

Piano inclinato

Dennis Angemi¹, Federica Ingrassia¹, Giuseppe Di Silvestre¹, and Giulia De Luca¹

¹Dipartimento di Fisica e Astronomia “Ettore Majorana” - Università degli Studi di Catania

7 marzo 2022

Abstract

L'obiettivo di questo studio è determinare il coefficiente di attrito di corpi tramite l'utilizzo di un piano inclinato.

1 Introduzione e cenni teorici

Il piano inclinato è un semplice dispositivo utilizzato in fisica per studiare le caratteristiche del moto uniformemente accelerato la cui prima descrizione si deve a Nicolas Oresme e a Galileo Galilei. Esso è costituito da una superficie piana disposta in modo da formare un angolo compreso tra 0° e 90° rispetto alla superficie orizzontale.

2 Apparato sperimentale

2.1 Descrizione apparato

L'apparato sperimentale è costituito da una guida d'acciaio dotata di una gola lungo la quale è possibile disporre diversi corpi con geometria differente in modo tale da permettere lo studio del modo di questi ultimi. Al di sopra della guida sono posizionate due fotocellule, disposte ad una distanza di 1.279 ± 0.002 m, collegate ad un timer digitale con sensibilità pari a 0.01 s.

2.2 Procedura di misura

Per l'esperienza sono stati utilizzati 5 corpi differenti e per ognuno di essi sono state effettuate 40 misurazioni dell'intervallo di tempo impiegato da ciascun corpo per percorrere la distanza Δs . Le caratteristiche dei corpi utilizzati sono di seguito descritte:

- m1: cilindro di plastica
- m2 ed m3 cilindri di metallo
- m4 sfera di metallo
- m5 sfera di gomma

Corpo	Massa
m_1	15.19 ± 0.01 g
m_2	98.82 ± 0.01 g
m_3	130.60 ± 0.01 g
m_4	13.79 ± 0.01 g

Corpo	Massa
m_5	26.60 ± 0.01 g

2.3 Strumenti di misura

I dati sperimentali sono stati ottenuti tramite l'utilizzo dei seguenti strumenti

Strumento	Sensibilità	udm
Flessometro	0.001	m
Bilancia	0.01	g
Cronometro	0.01	s

3 Analisi dei dati e propagazione degli errori

Al fine di ottenere il coefficiente di attrito tra il corpo m e la guida inclinata si utilizzano il secondo principio della dinamica e la legge oraria del moto rettilineo uniformemente accelerato con velocità iniziale nulla

$$\begin{cases} mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = ma \\ \Delta s = \frac{1}{2} a \Delta t^2 \end{cases} \implies \mu = \tan \theta - 2 \frac{\Delta s}{\Delta t^2} \frac{1}{g \cos \theta} \quad (1)$$

Avendo effettuato 40 misure dell'intervallo di tempo Δt d'ora in poi utilizzeremo la seguente notazione $N=40$

$$\langle t \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta t_i \quad (2)$$

$$\mu = \tan \theta - 2 \frac{\Delta s}{\langle t \rangle^2} \frac{1}{g \cos \theta} \quad (3)$$

3.1 Propagazione degli errori

$$\delta \mu = \left| \frac{\partial \mu}{\partial \theta} \right| \delta \theta + \left| \frac{\partial \mu}{\partial a} \right| \delta a + \left| \frac{\partial \mu}{\partial g} \right| \delta g \quad (4)$$

con

$$\delta a = \left| \frac{\partial}{\partial s} \right| \delta s + \left| \frac{\partial}{\partial \langle t \rangle^2} \right| \delta \langle t \rangle^2 = \frac{2}{\langle t \rangle^2} (\delta s + 4s \delta t) \quad (5)$$

$$\delta \theta = \left| \frac{\partial \theta}{\partial t} \right| \delta t = 2 \delta s \left(1 + \frac{h}{s} \right) \frac{1}{\sqrt{s^2 - h^2}}. \quad (6)$$

In conclusione

$$\delta \mu = \frac{2 \delta s}{\cos^2 \theta \sqrt{s^2 - h^2}} \left(1 - \frac{a \sin \theta}{g} \right) \left(1 + \frac{h}{s} \right) + \frac{2(\delta s + h s \delta t)}{\langle t \rangle^2 g \cos \theta} + \frac{a \delta g}{g^2 \cos \theta}. \quad (7)$$

4 Risultati e conclusioni

Coefficiente di attrito	Errore assoluto	Errore relativo
0.596	0.008	1.34 %
0.39	0.02	5.13 %
0.49	0.01	2.04 %

