in particolare dell'aria. Il tempo T impiegato dal sistema per compiere una oscillazione completa è detto "periodo"; il numero n di oscillazioni effettuate in un secondo è la **frequenza di oscillazione** del pendolo.

L'esperimento ha lo scopo di esaminare le oscillazioni di un pendolo sottoposto all'azione della sola forza peso, per misurarne il periodo e di ricercare da quali grandezze esso dipende.

Montaggio: realizzare lo stativo verticale, schematizzato nell'illustrazione, fissando al bordo del tavolo la morsa di montaggio con l'asta da cm 50 prolungata, tramite il manicotto cilindrico, dall'asta da cm 25. All'estremità superiore dello stativo montare un morsetto doppio ed un perno con astina per sorreggere il filo del pendolo, la cui estremità libera dovrà essere legata alla vite laterale del morsetto doppio, preventivamente montato sull'asta da cm 50: in tal modo, sollevando questo morsetto si potrà variare, a piacere, la lunghezza del pendolo 1 (distanza tra il punto di sospensione ed il centro di gravità del sistema). Il pendolo è realizzato con un filo lungo poco più di 1 metro, con un piattello e con alcune masse cilindriche.

Esperimento 1: caricare il piattello con due masse da g 50 e fissare a cm 40 la lunghezza del pendolo. Spostare lateralmente il corpo pendolare di cm 5 dalla posizione di riposo ed abbandonarlo. Con lo stesso ritmo delle oscillazioni cominciare a contare 3, 2, 1, 0, 1, 2, ... 10; quando si raggiunge lo 0 far partire il cronometro e misurare il tempo t di 10 oscillazioni.

Calcolare: $T = \frac{t}{10}$

Ripetere la prova aumentando a cm 10 l'ampiezza dell'oscillazione.
Annotare i dati relativi alle due prove.

Ampiezza di oscillazione: cm 10

Massa pendolare : g 110
Lunghezza del pendolo : cm 40
Tempo t (10 oscillazioni) : ... s
Periodo T : ... s

Ampiezza di oscillazione: cm 20

Massa pendolare : g 110
Lunghezza del pendolo : cm 40
Tempo t (10 oscillazioni) : ... s
Periodo T : ... s

Esperimento 2: aggiungere altre due masse da g 50 sul piattello portapesi, la massa complessiva del corpo pendolare risulta così di g 210. Mantenere la lunghezza del pendolo a cm 40, osservando tuttavia che, per avere tale condizione occorre sollevare il morsetto, che trattiene il filo, in modo da compensare l'innalzamento del baricentro, ora situato fra la seconda e la terza massa cilindrica. Procedere per contare le oscillazioni e calcolare T .

Ampiezza di oscillazione: cm 10

Massa pendolare : g 210
Lunghezza del pendolo : cm 40
Tempo t (10 oscillazioni) : ... s
Periodo T : ... s

Ampiezza di oscillazione: cm 20

Massa pendolare : g 210
Lunghezza del pendolo : cm 40
Tempo t (10 oscillazioni) : ... s
Periodo T : ... s

Esperimento 3: caricare il piattello con una sola massa da g 50 (in tal modo la massa complessiva del corpo pendolare è di g 60) e ridurre la lunghezza a cm 25. Procedere come nell'esperimento 1 per contare le oscillazioni e misurare il tempo t che il pendolo impiega per eseguirne 10; calcolare il periodo $T = \frac{t}{10}$.

Conservando la massa pendolare a g 60, allungare il pendolo a cm 80.
Misurare il tempo t di 10 oscillazioni e da questo calcolare T .
Riunire i dati sperimentali come nelle precedenti prove:

Ampiezza di oscillazione: cm 10

Massa pendolare : g 60
Lunghezza del pendolo : cm 25
Tempo t (10 oscillazioni) : ... s
Periodo T : ... s

Ampiezza di oscillazione: cm 20

Massa pendolare : g 60 Lunghezza
Lunghezza del pendolo : cm 25
Tempo t (10 oscillazioni) : ... s
Periodo T : ... s

Conclusioni: per piccole ampiezze di oscillazioni il valore riscontrato di T nelle due prove è identico. Il periodo T di un pendolo non dipende dall'ampiezza di oscillazione: cioè piccole oscillazioni sono isocrone.

Dagli esperimenti 1 e 2 si deduce che il periodo T di oscillazione di un pendolo semplice non dipende dalla massa.

L'esperimento 3 dimostra che il periodo T di oscillazione del pendolo semplice dipende dalla lunghezza del pendolo stesso.

La relazione matematica che fornisce il periodo di oscillazione del pendolo semplice è

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

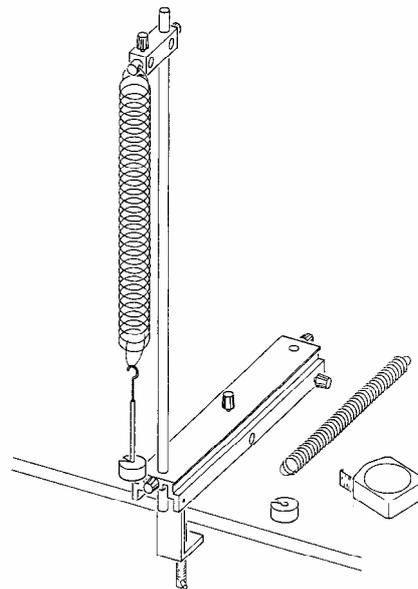
IL PENDOLO ELASTICO

OM 1.12.

Elementi occorrenti:

1S	Base cm 30	1
5S	Morsa da tavolo	1
6S	Perno con astina	1
12S	Morsetto doppio	1
29M1	Asta cm 50	1
12M2	Piattello portapesi *	1
14M2	Massa g 50 *	3
16M2	Molla elicoidale 3N/m *	1
17M2	Molla elicoidale 20N/m *	1
19M2	Metro a nastro *	1

Cronometro a mano



Il pendolo elastico è un sistema costituito da una molla elicoidale, sospesa ad un vincolo fisso, alla cui estremità inferiore è agganciata la massa pendolare. Quando si abbassa il corpo pendolare, allungando la molla di una quantità x , si osserva che, a questa forza traente, la molla oppone una forza resistente di verso contrario ($F = -Kx$, con K = costante di elasticità della molla), tendente a riportare la molla alla lunghezza iniziale. Questa forza, nell'istante in cui viene abbandonato il corpo e la forza traente si annulla, determina la contrazione della molla ed il conseguente oscillare del pendolo con ampiezza $2x$ e periodo T .

Scopo dell'esperimento è accertare da quali grandezze dipende il periodo di oscillazione T del pendolo elastico.

Montaggio: predisporre l'apparecchiatura come nell'illustrazione.

Fissare al bordo del tavolo la morsa di montaggio in modo da poter sorreggere verticalmente l'asta da cm 50. All'estremità superiore di quest'asta montare un morsetto doppio, nel cui foro anteriore viene infilato il perno con astina, destinato a costituire il vincolo fisso della molla elicoidale. Usare per prima la molla "debole" (quella da 3N/m) con corpo pendolare da g 60 (piattello con una massa da g 50)

Esperimento 1: determinazione della costante di elasticità della molla

Misurare con precisione la distanza d fra il punto di sospensione della molla ed il bordo inferiore del piattello scarico; aggiungere la massa da g 50 e misurare la nuova distanza d_1 .

