

簡易加速度實驗裝置的設計

國中教師組物理第二名

臺北市立古亭女子國民中學

作者：楊訓庭、曾德育

一、動機：

每當教授“運動定律”此一單元，總覺得速度、速率、等速度、等加速度，永遠靜止，永遠作等速運動……等抽象概念，難以令學生了解，雖作實驗學生仍不能徹底領悟。

此章實驗固屬難作，實驗器材未臻理想也是一大原因。例如水鐘車測量加速度時學生就產生了下列問題。

(一)滴水是否定時？

(二)滴水的快慢與水量是否有關？

(三)水鐘車的機械摩擦有多少？

由於學生這一系列的問題，引起我們作深入的研究，改進實驗裝置，增進教學效果。

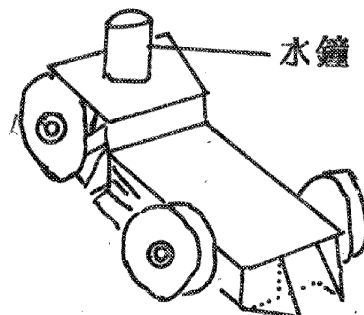
二、各種加速度實驗裝置之設計：

(一)水鐘車測定法：

1 原理：此乃把水鐘的滴水視為定時，當水鐘車在進行時，定時在紙上滴小水滴，事後比較水滴間的距離，以了解加速度的情形。

2 構造：如右圖。

3 實驗結果：



條件 間距	平面	5°	條件 間距	平面	5°	條件 間距	平面	5°	條件 間距	平面	5°
1	6	36	6	20		11	25		16	33	
2	10	75	7	21		12	28		17	37	
3	13	108	8	22		13	29		18	38	
4	15	146	9	23		14	30		19	41	
5	18	186	10	24		15	32		20	50	
備註	各加 20 克的砝碼，長度以公分計										

4. 討論：

- (1) 水鐘滴水未定時，依水鐘內的水量決定，故誤差大。
- (2) 計時有賴馬錶。
- (3) 水鐘車的速度不能太快，否則水滴會變形。
- (4) 由於構造及裝置的限制，斜面不得超過 5 度。
- (5) 課本上的水鐘加水，改用有顏色的墨水（如紅墨水、藍墨水）比較理想。

