

利用火花放電測定物體的加速度

國中組物理第二名

嘉義縣梅山國民中學

製作學生：許明義 鄭明城

指導老師：蕭義崧



一、研究動機：

上學期在上運動定律那一章時，課本講到兩種測定物體加速度的方法——利用水鐘或振動計時器。但是我們用這兩種方法實驗的結果，發現誤差很大。我們去請教老師。是否有比較準確的方法？老師說：「最精確的方法，是使用閃光照像。但是這種設備昂貴，並且操作複雜。」於是這個問題引起了我們的興趣，我們希望能夠利用理化實驗室現有的設備，設計出一種操作簡單，又比較準確的方法，來測定物體的加速度。此外我們也想推出一些公式，以便根據物體運動的痕跡，推算它的瞬時速度及加速度。

二、研究內容：

(一)運動體的裝置—使用滑車作為運動體，將滑車置於65公分長的水平玻璃板跑道上，滑車前端綁上細繩，使通過固定於跑道前端的定滑輪，繩的另一端吊一紙盤，內置9克砝碼，則滑車受到定力之作用，而沿水平跑道作等加速運動，為增加滑車質量，車上壓一個200克砝碼。

(二)痕跡的計算公式——設滑車前進時留下等時距之痕跡， t 為連續兩痕跡間的時距。連續兩痕跡間的距離各為 $S_1, S_2, S_3, S_4, \dots$ ， S_0 為滑車靜止位置至第一個痕跡間的距離， T 為行 S_0 所需的時間，又設滑車係作等加速運動，則：

$$\cdot \underbrace{S_0}_T \cdot \underbrace{S_1}_t \cdot \underbrace{S_2}_t \cdot \underbrace{S_3}_t \cdot \underbrace{S_4}_t \cdot$$

⊖在 $T+0.5t, T+1.5t, T+2.5t, \dots$ 時之瞬時速度各為： $\frac{S_1}{t}, \frac{S_2}{t}, \frac{S_3}{t}, \dots$

[證明] 距離 = $\frac{1}{2} \times (\text{加速度}) \times (\text{時間})^2$

$$S_0 = \frac{1}{2} a T^2 \quad (a \text{ 表加速度})$$

$$S_0 + S_1 = \frac{1}{2} a (T + t)^2$$

$$S_1 = \frac{1}{2} a (T + t)^2 - \frac{1}{2} a T^2 = a T t + \frac{1}{2} a t^2$$

$\therefore \frac{S_1}{t} = (T + 0.5t) a$ ，得證，餘式同理可證。

$$\ominus a = \frac{S_2 - S_1}{t^2} = \frac{S_3 - S_2}{t^2} = \frac{S_4 - S_3}{t^2} = \dots$$

[證明] 設 v_1, v_2 為時距相差為 t 之兩瞬時速度，則

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t}$$

由 \ominus 知 $\frac{S_1}{t}$ 與 $\frac{S_2}{t}$ 之時距相差為 t

$$\therefore a = \frac{\frac{S_2}{t} - \frac{S_1}{t}}{t} = \frac{S_2 - S_1}{t^2}$$
，得證，餘式同理可證。

(三) 以水鐘測定加速度的討論：

⊖ 實驗過程——將點眼藥用的小塑膠瓶改裝為水鐘，再將水鐘固定於滑車之右側，於跑道右側鋪一木板，當滑車前進時，水鐘落下之水滴即滴於木板上，用尺量出水滴間的距離。

⊖ 測定結果——設 $S_1, S_2, S_3 \dots$ 為由第一滴算起，連續兩滴間的距離，共測三次，由公式 \ominus ，可算出各時刻的瞬時速度，再據各速度畫成表及圖。由公式 \ominus 可換算成各時刻之加速度。

⊖ 討論——依公式 \ominus 算出各時刻的瞬時速度畫成的圖可看出，各點無法連成一直線，或近似一直線，表示誤差很大，又各時刻之加速度值相差很大，甚至有相差達五倍以上者，誤差過大，使測出之各時刻加速度值失去意義。

