

LABORATORIO DI FISICA SPERIMENTALE
Ingegneria meccanica
A.A. 2022-2023

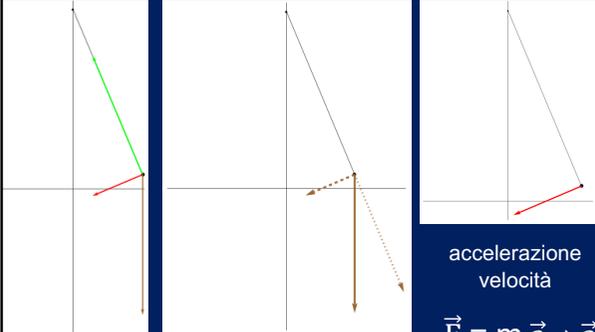


Terza esperienza:
il pendolo semplice
ma è veramente semplice?

lasciate il tavolo di laboratorio in ordine e pulito;
ne siete responsabili (anche della strumentazione)




1



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

accelerazione peso
scomposizione forza tensione filo
accelerazione velocità

$\vec{F} = m \vec{a} \rightarrow \vec{a} // \vec{F}$

$-mg \sin(\vartheta) = ma_{\text{tang}} = m\ell \ddot{\vartheta} \rightarrow \ddot{\vartheta} + \frac{g}{\ell} \sin(\vartheta) = 0$

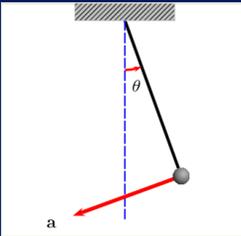
se ϑ è "piccolo" $\rightarrow \ddot{\vartheta} + \frac{g}{\ell} \vartheta = 0 \rightarrow \ddot{\vartheta} + \omega^2 \vartheta = 0$

$\arcsin(3,5 \text{ cm}/35 \text{ cm}) = 5,7^\circ = 0,10017 \text{ rad}$

$\omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}} = \frac{2\pi}{T}$

2

PROMEMORIA:
nome, cognome, FIRMA
dati \rightarrow foglio
grafici (con excel)
valutazione di q e di p \rightarrow (con LabCalc)
conclusioni \rightarrow foglio



In questa esercitazione sul pendolo verrà studiata la dipendenza del **periodo di oscillazione**

- 1) dal tempo
- 2) dalla lunghezza
- 3) ampiezza dell'oscillazione
- 4) velocità massima

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

3

1) Dipendenza di T dal tempo
2) Dipendenza di T dalla lunghezza
3) Effetto dell'attrito sull'ampiezza
4) Effetto dell'attrito sulla velocità

PENDOLO [1/4]

il periodo delle piccole oscillazioni è costante: ISOCRONISMO Galilei 1602

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

4

PENDOLO [1/4]

Verificare l'isocronismo delle **PICCOLE** oscillazioni:
L = 35 cm circa e misurare t_3 (ogni 30 s, per 5 minuti)

$\arcsin(3,5 \text{ cm}/35 \text{ cm}) = 5,7^\circ = 0,10017 \text{ rad}$

t_3

t

$t_3 = \text{durata di 3 oscillazioni}$

5

PENDOLO [1/4]

L = 35,2 cm

t (min)	t_3 (s)	A (cm)	$\ln[A/(1\text{cm})]$
0	1,17	...	...
0,5	1,21	...	...
1,0	1,18	...	...
1,5	1,22	...	...
2,0	1,23	...	...
2,5	1,19	...	...
3,0	1,17	...	...
3,5	1,24	...	...
4,0	1,20	...	...
4,5	1,22	...	...
5,0	1,21	...	...

LabCalc t_3 vs t

Se le oscillazioni fossero isocrone allora t_3 vs t avrebbe l'andamento di una retta di pendenza nulla... t_3 è **sostanzialmente costante**?

LabCalc: $|p| < \sigma_p$? oppure $< 2\sigma_p$? oppure $< 3\sigma_p$?

RIPORTARE NEL FOGLIO SE AVETE VERIFICATO SPERIMENTALMENTE CHE LE PICCOLE OSCILLAZIONI SONO ISOCRONE

6

PENDOLO [2/4]

- 1) Dipendenza di T dal tempo
- 2) Dipendenza di T dalla lunghezza
- 3) Effetto dell'attrito sull'ampiezza
- 4) Effetto dell'attrito sulla velocità

7

PENDOLO [2/4]

$\arcsin(3,5 \text{ cm}/35 \text{ cm}) = 5,7^\circ = 0,10017 \text{ rad}$

L

T

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

$T^2 = 4\pi^2/g L = p L$

$\rightarrow g = 4\pi^2/p$

Studiare la relazione fra T^2 e L
 Determinare il valore di g

$t_{10} = \text{durata di 10 oscillazioni}$

tabella con misure L, t_{10} , T^2
 grafico con excel T^2 vs L
 se il grafico è lineare p e σ_p con LabCalc

