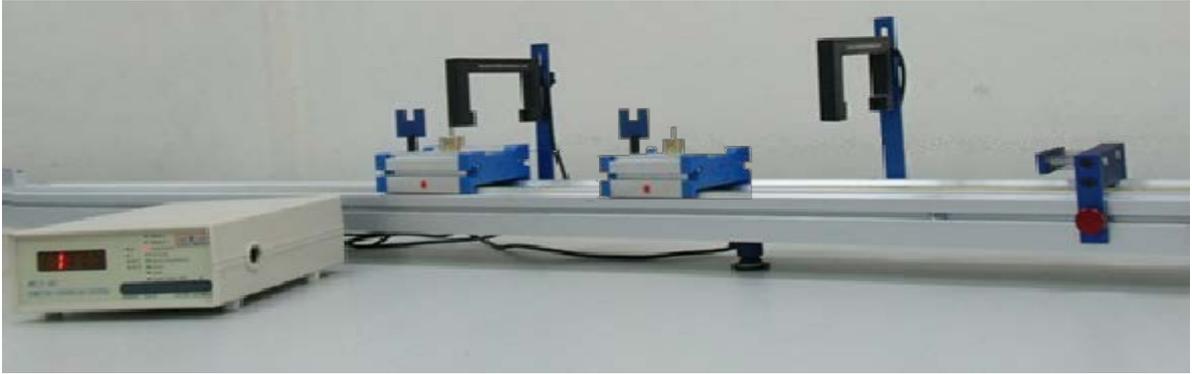


## 實驗 6：碰撞



封面照：運動學實驗系統組裝。

### 一、目的

善用適當的實驗方法、儀器和裝置，才能完成優質精準的實驗，故本實驗的目的如下：

1. 熟悉光電計時器和光電閘測量儀器的使用技巧和如何獲得精確的測量值。
2. 學習以光電計時器和光電閘測量物體做一維運動時，各種運動物理量隨時間  $t$  變化的軌跡和趨勢，如運動體的位置、速度、加速度和所受淨力隨時間的變化關係。
3. 學習以數位攝影或錄影方式記錄物體的運動狀況。
4. 學習熟用數位影像位置擷取與數據分析軟體，如 Vernier 的 Logger Pro 套裝軟體。
5. 學習以不同儀器、不同方法量測或紀錄運動體的運動軌跡和運動相關的物理量。
6. 並觀察比較各使用儀器的差異性、優缺點、與所得之實驗數據的精確度。
7. 觀測軌道上的滑車彈性及非彈性碰撞時的運動情形，以驗證在隔離的系統，碰撞過程為動量守恆；若為彈性碰撞，則動能亦守恆。

### 二、原理

兩個質點碰撞時動量守恆，可以用下式表示(參考資料 1~ 4)。

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = \text{常數向量} \quad (1)$$

本實驗僅考慮一維碰撞的情況，因此，(1)式可以改用純量式表示，而以正負符號代表其方向。式中  $m_i$  為滑車的質量  $v_i$  為滑車的速度， $m_1 v_1$  與  $m_2 v_2$  分別為第一輛與第二輛滑車的動量。在水平面上作任何一維的碰撞，都須滿足能量守恆定律(參考資料 1~4)

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + U = \text{常數} \quad (2)$$

式中  $U$  是整個系統的內能(internal energy，包括內動能及內位能)； $\frac{1}{2} m_1 v_1^2$  及  $\frac{1}{2} m_2 v_2^2$  分別為兩輛滑車的動能。如果是彈性碰撞，則碰撞前與碰撞後的內能相同，因此(2)式可以改寫為(參考資料 1~3)：

$$\frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2 \quad (3)$$

(3)式中的足碼(subscript)  $i$  表示碰撞前， $f$  表示碰撞後。在“實驗 3 牛頓第二運動定律”課文的附錄 A 中，介紹空氣軌系統時，曾指出若適當的附件齊全，所有一維的力學實驗均可利用它來做。本實驗的一維碰撞運動即是利用它來進行。做實驗之前，請先復習該附錄內容。

恢復係數(coefficient of restitution)為兩個物體在碰撞後的反彈程度。假若恢復係數為 1，則此碰撞為彈性碰撞；假若恢復係數小於 1 而大於或等於 0，則此碰撞為非彈性碰撞；假若恢復係數為 0，則此碰撞為完全非彈性碰撞，兩個物體黏在一起。