(1) 我們發現水鐘的滴水時距不穩定，常有變化，這是導致誤差的主要原因。

(2) 水滴太大，難以量出距離的精確值，也導致誤差，速度較快時，水滴會變形，更難量出正確的距離。

(四) 以振動計時器測定加速度的討論：

⊖ 實驗過程——將振動計時器置於跑道後端，取一紙帶連於滑車後端，使紙帶通過振動器，擊錘下方置一複寫紙，。當滑

車開始運動後，關閉振動器電源，使擊錘打擊紙帶而印上痕跡，共測定三次。

⊖討論—(1)實驗結果發現誤差比水鐘更大，甚至加速度有負值的現象，故實際上所求得之各時刻加速度值並無意義。

⊖振動計時器的振動週期很不穩定，這是導致誤差的主要原因。此外紙帶和擊錘間的磨擦力也導致可觀的誤差。

(五)設計一套操作簡單，又較準確的裝置，來測定物體的瞬時速度和加速度。

⊖設計經過——有一天，我們發現實驗室裏的電學儀器感應線圈產生的高電壓「火花放電」可以將薄紙穿孔，於是我們將各種不同的紙張、布料及箔片等拿來試驗，發現蠟紙被打出的痕跡最明顯。（這是蠟瞬間熔化的結果）同時我們也想到利用唱機轉盤等速率轉動的性質，可以使感應線圈發生等時距的火花，利用這兩種器材，我們設計了一套測定物體加速度的裝置。

⊖測定裝置——⊖在唱機轉盤的外側，等間隔貼上四條等長的玻璃膠帶，每條長四公分，另固定兩條銅線於轉盤上。⊖次線圈的火花隙固定於跑道後端，使火花隙相距約0.5公分。

⊖使用直流電源器12伏特輸出與蓄電池12伏特並聯，作為電源。⊖將電源、感應線圈及電唱機轉盤之兩條銅線相互串聯，即完成裝置。

⊖測定原理——先以78轉之速率使轉盤轉動，將電源關閉後，轉盤外緣之銅絲接觸到膠帶，則形成斷路，若接觸到金屬部份，則形成通路，使火花隙發生火花放電，由於膠帶是等間隔黏貼，因此火花隙產生等時距的放電，使蠟紙通過火花隙，則被穿孔，並由於蠟熔化而留下一束束明顯的痕跡。

⊖測定過程——將蠟紙黏貼於滑車後端，滑車開始運動後即關上電源，使火花隙放電，於蠟紙上留下痕跡，再用尺量痕跡間的距離，共作四次。

⊖測定結果——以每束之前端為準，量出距離關係，由公式⊖換算成各時刻之瞬速度。

⑥討論—①火花放電法打出的每束痕跡，有許多不連續的小孔，連續兩小孔間的距離即為其最大誤差。但此誤差很小，由各點在誤差範圍內能連成一直線可以證實。②四次的平均加速度值都很接近，（ $24\text{公分}/\text{秒}^2$ ），又四條直線幾乎互相平行，表示測出的加速度值誤差很小。③由於滑車運動時，受到各種摩擦力的影響，例如空氣阻力隨滑車速率增加而增加。滑車之車輪各處由於構造不很勻稱，使受到的摩擦力略有不同，故摩擦力隨時間之不同而略有變化，因此在理論上，滑車雖受定力之作用，各時刻的加速度值，雖然接近，但不完全一樣。④也可以每束的後端為準，而量距離，根據實驗，各次的前端值與後端值算出的平均加速度幾乎相同。

三、總結論：

- (一)利用水鐘或振動計時器誤差太大，無法求出物體真正的加速度，使用火花放電裝置，能夠求出較準確的各時刻瞬時速度值及物體的加速度值，至兩位有效數字，誤差約僅4%。
- (二)由火花放電法測出各時刻的瞬時速度與時間成正比，證實滑車在定力作用下，確實作等加速運動。
- (三)使用火花放電法，由於操作簡單，又能測出較準確的加速度值，及各時刻的瞬時速度，若用來作為教具，代替水鐘及振動計時器，當可引起學生的興趣及增進教學效果。
- (四)測量加速度，雖可使用閃光照像，但此種裝置價格昂貴，操作複雜，致購置之學校甚少。一般國中的理化實驗室，普遍都有感應線圈，直流電源器及電唱機等儀器。利用這些器材組成或火花放電裝置，真可謂惠而不費，並且測定瞬時速度及加速度的難題，可迎刃而解。