Poiché nel campo della gravità alla massa di kg 0,05 corrisponde un peso $P = m \times g = 0,05 \times 9,81$ N, a questa forza è dovuto un allungamento $X = d_1 - d$. Ricordando dalla statica che l'allungamento di una molla è legato alla forza che lo ha prodotto dalla relazione $P = K \times X$, ove K è la costante di elasticità della stessa molla, risulta facile calcolare con i dati sperimentali annotati $K = P/X$.

Con lo stesso procedimento calcolare la costante di elasticità della molla "dura", ma, per ridurre gli errori nella misura di d_1 , caricare il piattello con tre masse da g 50.

Esperimento 2: misura del periodo di oscillazione del pendolo elastico

Nella prima prova il pendolo è costituito dalla molla "debole", alla quale è appeso il corpo pendolare da g 60 (piattello con 1 massa da g 50).

Abbassare il corpo pendolare di cm 5 ed abbandonarlo: il pendolo comincia ad oscillare verticalmente; con lo stesso ritmo delle oscillazioni cominciare a contare 3 - 2 - 1 - 0 - 1 - 2 - ...10 e, quando si raggiunge lo zero, far partire il cronometro per misurare il tempo t di 10 oscillazioni.

Ripetere la misurazione dopo aver aggiunto una seconda massa da g 50 (massa totale del corpo pendolare g 110).

Annotare i risultati in una tabella:

Massa pendolare	: g 60	Massa pendolare	: g 100
Tempo t (10 oscillazioni)	: ... s	Tempo t (10 oscillazioni)	: ... s
Periodo T	: ... s	Periodo T	: ... s

Ripetere le prove, con lo stesso procedimento, usando la molla "dura" ed annotare in una seconda tabella i dati sperimentali.

Conclusioni: l'esperimento mostra che per una stessa molla il periodo di oscillazione del pendolo elastico aumenta con l'aumentare della massa del corpo pendolare e che per uno stesso corpo pendolare (stessa massa) il periodo diminuisce con l'aumentare della costante di elasticità. La relazione matematica che fornisce il periodo di oscillazione del pendolo elastico è:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}}$$

Nota: occorre osservare che la molla ha una propria massa e che questa, insieme alla massa del corpo pendolare, influisce sul periodo di oscillazione.

Pertanto, se si desidera una maggiore precisione, è necessario misurare con una bilancia la massa della molla e sommarla alla massa del corpo pendolare.

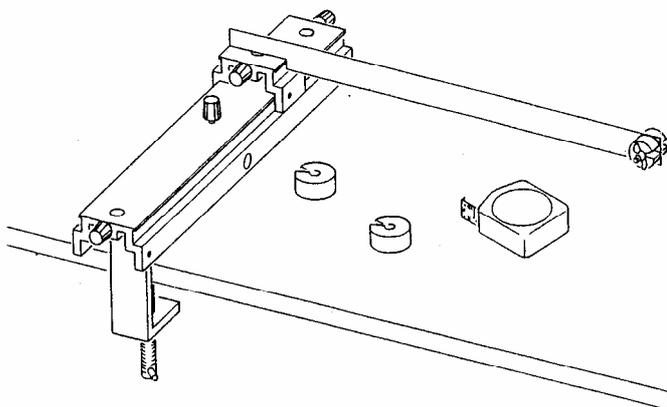
si può verificare quanto sopra calcolando T con i dati a disposizione e confrontando il risultato con il valore di T ricavato sperimentalmente.

IL PENDOLO A LAMA (LAMINA OSCILLANTE)

Elementi occorrenti:

1S	Base cm 30	1
5S	Morsa da tavolo	1
13S	Cavaliere per base con foro e fenditura	1
6M2	Lamina elastica	1
7M2	Astina filettata con dadi a farfalla	1
14M2	Massa g 50★	4
19M2	Metro a nastro ★	1

Cronometro a mano



Una bandella elastica, montata di taglio orizzontalmente e fissata ad una estremità, esegue delle oscillazioni, se si sposta l'estremità libera dalla posizione di riposo.

Scopo dell'esperimento è studiare da quali grandezze dipende il periodo di oscillazione di questo tipo di pendolo.

Montaggio: fissare al bordo del tavolo la morsa con la propria guida poi inserire nell'intaglio dell'apposito cavaliere la bandella elastica; mediante l'astina filettata con dadi a farfalla fissare all'estremità libera della bandella due masse cilindriche da g 50 (una da un lato della lama, l'altra dal lato opposto). La lunghezza della lama va misurata dallo spigolo interno del cavaliere alla vite con dadi a farfalla: nei primi due esperimenti sarà di cm 24, nel terzo esperimento di cm 12.

Esperimento 1: ampiezza di oscillazione

Con il metodo, ormai familiare, di misurazione rilevare il tempo t impiegato dal pendolo per compiere oscillazioni nelle condizioni indicate in tabella:

Lunghezza del pendolo (dal punto di fissaggio al baricentro delle masse) : cm 24

Massa del corpo pendolare: Kg 0,1

- a) Ampiezza di oscillazione : cm 4
 Tempo t di 10 oscillazioni : s
 Periodo T di oscillazione : s
- b) Ampiezza di oscillazione : cm 8
 Tempo t di 10 oscillazioni : s
 Periodo T di oscillazione : s

Esperimento 2: massa del corpo pendolare

Raddoppiare la masse del corpo pendolare, aggiungendo 1 massa da g 50 per ciascun lato della bandella (massa complessiva g 200) e lasciare invariata la lunghezza del pendolo. Agire come nell'esperimento 1 per misurare il tempo t di 10 oscillazioni.

Lunghezza del pendolo (dal punto di fissaggio al baricentro delle masse) : cm 24

Massa del corpo pendolare: Kg 0,2

Ampiezza di oscillazione : cm 4

Tempo t di 10 oscillazioni : s

Periodo T di oscillazione : s

Esperimento 3 : lunghezza del pendolo a lama

Ridurre a cm 12 la distanza tra lo spigolo interno del cavaliere di fissaggio e l'astina filettata con dadi a farfalla, lasciando invariata la massa del corpo pendolare (g 200).
 Agire come nelle precedenti prove per misurare il tempo t di 10 oscillazioni.

Lunghezza del pendolo (dal punto di fissaggio al baricentro delle masse) : cm 12

Massa del corpo pendolare: Kg 0,2

Tempo t di 10 oscillazioni : s

Periodo T di oscillazione : s

Conclusioni: il primo esperimento prova che il periodo di oscillazione di un pendolo a lama non dipende dall'ampiezza di oscillazione.