(二) 利用振動計時器測量法：

- 1 原理：利用定時的振動計，在紙條上留下的洞眼，及計時器每秒的振動次數計算出車行一段距離所需的時間，研究定時間與車行走距離的關係。

2 構造：如右圖

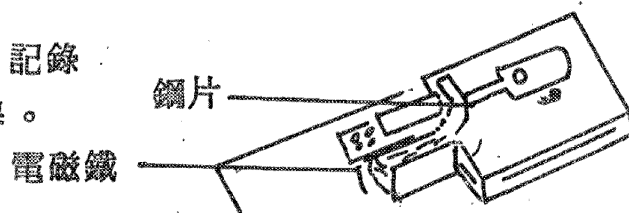
3 實驗結果：A、斜面

(1) 實驗材料：

斜面、力學台車、記錄紙帶、定時振動器。

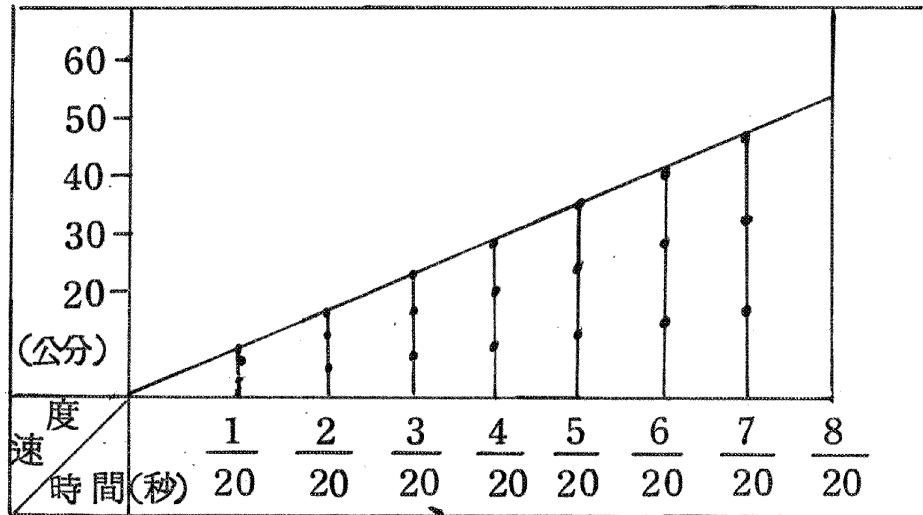
(2) 方法：

首先調整定時振動器之振動次數，經調整實驗約每秒 60 次，然後在紙



帶上留洞眼。

(3)實驗結果處理：將每三個間距為區間，分別畫出其長度，如下表：



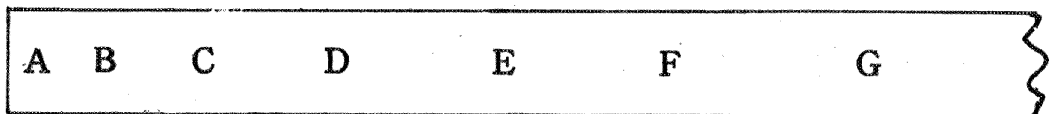
由上表線段頂點成一直線，可知時間與速度是成正比例增加。

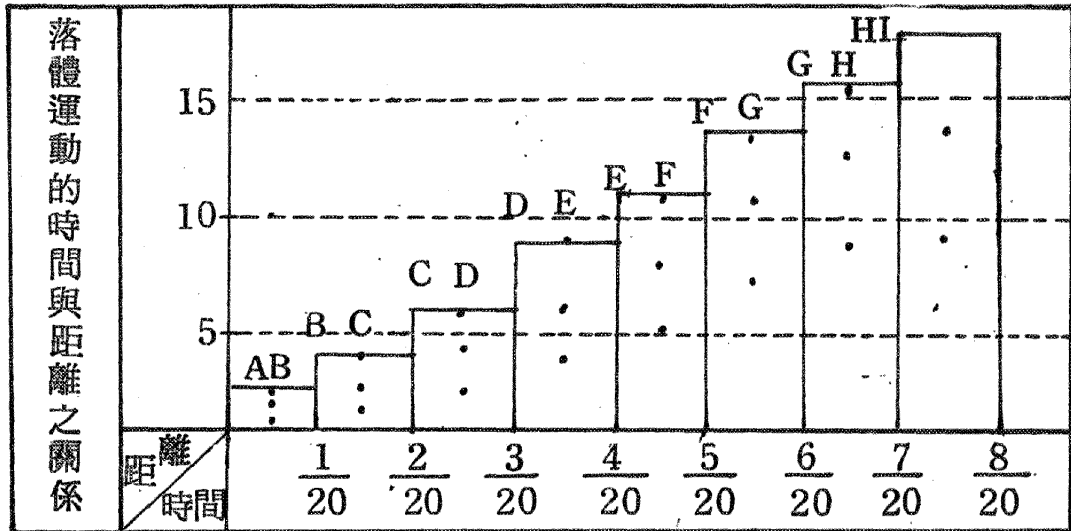
B、落體的運動

(1)實驗材料：略

(2)實驗方法：略

(3)實驗結果處理：將每三個洞眼為一區間標，為A、B、C、D……並分別畫出其長度如下表一，並計算其間距如下表二。然後再將資料變成每秒的速度，其情形如下表三，其圖表如表四，其落體的圖表如表五。