兩個物體在碰撞後的分離速度與碰撞前的接近速度，這兩個速度對於衝擊線  $L$  的分量的絕對值比率，就是恢復係數，以方程式表達為

$$C_r = \left| \frac{\mathbf{u}_f \cdot \hat{\mathbf{n}}}{\mathbf{u}_i \cdot \hat{\mathbf{n}}} \right| ;$$

其中， $C_r$  是恢復係數， $\mathbf{u}_f$  是碰撞後的分離速度， $\mathbf{u}_i$  是碰撞前的接近速度， $\hat{\mathbf{n}}$  是與衝擊線同線、任意設定的單位向量，衝擊線是這兩個物體接觸時連結其各自質心的直線。(參考資料 4)

### 三、器材

每組請自備一台筆記型電腦和一只隨身碟，另由普物實驗室提供下列四項器材使用：

1. **光電閘式測量系統**：可精確測量七種不同運動物理量數據的測量器，參見附錄一。
2. **影像紀錄器**：1080P 畫素影像紀錄器(1080P Remote Camera)，參見附錄二。也可使用自備具影像儲存和傳輸功能的記錄器，紀錄物體隨時間運動的情形。如數位相機、攝影機、平板電腦或數位手機內的攝影裝置。
3. **影像數據擷取與分析軟體**：使用 Vernier 公司開發的 Logger Pro 套裝軟體，亦可使用其他功能類似且實驗者自己熟用的軟體。
4. **一維碰撞運動軌道系統及配件**：

物體碰撞運動實驗：含一維動量守恆、完全彈性碰撞、非彈性碰撞、完全非彈性碰撞等實驗結果測量。物體碰撞機制含有力學彈斥力、力學吸引力、磁性斥力、磁性吸力。

### 四、儀器介紹與使用說明

「工欲善其事，必先利其器！」欲獲得精確的實驗結果，則於實驗前，應先充分瞭解欲使用之各項儀器的設計原理、詳細功能、正確操作方法和使用注意事項等等。如此才能善選適當儀器和正確測量方法，以獲得精確的數據，進而才能獲取正確的實驗結果。

**軌道與滑車系統規格**：如圖 1 所示，包含下列元件規格：



(a) 1.6公尺長軌道和具低磨擦係數滑車

(b)運動軌道的基本附件



(c) 軌道系統 21 項配件實體照片

圖1 一維鋁質運動軌道和21項相關配件實體照片

(a)軌道：長1.6 m，寬8 cm，高3 cm，鋁合金材質製，兩側有塑膠封邊。

(b)滑車2只：

(c)基本配件：共 9 種，除特別註明，否則多為鋁合金材質所製。

- (1) 衝撞頭片：金屬製
- (2) 冂型緩衝夾(2個)：鐵製，附有香蕉插頭及橡皮筋。
- (3) 光電遮光板組：鋁製烤漆，用於遮光，冂型\*二，附有香蕉插頭。
- (4) 砝碼組：含10 g、 20 g、 50 g圓形砝碼，含砝碼掛勾。

(d)碰撞實驗所需零件：

- (1) 非彈性碰撞組：一端為魔鬼氈設計，另一端為插梢。
- (2) 彈性碰撞用裝置
- (3) 針頭管組：附有香蕉插頭，非彈性碰撞實驗用。
- (4) 蠟管組：附有香蕉插頭。
- (5) 排斥式磁鐵組：磁鐵置於鋁製保護框架內，附有香蕉插頭；彈性碰撞實驗用。
- (6) 吸引式磁頭組：磁鐵置於鋁製保護框架內，附有香蕉插頭；非彈性碰撞用。

## 五、實驗步驟：

### 1. 一維滑車運動軌道架設：

(1) 熟悉軌道和搭配使用之滑車的結構、功能和應注意的使用事項。

(2) 軌道水平校正：

- (a) 可經利用整軌道底部可調高度的三支點調整軌道的水平。請「自行設計」，並「進行」軌道水平調整實驗流程及水平精準度的驗證方法。
- (b) 請紀錄下詳細的實驗步驟、軌道水平度驗證方法、您的實驗結果，所用之實驗方法和驗證方式的優缺點。可以繪圖和實驗照片輔助記錄。
- (c)  $L$  長的軌道，在軌道兩端高度差  $l$ ，且無其他人為的外力作用下，使質量為  $M$  的物體從軌道較高的一端放手，請問物體如何運動？加速度為何？當運動體到達軌道較低的一端會獲得的速度為何？
- (d) 並請以本實驗的實際軌道長度估算上述問題的兩項物理量之數值？
- (e) 請將軌道調整到最好的水平狀態。