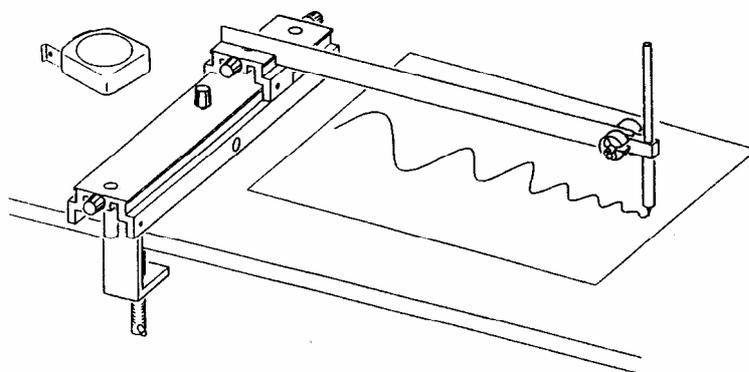
Confrontando i risultati dell'esperimento 2 con quelli dell'esperimento 1 si osserva che il periodo T di oscillazione del pendolo a lama dipende dalla massa del corpo pendolare nel senso che T aumenta con l'aumentare di quest'ultima.

Confrontando i risultati dell' esperimento 3 con quello dell'esperimento 2 si nota che il periodo T di oscillazione del pendolo a lama diminuisce con il diminuire della lunghezza del pendolo stesso.

Elementi occorrenti:

1S	Base cm 30	1
5S	Morsa da tavolo	1
13S	Cavaliere per base con foro e fenditura	1
6M2	Lamina elastica	1
7M2	Astina filettata con dadi a farfalla	1
14M2	Massa g 50 *	2
17M2	Supporto per punta scrivente 1	
19M2	Metro a nastro *	1

Matita
Foglio di carta bianca



L'oscillazione periodica, nel piano orizzontale, di un pendolo a lama può essere registrata facilmente su un foglio di carta, munendo di una punta scrivente l'estremità libera della lama stessa. Poiché il pendolo è reale, il moto è perfettamente armonico, ma smorzato; la rapidità dello smorzamento dipende dall'entità degli attriti.

Montaggio: fissare all'estremità forata della lama, mediante l'astina filettata con dadi a farfalla, il supporto per punta scrivente (matita, biro, pennarello) e due masse cilindriche da g 50, poi innestare l'estremità opposta della stessa lama nell'intaglio del cavaliere e bloccarla con l'apposita vite. La distanza della punta scrivente dallo spigolo del cavaliere sarà di circa cm 30.

Regolare la posizione del montaggio in modo che la punta scrivente tocchi il foglio di carta per lasciare la traccia, ma senza eccessivo attrito, che smorzerebbe rapidamente le oscillazioni; questa situazione può essere sfruttata successivamente per studiare un moto smorzato.

Esperimento 1: disporre il foglio di carta sotto la punta scrivente di modo che questa si trovi vicino al lato corto destro del foglio, all'incirca a metà dello stesso lato. Far oscillare la lamina, spostando lateralmente il corpo pendolare di cm 4 ed abbandonandolo. Tenere fermo il foglio di carta: la punta tratterà un segmento corrispondente all'ampiezza di oscillazione del pendolo.

Rinnovare le oscillazioni con la stessa ampiezza e tirare, ortogonalmente al moto pendolare, il foglio di carta con velocità costante: la punta tratterà sul foglio una sinusoide derivante dalla composizione dei due moti ortogonali.

Esperimento 2: spostare il punto di fissaggio della lama nel cavaliere in modo da ridurre a cm 15 la distanza dalla punta scrivente.

Ripetere su un nuovo foglio di carta il procedimento usato nella prova precedente, osservando di riprodurre quanto più è possibile la stessa velocità di scorrimento della carta: il numero di sinusoidi tracciate dalla punta scrivente è notevolmente più elevato di quello riscontrato nell'esperimento 1.

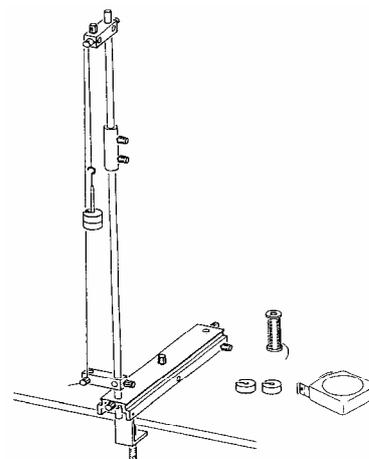
Conclusioni: il pendolo orizzontale a lama è un dispositivo utile per studiare il moto periodico: la sinusoidale tracciata sul foglio di carta, animato di moto rettilineo uniforme ortogonale al moto alternato della punta scrivente, dimostra che il moto del pendolo a lama è un moto armonico. Il numero di sinusoidi ottenute nel primo e nel secondo esperimento su fogli di carta mossi alla stessa velocità, è in accordo con i risultati dell'esperimento = OM 1.13.; infatti, la frequenza di oscillazione $f = 1/T$ dipende dalla lunghezza della lama oscillante, poiché aumenta al diminuire di quest'ultima.

DETERMINAZIONE DI g CON IL PENDOLO SEMPLICE

OM 2.2.

Elementi occorrenti:

1S	Base cm 30	1
2S	Asta cm 25	1
5S	Morsa da tavolo	1
6S	Perno con astina	1
8S	Rocchetto di filo	1
9S	Forbici	1
10S	Manicotto di prolungamento	1
29M1	Asta cm 50	1
12M2	Piattello portapesi *	1
14M2	Massa g 50 *	2
19M2	Metro a nastro *	1
	Cronometro a mano	



E' noto dall'esperimento OM 1.11. che il periodo T di oscillazione di un pendolo semplice dipende dalla lunghezza del pendolo stesso e dell'accelerazione g di gravità del luogo, secondo la relazione

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Pertanto, misurando la lunghezza l del pendolo ed il periodo T di oscillazione, si può determinare, con buona approssimazione, il valore dell'accelerazione g di gravità terrestre, nel luogo in cui viene condotta la prova:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

Montaggio: realizzare lo stativo verticale schematizzato nell'illustrazione, fissando al bordo del tavolo la morsa di montaggio con l'asta da cm 50 prolungata, tramite il manicotto cilindrico, dall'asta da cm 25. Montare all'estremità superiore dello stativo un morsetto doppio ed un perno con astina, nel quale far passare il filo del pendolo; l'estremità libera del filo (lungo circa cm 150) va legata alla vite laterale del morsetto doppio preventivamente montato sull'asta da cm 50: in tal modo, sollevando questo morsetto si potrà variare la lunghezza l del pendolo (ricordare che l è la distanza del punto di sospensione dal centro di gravità del sistema).

La massa pendolare è costituita dal piattello portapesi con due masse cilindriche da g 50, per cui la massa complessiva è di g 110; la lunghezza l del pendolo viene fissata fra cm 70 e cm 90 ed il suo valore deve essere determinato con precisione al millimetro.