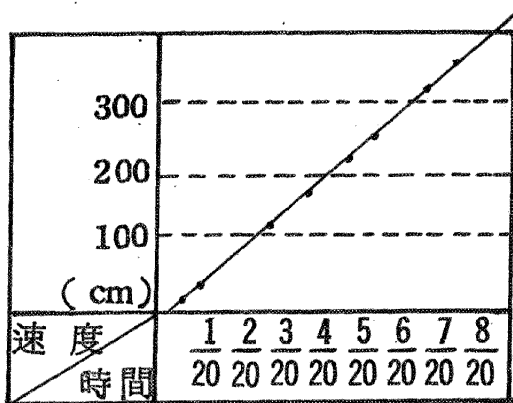
表一

區間	AB	BC	CD	DE	EF	FG	GH	HI
距離 cm	1.63	3.71	6.00	8.46	10.85	13.25	15.70	18.30

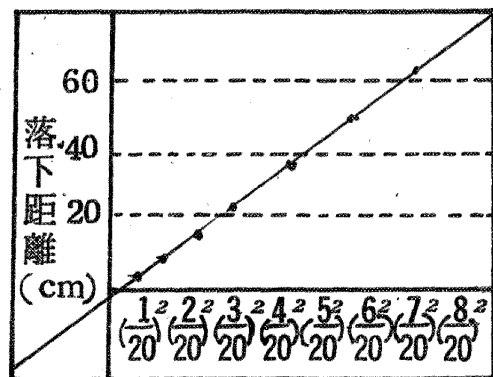
表二 落體運動區間距離

區間	A	B	C	D	E	F	G	H	I
各點通過時刻	0	$\frac{1}{20}$	$\frac{2}{20}$	$\frac{3}{20}$	$\frac{4}{20}$	$\frac{5}{20}$	$\frac{6}{20}$	$\frac{7}{20}$	$\frac{8}{20}$
平均速度 (cm/秒)	32.6	74.2	120	169.2	217	265	314	366	
打點時間 (秒)	$\frac{1}{40}$	$\frac{3}{40}$	$\frac{5}{40}$	$\frac{7}{40}$	$\frac{9}{40}$	$\frac{11}{40}$	$\frac{13}{40}$	$\frac{15}{40}$	

表三



表四 時間與速度的關係。



表五 落下距離與時間平方之關係。

4. 討論：

- (1) 結構簡單，易於自製。
- (2) 價格低廉。
- (3) 操作容易，學生易於了解。但控制不易，若是控制得好，落體運動加速度，可有如下結果：

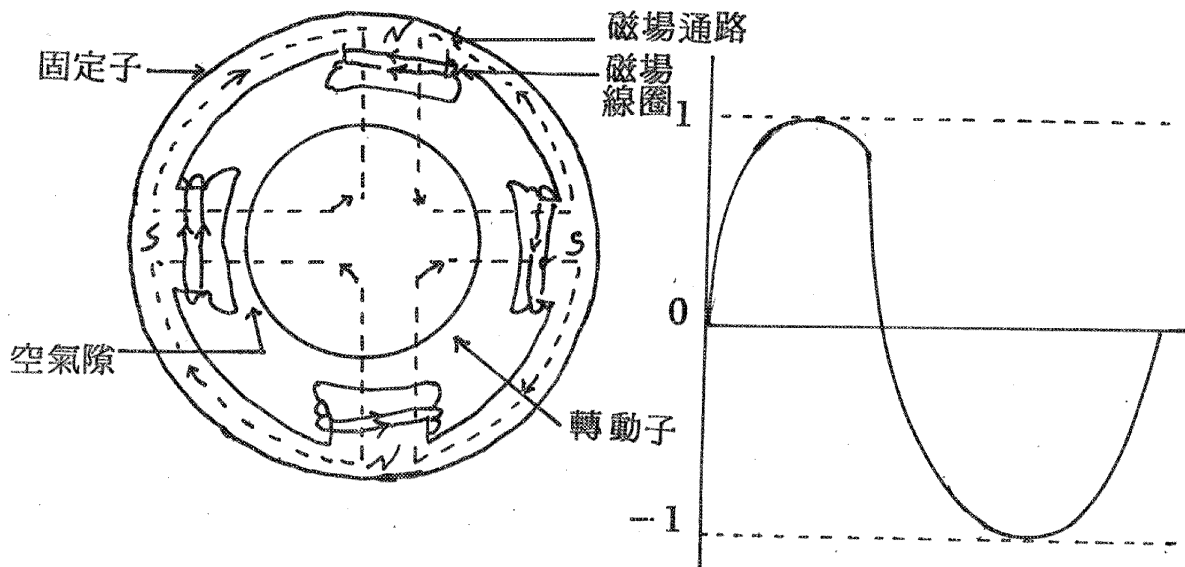
$$A = \frac{V_2 - V_1}{T_2 - T_1} = \frac{340 - 98}{\frac{7}{20} - \frac{8}{20}} = 968(\text{cm}/\text{sec}^2)。$$

- (4) 電磁鐵受電流之影響，有快慢之分，隨時要注意更換電池，否則並不定時，整個實驗會受影響。
- (5) 振動計時器之定時，有賴馬錶來測定，誤差大。
- (6) 課本上紙帶的洞眼用複寫紙作出，經實驗結果誠有困難，因為複寫紙打過三點之後就沒效，故改裝為下有橡膠板墊，用鐵尖端打洞而成，雖然無色，然洞眼明顯清楚。

(三) 電解測定法：

1 原理：

- (1) 一般交流發電機皆用線圈以等角速度，在一均勻磁場中轉動，即產生一正弦曲線形之交流電動勢。



圖一 四極交流發電機之圖解

圖二 交流電正弦波形

在上(一)圖中固定子之內圈均勻列置若干對磁極，在電樞之表面上有若干根導線，每當一根導線掠過磁場時，即在導線中感應出運動電動勢。而掠過北極時為一方向，掠過南極時則為相反之方向，所以均在端鈕間維持一正弦形之電位差，形如上圖(二)。在臺灣地區之交流電頻率為60週/秒，但每一週期 $\frac{1}{2}$ 為正， $\frac{1}{2}$ 為負。

(2)利用碘化鉀與澱粉的混合液，當碘化鉀遇電分解成碘離子及鉀離子，而碘離子遇澱粉即變成藍色。

2. 實驗材料：碘化鉀、澱粉、斜面軌道、鋼球。

3. 實驗裝置：略。

4. 實驗方法：

(1)混合液成分，碘化鉀 20%，澱粉 10%。

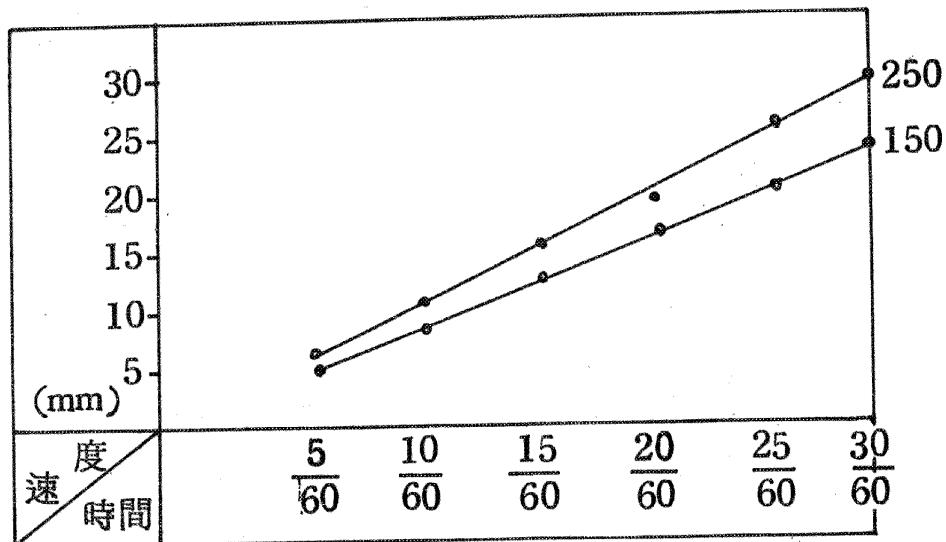
(2)將不伸縮布及紙泡入混合液內，再取之鋪於斜面上。

(3)將特製輪子滾下，即可見深藍色的線段，如下圖。



5. 結果處理：依原理(1)可知，每一線段的時間為 $\frac{1}{120}$ 秒，而空白部份為 $\frac{1}{120}$ 秒，由此可知由線段中點到次一線段的時間為 $\frac{1}{60}$ 秒，所以先量過藍色線段中點之距離長度，記入下表。

時間	角度		時間	角度		時間	角度	
	15°	25°		15°	25°		15°	25°
1 / 60	2.5	3.5	11 / 60	10	11.5	21 / 60	17.5	20.5
2 / 60	3.5	4.0	12 / 60	11	12.5	22 / 60	18.5	22
3 / 60	4	4.5	13 / 60	11.5	13.5	23 / 60	19.5	23.5
4 / 60	4.5	5.2	14 / 60	12.5	14.5	24 / 60	20	24.5
5 / 60	5.5	6	15 / 60	13	15	25 / 60	20.7	25.5
6 / 60	6.5	7	16 / 60	13.5	16	26 / 60	21.5	26.5
7 / 60	7.0	7.5	17 / 60	14	16.5	27 / 60	22	27
8 / 60	8.0	9	18 / 60	15	17	28 / 60	23	27.5
9 / 60	8.5	10	19 / 60	16	18	29 / 60	24	29.2
10 / 60	9.0	11	20 / 60	17	19	30 / 60	25	30.5



由上表可知滾下的速度與距離成正比。

6. 討論：

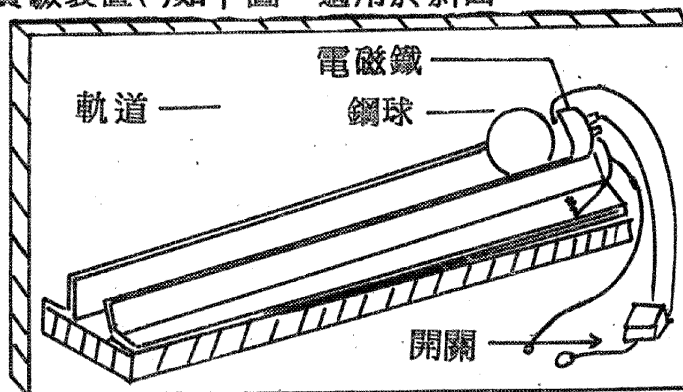
- (1)計時準確，精密度到 $1/60$ 秒。
- (2)裝置簡單，效果良好。
- (3)可讓學生了解電解的原理，
 $KI \rightleftharpoons K^+ + I^-$ 。
- (4)可作為交流電與直流電區別的說明裝置。
- (5)唯一不方便者，就是弄得濕濕的，感覺很不舒服。

(四)電擊式測定法：

1 原理：

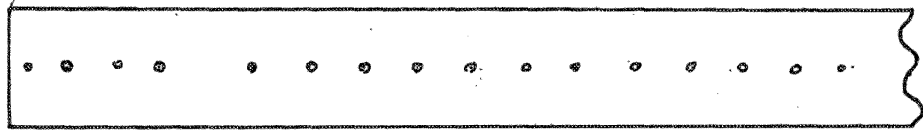
- (1)利用台灣地區交流電為 60 Hz，詳如電解測定法之原理(1)。
- (2)利用變壓器將電壓升高到 5000 V，則正負電接近就放電，在紙上留下一系列的痕跡一小洞。但普通用的紙洞口很小，不易觀察，故採用一種表面有腊的紙，當放電時稍微高溫，把原來洞口的腊熔化，使洞口加大更加顯著，易於研究。