### 實驗配件裝置架設：

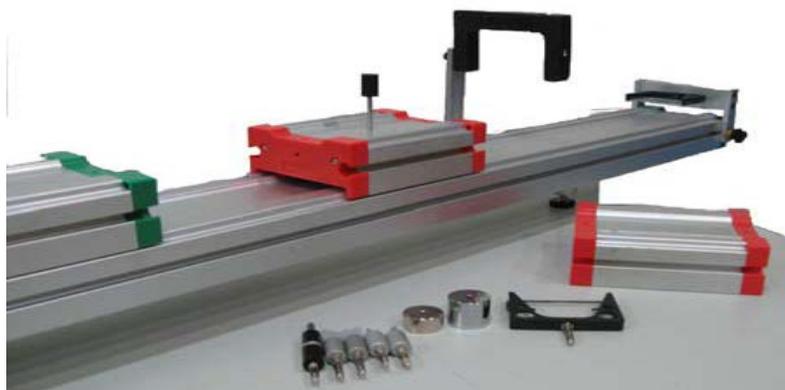


圖 2 實驗配件與裝置架設圖

### 2. 以數位攝影裝置觀測物體的運動情形

- (1) 將碰撞擋片及橡皮繩架分別置於 2 滑車前端，將其中一輛滑車靜置在整條軌道的中央，輕推另一輛滑車，以大約  $20\text{cm/sec}$  的速度<sup>+2</sup> 去撞擊靜止的滑車，記錄兩輛滑車碰撞前後的移動情況。
- (2) 由 logger pro，分析軟體或使用您熟知的其他類似套裝軟體，將所得的錄影圖像進行打點的記錄一系列的分析，以獲得物體的運動軌跡  $x(t)$  函數，並經最小方差擬合迴歸分析求算出最佳擬合的軌跡位置隨時間變化的函數關係  $x(t)$  及碰撞之後的速度  $v_{1f}$  與  $v_{2f}$  計算碰撞前後之動量及動能，檢查是否滿足動量守恆與能量守恆的條件。
- (3) 以不同的初速度，重覆步驟 1、2。
- (4) 研究  $m_1 > m_2$  和  $m_1 < m_2$  條件下的碰撞，方法如同步驟 1、2。

(5) 以磁鐵同極互斥代替緩衝片，作完全彈性碰撞。依照步驟 1、2 做相同的實驗。用磁鐵作碰撞時，應特別注意速度不可太大(為什麼?)。

(6) 請與上述理論計算所得的結果  $x(t)$ 、 $v(t)$  作比較，並估算誤差值

### 3. 以光電計時裝置觀測物體的運動狀況

(1) 以光電計時器重覆本實驗。將兩光電閘接線接於光電計時器後方 P1, P2 接孔；P1 光電閘至於兩滑車之間，P2 光電閘置於靜止之滑車(被撞物)後方。於按 Function 功能鍵，選擇 Collision 碰撞運動，按 Changover 鍵選擇速度單位(cm/s)。長按 Changover 鍵可選擇檔板寬度，當顯示值至欲設定寬度(3cm)時，將按鍵放開，即設定完成。計時器會顯示擋光片經過光電閘時依序測得之速度。Px.y 後之數據為經過 Px 光電閘第 y 次時之速度。可按 Function 功能鍵做歸零，再重新進行測量數據。

(2) 請先就理論推導此運動體系的運動狀態、運動軌跡  $x(t)$ 、 $v(t)$  等的函數關係。

### 4. 非彈性碰撞：

(1) 將以針插及黏土座插置於兩滑車上，使碰撞之後兩車會互相吸住而一同前進，重覆步驟(二)。

(2) 計算各種情況的動量和能量是否守恆?實驗結果和預計的前後動量與動能百分比誤差有多大?假如守恆律不成立，試說明其理由。

實驗數據參考表格

碰撞型態	彈性				非彈性			
	攝影打點		光電計時器		攝影打點		光電計時器	
兩碰撞體質量的比較	$m_1 > m_2$	$m_1 < m_2$						
	$v_{1i}$ 改變							
滑車質量 $m_1$								
滑車質量 $m_2$								
滑車 1 碰撞前速度 $v_{1i}$								
滑車 1 碰撞後速度 $v_{1f}$								
滑車 2 碰撞前速度 $v_{2i}$								
滑車 2 碰撞後速度 $v_{2f}$								
恢復係數 $C_r$								
動量(碰撞前)								
動量(碰撞後)								
動量損失率								
理論值								
實驗誤差								
動能(碰撞前)								
動能(碰撞後)								
動能損失率								
理論值								
實驗誤差								

