

實驗三 運動學能量守恆

實驗 3.1 動量守恆

目的

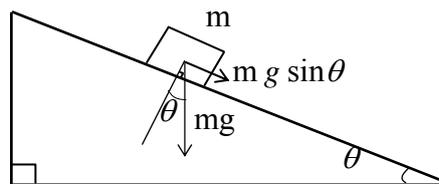
了解物體在運動過程中，運動學與物體的能量關係。

方法

本實驗利用通過氣墊軌道中微小通道孔的氣壓，浮起一片「滑片」裝置。由於滑片與氣墊軌道之間無接觸，等同提供幾近無摩擦的條件下，研究物體（滑片）運動時動量、能量及機械能的守恆。

原理

1. 彈性能：假設彈簧的伸長量為 x ，則能量為 $kx^2/2$ 。
2. 利用斜面測量重力



3. 動量守恆：兩物體 m_1 、 m_2 ，碰撞前速度 v_{1i} 、 v_{2i} ，和碰撞後速度 v_{1f} 、 v_{2f} 的關係為

$$\vec{P}_i = m_1 \vec{v}_{1i} + m_2 \vec{v}_{2i} = m_1 \vec{v}_{1f} + m_2 \vec{v}_{2f} = \vec{P}_f$$

4. 能量守恆：研究兩物體碰撞前後的動能

$$E_{ki} = \frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2 = E_{kf}$$

5. 機械能守恆：物體滑下斜面 Δh ，重力位能轉換成動能

$$\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = mg\Delta h$$

儀器

1. 氣墊軌道系統和兩台滑片
2. 兩組光閘計時器

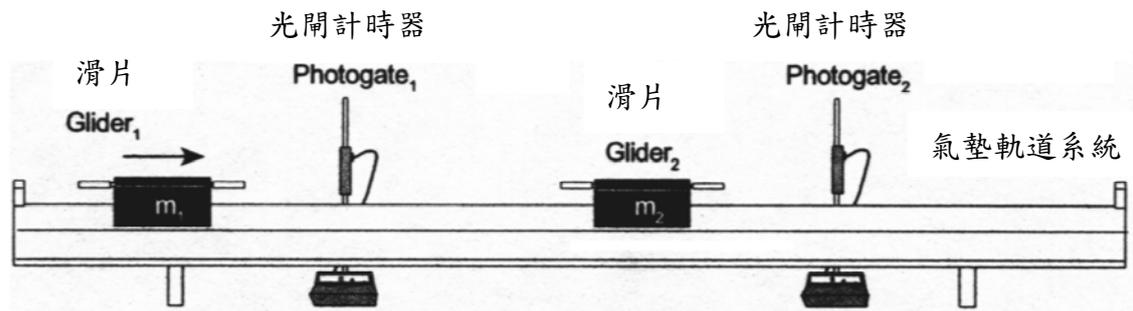


圖 3.1

步驟

1. 如圖 3.1 將儀器裝置好，注意水平。
2. 測量兩個滑片 Glider1、Glider2 的質量： m_1 、 m_2 。
3. 測量兩個滑片 Glider1、Glider2 的長度： L_1 、 L_2 。
4. 選擇光閘為 GATE Mode，按 RESET 鍵。
5. 將 Glider2 置於兩個光閘之間，將 Glider1 推向 Glider2，記錄以下的時間變數：

t_{1i} = 碰撞前 Glider1 經過光閘 1 的時間。

t_{2i} = 碰撞前 Glider2 經過光閘 2 的時間 ($t_{2i} = 0$; 由於滑片靜止於光閘之間)。

t_{1f} = 碰撞後 Glider1 經過光閘 1 的時間。

t_{2f} = 碰撞後 Glider2 經過光閘 2 的時間。

6. 重複上述實驗五次，改變一片或兩片滑片的質量與 Glider1 的起始速度。
7. 改變 Glider2 的起始速度而不再是靜止，此碰撞發生在兩光閘間。

實驗 3.1 動量守恆報告

$L_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ $L_2 = \underline{\hspace{2cm}}$

表 3-1 動量守恆記錄表

m_1	m_2	t_{1i}	t_{2i}	t_{1f}	t_{2f}	v_{1i}	v_{2i}	v_{1f}	v_{2f}	p_i $(m_1v_{1i}+m_2v_{2i})$	p_f $(m_1v_{1f}+m_2v_{2f})$

