

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030102

臺北縣立蘆洲國民中學

指導老師姓名

郭春華

陳重光

作者姓名

張瑜珍

葉玉雯

李君怡

彭郁欣

## 壹、摘要

緣自於康軒版自然與生活科技第 3 冊第一章的活動 1-4，有關單擺週期的介紹，也因老師的提問---將單擺裝置移至月球上，週期會如何改變？因此展開此次的研究：首先，我們利用定滑輪及鐵塊設計了可以改變加速度的裝置，以便單擺能在不同加速度系統下擺動。我們以高速閃光燈及單眼照相機拍下在加速度系統下擺動的乒乓球，以便分析加速度及週期之間的關係，爲了測量快速運動物體移動的時間，我們將電子碼錶拆解，並分析它的計時是如何運作，因此我們從電子碼錶內接出三條電線，利用這三條電線的通電與否，可以開始及結束計時，就如同光電計時器般，利用這個裝置，我們可測出加速度的大小。

## 貳、研究動機

在單擺週期討論中，因自然老師的一個提問-----將單擺裝置移到月球上，週期會如何改變呢？我們只知道單擺週期和擺長有關，至於單擺週期在月球上會如何改變，則是全無概念，爲了尋找答案，我們便展開了此次的研究之旅。

## 參、研究目的

- 一、設計可以改變加速度的裝置。
- 二、系統加速度的測量。
- 三、透過單擺擺動軌跡的拍攝以便分析週期的大小。

## 肆、研究器材

250 公分高的木櫃、定滑輪、鐵塊（各 1.3 公斤）10 個、螺紋鐵棒、灌矽膠的乒乓球、高速閃光燈、Nikon FM2 單眼相機、相機腳架、軟墊（海綿墊）、黃銅線、碼錶、感光度 400 的底片、鐵尺。

## 伍、研究步驟與結果

實驗一：設計可以改變加速度的裝置。

(一)說明：

- 1.爲了模擬在不同重力下，單擺如何擺動，我們必須設計出一個能改變加速度的系統裝置，讓單擺能在此系統下擺動。
- 2.爲了避免加速度系統晃動，我們特別至鐵工廠訂製重達 1.3 公斤的鐵塊 10 個當作砝碼，以增加運動時的穩定度。另外，擺錘的質量必須輕點，且爲了便於拍攝，擺錘的體積也必須稍大些，因此我們選擇以灌矽膠的乒乓球作爲擺錘。

(二)步驟：

- 1.將 2 組定滑輪固定在有螺紋的圓柱鐵棒上，並用螺絲固定定滑輪；再將此

裝置固定在高 250 公分的木櫃上，且用黑紙貼滿木櫃。如照片（一）



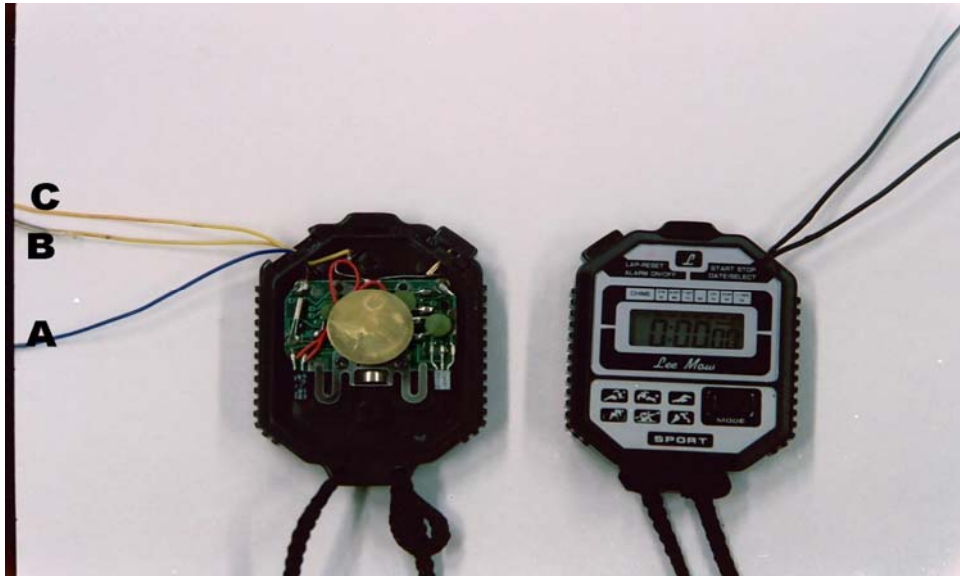
照片(一)加速度裝置圖

- 2.取 1 條長約 3 公尺的黃銅線，繞過二組定滑輪；並在黃銅線二端分別繫上不同重量的鐵塊，即可改變系統不同加速度。
- 3.在直徑 40 公釐的乒乓球挖一個小洞，從小洞中灌入矽膠，並在洞口做一個吊鉤，等矽膠乾後即可作為擺錘。
- 4.在乒乓球吊鉤處綁上綿線，擺長調整為 50 公分；並將綿線另一端固定在左側鐵塊下端。
- 5.調整兩側鐵塊不同數量，在啓動它以等加速度降下之瞬間，砝碼下的單擺同時擺動，即可使單擺在不同加速度系統下擺動。