## 五、問題：

1. 在碰撞過程中，空氣層的黏滯摩擦對動量守恆的結論有何影響？
2. 以橡皮繩或磁鐵做彈性碰撞，兩者的結果是否相同？那一種較準確？請說明原因。
3. 假定我們可以放置少許火藥在滑車緩衝彈簧前檔上，並且使它在碰撞的瞬間爆炸而將兩個滑車推離開，那麼動量仍能守恆嗎？動能是否守恆？請說明原因。
4. 時間間隔之準確性對「牛頓運動定律」的實驗是非常重要的，本實驗卻未強調要先作時間校正，為什麼？

## 六、參考資料：

1. D. Halliday & R. Resnick : Fundamentals of Physics , 6th ed . , ex. version ( John Wiley & Sons Inc . , New York , 2001 ) , chap.10, p.193~ p.206
2. M. Alonso & E.J. Finn : Fundamental University Physics , 2nd ed., vol. I (Addison- Wesley Pub. Co., 1980),§ 9 -8 , p.244 .
3. H. Benson : 1 University Physics , revised ed . (John Wiley & Sons Inc., New York , 1995 ) , chap.9 , p.172 ~p.185
4. 維基百科

## 附錄一 光電計時器

1. 多功能光電計時/紀錄器:如圖 2 所示，包含數支光電感應閘和信號連接線。具有下列八項測量功能：

- (1) **Timing I**：一般遮光時程測量
- (2) **Timing II**：二次遮光間的時距測量
- (3) **Acceleration**：直線運動體單點瞬時速度測量及雙點間加速度值的計算
- (4) **Collision**：碰撞實驗中，兩運動體碰撞前後的瞬時速度測量
- (5) **Gravity Acceleration**：自由落體下落至不同高度的時間測量
- (6) **Cycle**：單擺計次、累計時間、單次擺動週期記錄及顯示
- (7) **Count**：計數遮光次數
- (8) **Signal Source**：信號產生器，可供其它實驗使用。

在有關物體運動的實驗中經常使用，如觀測物體的直線、圓周、自由落體、碰撞和力學簡諧震盪等各種運動實驗。本學期至少有五個實驗必需用到。



圖 2 永原公司的 MUJ-5C 多功能光電計時器和光電閘(Optoelectric gate)。可隨時自行放大圖片，便可清楚觀測右面板上的各項 LED 的指示和下方四個黑色按鍵的功能。

### A. 光電記錄器簡介

- (1) 光電感應閘(管)採紅外線感應作用，具 LED 燈指示；時間感應解析度為  $10 \mu\text{s}$ ，遮光反應寬度  $< 1 \text{ mm}$ 。附電話線暨立體聲雙插頭連接線，用以連接電腦介面傳輸信號。
- (2) 以 INTEL MCS-51 高速數位微處理運算器做為自動測量及數據處理系統，測量物體的運動時間、速率和加速率，並具特定實驗模組測量及數據存儲功能。
- (3) 以 12 MHz 石英晶體振盪器做時基單元，晶體振盪頻率為  $2 \text{ MHz} \pm 20 \text{ Hz}$  (10 ppm)，故時基精確度高達  $0.5 \mu\text{s}$  (時間測量時基為微秒級)，提供高達五位元的時間測量。
- (4) 僅四個功能操作鍵，即可簡單地完成八項不同物理量的測量。
- (5) 可作計時器、計數器、信號源和 6V 直流穩壓電源使用，並可用以直接測量運動物體的速率、加速度、重力加速度、周期等物理量。

### B. 儀器規格

- (1) 0.56" LED 五位元數位顯示，含小數點和單位顯示，滿檔信號以“0.0.0.0.”表示。
- (2) 有四個顯示測量單位和八個指示測量功能的 LED 顯示燈。
- (3) 具量程自動定位、自動換檔及自動四捨五入的智慧化數據處理功能。
- (4) 各項物理量的測量範圍
  - (a) 速率：0.00 ~ 1000.0 cm/s

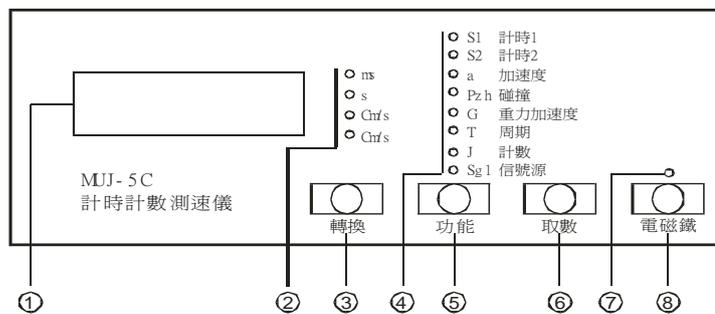
- (b) 加速度： $\pm 0.00 \sim 1200.0 \text{ cm/s}^2$
- (c) 計數：0 ~ 99999
- (d) 計時：0.00 ms ~ 999.99 s，0.01 ms 數量級以上，可確保五位有效數字顯示。
- (5) 可存儲 20 個時間數據，在周期測量中會存儲 21 個時間數據，前 20 個振動周期和一個  $n$  次(最多 9999 周期)振動的累加時間總和。
- (6) 脈沖信號源有 1Hz、10Hz、100Hz、1000Hz、10000Hz 等五檔，輸出信號振幅約 5V。
- (7) 可提供 6V 直流電壓及 0.5A 的直流穩壓電源輸出。
- (8) 配有四個光電閘信號輸入插座。
- (9) 配有進行斜面運動和自由落體運動實驗時，所需之電磁鐵啟動運動用的控制插座。
- (10) 工作條件：使用 AC110 V $\pm$ 10%，50 Hz ~ 60 Hz 輸入電源；環境溫度介於-10 $^{\circ}$ C ~ 40 $^{\circ}$ C 間；在 40 $^{\circ}$ C 時，相對濕度低於 85%；可連續工作。

### C. 面板說明

(1) 前面板：如圖 3(a)和 3(b)所示，③、⑤、⑥和⑧等所有按鍵均為循環式的切換開關。



(a) 多功能光電計時器實體照



- |               |           |
|---------------|-----------|
| ① 五位元 LED 顯示列 | ② 測量單位指示燈 |
| ③ 數值轉換鍵       | ④ 功能轉換指示燈 |
| ⑤ 功能選擇/復位鍵    | ⑥ 取數鍵     |
| ⑦ 電磁鐵開關指示燈    | ⑧ 電磁鐵開關鍵  |

(b) 前面板示意圖和說明

圖 3 永原公司之(a)MUJ-5C 多功能光電計時器實體照，(b)前面板示意圖和說明。

① 五位元 LED 顯示列：顯示測量結果

② 測量單位指示燈：依所選定的測量功能，顯示所測得之數據的單位，如 ms 與 s 兩

個時間單位，和 cm/s 與 cm/s 兩個速率的單位。

③**轉換鍵(Changeover)**：當選擇計時、加速度和碰撞等測量功能時，在 1 秒內迅速按轉換鍵，可交替地選擇測量各種不同物理量。

光電閘的檔光片寬度有 1.0cm、3.0cm、5.0cm、10.0cm 等四個不同寬度的選擇，可經由轉換鍵的切換選擇所用之檔光片的寬度。使轉換鍵的切換時間超過 1 sec，即可選擇檔光片的寬度設定。

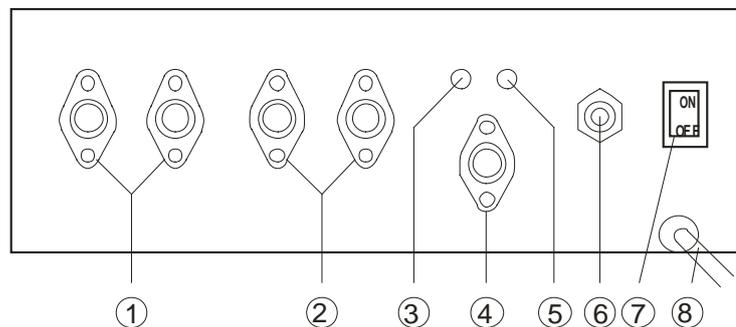
⑤**功能鍵(Function)**：如按下功能鍵前，光電閘若遮過光，則可先按一次功能鍵進行歸零。若光電閘沒遮過光，請按功能鍵選擇擬測量的功能。

⑥**取數鍵(Data Fetch)**：在計時 1( $S_1$ )、計時 2 ( $S_2$ )、周期(T)功能時，儀器可自動存入前 20 個測量值，按下取數鍵，可顯示存入的紀錄值。當顯示「En」表示將顯示存入的第  $n$  值。

