

實驗二 運動力學

目的

運動力學是探討運動中的物體，其位移、速度與加速度與時間之間的關係，或是探討位移、速度與加速度之間的關係。運動中的物體，其運動行為（位移、速度與加速度）的分析，是非常重要的主題。例如，了解物體的運動行為後，吾人可進一步探討，施加於物體的力量為何方能保持該物體的運動行為。

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）牛頓運動力學的行為。

原理

1. 平均速度：物體的位移 Δx 和位移所需的時間 Δt 的比值，可表示為

$$\bar{v} = \Delta x / \Delta t$$

瞬時速度： \bar{v} 可看作一段很短的位移 Δx 和時間 Δt 的平均速度，可表示為

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

2. 牛頓第二運動定律：作用力 F 的大小和作用於質量為 m 物體的加速度成正比

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

儀器

光閘計時器、氣墊軌道、氣壓產生器、滑片裝置及其附屬設備。

光閘計時器 (photo gate timer)

光閘計時器包含「光閘裝置」與「計時裝置」兩個基本要件，如圖 2-1 所示。光閘計時器通電後，「 \square 」字形光閘的末端產生不可見光，當物體阻斷其不可見光的路徑時，光閘「 \square 」字形一端的 LED 燈會亮，同時開始計時，當物體離開其不可見光的路徑時，光閘的 LED 燈會滅並同時停止計時。所以當已知長度的物體通過光閘時，只要知道其通過的時間便可知該物體速度。

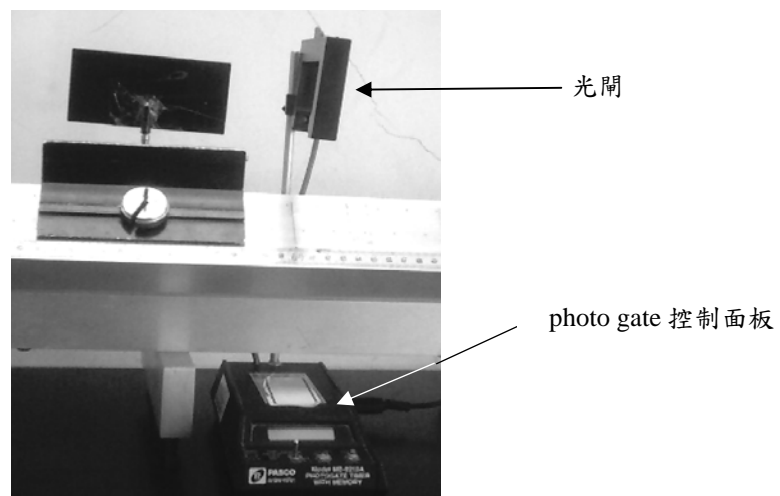


圖 2.1 光閘計時器示意圖

光閘計時器控制面板，茲說明如下：

計時模式 (圖 2.2)；

1. Gate Mode：物體長 L ，通過單一光閘的時間 t ，其平均速度為 L/t 。
2. Pulse Mode：物體通過前後兩個光閘的時間。使用此模式時，必需與另一光閘並聯，可測量物體通過兩個光閘距離 L 的時間，則平均速度為 L/t 。
3. Pendulum Mode：物體往復一次的時間，即一個週期，當物體通過光閘，計時開始，第二次通過光閘並不影響計時，當第三次通過光閘時，計時中斷。
4. START/STOP Mode：按鈕按下 (不放) 開始計時，放開按鈕停止計時。

時間的解析度：面板上有 1 ms 和 0.1 ms 兩種解析度模式可供選擇 ($1\text{ ms} = 10^{-3}\text{ sec}$)，誤差均在 1% 以內，測量時間的範圍不同，前者為 20 sec 後者為 2 sec 。

記憶裝置 (MEMORY)：在 GATE MODE 下，當兩次測量的時間間隔很短，如測量碰撞前後的速度。可將 MEMORY 開關扳至 on 的位置，方法如下：

1. 按 RESET 鍵。
2. 實驗開始後，測量的第一個時間 (t_1) 將顯示出，第二個時間 (t_2) 不顯示。
3. 記錄第一個時間 (t_1)。
4. 按 MEMORY 開關至 READ 位置，將顯示兩次時間 ($t_1 + t_2$) 的和，減去 t_1 即得 t_2 。