2 實驗裝置(一)如下圖，適用於斜面。



(1)實驗器材：腊紙、斜面軌道、鋼球、變壓器一只（可將電壓升高至 5000V）。

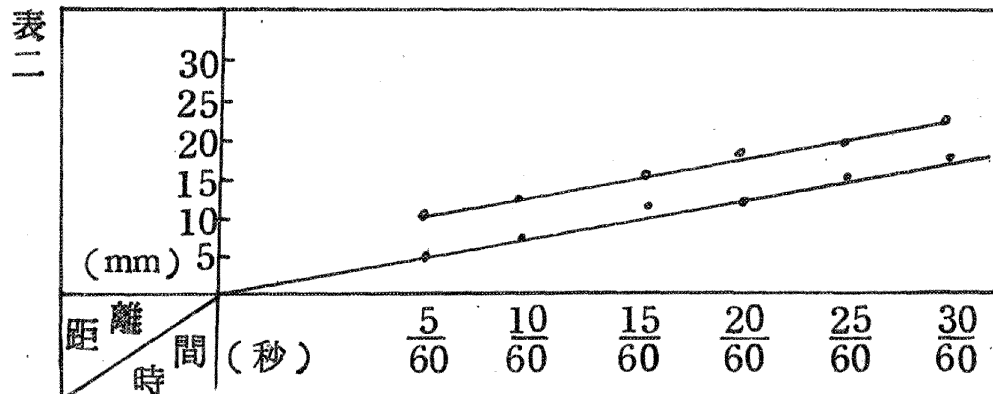
(2)實驗方法及結果的處理：在軌道上鋪一張腊面紙，輸入 5000 V 電壓，將鋼球由斜面上方滾下，即得



依次我們做出 25°, 15° 的實驗，然後選擇一段量出點距填入下表一中，然後再將其資料圖表比如下表二。

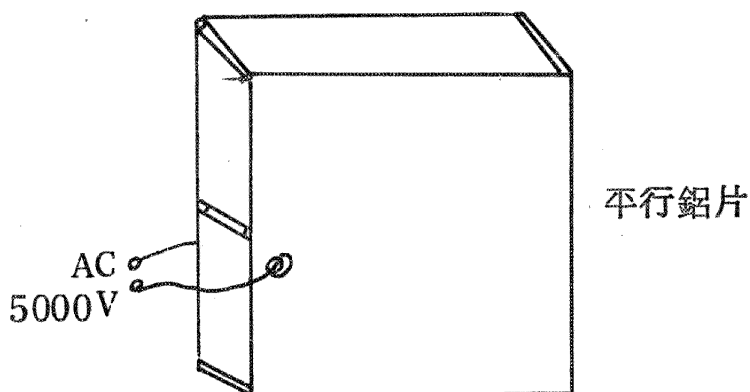
表一

洞距	條件		洞距	條件		洞距	條件		洞距	條件	
	25° mm	15° mm		25° mm	15° mm		25° mm	15° mm		25° mm	15° mm
1	9.0	5.0	9	12.3	8.3	17	15.3	11.7	25	18.4	14.5
2	9.4	5.3	10	12.8	8.7	18	15.8	12.0	26	18.7	15
3	10	5.7	11	13.5	9.2	19	16.0	12.4	27	19	15.3
4	10.5	6.2	12	13.9	9.6	20	16.3	12.7	28	19.2	15.9
5	10.9	6.6	13	14.3	9.9	21	16.8	13.1	29	19.5	16.1
6	11.3	7.0	14	14.5	10.4	22	17.1	13.5	30	20	16.5
7	11.6	7.5	15	14.8	10.9	23	17.5	13.7			
8	12.1	7.9	16	15	11.3	24	18	14.1			