Coefficiente di attrito	Errore assoluto	Errore relativo
0.26	0.03	11.54 %
0.33	0.02	6.06 %

5 Appendice A

5.1 Tabella 1

Grandezza	Valore	Incertazza	udm
h_2	0.412	0.001	m
h_1	1.122	0.001	m
s_1	1.992	0.001	m
s_2	0.713	0.001	m
m_1	15.19	0.01	g
m_2	98.82	0.01	g
m_3	130.60	0.01	g
m_4	13.79	0.01	g
m_5	26.60	0.01	g

5.2 Tabella 2

index	mass	t	uncertainty	uom
1	m1	1.65	0.01	s
2	m1	1.60	0.01	s
3	m1	1.66	0.01	s
4	m1	2.18	0.01	s
5	m1	1.54	0.01	s
6	m1	1.74	0.01	s
7	m1	1.47	0.01	s
8	m1	1.55	0.01	s
9	m1	1.80	0.01	s
10	m1	1.75	0.01	s
11	m1	1.94	0.01	s
12	m1	2.05	0.01	s
13	m1	2.67	0.01	s
14	m1	1.56	0.01	s
15	m1	2.45	0.01	s
16	m1	1.43	0.01	s
17	m1	2.08	0.01	s
18	m1	2.02	0.01	s
19	m1	1.55	0.01	s
20	m1	1.88	0.01	s
21	m1	2.31	0.01	s
22	m1	1.67	0.01	s
23	m1	1.72	0.01	s
24	m1	2.37	0.01	s
25	m1	1.60	0.01	s
26	m1	1.44	0.01	s
27	m1	1.69	0.01	s
28	m1	2.50	0.01	s
29	m1	2.15	0.01	s

index	mass	t	uncertainty	uom
30	m1	1.48	0.01	s
31	m1	1.17	0.01	s
32	m1	1.51	0.01	s
33	m1	1.24	0.01	s
34	m1	1.44	0.01	s
35	m1	1.73	0.01	s
36	m1	1.37	0.01	s
37	m1	1.49	0.01	s
38	m1	1.34	0.01	s
39	m1	1.31	0.01	s
40	m1	1.39	0.01	s
1	m2	0.98	0.01	s
2	m2	0.87	0.01	s
3	m2	0.92	0.01	s
4	m2	0.95	0.01	s
5	m2	0.93	0.01	s
6	m2	0.91	0.01	s
7	m2	0.85	0.01	s
8	m2	0.89	0.01	s
9	m2	0.86	0.01	s
10	m2	0.86	0.01	s
11	m2	1.00	0.01	s
12	m2	0.92	0.01	s
13	m2	0.89	0.01	s
14	m2	0.93	0.01	s
15	m2	0.87	0.01	s
16	m2	0.87	0.01	s
17	m2	0.89	0.01	s
18	m2	0.87	0.01	s
19	m2	0.87	0.01	s
20	m2	0.94	0.01	s
21	m2	0.91	0.01	s
22	m2	0.86	0.01	s
23	m2	0.93	0.01	s
24	m2	0.87	0.01	s
25	m2	0.93	0.01	s
26	m2	0.87	0.01	s
27	m2	0.54	0.01	s
28	m2	0.88	0.01	s
29	m2	0.84	0.01	s
30	m2	0.94	0.01	s
31	m2	0.99	0.01	s
32	m2	0.89	0.01	s
33	m2	0.90	0.01	s
34	m2	0.91	0.01	s
35	m2	0.86	0.01	s
36	m2	0.88	0.01	s
37	m2	0.91	0.01	s
38	m2	0.81	0.01	s
39	m2	0.92	0.01	s
40	m2	0.88	0.01	s
1	m3	1.45	0.01	s
2	m3	1.21	0.01	s
3	m3	1.33	0.01	s