Esperimento: spostare lateralmente il corpo pendolare di cm 10 dalla posizione di riposo (ampiezza di oscillazione cm 20) ed abbandonarlo. Con lo stesso ritmo delle oscillazioni cominciare a contare 3, 2, 1, 0, 1, 2, 3 ... 10; quando si raggiunge lo zero far partire il cronometro e misurare il tempo t' di 10 oscillazioni. Ripetere la misurazione altre due volte onde ottenere t'' e t''' poi calcolare il valore medio:

$$t = \frac{t' + t'' + t'''}{3}$$

e da questo calcolare il periodo:

$$T = \frac{t}{10}$$

Dalla conoscenza di l e di T calcolare l'accelerazione di gravità terrestre dalla succitata relazione:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \text{ m/s}^2$$

Tempo medio di 10 oscillazioni : s
 Periodo T (con $l = \dots$ m) : s
 Accelerazione g : m/s^2

Conclusioni: mediante un pendolo semplice di lunghezza nota si può calcolare con buona approssimazione, nei limiti degli errori sperimentali, l'accelerazione di gravità g , il cui valore risulta molto vicino a $9,81 \text{ m/s}^2$.

Per accertare di quanto influisca sul valore di g l'errore nella misurazione di l , provare ad aggiungere e sottrarre mm 5 alla lunghezza l usata:

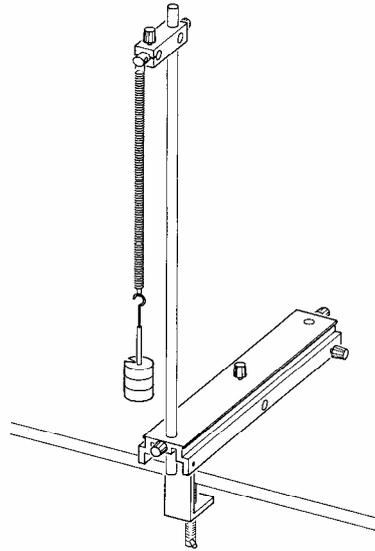
$g = \dots \text{ m/s}^2$ con lunghezza del pendolo $l + 5 \text{ mm}$
 $g = \dots \text{ m/s}^2$ con lunghezza del pendolo $l - 5 \text{ mm}$

MISURAZIONE DINAMICA DELLA COSTANTE DI ELASTICITA'
DI UNA MOLLA ELICOIDALE

Elementi occorrenti:

1S	Base cm 30	1
5S	Morsa da tavolo	1
6S	Perno con astina	1
12S	Morsetto doppio	1
29M1	Asta cm 50	1
12M2	Piattello portapesi *	1
14M2	Massa g 50*	3
16M2	Molla elicoidale 3N/m*	1
17M2	Molla elicoidale 3N/m*	1

Cronometro a mano



La costante di elasticità di una molla elicoidale è la forza che, applicata alla molla, produce un allungamento di 1 metro della stessa. Essa può essere determinata staticamente con la legge delle deformazioni elastiche, come è stato fatto nell' esperimento OM 1.12., oppure dinamicamente con il pendolo elastico, misurandone il periodo di oscillazione e sfruttando il fatto che esso dipende da **K** secondo la relazione:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}} \quad \text{da cui} \quad K = \frac{4\pi^2 xm}{T^2}$$

Montaggio: predisporre lo stativo secondo l'illustrazione, poi sospendere al perno con astina, inserito nel morsetto doppio, la molla "dura" ed a questa il piattello con 3 masse cilindriche da g 50 (massa complessiva del corpo pendolare g 160). Nel secondo esperimento la molla "dura" verrà sostituita dalla molla "debole" ed il corpo pendolare sarà costituito dal piattello e da una sola massa cilindrica da g 50 (massa complessiva g 60).

Esperimento 1: misurare la massa della molla "dura" e prenderne nota poi sospendere il pendolo elastico indicato nel montaggio. Abbassare il corpo pendolare di qualche centimetro ed abbandonarlo. Con lo stesso ritmo delle oscillazioni del pendolo contare 3, 2, 1, 0, 1, 2, ... 10 ed allo zero avviare il cronometro per misurare il tempo **t'** di 10 oscillazioni. Ripetere la misurazione altre due volte onde ottenere i tempi **t''** e **t'''**, quindi calcolare il tempo medio

$$t = \frac{t' + t'' + t'''}{3}$$

e da questo il periodo

$$T = \frac{t}{10}$$

Riunire i dati sperimentali per i calcoli successivi

Tempo medio di 10 oscillazioni : $t = \dots$ s
 Periodo T : $T = \dots$ s
 Massa della molla "dura" : $m_m = \dots$ Kg

$$\text{Costante di elasticità } K = \frac{4\pi^2(m + m_m)}{T^2} = \dots \text{ N/m}$$

Esperimento 2: misurare la massa della molla "debole", poi sospenderla allo stativo con il piattello munito di una massa da g 50. Ripetere lo stesso procedimento dell'esperimento 1 onde ottenere il periodo T di oscillazione.

Tempo medio di 10 oscillazioni : $t = \dots$ s
 Periodo T : $T = \dots$ s
 Massa della molla "dura" : $m_{md} = \dots$ Kg

$$\text{Costante di elasticità } K = \frac{4\pi^2(m + m_{md})}{T^2} = \dots \text{ N/m}$$

Conclusioni: con il pendolo elastico si può determinare dinamicamente la costante di elasticità della molla elicoidale costituente lo stesso pendolo.

Confrontando i valori di K , ottenuti nelle due suddette prove, con i valori di K' determinati staticamente si osserva che, entro i limiti degli errori sperimentali, essi coincidono.

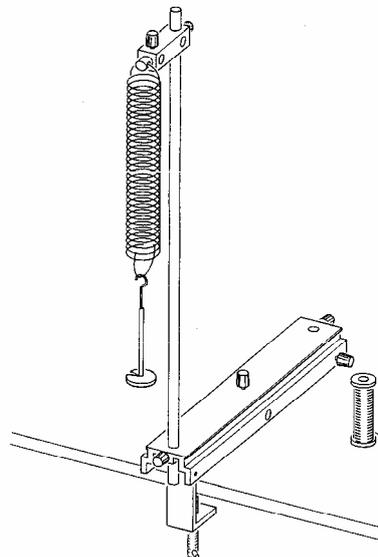
MASSA GRAVITAZIONALE E MASSA INERZIALE

OM 2.4.

Elementi occorrenti:

1S	Base cm 30	1
5S	Morsa da tavolo	1
6S	Perno con astina	1
12S	Morsetto doppio	1
23M1	Dinamometro 2 N	1
29M1	Asta cm 50	1
12M2	Piattello portapesi *	1
14M2	Massa g 50 *	2
16M2	Molla elicoidale 3N/m *	1
19M2	Metro a nastro *	

Cronometro a mano



La massa è una proprietà intrinseca della materia. Nell'ambito delle nostre esperienze essa è una caratteristica costante di ciascun corpo. Nel campo della gravità ogni massa m ha un proprio peso $P = m \times g$, ove g è l'accelerazione di gravità nel luogo, in cui la massa si trova. Per misurare la massa esistono due metodi: il metodo statico, che utilizza le leggi dell'equilibrio in tutti i tipi di bilancia, ed il metodo dinamico, che sfrutta le leggi della dinamica nei dispositivi inerziali.

La massa, misurata con il metodo statico, è definita **massa gravitazionale**, in quanto deriva dal confronto di pesi; la massa, misurata con il metodo dinamico, è detta **massa inerziale**, in quanto rappresenta l'inerzia cioè la resistenza, che ogni corpo oppone ad essere accelerato da una forza ad esso applicata.