由上表可知，時間與滾下的速度成正比。

3. 裝置(二)如下圖，適應於落體運動。



(1) 實驗器材：平行鋁片一組（中間要絕緣），腊紙，變壓器一只（可將電壓升高為 5000 V），鋼球一只。

(2) 實驗方法及結果的處理：

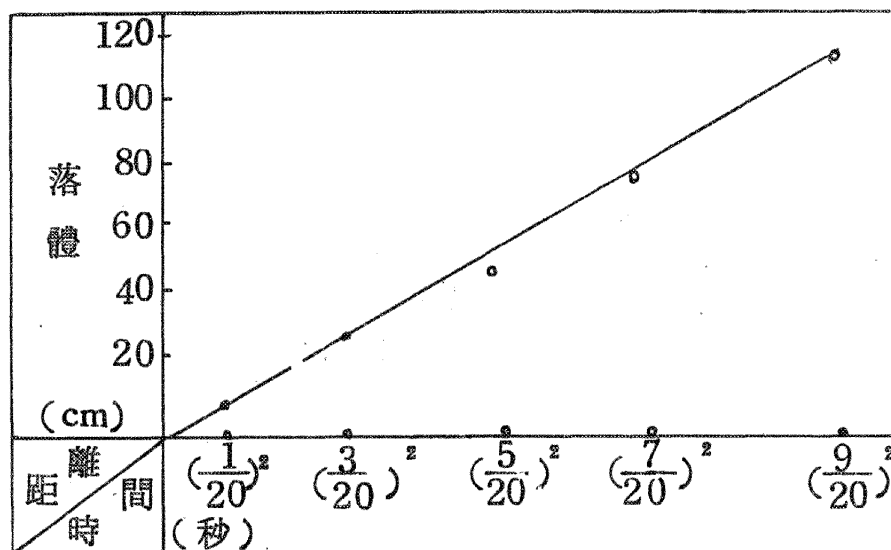
A、方法：在平行而絕緣的鋁片組中間一面放一張腊紙，輸入 5000 V 電壓，將鋼球投入縫內自由落下，即在腊紙上留下一系列洞。如下圖



B、結果的處理：首先我們量出每二洞間之距離如表一，將落體距離與時間平均關係如表二。

洞 距	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
時間 (秒)	$\frac{1}{20}$	$\frac{2}{20}$	$\frac{3}{20}$	$\frac{4}{20}$	$\frac{5}{20}$	$\frac{6}{20}$	$\frac{7}{20}$	$\frac{8}{20}$	$\frac{9}{20}$	$\frac{10}{20}$
長度 (cm)	1.1	3.6	6.0	8.6	10.5	11.7	17.5	18.2	20.7	22.6

表二



4. 討論：

- ① 結構簡單。
- ② 操作方便，易於控制。
- ③ 計時準確，精密到 $1/60$ 。
- ④ 無須馬錶計時。
- ⑤ 在落體運動時，因受摩擦及高溫接觸而熔化吸引的影響，其K值 960 cm/sec^2 。

$$1.2 = \frac{1}{2} \cdot K \left(\frac{1}{20}\right)^2, \therefore K = 960 (\text{cm} / \text{sec}^2)$$

三、結論：

由上面四種簡易加速度的實驗裝置而言，除第一種水鐘車使用範圍有限，準確性較差之外，其餘三種，可謂各俱有優劣點，茲將其列表比較如下：

類別	計時準確	裝置結構	操作	實驗效果 視操作情形	價格	其他
振動計時器	○	○○○	○	○○○	○○○	
電解法	○○○	○○○	○○	○○○	○	可作交直流電說明器
電擊法	○○○	○○○	○○○	○○○	○	
備註	以圓圈代表優劣					

由上表觀之，振動計時器是一種符合經濟原則的教具，但其變因甚多，不易控制，誤差自然較大。而電解法較佳，電擊法最佳。

加速度的實驗裝置，除上面四種之外，尚有隙門式照相法，反射鏡照相法，及近代電子儀器來計算，都是很理想的教具，但不適用於國中程度教學。