index	mass	t	uncertainty	uom
4	m3	1.19	0.01	s
5	m3	1.12	0.01	s
6	m3	1.03	0.01	s
7	m3	1.23	0.01	s
8	m3	1.25	0.01	s
9	m3	1.13	0.01	s
10	m3	1.13	0.01	s
11	m3	1.07	0.01	s
12	m3	1.15	0.01	s
13	m3	1.14	0.01	s
14	m3	1.05	0.01	s
15	m3	1.08	0.01	s
16	m3	1.10	0.01	s
17	m3	1.02	0.01	s
18	m3	1.07	0.01	s
19	m3	1.04	0.01	s
20	m3	1.05	0.01	s
21	m3	1.01	0.01	s
22	m3	1.02	0.01	s
23	m3	1.07	0.01	s
24	m3	1.07	0.01	s
25	m3	1.02	0.01	s
26	m3	0.99	0.01	s
27	m3	1.03	0.01	s
28	m3	1.03	0.01	s
29	m3	1.10	0.01	s
30	m3	1.01	0.01	s
31	m3	1.10	0.01	s
32	m3	1.21	0.01	s
33	m3	1.05	0.01	s
34	m3	1.07	0.01	s
35	m3	1.11	0.01	s
36	m3	1.03	0.01	s
37	m3	1.07	0.01	s
38	m3	1.04	0.01	s
39	m3	1.06	0.01	s
40	m3	1.11	0.01	s
1	m4	0.73	0.01	s
2	m4	0.75	0.01	s
3	m4	0.74	0.01	s
4	m4	0.73	0.01	s
5	m4	0.73	0.01	s
6	m4	0.72	0.01	s
7	m4	0.73	0.01	s
8	m4	0.74	0.01	s
9	m4	0.73	0.01	s
10	m4	0.73	0.01	s
11	m4	0.73	0.01	s
12	m4	0.73	0.01	s
13	m4	0.73	0.01	s
14	m4	0.71	0.01	s
15	m4	0.72	0.01	s
16	m4	0.73	0.01	s
17	m4	0.72	0.01	s

index	mass	t	uncertainty	uom
18	m4	0.72	0.01	s
19	m4	0.72	0.01	s
20	m4	0.71	0.01	s
21	m4	0.71	0.01	s
22	m4	0.71	0.01	s
23	m4	0.72	0.01	s
24	m4	0.73	0.01	s
25	m4	0.73	0.01	s
26	m4	0.72	0.01	s
27	m4	0.73	0.01	s
28	m4	0.73	0.01	s
29	m4	0.73	0.01	s
30	m4	0.72	0.01	s
31	m4	0.74	0.01	s
32	m4	0.72	0.01	s
33	m4	0.74	0.01	s
34	m4	0.73	0.01	s
35	m4	0.73	0.01	s
36	m4	0.74	0.01	s
37	m4	0.73	0.01	s
38	m4	0.73	0.01	s
39	m4	0.72	0.01	s
40	m4	0.74	0.01	s
1	m5	0.80	0.01	s
2	m5	0.80	0.01	s
3	m5	0.79	0.01	s
4	m5	0.80	0.01	s
5	m5	0.80	0.01	s
6	m5	0.81	0.01	s
7	m5	0.81	0.01	s
8	m5	0.81	0.01	s
9	m5	0.80	0.01	s
10	m5	0.82	0.01	s
11	m5	0.80	0.01	s
12	m5	0.79	0.01	s
13	m5	0.81	0.01	s
14	m5	0.82	0.01	s
15	m5	0.80	0.01	s
16	m5	0.73	0.01	s
17	m5	0.80	0.01	s
18	m5	0.81	0.01	s
19	m5	0.82	0.01	s
20	m5	0.79	0.01	s
21	m5	0.79	0.01	s
22	m5	0.80	0.01	s
23	m5	0.81	0.01	s
24	m5	0.82	0.01	s
25	m5	0.82	0.01	s
26	m5	0.80	0.01	s
27	m5	0.82	0.01	s
28	m5	0.81	0.01	s
29	m5	0.81	0.01	s
30	m5	0.83	0.01	s
31	m5	0.82	0.01	s

index	mass	t	uncertainty	uom
32	m5	0.81	0.01	s
33	m5	0.80	0.01	s
34	m5	0.80	0.01	s
35	m5	0.80	0.01	s
36	m5	0.80	0.01	s
37	m5	0.81	0.01	s
38	m5	0.81	0.01	s
39	m5	0.81	0.01	s
40	m5	0.80	0.01	s

6 Additional notes

6.1 Data Availability

The data that support the findings of this study are openly available in [dennisangemi/lab1-dfa](https://github.com/dennisangemi/lab1-dfa) GitHub Repository at <https://github.com/dennisangemi/lab1-dfa/tree/main/exp-2/data>

6.2 Code Availability

The MATLAB code written to get the findings of this study is openly available in [dennisangemi/lab1-dfa](https://github.com/dennisangemi/lab1-dfa) GitHub Repository at <https://github.com/dennisangemi/lab1-dfa/tree/main/exp-2/script>

6.3 Software used

- **MATLAB:** Data Analysis
- **Google Spreadsheet:** Data entry
- **Adobe Experience Design:** Images designing
- **GitHub:** Resource sharing

7 Bibliography

- Taylor, J. (1999). *Introduzione all'analisi degli errori: Lo studio delle incertezze nelle misure fisiche*. Zanichelli
- Bevington P. (2002). *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*. McGraw-Hill Education

Table 6: