

測量自由落體加速度裝置的研究

國中組第一名

台北縣板橋國中

製作學生：王清正 王逸華

指導老師：游台生 蘇明賢 黃杰英



一、研究動機：

日常我們看到小石子、瓦片……等由高處落下時，速度越落越快，到底那樣快的速度，變化的情形怎樣？能不能測量？我們把這個問題請教老師，老師說：「由於自由落體加速度很快，要直接測量相當困難，一般都是利用閃光照相裝置、或是利用電鈴型計時器測量，但這兩種方法都有缺點」。我們聽了以後覺得既然這兩種方法有缺點，那麼我們能不能設計一套新的裝置來改良其缺點呢？因此我們做了以下的實驗。

二、研究問題：

1. 怎樣利用閃光照相裝置測量自由落體的加速度？
2. 怎樣利用電鈴型計時器測量自由落體的加速度？
3. 設計一套操作簡單，測量準確的裝置「噴水式計時器」測量自由落體加速度。

三、實驗內容：

第一個研究問題，怎樣利用閃光照相裝置測量自由落體加速度？

(1) 實驗器材：

- | | | |
|--------------|------------|--------|
| a. 照相機（附快門線） | b. 雙狹縫轉盤 | |
| c. 馬達 | d. 可變電阻器 | e. 固定夾 |
| f. 鐵架 | g. 電池組（6V） | h. 手電筒 |
| i. 小燈泡 | j. 黑布幕 | |

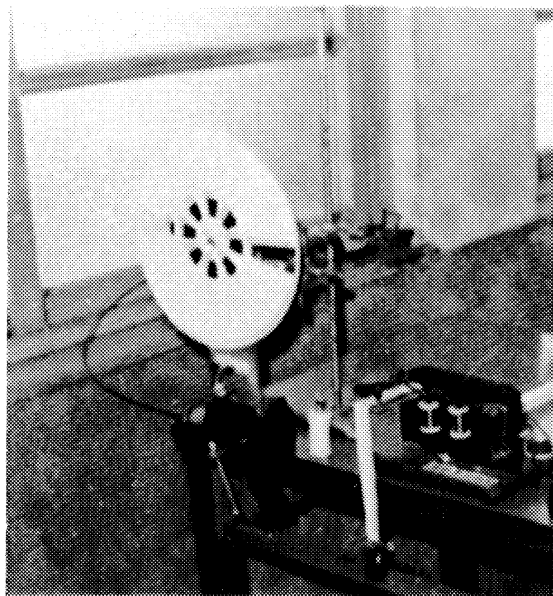
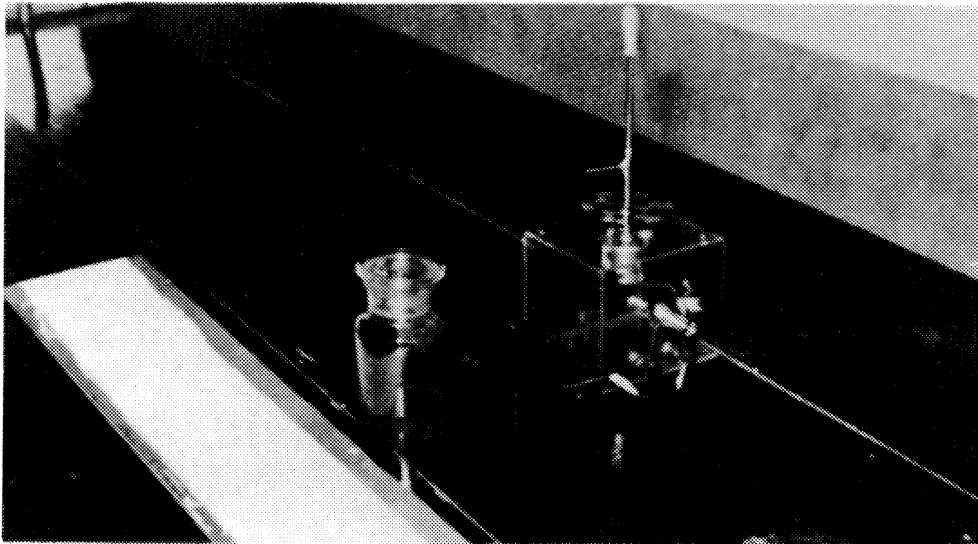
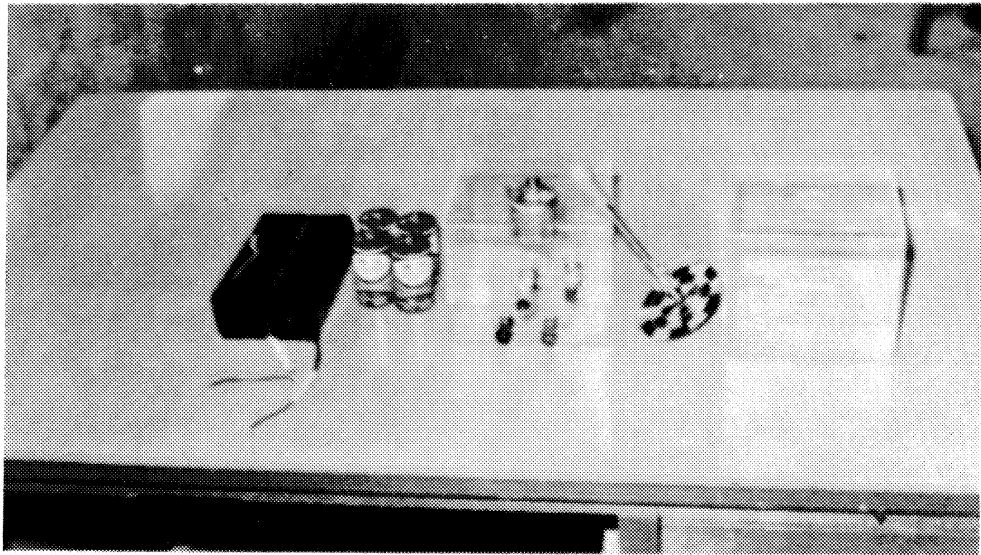
(2) 實驗裝置：

在照相機前面，裝置一個雙狹縫轉盤（狹縫同心角 15° ）以發光之小燈泡作為落體。

(3) 實驗原理：

- a. 打開快門後每當狹縫轉到鏡頭前，底片即感光一次，得一小燈泡成像的光點，如此連續感光，則底片上就可呈現小燈泡落下的連續成像的光點，以光點記錄落下位置。
- b. 利用日光燈亮熄的頻率與劃有條紋的圓盤測定馬達轉速。
- c. 設馬達轉速為 f_1 ，日光燈每秒亮熄之次數為 2×60 次，轉

$$\text{盤轉動時，顯出之條紋數為 } m \text{ 則 } f_1 = \frac{2 \times 60(\text{次})}{m}$$



(2) 實驗裝置：

- a. 在 U 形電磁鐵上方，裝置打擊錘，錘下放置一碟形複寫紙。
- b. 錘和複寫紙之間，穿一紙條，紙條一端懸一個砝碼。

(3) 實驗原理：

- a. 應用週期性振動的擊錘，在紙帶上打點記錄砝碼落下距離。
- b. 擊錘振動週期可由擊錘在單位時間內，在以均勻牽動的長紙帶上所打點數求得。

$$T = \frac{t}{n-1} \quad t \text{ 表示單位時間} \quad n \text{ 表示點數}$$

- c. 由紙帶上測量第 (n-1) 點位置和第 n 點位置距離除以時距 T_2 即求得速度。
- d. 再作速度與時間關係圖即可求得各時刻之瞬加速度。

(4) 實驗步驟：

- a. 將電鈴型計時器放在桌緣。
- b. 利用砝碼作自由落體拖曳紙帶穿過擊錘下方。
- c. 以紙帶上所記錄小點間之距離計算重力加速度。

(5) 討論：

優點：

- a. 裝置簡單。
- b. 紙帶上兩點間的距離，計算時不需以比例尺即可以直接量出，方便，避免導致誤差。

缺點：

- a. 紙帶和底板摩擦力大影響砝碼落下速度。
- b. 擊錘振動週期不大穩定導致極大誤差。

第三個研究問題：設計一套，操作簡單，測量準確的裝置—噴水式計算測量，自由落體加速度。

設計經過：測量自由落體的裝置。第一必需具有測定一定的功能。第二必需能記錄自由落體落下的位置和進行的過程。

我們天天留意觀察、尋找，那一種東西具備了上面的二個條件，有一天我們看到苗圃裏的旋轉式灑水器以均勻的速度向外噴

d. 馬達轉速為 f_1 ，狹縫數為 n ，則照相機曝光週期

$$T_1 = \frac{1}{f_1 \times n}$$

以照相機曝光週期為時距。

e. 由照片測量第 $(n - 1)$ 位置的光點和第 n 位置光點的距離除以時距即求得速度。

f. 再作速度與時間之關係圖即可求得各時刻之瞬時加速度。

(4) 實驗步驟：利用夜間在無光的室內拍攝。

a. 調節馬達轉速為每秒 15 轉，轉盤的狹縫數為 2，則照相機

$$\text{曝光週期 } T_1 = \frac{1}{15 \times 2} = \frac{1}{30} \text{ (秒)}$$

b. 將照相機快門打開後，把發光的小燈泡由 2 公尺高處落下，如此重復拍攝七次。

c. 由所拍攝的照片計算加速度的值。

(5) 討論：

優點：

a. 顯像清晰，容易辨別小光體落下的位置。

b. 小光體落下時不受摩擦力影響，落下速度準確。