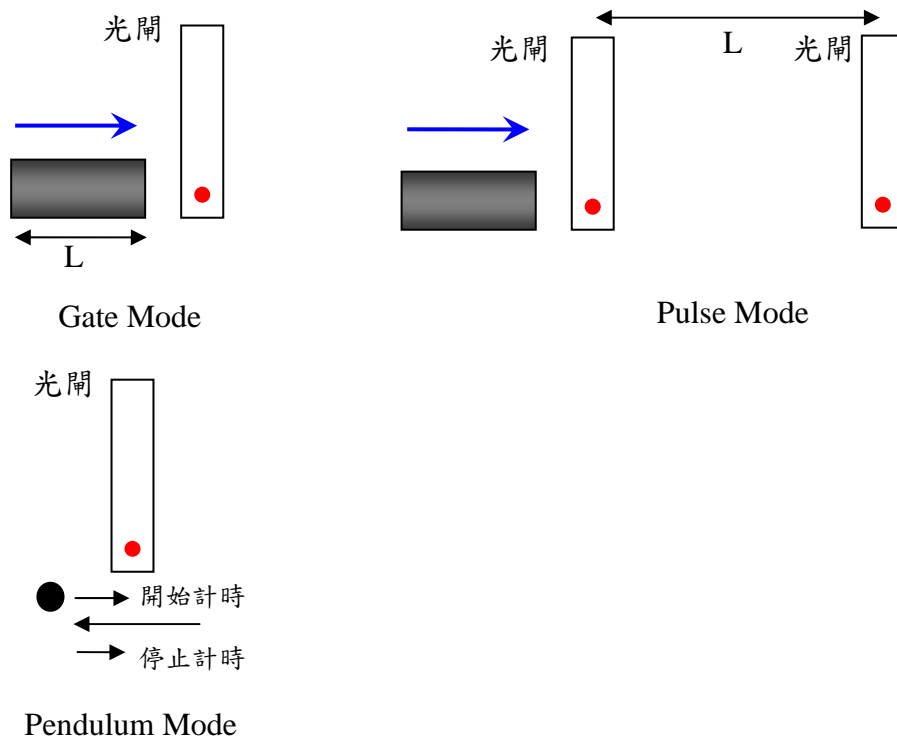


圖 2.2 計時模式示意圖

實驗 2-1 平均、瞬時速度

目的

平均速度與瞬間速度是一個經常使用的物理量，如果你開車的平均速度是每小時 100 公里，那麼就可以簡單的決定 400 公里距離所需要的時間。然而超速時，警察可不管你的平均速度是多少，他們只在乎你的瞬間速度是多少而決定要不要給你罰單。在此實驗你將研究瞬間速度和平均速度的關係，並由平均速度推論出瞬間速度。

儀器

1. 二組光閘計時器。
2. 氣墊軌道系統和滑片，如圖 2.3 所示。

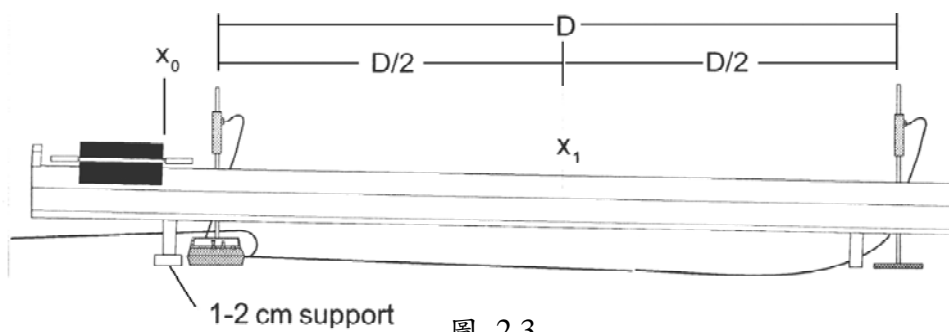


圖 2.3

步驟

1. 如圖 2-3 所示，墊高軌道的一邊約 1~2 cm。
2. 選擇大約軌道的中心處一點為 x_1 ，並由尺規上記錄其值於表 2-1。
3. 在軌道斜面的上方選一始點 x_0 ，並用鉛筆作記錄以使每次都由相同點開始。
4. 以 x_1 為基準，將光閘器放置兩邊等距處並記錄其兩光閘器間有效距離 D 。