改變 Glider2 的起始速度(m_1, m_2 不變)

m_1	m_2	t_{1i}	t_{2i}	t_{1f}	t_{2f}	v_{1i}	v_{2i}	v_{1f}	v_{2f}	p_i $(m_1v_{1i}+m_2v_{2i})$	p_f $(m_1v_{1f}+m_2v_{2f})$

改變 Glider1 質量 (m_2 不變、 $v_{2i} = 0$)

m_1	m_2	t_{1i}	t_{2i}	t_{1f}	t_{2f}	v_{1i}	v_{2i}	v_{1f}	v_{2f}	p_i $(m_1v_{1i}+m_2v_{2i})$	p_f $(m_1v_{1f}+m_2v_{2f})$

改變 Glider1、Glider2 質量 (v_{2i} 不等於 0)

m_1	m_2	t_{1i}	t_{2i}	t_{1f}	t_{2f}	v_{1i}	v_{2i}	v_{1f}	v_{2f}	p_i ($m_1v_{1i}+m_2v_{2i}$)	p_f ($m_1v_{1f}+m_2v_{2f}$)

計 算

1. 計算滑片速度 (例如： $v_{1i} = \pm L_1 / t_{1i}$)
2. 計算系統碰撞前後的總動量 p_i 與 p_f 。

問 題

1. 在各次的碰撞實驗中動量是否守恆？
2. 滑片撞擊軌道末端反彈回來，它具有幾乎與碰撞相同的動量，但方向相反，這是否是動量守衡？
3. 如果氣墊軌道傾斜，動量是否守衡？為什麼？

實驗 3-2 動能守恆

目的

在氣墊軌道滑片碰撞中，碰撞前的總動能是滑片的動能為

$$E_k = (1/2)mv_1^2 + (1/2)mv_2^2$$

如果動能在氣墊軌道碰撞守恆，將檢查碰撞前和碰撞後的動能。

儀器

1. 兩組光閘計時器。
2. 氣墊軌道系統和兩滑片(如圖 3-1)。

步驟：

與動量守恆相同。

實驗 3-2 動能守恆報告

表 3-2 動能守恆記錄表

m_1	m_2	t_{1i}	t_{2i}	t_{1f}	t_{2f}	v_{1i}	v_{2i}	v_{1f}	v_{2f}	E_{1i}	E_{2f}

改變 Glider2 的起始速度(m_1, m_2 不變)

m_1	m_2	t_{1i}	t_{2i}	t_{1f}	t_{2f}	v_{1i}	v_{2i}	v_{1f}	v_{2f}	E_{1i}	E_{2f}

改變 Glider1 質量 (m_2 不變、 $v_{2i} = 0$)

m_1	m_2	t_{1i}	t_{2i}	t_{1f}	t_{2f}	v_{1i}	v_{2i}	v_{1f}	v_{2f}	E_{1i}	E_{2f}

改變 Glider1、Glider2 質量 (v_{2i} 不等於 0)

m_1	m_2	t_{1i}	t_{2i}	t_{1f}	t_{2f}	v_{1i}	v_{2i}	v_{1f}	v_{2f}	E_{1i}	E_{2f}

計算

1. 計算滑片速度 (例如： $v_{1i} = \pm L_1 / t_{1i}$)
2. 計算系統碰撞前後的總動能 E_{1i} 與 E_{2f} 。

問題

1. 動能在各次的實驗中是否守恆？
2. 如果由實驗數據顯示其動能不守衡，試解釋其原因？

實驗 3-3 機械能守恆

目的：

物理學家遇到問題時可創造簡單的形式來調整問題的觀點，在此實驗將檢查滑片從軌道下滑能量的變化，當沒有物體的阻擋，且摩擦力極微小，所以滑片下滑所損失的重力位能非常接近於動能，其數學式如下：

$$\Delta E_k = \Delta(mgh) = mg\Delta h$$

其中 ΔE_k 為滑片改變的動能 ($\Delta E_k = (1/2)mv_2^2 - (1/2)mv_1^2$)， $\Delta(mgh)$ 為改變的重力位能 (m 為滑片質量， g 為重力加速度， Δh 為滑片位置改變的高度)。