Montaggio: secondo l'illustrazione viene realizzato lo stativo verticale.

Al perno con astina orizzontale, sorretto dal morsetto, viene agganciato, per la prima prova, il dinamometro e per la seconda il pendolo elastico (molla elicoidale da 3N/m).

Esperimento 1: massa gravitazionale

Sospendere al dinamometro il piattello con una massa cilindrica da g 50. Il dinamometro è uno strumento per misurare le forze, il cui funzionamento si basa sulla legge delle deformazioni elastiche di Hooke: esso, pertanto, fornisce il valore in Newton, del peso del corpo agganciato. Dividendo questo valore **P** per l'accelerazione di gravità **g** locale, si può calcolare il valore della massa gravitazionale dalla relazione **m = P/g**. Poiché la forza è espressa in Newton e l'accelerazione di gravità in metri al secondo per secondo, il valore della massa gravitazionale del piattello con una massa cilindrica sarà espresso in chilogrammi.

Peso del corpo (piattello con peso cilindrico)	:	..... N
Massa gravitazionale del corpo	m = P/g	: kg

Esperimento 2: massa inerziale

Sospendere allo stativo il pendolo elastico costituito dalla molla "debole" e dal piattello con una massa cilindrica da g 50 (cioè lo stesso corpo usato nell'esperimento 1). E' noto dall'esperimento OM 1.12. che il periodo di oscillazione del pendolo elastico dipende dalla costante di elasticità **K** della molla e dalla massa **m** del corpo pendolare; la sua indipendenza dalla forza di gravità rende, quindi, possibile misurare la massa inerziale del corpo pendolare attraverso la relazione:

$$T = 2\pi \frac{m}{K} \quad \text{da cui} \quad m = \frac{K}{4\pi} x T^2$$

$\frac{K}{4\pi}$ è la costante strumentale, che può essere determinata una volta per tutte, per ciascuna

molla, misurando **K** nel modo già indicato nell'esperimento OM 1.12.

Tirare verso il basso, di cm 5, il corpo pendolare in modo da tendere la molla ed abbandonarlo. Con lo stesso ritmo delle oscillazioni del pendolo contare 3, 2, 1, 0, 1, 2, ... 10 e, quando si raggiunge lo zero far partire il cronometro per misurare il tempo t' , di 10 oscillazioni. Ripetere la misurazione altre due volte onde ottenere i tempo t'' e t''' , poi calcolare il valore medio:

$$t = \frac{t' + t'' + t'''}{3}$$

e da questo calcolare il periodo:

$$T = \frac{t}{10}$$

Annotare tutti i dati sperimentali, compresa la massa della molla usata (da misurare con una bilancia sensibile), per i successivi calcoli:

Tempo di 10 oscillazioni	:	$t' = \dots$ s; $t'' = \dots$ s; $t''' = \dots$ s
Tempo medio di 10 oscillazioni	:	$T = \dots$ s
Massa della molla	:	$m_m = \dots$ kg
Massa inerziale del corpo pendolare:		m - m_m = kg

Conclusioni: il pendolo elastico è un dispositivo utilizzabile per misurare la massa inerziale di un corpo.

Confrontando i risultati degli esperimenti 1 e 2 si osserva che, nei limiti degli errori sperimentali, il valore della massa gravitazionale coincide con il valore della sua massa inerziale.

Esperimenti di grande precisione condotti in laboratori di ricerca hanno verificato tale uguaglianza a meno di 1 centomillesimo di grammo.

RISONANZA DEL PENDOLO SEMPLICE

OM 3.1.

Elementi occorrenti:

1S	Base cm 30	1
2S	Asta cm 25	1
5S	Morsa da tavolo	1
6S	Perno con astina	1
8S	Rocchetto di filo	1
9S	Forbici	1
10S	Manicotto di prolungamento	1
12S	Morsetto doppio	2
29M1	Asta cm 50	1
11M2	Vibratore elettrico	1
12M2	Piattello portapesi *	1
14M2	Massa g 50	1
19M2	Metro a nastro *	

Cronometro a mano
 Generatore di funzioni
 Alimentatore per detto
 12 V c.a.

Ogni sistema oscillante ha una propria frequenza di oscillazione. Nel caso ideale, cioè in assenza di attriti, l'energia del sistema si conserva e l'ampiezza di oscillazione resta costante; nella realtà, invece, le resistenze passive dissipano più o meno rapidamente l'energia del sistema e l'oscillazione diminuisce di ampiezza (vale a dire si smorza) fino ad annullarsi. Se si applica al sistema una forza esterna, che agisca in sincronismo con l'oscillazione, si incrementa l'energia del sistema stesso e l'oscillazione aumenta di ampiezza fino a valori molto elevati (talvolta disastrosi per il sistema) per stabilire un nuovo equilibrio con le resistenze passive. Questa condizione di uguaglianza tra la frequenza esterna e la frequenza propria dell'oscillatore è detta **risonanza**. Scopo dell'esperimento è studiare la condizione di risonanza di un pendolo semplice, al quale venga fornita energia meccanica dall'esterno tramite un apposito generatore di vibrazioni.

Montaggio: la disposizione sperimentale dei vari elementi è rappresentata in figura. All'astina orizzontale dello stativo viene annodato (in modo da poter essere facilmente sciolto) il filo del pendolo semplice, la cui lunghezza deve essere $l = 30$ cm ed il corpo pendolare costituito dal piattello con una massa da g 50.

Si determina il periodo T di oscillazione del pendolo, poi si scioglie il filo, si fissa allo stativo, con un morsetto doppio, il vibratore elettrico, si fa passare il filo nel buco estremo del braccio oscillante ed infine si lega nuovamente l'estremità libera del filo all'astina orizzontale. La lunghezza l del pendolo deve essere nuovamente di cm 30 ed il braccio oscillante deve essere verticale rivolto verso il basso.

Esperimento 1: frequenza di oscillazione del pendolo semplice

Viene usata la prima parte del montaggio su indicato. Con il metodo usuale misurare il tempo t' di 10 oscillazioni e prenderne nota per calcolare il periodo $T' = t'/10$ e successivamente la frequenza $f' = 1/T'$ di oscillazione del sistema.

Tempo di 10 oscillazioni	:	$t' = \dots$ s
Periodo	:	$T' = \dots$ s
Frequenza	:	$f' = \dots$ Hz

Esperimento 2: frequenza di risonanza del pendolo semplice

Collegare il vibratore elettrico al generatore di funzioni, alimentato a 12 V~.

Regolare la frequenza del generatore al valore minimo (0,1 Hz) e portare la manopola del volume al massimo. Operando molto lentamente sulla manopola di regolazione fine della frequenza, aumentare la frequenza di modo che l'oscillazione del braccio venga trasmessa al filo del pendolo: si vedrà il filo muoversi alternativamente, trascinando nel movimento anche il corpo pendolare; ad un certo punto il pendolo comincerà ad oscillare e l'ampiezza aumenterà notevolmente in sincronismo con il movimento del braccio.

In questa condizione misurare il tempo t'' di 10 oscillazioni e da questo calcolare il periodo T'' e la frequenza f'' .