5. 選擇光閘器的 Pulse Mode。
6. 按 RESET 鍵。
7. 在 x_0 處釋放滑片，記錄滑片通過兩光閘的時間 t_1 。
8. 重複 6、7 實驗五次，並分別記錄於 t_2 至 t_5 。
9. 依次遞減兩光閘的距離 D ，每次約 10 cm 重複的 4~8 步驟。

注意

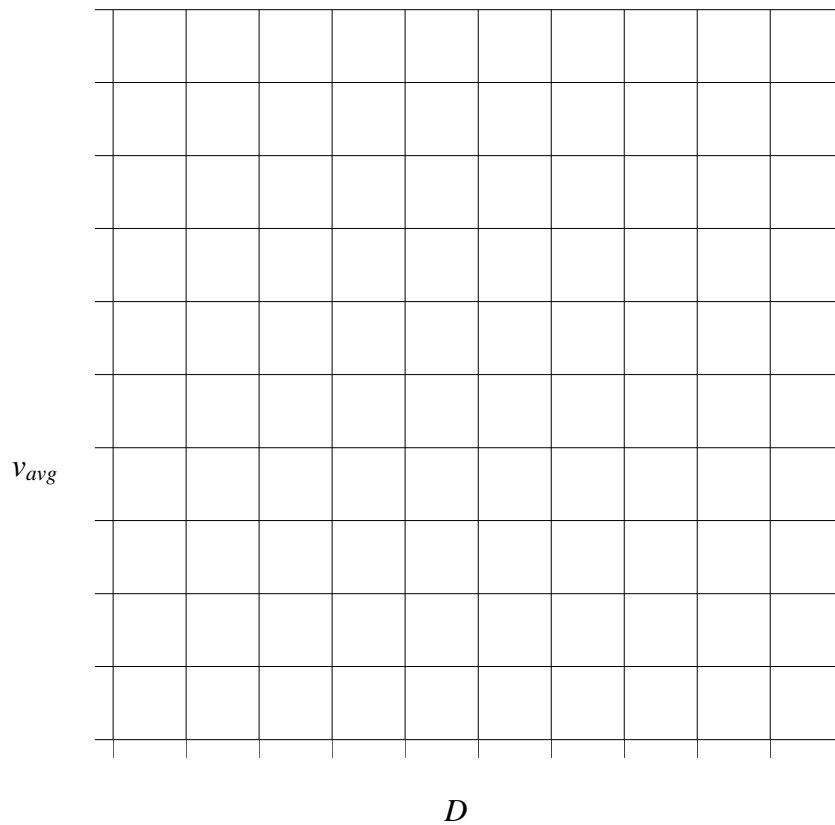
1. 切不可用鉛筆以外之物品在氣墊軌道上作記號！
2. 防止滑片對軌道出風小孔的磨損，須等送風機打開後，方可將滑片放上軌道，實驗完必須先將滑片拿下，方可關掉送風機，蓋上防塵蓋。

實驗 2-1 平均、瞬時速度報告

表 2-1 平均、瞬時速度數據記錄表

$x_1 = \underline{\hspace{2cm}}$

D	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_{avg}	v_{avg}



資料和計算

1. 對於不同的 D ，計算 t_1 到 t_5 的平均時間，記錄其值在 t_{avg} 。
2. 計算 D/t_{avg} ，滑片經過兩光閘的平均速度 (v_{avg})。
3. 繪製 v_{avg} 和 D 的關係圖，其中 x 軸為 D 。

問題

1. 當滑片經過 x_1 時，哪一次的平均速度是最接近瞬時速度？
2. 你能利用所收集的資料來推斷滑片通過 x_1 的瞬間速度嗎？從你收集的資料，預計最大的誤差值。
3. 在本實驗中，那些因素(計時器的準確度、滑片結構、運動的形式)會影響到測量的準確性？討論這些因素為何會影響結果。
4. 你可以想出另一種測量瞬間速度的方法嗎？或者瞬間速度是永遠由平均速度推導出？