儀器

1. 二組光閘計時器。
2. 已知厚度的木塊 (1~2 cm)。
3. 氣墊軌道系統和滑片。

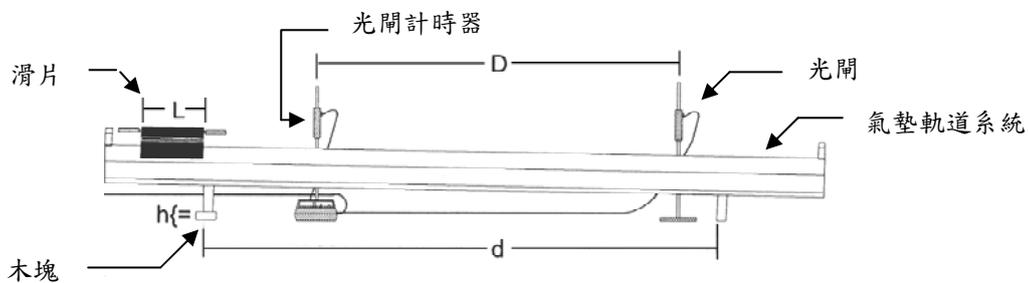


圖 3.2

步驟

1. 調整氣墊軌道使之水平。
2. 測量軌道腳架的距離 d ，並記錄在表 3-3。
3. 放置木塊在軌道腳架下面，測量木塊厚度 h ，記錄木塊厚度在表 3-3。
4. 架設光閘計時器和光閘如圖 3.2。
5. 測量並記錄兩光閘間的距離 D 。

6. 測量並記錄滑片的有效長度 L 。
7. 測量並記錄滑片質量 m 。
8. 設定光計時器在 GATE 的模式，並按下 RESET 鍵。
9. 固定滑片在軌道的最高處，接著釋放滑片讓其自由滑動穿越光閘。記錄滑片通過第一個光閘和第二個光閘的時間 t_1 和 t_2 。
10. 重覆測量四次並記錄在表 3-3，滑片不須從相同的地方釋放，但必須是讓滑片自由的滑動經過光閘。
11. 改變滑片的質量三次並重複步驟 7 到 10，分別記錄滑片的質量。

實驗 3-3 機械能守恆報告

表 3-3 機械能守恆記錄表

$d = \underline{\hspace{2cm}}$ $h = \underline{\hspace{2cm}}$

$D = \underline{\hspace{2cm}}$ $L = \underline{\hspace{2cm}}$ $m = \underline{\hspace{2cm}}$

m	θ	t_1	t_2	v_1	v_2	E_{k1}	E_{k2}	$\Delta(mgh)$

改變滑片的質量(第一次)

m	θ	t_1	t_2	v_1	v_2	E_{k1}	E_{k2}	$\Delta(mgh)$

改變滑片的質量(第二次)

m	θ	t_1	t_2	v_1	v_2	E_{k1}	E_{k2}	$\Delta(mgh)$

改變滑片的質量(第三次)

m	θ	t_1	t_2	v_1	v_2	E_{k1}	E_{k2}	$\Delta(mgh)$

資料與計算：

1. 使用方程式 $\theta = \tan^{-1}(h/d)$ ，計算軌道的傾斜角度 θ 。
2. 對每次實驗用 L 分別除以 t_1 、 t_2 ，來決定滑片穿越兩光閘的速度 v_1 和 v_2 。
3. 利用方程式 $E_k = mv^2/2$ 來計算滑片穿越兩光閘的動能。
4. 計算動能的變化 $\Delta E_k = E_{k2} - E_{k1}$ 。
5. 計算滑片通過兩光閘下降的高度 Δh 。[$\Delta h = D \sin \theta$, $\theta = \tan^{-1}(h/d)$]
6. 比較滑片動能的增加和滑片損失的重力位能。滑片的機械能在此運動中有守衡嗎？

實驗 3-4 彈簧能與動能守恆

目的

此實驗是利用拉伸或壓縮的彈簧，設定彈簧的原長為 L_0 ，彈簧常數為 k ，彈簧拉伸或壓縮後的新長度為 $L=L_0 \pm x$ ，則其作的功為 $kx^2/2$ ，如果讓能量儲存在彈簧中來加速物體，則物體的動能為 $mv^2/2$ ，與原先存在彈簧內的能量相同。在此實驗中來了解儲存在彈簧的功和傳給物體的動能是否相等。