⑦**電磁鐵開/關指示燈**：顯示電磁鐵處於吸合或鬆離的狀態，當紅色 LED 亮時，表示電磁鐵為開啟的吸合狀態；LED 不亮時，則表示電磁鐵為關閉狀態。

⑧**電磁鐵開關鍵(Electromagnet)**：控制電磁鐵的吸合和鬆離(鍵上⑦LED 顯示暗)的切換鍵，當按鍵上的⑦電磁鐵開/關紅色 LED 指示燈亮時，表示有電磁鐵為開啟的吸合狀態；LED 不亮時，則表示電磁鐵為關閉，處於無電磁力的狀態。

(2) 後面板插座說明：見圖 4。



- |             |             |
|-------------|-------------|
| ①P1 光電閘信號插座 | ②P2 光電閘信號插座 |
| ③信號源輸出插座    | ④電磁鐵信號插座    |
| ⑤6V 直流輸出插座  | ⑥電源保險絲座     |
| ⑦電源開關       | ⑧電源線        |

圖 4 光電計時器背面板示意圖和說明。

### D. 多功能光電計時器使用說明簡表

表 1 多功能光電計時器使用簡表(永原科學儀器公司製造,型號 A04-153&MUJ-5C)				
(1) 測量前先按下 <b>Changeover</b> (>1 sec), 選擇所選用之擋光片的寬度 (2) 測量後可迅速(<1 sec)按下 <b>Changeover</b> , 可使顯示器的顯示值切換為時間或速度 (3) 數據顯示後, 可按 <b>Function</b> 鍵歸零, 重新實驗。歸零後再按一次 <b>Function</b> 鍵, 可跳入下一功能選擇				
功能	應用例	擋光板	光電閘	時間數據顯示(秒/毫秒)
<b>Timing I</b>	拋體初速 轉動週期	■	P1 或 P2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 同一光電門擋光時程/速度</li> <li>• 按 Data Fetch 顯示 20 組記錄</li> </ul>
<b>Timing II</b>	重物下落 已知高度 時間	■ ┌	P1 或 P2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 以■擋光片得同一光電門兩次擋光的時距</li> <li>• 以┌擋光片得同一光電門一次擋光的時程--- <b>Changeover</b> 選擇時間</li> <li>• 速度--- <b>Changeover</b> 選擇速度</li> <li>• 可按 Data Fetch 顯示 20 組記錄</li> </ul>
<b>Acceleration</b>	直線等加 速度運動	┌	由 P1 至 P2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Changeover</b> 選擇時間</li> <li>P1 的擋光時程</li> <li>P2 的擋光時程</li> <li>P1 至 P2 的擋光時程</li> <li>• <b>Changeover</b> 選擇速度</li> <li>P1 的擋光速度</li> <li>P2 的擋光速度</li> <li>P1 至 P2 的加速度</li> </ul>
<b>Collision</b>	碰撞運動	┌	P1 或 P2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Changeover</b> 選擇速度</li> <li>顯示各光電門各來回 1 至 3 次擋光片之速度</li> <li>• <b>Changeover</b> 選擇時間</li> <li>顯示各光電門各來回 1 至 3 次擋光片之時間</li> </ul>
<b>Gravity Acceleration</b>	自由落體	●	由電磁鐵 至 P1~P4	準備好後, 按下 Electromagnet 顯示電磁鐵下端至 P1/P2/P3/P4 的時程
<b>Cycle</b>	單擺 複擺 簡諧運動	● ■	P1 或 P2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Changeover</b> 預設週期數 100 以內.</li> <li>實驗完顯示總時間, 再按 <b>Data Fetch</b> 顯示最後 20 週期時間.</li> <li>• 不預設週期數而直接測量直到結束</li> <li>可顯示測量週期序直到結束. 按 <b>Changeover</b> 顯示總時間, 再按 <b>Data Fetch</b> 顯示最後 20 週期時間實</li> </ul>
<b>Count</b>	轉動次數	■	P1 或 P2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 顯示遮光次數</li> </ul>
<b>Signal Source</b>	信號源		輸出插座	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 按 <b>Changeover</b> 可輸出頻率為: 1、10、100、1000、10000 的方波信號, 單位為 Hz</li> </ul>
<b>DC Power</b>	DC6V		輸出插座	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 任何時間可輸出</li> </ul>

## E. 操作方法

### (1) 測量單位：

- (a) ms：1/1000 秒，計時單位
- (b) s：秒，計時單位
- (c) m/s：公分/秒，速度單位
- (d)  $\text{cm/s}^2$ ：公分/秒平方，加速度單位