缺點：

a. 限於夜間或暗室操作。

b. 須有攝影經驗與技術。

c. 裝置複雜。

d. 照片沖洗費時，不能立即得到結果。

e. 前數個光點影像重疊無法量出落下距離。

f. 照片上所得兩光點距離須經比例尺放大導致誤差。

第二個研究問題：怎樣利用電鈴型計時器測量自由落體加速度：

(1) 實驗器材：

a. 電鈴計時器

b. 電池組 (6V)

c. 紙帶 2 公分 \times 100 公分

d. 碟形複寫紙

e. 馬錶

f. 砝碼和夾子

灑小水柱的情形，剛好和上面兩個條件互相吻合（固定轉動週期代替時距，以噴出水滴來記錄），因而觸發了我們設計，噴水式計時器的靈感。

噴水式計時器的構造：

- a. 用壓克力板做二個盒子，盒子大小是高 10 公分寬 10 公分長 11 公分。
- b. 取一個盒子，中央裝置一個小型馬達，另一邊裝置開關，可變電阻器接線鈕等。
- c. 用一根銅管長 25 公分套在馬達轉軸上，銅管側面銲接一支側管，側管和銅管互相連通使水由側支管噴出。
- d. 用奶粉罐的蓋子前成一圓盤上面劃 4. 5. 6 三種條紋測定馬達轉速測定方法和閃光照相裝置相同。
- e. 另一個盒子，一面開一長方形小窗口套在銅管上面，馬達轉動時小水滴由小窗口噴出。

(1) 實驗器材：

- a. 噴水式計時器。
- b. 長方形木板：15cm × 150cm。
- c. 長條紙帶：10cm × 150cm。

(2) 實驗裝置：

- a. 把噴水式計時器放在桌緣。
- b. 將長條紙帶用膠布貼在長方形木板上。
- c. 將紅墨水加水做成百分之一的溶液。

(3) 實驗原理：

- a. 馬達轉動時，銅管中的紅墨水，由支管噴出，灑在垂直落下的白紙帶上，記錄落下位置，因噴出的水滴由壓克力盒子上的小窗口控制，即灑成一排一排的紅色斑點，由相鄰兩排斑點間的距離除以時距（馬達轉一週時間）即求得速度。
- b. 再作速度與時間關係圖即可求得各時刻之瞬時加速度。

(4) 實驗步驟：

- a. 調節馬達轉速。
- b. 銅管中加入紅墨水。

c. 將貼有白紙帶的木板由高處 2 公尺落下。

d. 量度白紙帶上所記錄的一排一排紅點間距離計算重力加速度。

(5) 討論：

優點：

a. 構造簡單。

b. 操作容易。

c. 距離量度不需以比例尺放大可以減少誤差。

d. 物體落下時不受摩擦力影響，落下速度準確。

e. 紙帶上一排一排紅斑點整齊清晰容易辨別物體落下的位置。

f. 噴水式計時器兼有閃光照相裝置和電鈴型計時器的優點。

總結論：

我們用三種不同的裝置測量自由落體加速度結果認為：

一、閃光照相裝置，測量計算結果得到 g 值大約等於 962 cm/秒^2 ，但裝置複雜，操作困難，且需暗室設備，實驗結果無法即刻得到。

二、電鈴型計時器測量結果， g 值只能得 729 cm/秒^2 。這個原因可能有兩種，一種是紙帶與底板摩擦，另一種是打點擊錘週期不穩定，影響測量結果。

三、噴水式計時器：

優點是構造簡單，操作容易，測量結果得到 g 值等於 972 cm/秒^2 ，而唯一的缺點是噴水結果容易使儀器淋濕。