Tempo di 10 oscillazioni	:	$t'' = \dots$ s
Periodo	:	$T'' = \dots$ s
Frequenza	:	$f'' = \dots$ Hz

Conclusioni: confrontando i valori di f' ed f'' si riscontra che essi sono uguali. Nelle condizioni di risonanza la frequenza di eccitazione corrisponde alla frequenza propria di oscillazione del pendolo semplice.

Ripetere l'esperimento con altre lunghezze del pendolo.

RISONANZA DEL PENDOLO ELASTICO

Elementi occorrenti:

1S	Base cm 30	1
2S	Asta cm 25	1
5S	Morsa da tavolo	1
6S	Perno con astina	1
10S	Manicotto di prolungamento	1
12S	Morsetto doppio	2
29M1	Asta cm 50	1
11M2	Vibratore elettrico	1
12M2	Piattello portapesi *	1
14M2	Massa g 50 *	1
15M2	Molla elicoidale 3N/m	1
16M2	Molla elicoidale 20N/m	1

Cronometro a mano
 Generatore di funzioni
 Alimentatore per detto
 12 V c.a.
 Elastico

Qualsiasi sistema meccanico può entrare in risonanza, se eccitato dall' esterno con una frequenza uguale alla propria. Ciò è particolarmente semplice per i sistemi elastici, fra i quali spicca, per evidenza del fenomeno, il pendolo a molla elicoidale. L'esperienza si prefigge, appunto, di studiare le condizioni di risonanza di questo tipo di pendolo, usando, come eccitatore esterno il vibratore a frequenza variabile, già impiegato nell'esperienza OM 3.1., alimentato da un generatore di oscillazioni elettriche.

Montaggio: la disposizione sperimentale degli elementi impiegati è chiaramente illustrata nella figura. L'esperienza comprende due prove: nella prima all'astina orizzontale dello stativo viene sospeso il pendolo elastico costituito dalla molla debole e dal piattello con una massa da g 50 (massa complessiva del corpo pendolare g 60); nella seconda viene fissato allo stativo, mediante un morsetto doppio, il vibratore elettrico collegato all'uscita del generatore di funzioni, a sua volta alimentato a 12 V c.a. da un alimentatore per basse tensioni. Il pendolo viene sospeso all'astina orizzontale tramite un elastico, dopo aver fatto passare l'occhiello superiore della molla nel foro estremo nel braccio oscillante. Regolare la posizione dell'astina in modo che il braccio sia orizzontale e l'elastico verticale.

Esperimento 1: frequenza di oscillazione del pendolo

Viene usata la prima parte del montaggio su indicato. Con il metodo usuale di conteggio delle oscillazioni, misurare il tempo t' di 10 oscillazioni e prenderne nota per calcolare prima il periodo T' e successivamente la frequenza $f' = 1/T'$ di oscillazione del pendolo elastico.

Tempo di 10 oscillazioni	:	$t' = \dots$ s
Periodo	:	$T' = \dots$ s
Frequenza	:	$f' = \dots$ Hz

Esperimento 2: frequenza di risonanza del pendolo elastico

Regolare la frequenza del generatore di funzioni al valore minimo (0,1 Hz), poi accendere l'alimentatore e portare la manopola del volume al massimo (in tal modo all'uscita del generatore si avrà una tensione di picco di 4 V alla frequenza di 0,1 Hz). Agendo sulla manopola di regolazione fine continua della frequenza, aumentare quest'ultima lentamente: il braccio oscillante si muoverà alternativamente in senso verticale, trasmettendo il moto alterno alla molla.

Ad un certo punto il pendolo comincerà ad oscillare con ampiezza sempre più grande fino a raggiungere la risonanza.

In questa condizione misurare il tempo t'' di 10 oscillazioni e da questo ricavare il periodo T'' e la frequenza f'' .

Tempo di 10 oscillazioni	:	$t'' = \dots$ s
Periodo	:	$T'' = \dots$ s
Frequenza	:	$f'' \dots$ Hz

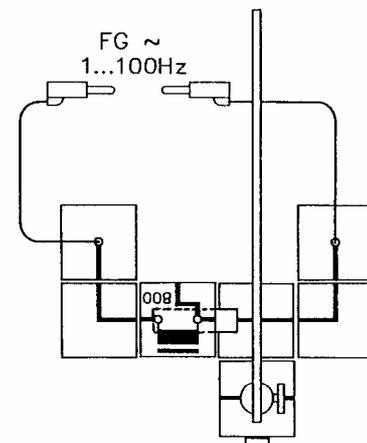
Conclusioni: nella condizione di risonanza il pendolo elastico oscilla in sincronismo con la sorgente esterna, il che significa, come si può rilevare dal confronto di f'' con f' che le due frequenze sono uguali.

Ripetere l'esperimento caricando il piattello con una seconda massa da g 50.

Ripetere gli esperimenti con la molla "dura", il cui corpo pendolare deve comprendere 3 masse da g 50.

RISONANZA DI UNA LAMINA OSCILLANTE**OM 3.3****Elementi occorrenti:**

1E1	Piastra di base	1
3E1	Conduttore ad angolo in piastrella	2
5E1	Conduttore di collegamento circuito, in piastrella	2
6E1	Conduttore diritto, in piastrella	1
15E1	Piastrina con morsetto e boccola	1
16E1	Supporto con fenditure e foro, in piastrella	1
29E2	Piastrina per bobina a 800 spire	1
31E1	Bobina 800 spire, su coppia di spine	1
39E2	Nucleo di ferro, massiccio	1
6M2	Lamina elastica	1
	Fili di collegamento	4
	Generatore di funzioni	
	Alimentatore per detto	



Quando ad un sistema in grado di oscillare viene applicata una forza esterna, agente in sincronismo con le oscillazioni del sistema, si creano le condizioni di risonanza. La forza esterna può essere di diversa natura: meccanica, come nei casi esaminati in precedenza, elettromagnetica, come nel presente esperimento, nel quale viene impiegata una lamina elastica, fissata ad una estremità ed eccitata tramite un elettromagnete percorso da una corrente alternata di frequenza variabile.

Montaggio: predisporre il circuito secondo l'illustrazione, montando sulla piastra di base con boccole le varie piastrelle con spinotti in modo da avere la continuità del circuito elettrico indicata dalle linee sergrafate. La lamina elastica viene fissata alla colonna della piastrella esterna al circuito così che la sua lunghezza sia inizialmente di cm 15.

Montare la bobina da 800 spire con il nucleo di ferro inserito e regolarne la posizione rispetto alla lamina, per avere una distanza di circa cm 2.

Collegare le estremità libere del circuito all'uscita del generatore di funzioni, alimentato a 12 V c.a. mediante un alimentatore per basse tensioni. Posizionare la manopola a scatti su 1 Hz e quella della regolazione fine sullo zero; la manopola di regolazione dell'ampiezza del segnale deve essere ruotata completamente, in senso orario, per avere 4 V in uscita.

Esperimento: porre in funzione il generatore di oscillazioni sinusoidali, quindi, agendo sulla manopola di regolazione fine della frequenza, regolare questa ultima fino a trovare il "valore", al quale la lamina elastica oscilla con ampiezza massima; annotare in tabella questo valore, poi continuare a ruotare la manopola.