### (2) 八項物理量的測量

#### (a) Timing I (計時 1, $S_1$ )：遮光時程測量

測量光電閘的擋光時間，可連續測量，並自動存入前 20 個所測得的數據。按下取數鍵可查看儲存於計數器內的數據。

#### (b) Time II (計時 2, $S_2$ )：二次遮光時間間距測量

測量光電閘兩次擋光的間隔時間，可連續測量。並自動存入前 20 個數據，按下取數鍵可查看所量得的數據。

#### (c) Acceleration (加速度, $a$ ) 測量

測量帶有凹形擋光片的滑行器通過相鄰兩個光電閘的速度，以及通過此兩光電閘間之段路程所需的時間，可連接 2 至 4 個光電閘。在此測量模態時，本計時器的顯示面版上會循環顯示下列數據：

1	第一個光電管
×××××	第一個光電管測量值( $T1/V1$ )
2	第二個光電管
×××××	第二個光電管測量值( $T2/V2$ )
1~2	第一至第二光電管
×××××	第一至第二光電管測量( $T1\sim2/a$ )

如接有第 3、4 個光電閘，則除顯示上測量數據外，並繼續顯示第 3 個光電管、第 4 個光電管及 2~3、3~4 段的測量值，如下所列。

3	第三個光電管
×××××	第三個光電管測量值( $T3/V3$ )
2~3	第二至第三光電管
×××××	第二至第三光電管測量( $T2\sim3/a$ )
4	第四個光電管
×××××	第四個光電管測量值( $T4/V4$ )
3~4	第三至第四光電管
×××××	第三至第四光電管測量( $T3\sim4/a$ )

按功能鍵清“0”，可進行另一系列新的測量。

#### (d) Collision (碰撞, Pzh)：等質量與不等質量間的碰撞實驗測量

在計時器後面板的 P1、P2 接頭各接一只光電管，兩只滑行器上裝好相同寬度的凹形擋光片和碰撞彈簧，讓滑行器從氣軌兩端向中間運動，各自通過一個光電閘

後相撞。

做完實驗，會循環顯示下列數據：

P1.1	第一次通過 P1 光電管
×××××	第一次通過 P1 光電管的遮光時間測量值
P1.2	第二次通過 P1 光電管
×××××	第二次通過 P1 光電管的遮光時間測量值
P2.1	第一次通過 P2 光電管
×××××	第一次通過 P2 光電管的遮光時間測量值
P2.2	第二次通過 P2 光電管
×××××	第二次通過 P2 光電管的遮光時間測量值

①如滑塊通過 P1 光電管三次，但僅通過 P2 光電管一次，則計時器將不顯示 P2.2 而顯示 P1.3，表示物體第三次通過 P1 光電管的第三次遮光時間。

②如滑塊通過 P2 光電管三次，通過 P1 光電管一次，本機將不顯示 P1.2 而顯示 P2.3，表示第三次通過 P2 光電管的第三次遮光時間。

③按功能鍵歸零後，可進行另一系列新的測量。

**(e) Gravity Acceleration (重力加速, g) :**

將電磁鐵插入電磁鐵插口，2~4 個光電閘插入光電閘插口，電磁鐵開關鍵上方發光管亮時，吸上小鋼球(待測物體)；按電磁鐵開關鍵，小鋼球下落(同步計時)，到小鋼球前沿遮住光電閘(計錄時間)，計時器陸續顯示物體從開始下落至通過第  $n$  個光電閘所經歷的時間：

1	第一個光電管
×××××	$t_1$ 值(物體開始下落至通過第一個光電閘所經歷的時間)
2	第二個光電管
×××××	$t_2$ 值(物體開始下落至通過第二個光電閘所經歷的時間)
3	第三個光電管
×××××	$t_3$ 值(物體開始下落至通過第三個光電閘所經歷的時間)
4	第四個光電管
×××××	$t_4$ 值(物體開始下落至通過第四個光電閘所經歷的時間)

因  $h_1 = \frac{1}{2}gt_1^2$ ， $h_2 = \frac{1}{2}gt_2^2$ ，故有  $g_1 = \frac{2(h_2 - h_1)}{t_2^2 - t_1^2}$ ， $(h_2 - h_1)$  為第一個和第二個光電閘之間的距離。

$$g_3 = \frac{2(h_4 - h_1)}{t_4^2 - t_1^2}, \quad g_2 = \frac{2(h_3 - h_1)}{t_3^2 - t_1^2}$$

兩光電閘間的設定距離愈大，則測量誤差越小。按功能鍵或按電磁鐵開關鍵，儀器可自動歸零，使電磁鐵重新吸合。重力加速度的測量方法，也可用計時 2(S<sub>2</sub>) 的功能測量。

