

## 實驗三 運動學能量守恆

### 實驗 3.1 動量守恆

#### 目的

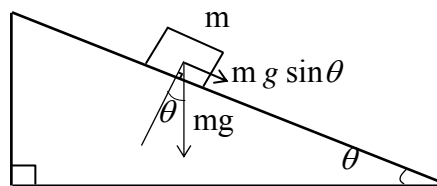
了解物體在運動過程中，運動學與物體的能量關係。

#### 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  $\Delta h$ ，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

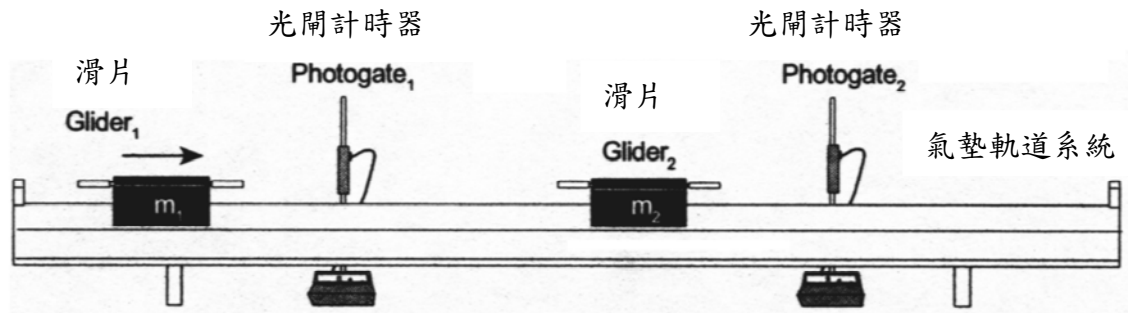


圖 3.1

## 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，這是否是動量守恆？
3. 如果氣墊軌道傾斜，動量是否守恆？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  $\Delta E_k$  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， $\Delta h$  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。

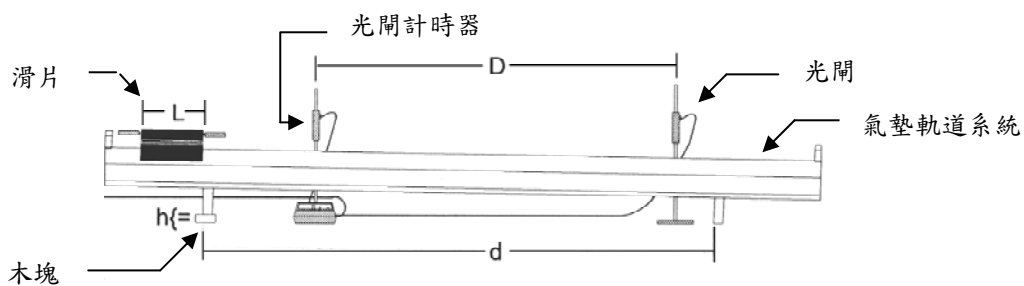


圖 3.2

#### 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

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

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

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

改變滑片的質量(第一次)

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

改變滑片的質量(第二次)

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

改變滑片的質量(第三次)

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

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  $\theta$ 。
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  $\Delta h$ 。 $[\Delta h = D \sin \theta, \theta = \tan^{-1}(h/d)]$
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。

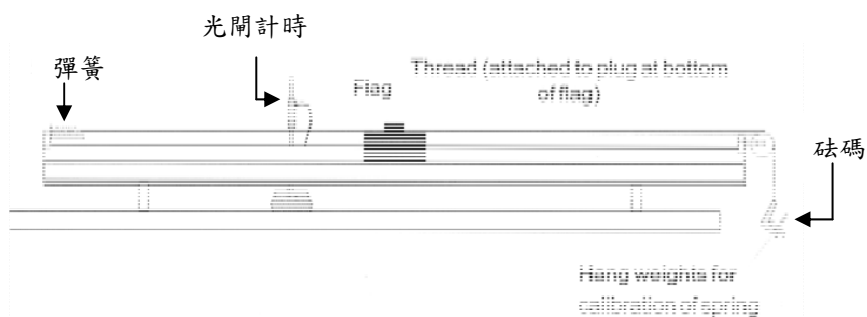


圖 3.3

#### 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  $\Delta d$ 。記錄  $\Delta d$  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  $\Delta d$  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。