儀器

1. 光閘計時器。
2. 懸掛砝碼和砝碼。
3. 彈簧(低彈簧常數)。
4. 氣墊軌道和滑片圖 3.3。

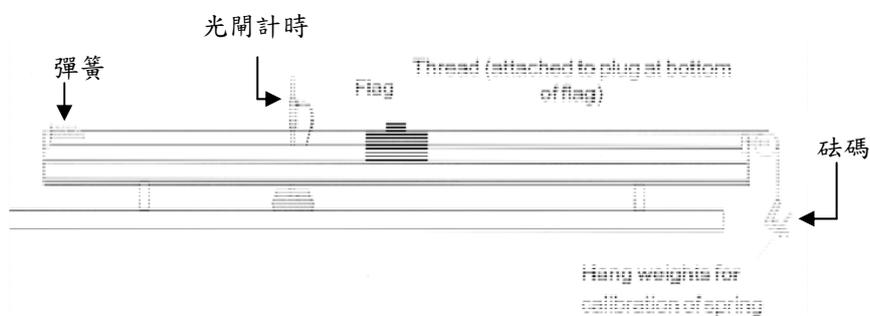


圖 3.3

步驟

1. 調整氣墊軌道使之水平如圖 3.3，裝置硬紙板在滑片上，此板寬度可從 1 到 5 公分寬，使彈簧保持水平不向下彎曲。牢固地裝置平板在氣墊軌道的端點。用繩子連接彈簧與滑片，所以當彈簧未伸長時，滑片將停在氣墊軌道的中間。另一邊則由繩子經過滑輪連接滑片與懸掛砝碼。
2. 將砝碼置於懸掛座上將決定彈簧的伸長量，可用測量尺測出彈簧拉伸的長度，記錄增加的砝碼和滑片的位置在表 3-4。

3. 測量並記錄滑片和紙板的質量 m 在表 3-5。當滑片緩慢的經過光閘時，記錄當光閘的 LED 燈第一次亮起時和熄滅時滑片的位置。兩位置的距離為 Δd 。記錄 Δd 於表 3-4。
4. 滑片定位於氣墊軌道上使彈簧不受力拉伸且繩子不彎曲。記錄滑片的位置 x_1 。光閘放置於滑片和彈簧之間。
5. 拉滑片使彈簧大約 5 公分的位移。測量滑片位置和 x_1 的距離，記錄彈簧拉伸的長度在表 3-5。
6. 設定光閘計時器在 GATE 模式，按下 RESET 鍵。
7. 開啟空氣供應器同時抓穩滑片，釋放滑片，記錄測量時間 t_1 在表 3-5。(為了避免滑片碰撞彈簧平台，在撞擊到平台前可將滑片拿起。)
8. 多次重覆步驟 5 ~ 8，記錄時間 t_2 到 t_5 在表 3-5。決定他們五次的平均值，記錄其值 t_{avg} 。
9. 對於不同的彈簧拉伸距離提升到 20 cm，重覆步驟 5 ~8。也可嘗試增加砝碼改變滑片質量，記錄新的質量在表 3-5。

實驗 3-4 彈簧能與動能守恆報告

表 3-4 彈簧常數記錄表

Added Mass	滑片位置	砝碼重	彈簧伸長量

表 3-5 彈簧伸長量與滑片速度

$x_1 =$ _____ 滑片寬度 $\Delta d =$ _____

次數	m	彈簧伸長量	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_{avg}

資料與計算

1. 決定彈簧的常數 k ，建構一個彈簧拉伸相對於砝碼作用在彈簧上的力，此斜率的即為 k ，單位為（牛頓/公尺）。
2. 對於給予不同情況的彈簧拉伸和滑片質量，利用 Δd 除以平均時間 t_{avg} 決定滑片通過光閘的平均速度。計算滑片的最後動能 $mv^2/2$ 。
3. 計算不同情況下彈簧的貯存位能 $kx^2/2$ ，其中 k 為彈簧常數， x 為彈簧拉伸。
4. 對於不同的實驗，決定彈簧貯存位能和最後滑片的轉移動能之間的百分比差。