Ridurre prima a cm 10 la lunghezza della lamina e poi a cm 5, cercando ogni volta la frequenza di risonanza del sistema elastico. Allo scopo portare la manopola a scatto su 10 Hz e partire da questo valore con la regolazione fine. Annotare sempre in tabella i risultati:

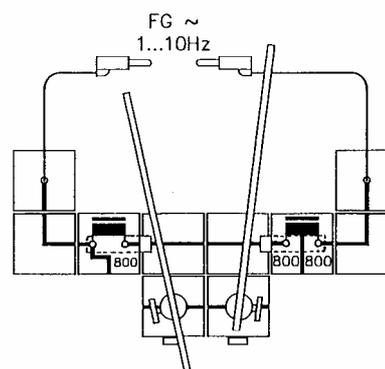
Lunghezza della lamina	Frequenza di risonanza
cm 15	..... Hz
cm 10	..... Hz
cm 5	..... Hz

Conclusioni: i risultati dell'esperimento dimostrano che la frequenza di risonanza di una lamina elastica, e quindi la sua frequenza propria di oscillazione, aumenta man mano che la lunghezza della stessa lamina diminuisce; si può concludere, in altri termini, che la frequenza di risonanza di una lamina elastica è indirettamente proporzionale alla sua lunghezza.

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL FREQUENZIMETRO

Elementi occorrenti:

1E1	Piastra di base	1
3E1	Conduttore ad angolo in piastrella	2
5E1	Conduttore di collegamento circuito, in piastrella	2
6E1	Conduttore diritto, in piastrella	2
15E1	Piastrina con morsetto e boccia	2
16E1	Supporto con fenditure e foro, in piastrella	2
26E2	Nucleo di ferro ad U	1
27E2	Nucleo di ferro diritto	1
28E2	Dispositivo di chiusura	1
29E2	Piastrina per bobine	2
30E2	Bobina a 2x800 spire	1
31E1	Bobina 800 spire	1
39E2	Nucleo di ferro, massiccio	1
18M1	Bandella elastica 0,3 mm	1
6M2	Lamina elastica	1
	Fili di collegamento	4
	Generatore di funzioni	1
	Alimentatore per detto	



Ogni lamina elastica ha una propria frequenza di oscillazione, pertanto, in base alle conclusioni dell'esperimento OM 3.3., è possibile costruire un dispositivo con lamine di diversa lunghezza, mediante il quale, sfruttando il fenomeno della risonanza, si può misurare il valore di una frequenza incognita. Questo dispositivo è detto "**frequenzimetro a lamelle**": esso è un misuratore di basse frequenze, funzionante in un campo molto ristretto.

Montaggio: inserire gli spinotti delle varie piastrelle nelle boccole della piastra di base, seguendo lo schema dell'illustrazione in modo da avere la continuità del circuito elettrico indicata dalle linee serigrafate su ciascuna piastrella. Montare nelle rispettive piastrelle la bobina da 800 spire con il nucleo di ferro massiccio cilindrico e la bobina da 2x800 spire con il nucleo di ferro a sezione quadrata. Le lamine elastiche corte vengono fissate alla colonna delle due piastrelle esterne al circuito in modo che la lunghezza di entrambe sia inizialmente di cm 15; regolare la loro posizione onde stabilire una distanza di circa mm 5 dal corrispondente nucleo di ferro (sporgente cm 1 dalla cavità della bobina). Quale sorgente di energia elettrica di frequenza variabile viene usato il generatore di funzioni, alimentato a 12 V circa mediante un alimentatore per basse tensioni. Le manopole di regolazione devono essere posizionate nel modo seguente: il commutatore di funzione sui segnali sinusoidali; la manopola a scatti della frequenza su 1 Hz e quella di regolazione fine sullo zero; infine la manopola di regolazione dell'ampiezza del segnale sul valore massimo onde avere 4 V in uscita.

Esperimento 1: porre in funzione il generatore di oscillazioni elettriche e, agendo sulla manopola di regolazione fine, trovare la frequenza, alla quale entrambe le lamine elastiche oscillano con la massima ampiezza (frequenza di risonanza): ciò si verifica quando le due lamine hanno lunghezza esattamente uguale.

Esperimento 2: accorciare la lamina di sinistra di cm 3 e trovare per questa la nuova frequenza di oscillazione, la quale è sicuramente più elevata della precedente.

Conclusioni: un sistema di lamine oscillanti di diversa lunghezza consente la misurazione diretta di frequenze incognite; se il sistema eccitante è elettromagnetico, come nel caso esaminato, si possono misurare frequenze di correnti alternate.

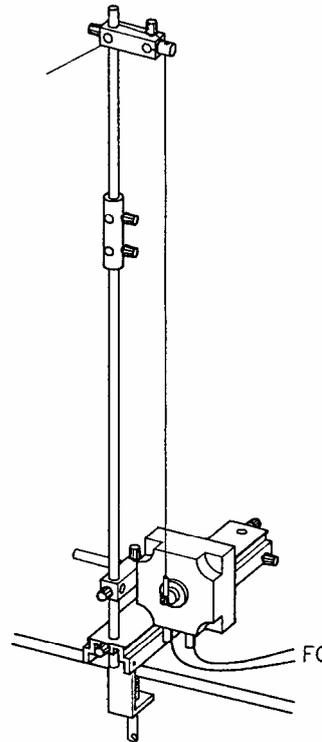
I frequenzimetri a lamine vibranti sono usati per misurare la frequenza delle correnti alternate industriali nel campo compreso fra 45 e 65 Hz.

ONDE STAZIONARIE TRASVERSALI

OM 4.1.

Elementi occorrenti:

1S	Base cm 30	1
2S	Asta cm 25	1
5S	Morsa da tavolo	1
6S	Perno con astina	1
10S	Morsetto di prolungamento	1
12S	Morsetto doppio	2
29M1	Asta cm 50	2
11M2	Vibratore elettrico	1
18M2	Elastico	1
	Generatore di funzioni	
	Alimentatore per detto	
	12 V c.a.	
	Fili di collegamento	4



Un'onda trasversale che si propaga in un mezzo finito (ad esempio, una corda) avente l'estremità fissa, quando raggiunge questo punto viene riflessa e ritorna indietro lungo la stessa direzione. In determinate condizioni, che verranno esaminate in questo esperimento, le onde riflesse, sovrapponendosi alle onde incidenti, danno luogo alle **onde stazionarie**, cioè ad un fenomeno chiaramente visibile in quanto caratterizzato dalla presenza stabile di **ventri** (massimi di oscillazione) e di **nodi** (minimi di oscillazione).

Montaggio: realizzare l'apparecchiatura schematizzata nell'illustrazione.