實驗 2-2 傾斜面上的運動學

目的

本實驗中將研究等加速度物體運動時，速度的變化。

儀器

1. 一組光閘計時器。
2. 斜面和球。
3. 量測尺，如圖 2.4 所示。

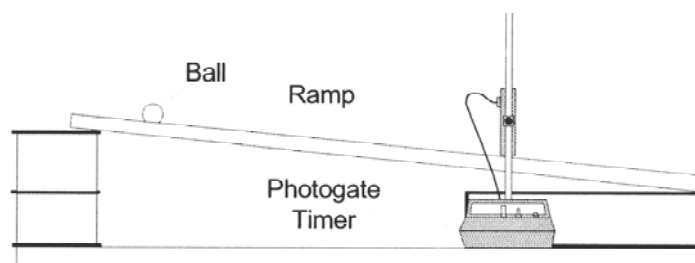


圖 2.4 傾斜面上運動學安裝設備示意圖

步驟

1. 安裝設備如圖 2.4 所示。
2. 緩慢的移動球穿過光閘，使用量測尺，如圖 2.5。決定球剛接觸光閘的點，當球經過此點時 LED 的燈會開啟，用鉛筆在管道的旁邊做上記號，並決定球通過光束的時間，此時 LED 的燈會熄滅，測量這些記號的距離 Δd ，並記錄下來。決定間隔 Δd 的中點，並用鉛筆在管道的旁邊做上記號。

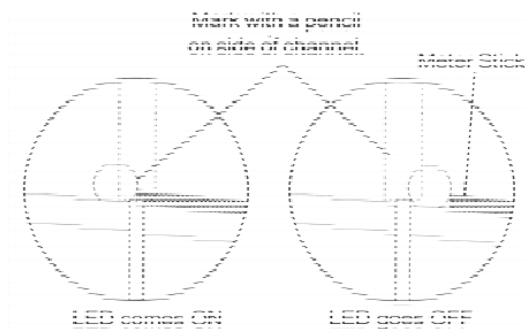


圖 2.5 決定球通過光束行走間隔 Δd 示意圖

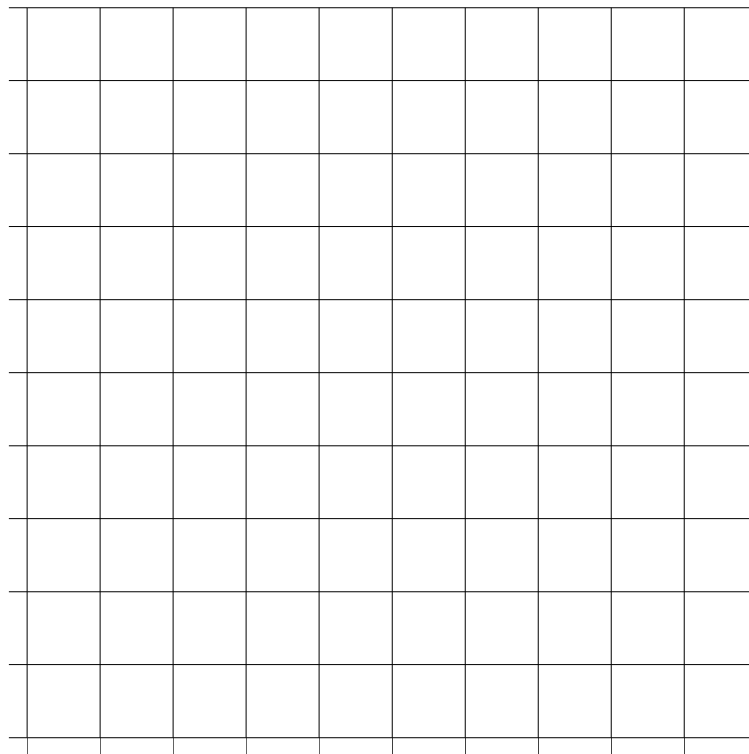
3. 設置光閘計時器於 GATE Mode，按下 RESET 鈕。沿著軌道移動球 5 公分，使用木塊或量測尺固定。釋放球沿著斜面移動並穿越光閘。記錄移動的距離 (D ：從開始點到中點)，和時間(t_1)在表 2-2。
4. 重覆測試三次，所以總共有四次的記錄，取其並均值，記錄結果在表上。
5. 將球移至起始位置 10、15、20 公分，並重複步驟 3 到 4。