Variare L fra 20 cm e 40 cm (NOMINALI) a passi di 4 cm

8

i	L _i (cm)	t ₁₀ (s)	T ² (s ²)
1	44,0	13,47	1,814
2	39,9	12,78	1,633
3	35,9	12,13	1,471
4	31,8	11,41	1,302
5	28,2	10,94	1,197
6	23,8	10,08	1,016
7	20,5	9,37	0,878

PENDOLO [2/4]

RIPORTARE LA TABELLA SU EXCEL

9

GRAFICARE T² vs L CON EXCEL **PENDOLO [2/4]**

CON EXCEL

INSERISCI GRAFICO A DISPERSIONE

10

GRAFICARE T² vs L CON EXCEL **PENDOLO [2/4]**

CLICK DESTRO SU UN PUNTO E "AGGIUNGI LINEA DI TENDENZA"

"INSERISCI 'GRAFICO' A DISPERSIONE"

11

PENDOLO [2/4]

- Se il grafico è lineare inserire i dati in LabCalc per stabilire se la **misura della pendenza** della relazione T² vs L è stata più o meno precisa
 - molto precisa: $\sigma_p/|p| < 1\%$
 - precisa: $1\% < \sigma_p/|p| < 5\%$
 - poco precisa: $5\% < \sigma_p/|p| < 20\%$
 - imprecisa: $\sigma_p/|p| > 20\%$
- Ricavare dalla pendenza di LabCalc il valore g dell'accelerazione di gravità
- Calcolare lo **scarto relativo** $s = \frac{g - g_N}{g_N}$ che dà un'indicazione dell'accuratezza della misura:
 - molto accurata: $|s| < 1\%$
 - accurata: $1\% < |s| < 5\%$
 - poco accurata: $5\% < |s| < 20\%$
 - inaccurata: $|s| > 20\%$

RISULTATO ATTESO $g_N = 9,80665 \text{ m/s}^2$

12

PENDOLO [3/4]

- 1) Dipendenza di T dal tempo
- 2) Dipendenza di T dalla lunghezza
- 3) Effetto dell'attrito sull'ampiezza
- 4) Effetto dell'attrito sulla velocità

relazione fra A(t) e t:
 $A(t) = A_0 e^{-t/\tau}$

ipotesi: $\vec{F}_A = -b\vec{v}$

$\rightarrow \ddot{\theta} + \beta \dot{\theta} + \omega^2 \theta = 0$

13

PENDOLO [3/4]

relazione fra A(t) e t: $A(t) = A_0 e^{-t/\tau}$

allungare L fino a sfiorare il righello (circa 45 cm)

Porre un righello sul tavolo per misurare (ogni 30 s per 5 minuti) l'elongazione massima

ATTRITO viscoso con l'aria

La relazione $A(t) = A_0 e^{-t/\tau}$ non è lineare. Per linearizzarla si inverte l'esponenziale:
 $\ln[A(t)] = \ln[A_0 e^{-t/\tau}] = \ln(A_0) - t/\tau$

14

Studiare $\ln[A(t)/1\text{cm}]$ vs t **PENDOLO [3/4]**

L = 44,6 cm

t (min)	t ₃ (s)	A (cm)	$\ln[A/(1\text{cm})]$
0	1,17	4,2	1,44
0,5	1,21	3,7	1,31
1,0	1,18	3,3	1,19
1,5	1,22	2,7	0,99
2,0	1,23	2,2	0,79
2,5	1,19	2,0	0,69
3,0	1,17	1,7	0,53
3,5	1,24	1,4	0,34
4,0	1,20	1,2	0,18
4,5	1,22	1,1	0,10
5,0	1,21	0,9	-0,11

15

L = 44,6 cm **PENDOLO [3/4]**

t (min)	t ₃ (s)	A (cm)	$\ln[A/(1\text{cm})]$
0	1,17	4,2	1,44
0,5	1,21	3,7	1,31
1,0	1,18	3,3	1,19
1,5	1,22	2,7	0,99
2,0	1,23	2,2	0,79
2,5	1,19	2,0	0,69
3,0	1,17	1,7	0,53
3,5	1,24	1,4	0,34
4,0	1,20	1,2	0,18
4,5	1,22	1,1	0,10
5,0	1,21	0,9	-0,11

$\ln[A(t)] = \ln[A_0 e^{-t/\tau}] = \ln(A_0) - t/\tau$

Dalla misura della pendenza (LabCalc) ricavare $\tau = -1/p$

16

PENDOLO [4/4]

- 1) Dipendenza di T dal tempo
- 2) Dipendenza di T dalla lunghezza
- 3) Effetto dell'attrito sull'ampiezza
- 4) Effetto dell'attrito sulla velocità

Risolviendo l'equazione differenziale del moto smorzato si può ricavare l'andamento:

$$V_M(t) = V_0 e^{-t/\tau}$$

con la stessa costante di smorzamento τ

17

PENDOLO [4/4]

SENSORI PER QUESTA ESPERIENZA

FOTOTRAGUARDO
Sensibilità: 0,1 ms
Lunghezza d'onda del LED: 880 nm

INFRAROSSO

Trasmissioni TxRx (e telecomandi)
Barriera infrarossi

18

PENDOLO [4/4]

19

PENDOLO [4/4]