**(f) Cycle (周期,  $T$ ):**

測量單擺振子或彈簧振子 1~9999 周期的時間。一只光電閘插入光電閘插口，可選用以下二種方法。

- ① 不設定周期數：在週期數顯示為 0 時，每完成一個周期，顯示周期數會加 1。按下轉換鍵即停止測量。在顯示最後一個周期數約 1 秒後，將接著顯示累計時間值。
- ② 設定周期數：按下轉換鍵不放，確認到您所需周期數時放開此鍵即可。(只能設定 100 以內的周期數。) 每完成一個周期，顯示周期數會自動減 1，當最後一次遮光完成，顯示累計時間值。

按取數鍵可顯示本次實驗(最多前 20 個周期)每個周期的測量值，如顯示 E2(表示第二個周期)，×××××(第二個周期的時間)...

(a) **Count (計數,  $J$ ):** 測量光電閘的遮光次數

(b) **Source Signal (信號源,  $Sg1$ ):** 將信號源輸出插頭，插入信號源輸出插口，可輸出頻率為：1 Hz、10 Hz、100 Hz、1000 Hz、10000 Hz 的信號，按轉換鍵可切換信號的頻率選擇。

**F. 自動檢測、調整和維護**

- (1) 具自動檢測功能，按住取數鍵不放，再開啟電源開關，數碼管顯示“22222”、“55555”，發光二極管全亮，顯示 20.47ms，說明儀器程序，光電閘輸入工作正常。若出現無計時功能，請檢查光電閘是否正常。
- (2) 存放時間滿 6 個月，應拿出通電 1 小時。

**G. 注意事項**

- (1) 測量時間小於 1ms 或大於 99.999s，按轉換鍵將之轉換為速率時。顯示 0.0.0.0.表示超出範圍測量。
- (2) 做完實驗後，請關閉儀器電源開關。
- (3) 避免使儀器接近陽光和高溫熱源，以免影響儀器的性能。
- (4) 儀器出現故障，請找專業技術人員修理。

## 附錄二 分析軟體

**影像數據分析軟體 1：**本實驗提供Vernier公司研發的Logger Pro套裝軟體，請由實驗室網站下載校園使用版。該軟體，可根據數位影像記錄器(如針孔、照像攝影機、手機的錄影功能錄製影片)。所拍攝下來的影片，將影片中某物體隨時間運動的位置、速率和加速度變化，利用此軟體的對位功能，快速地獲得物體的運動軌跡、速度和加速度隨時間的變化趨勢圖和表格式的數據列組，並可利用最小方差擬合運算技術，求出運動物理量對某變數的最佳函數擬合關係。如圖7的範例所示：

- (1) 圖7中左上方是以攝影機或連拍相機錄得的影像，
- (2) 再利用Logger Pro軟體的影像對位數位化功能，將影像中特定物體(如球體)隨時間變化的位置轉成圖中右上方表格內的座標位置序列。
- (3) 右下方則利用表格內所得的位置數據作圖，清楚地顯示球體之位置隨時間的變化函數。

Logger Pro套裝軟體的功能介紹、軟體下載、線上教學等資訊可參見下列網站：

- (1) 本校版權下載：請洽各班助教。
- (2) Vernier 原廠軟體下載網站：<http://www.vernier.com/support/updates/logger-pro/>
- (3) 軟體介紹網站：<http://www.vernier.com/products/software/lp/>
- (4) 教學網站：<http://www.vernier.com/downloads/logger-pro-demo/>

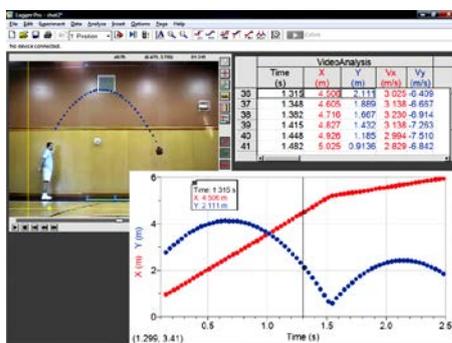


圖 7 Logger Pro 軟體的影像對位數位化功能範例，照片來源：  
[http://www.vernier.com/images/magnify/screenshot.lp\\_videoanalysis.001.png](http://www.vernier.com/images/magnify/screenshot.lp_videoanalysis.001.png)

**影像數據分析軟體 2：**另可使用免費影像分析軟體 Tracker (<http://physlets.org/tracker/>) 自行下載所需版本。