實驗 2-2 傾斜面上的運動學報告

表 2-2 傾斜面上的運動學記錄表

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

D	t_1	t_2	t_3	t_4	t_{avg}	v



D

資料和計算：

1. 對於不同的距離，從時間的平均值計算球通過光閘的速度 $v = \Delta d / t_{avg}$ 。
2. 繪製速度相對於距離的圖，距離當水平軸。若圖的結果不是直線，運用數學上的資料，重複繪製直到圖中的線為直線。對此例子，繪製距離與 \sqrt{v} 、 v^2 、 $1/v$ 的函數等等...。從圖中，傾斜面上球的速度和移動的距離有什麼數學關係？

問題

1. 等加速度運動的標準方程式包含： $x = at^2 / 2$ 和 $v = at$ 。合併該方程式（刪除 t ），決定 x 和 v 的關係。由結果和圖，當球往下滾的時候，你能決定球的加速度嗎？
2. 從問題 1 的答案，給予位置和時間的函數，寫出球的運動方程式。為何運動中的物體，常表示為位置與時間的關係而不是表示為位置與速度或加速度的關係？

實驗 2-3 牛頓第二運動定律

目的

什麼因素影響物體的運動？牛頓在 4000 年前發現此基本定理。在此實驗，藉由氣墊，軌道滑片受固定力下的運動狀態，決定牛頓第二定律。懸掛砝碼將提供固定的力來拉動滑片，懸掛不同質量的砝碼且測量滑片的加速度，你將可以決定牛頓第二定律。

儀器

1. 二組光閘計時器。
2. 氣墊軌道和滑片。
3. 滑輪、夾鉗、砝碼、滑輪夾鉗設備，如圖 2.6 所示。

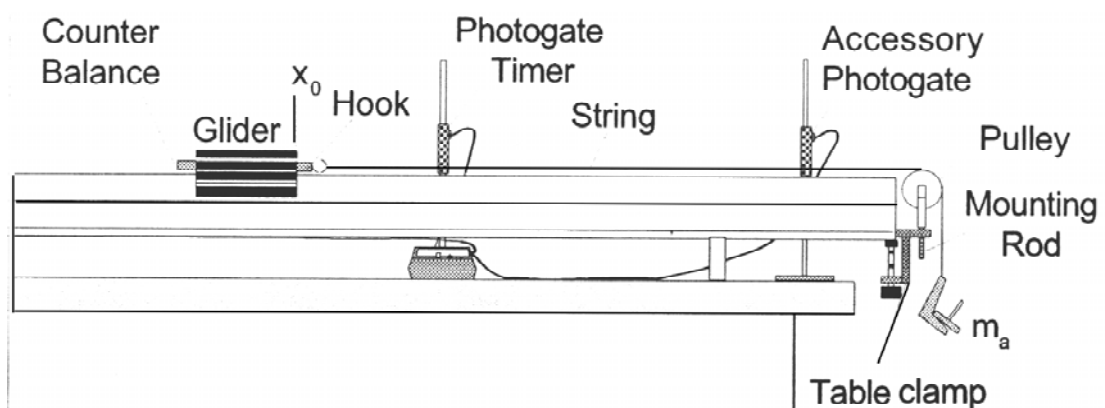


圖 2.6 牛頓第二運動定律示意圖

步驟

1. 安裝設備如圖 2.6 所示。
2. 調整軌道的水平，使滑片置於軌道上的任一點均不產生加速度(不會運動)。
3. 測量滑片有效長度 L ，並記錄之。
4. 滑片右端裝上掛鉤，並加上等質量的配重，此時滑片靜止，如圖 2.6 所示。
5. 在滑片上加 50~60 g 的砝碼。須注意滑片的平衡(兩側平均方式加質量)，記