Studiare con CAPSTONE la relazione fra $V_M(t)$ e t

Sensore: "fototrapiuardo e pendolo"

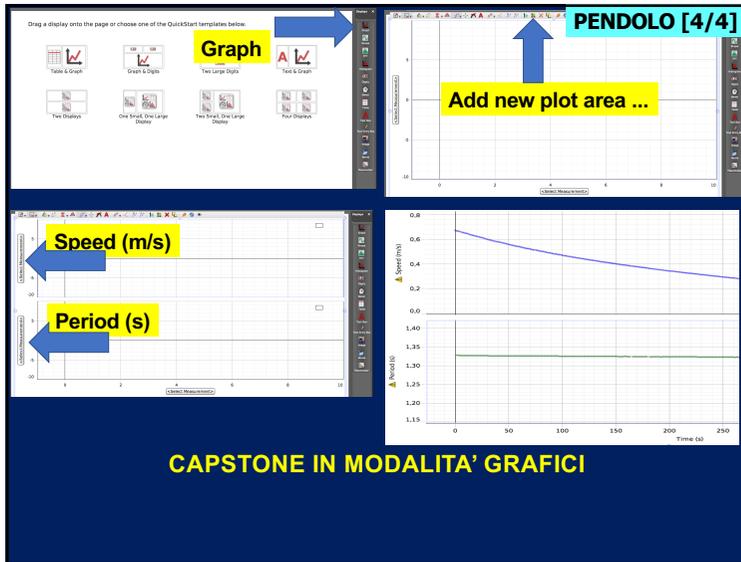
Misura della velocità (massima) in corrispondenza del punto di equilibrio

"ampiezza del pendolo"

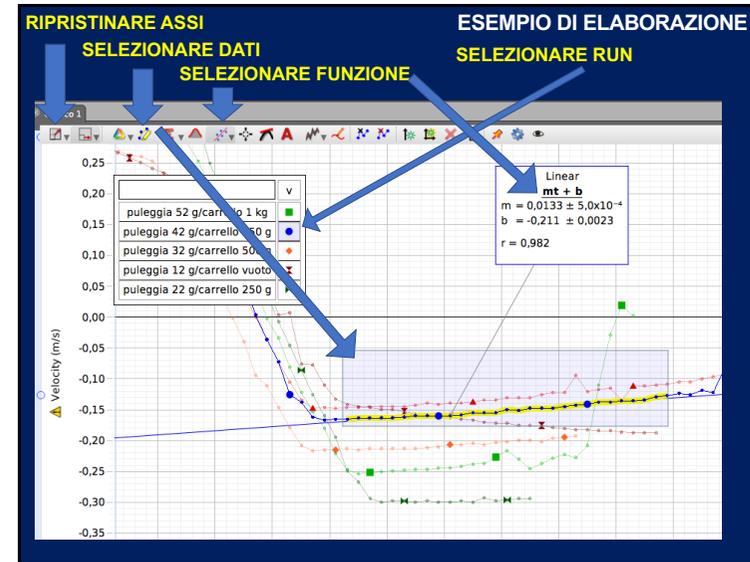
Dalla misura della pendenza ricavare τ'

$\tau = \tau' ?$

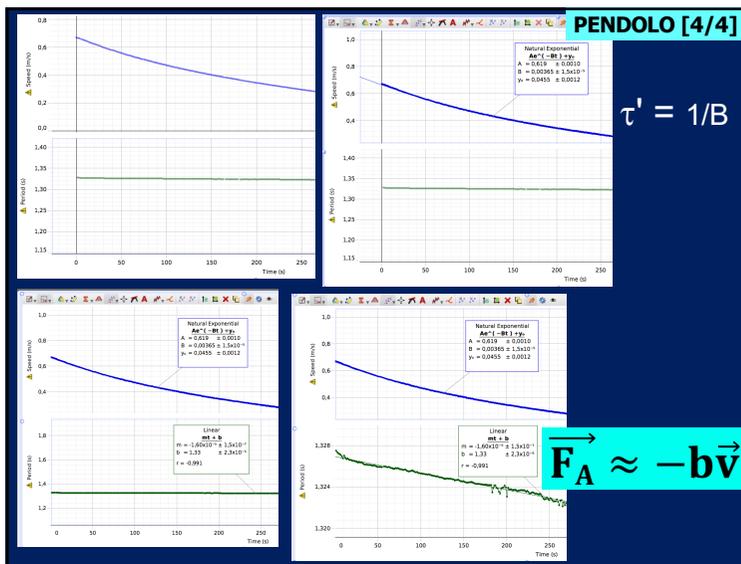
20



21



22



23

1) Dipendenza di T dal tempo

2) Dipendenza di T dalla lunghezza

3) Effetto dell'attrito sull'ampiezza

4) Effetto dell'attrito sulla velocità

Confronto smorzamenti A(t) e v(t)

PENDOLO [5/4]

$A(t) = A_0 e^{-t/\tau}$

$V_M(t) = V_0 e^{-t/\tau'}$

←

$\tau = \tau' ?$

CONCLUSIONI: qual è l'effetto dell'attrito sull'ampiezza, sulla velocità, sul periodo?

24