Alla morsa, montata al bordo del tavolo, viene fissato lo stativo verticale costituito dall'asta da cm 50, dal morsetto doppio (nel quale verrà innestata l'asta di supporto del vibratore elettrico - generatore d'onde), il manicotto di prolungamento con la seconda asta da cm 50 ed infine il secondo morsetto doppio munito del perno con astina; la distanza tra la leva del generatore e l'astina superiore deve essere di circa cm 70. Tagliare un pezzo dall'elastico di lunghezza cm 80 e legarne un'estremità all'ultimo foro del braccio oscillante del vibratore; l'estremità libera della corda va legata all'astina del morsetto superiore, osservando che, rispetto alla sua lunghezza naturale, risulti tesa di cm 5.

Collegare il vibratore elettrico all'uscita del generatore di funzioni, impostato per fornire onde sinusoidali; disporre la manopola a scatti di regolazione della frequenza su 10 Hz e la manopola di regolazione continua sullo 0.

Collegare il generatore di funzioni ad una sorgente di tensione alternata in grado di erogare 12 V. Infine regolare la manopola del volume (ampiezza del segnale) a circa metà corsa (2V).

Esperimento: agendo sulla manopola di regolazione fine della frequenza, cercare molto lentamente la frequenza, alla quale si stabiliscono sulla corda onde stazionarie stabili (1 nodo a ciascuna estremità ed 1 ventre al centro).

Prendere nota di questo primo valore della frequenza che verrà indicato con f' :

$$f' = \dots \text{ Hz}$$

Aumentare lentamente la frequenza fino a riprodurre una nuova situazione di onde stazionarie. Annotare il valore f'' della frequenza, alla quale il fenomeno si verifica:

$$f'' = \dots \text{ Hz}$$

Continuare sempre lentamente, ad aumentare la frequenza fino a ritrovare la frequenza f_2 delle onde stazionarie, poi ancora f_3 , ecc.

Annotare il valore di f_2 , f_3 , ecc...:

$$f_2 = \dots \text{ Hz}$$

$$f_3 = \dots \text{ Hz}$$

Conclusioni: nello spazio compreso fra la sorgente di oscillazioni ed il punto fisso l'onda risultante è una perturbazione periodica, che non si propaga né in un verso, né nel verso opposto; le onde appaiono ferme e la loro ampiezza è solo funzione del tempo. Se non vengono cambiate le condizioni sperimentali, alla prima frequenza che si trova (f' o **frequenza fondamentale**), seguono altre frequenze (f'' o **prima armonica**, f_2 o **seconda armonica**, ecc...), che sono in rapporto con la frequenza f' secondo la relazione:

$$f_n = (n + 1) \times f'$$

ove

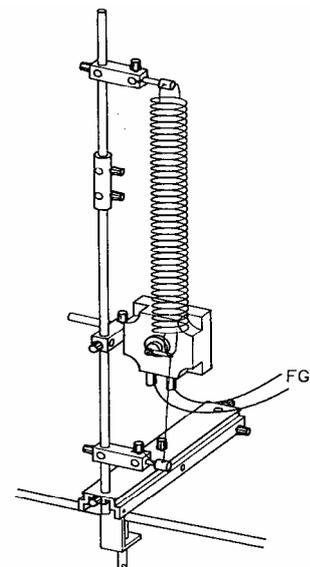
$$n = 1, 2, 3, \dots$$

ONDE STAZIONARIE LONGITUDINALI

OM 4.2.

Elementi occorrenti:

1S	Base cm 30	1
5S	Morsa da tavolo	1
6S	Perno con astina	2
10S	Morsetto di prolungamento	1
12S	Morsetto doppio	3
29M1	Asta cm 50	2
11M2	Vibratore elettrico	1
15M2	Molla elicoidale 3 N/m	1
18M2	Elastico	1
	Generatore di funzioni	
	Alimentatore per detto	
	12 V c.a.	
	Fili di collegamento	4



Un'onda longitudinale che si propaga in un mezzo finito (ad esempio, una molla elicoidale) avente l'estremità fissa, quando raggiunge questo punto viene riflessa e torna indietro lungo la stessa direzione. In determinate condizioni, che verranno esaminate in questo esperimento, le onde

riflesse, sovrappondendosi alle onde incidenti, danno luogo alle **onde stazionarie**, cioè ad un fenomeno chiaramente visibile, in quanto caratterizzato dal fatto che i massimi di oscillazione (**ventri**) ed i minimi di oscillazione (**nodi**) sono stabili ed appaiono fermi.

Montaggio: realizzare l'apparecchiatura schematizzata nella figura.

Alla morsa, montata al bordo del tavolo, viene fissato lo stativo verticale costituito dall' asta da cm 50, dal morsetto doppio (nel quale deve essere innestato il perno con astina), dal morsetto doppio destinato a sorreggere il vibratore elettrico - generatore d'onde, il manicotto di prolungamento con la seconda casta da cm 50 ed infine il terzo morsetto doppio (anch'esso munito di perno con astina). Sospendere la molla elicoidale a quest'ultimo perno e fissarne l'estremità libera al foro estremo del braccio oscillante del generatore. Regolare a circa cm 40 la distanza fra l'astina superiore ed il braccio oscillante mantenuto in posizione orizzontale da un pezzo di elastico, legato fra l'occhiello della molla e l'astina inferiore; la lunghezza dell'elastico deve essere di circa cm 15. Controllare la disposizione dei vari elementi di modo che la molla risulti verticale e l'elastico complanare con il braccio oscillante.

Collegare il generatore d'onde all'uscita di potenza del generatore di funzioni, impostato per fornire onde sinusoidali; disporre la manopola a scatti di regolazione della frequenza su 1 Hz e la manopola di regolazione continua sullo 0. Collegare il generatore di funzioni ad una sorgente di tensione alternata in grado di fornire 12 V. Infine regolare la manopola del volume (ampiezza del segnale) a circa metà corsa (2V).

Esperimento: agendo sulla manopola di regolazione fine della frequenza cercare molto lentamente la condizione, alla quale le spire della molla appaiono ferme, molto distanziate al centro della molla stessa (ventre) e molto addensate alle estremità. Prender nota di questo primo valore della frequenza, che verrà indicato con f' :

$$f' = \dots \text{ Hz}$$

Aumentare lentamente la frequenza fino a trovare una nuova situazione di onde stazionarie con un nodo al centro della molla ed a ciascuna estremità e, fra questo, due ventri di oscillazione. Annotare il valore f'' della frequenza, alla quale il fenomeno si verifica:

$$f'' = \dots \text{ Hz}$$

Continuare, sempre lentamente, ad aumentare la frequenza fino ad ottenere onde stazionarie ai valori f_2 , f_3 , ecc....., dei quali si prenderà nota:

$$f_2 = \dots \text{ Hz}$$

$$f_3 = \dots \text{ Hz}$$

Conclusioni: in determinate condizioni sperimentali nel mezzo compreso fra la sorgente di oscillazioni ed il punto fisso l'onda risultante è una perturbazione periodica, che non si propaga né in un verso, né nel verso opposto (onde stazionarie). La prima frequenza, alla quale il fenomeno si verifica, è detta f' (o **frequenza fondamentale**); le successive frequenze f'' (o **prima armonica**), f_2 (o **seconda armonica**), ecc... sono in rapporto con la frequenza fondamentale attraverso la relazione:

$$f_n = (n + 1) \times f' \qquad \text{ove} \qquad n = 0, 1, 2, 3$$