錄其質量 m 於表 2-3 中。

6. 放置 5~10 g 砝碼於掛鈎，並記錄其總值量 m_a (含配重及掛鈎)。
7. 選擇光閘位於 GATE Mode。
8. 選一個起點 x_0 ，用鉛筆做記號，以便每次實驗都由相同點開始。
9. 按 RESET 鍵。
10. 在 x_0 處釋放滑片，記錄滑片分別通過兩個光閘的時間 t_1 、 t_2 ，重覆四次，取其平均值，記錄之。
11. 選擇光閘位於 PULSE Mode。
12. 按 RESET 鍵。
13. 在 x_0 處釋放滑片，記錄滑片通過兩個光閘之間的時間 t_3 ，重覆四次，取其平均值並記錄於表 2-3。
14. 改變 m_a ，將滑片上的砝碼移至掛鈎上，使 $m+m_a$ 的值固定不變，記錄 m 及 m_a ，重覆步驟 5 至 13，至少實驗四種不同 m_a 的質量。
15. 保持剛開始 m_a 值不變，變化 m ，重覆步驟 5 至 13，至少變化四種不同 m 值。

實驗 2-3 牛頓第二運動定律報告

表 2-3 牛頓第二運動定律記錄表 ($L = \underline{\hspace{2cm}}$)

m	m_a	t_1	t_2	t_3	v_1	v_2	a	F_a
平均								

改變 m_a ($m + m_a$)

m	m_a	t_1	t_2	t_3	v_1	v_2	a	F_a

改變 m (固定起始 m_a 不變)

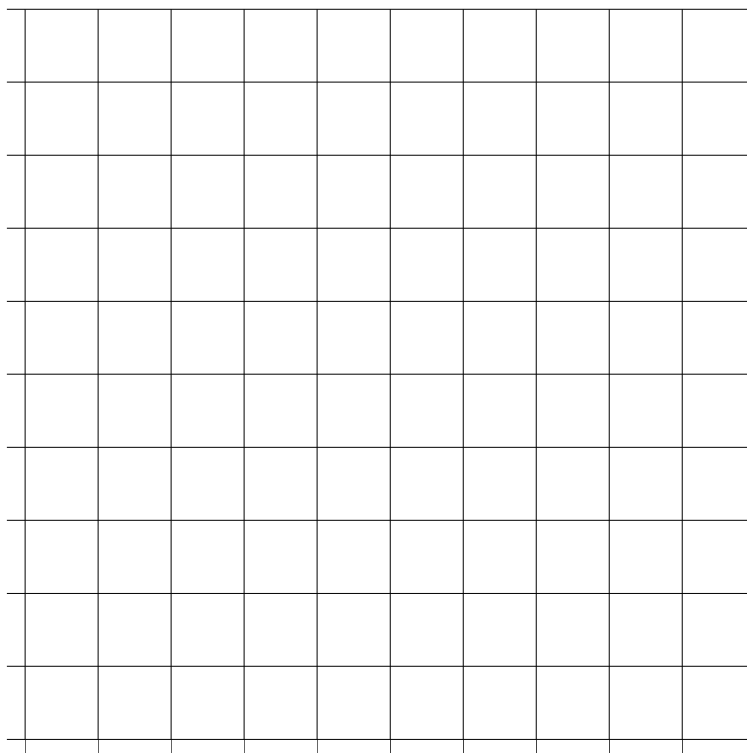
m	m_a	t_1	t_2	t_3	v_1	v_2	a	F_a

資料和計算

1. 用滑片長度與平均時間，求取滑片通過光閘的平均速度 v_1 與 v_2 。
2. 利用方程式 $a = (v_2 - v_1) / t_3$ ，計算滑片通過兩個光閘的平均加速度。
3. 決定 F_a ，掛鉤質量施加於滑片的力 ($F_a = m_a g$ ； $g = 9.8 \text{ m/s}^2$)。

問題

1. 試繪出 F_a 和平均加速度間的關係。



2. 試繪出平均加速度與滑片質量間的關係 (其中 m_a 為固定值)。



3. 分析上面兩圖，是直線嗎？決定施加滑片之外力，質量與平均加速度間的關係。
4. 在此實驗中，只測量通過兩個光閘之間平均加速度，是否有理由相信你的結果在瞬時加速度時仍然有效？為什麼？