實驗二：加速度的測量。

(一)說明：

- 1.疑惑：在落下時間不到 0.5 秒之下，要用電子碼錶準確測出時間，是個高難度的考驗。
- 2.曙光：光電計時器可解決此問題，但因太貴無法購買而放棄。
- 3.問題解決：將電子碼錶拆解如照片（二），研究它開始及結束計時如何運作；我們發現它是由電流的通路和斷路來控制，因此我們從電子碼錶接出 3 條電線，分別為 A、B、C；當 A、B 接觸時，即可開始計時，A、C 接觸時，便結束計時，就如同光電計時器般。

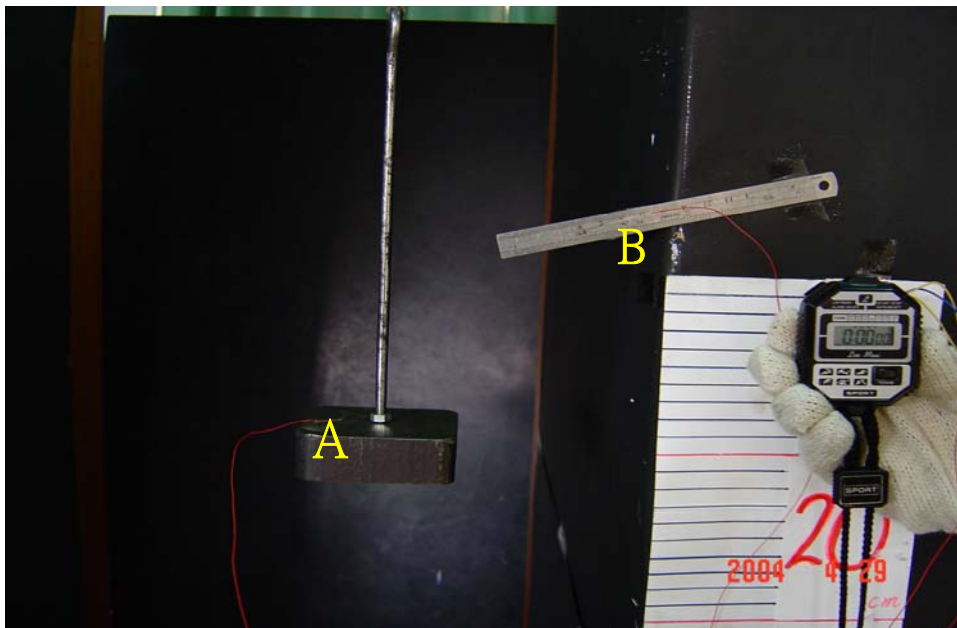


照片(二) 電子碼錶拆解圖

4. 無阻力下加速度  $a$  的計算：不考慮任何阻力情況下，由牛頓第二運動定律  $F=ma$  知  $(M-m)g=(M+m)a$  因此可算出理論值的  $a=(M-m)/(M+m)*g$
5. 實驗值  $a$  的計算：由運動公式  $S=V_0*t+1/2*a*t^2$  知  $a=2S/t^2$

(二) 步驟：

1. 裝置如照片(一)，在左側的鐵塊架上放置 5 個鐵塊，右側的鐵塊架上放置 4 個鐵塊；並用手支撐，使系統維持在靜止狀態。
2. 將電子碼錶的 A 電線固定在右側鐵塊的上端，B 電線固定在距離鐵塊上端約 2 公分處，並將 C 電線固定在距 B 電線上方約 100 公分處，如照片(三)；將手鬆開，系統即以加速度上升，且碼錶也在同時間開始計時，並測出時間。



照片(三) 加速度測量裝置圖

3.分別將左邊及右邊鐵塊調整為【(三，二)、(二，一)、(五，二)、(三，一)、(四，一)】，並測出每一組實驗的時間；且每一組實驗都重複數十次，所得結果如表(一)。

(三)、結果：

組別	鐵塊數量	時間(秒)				平均時間(秒)	平均加速度a( m/s <sup>2</sup> )	無阻力下加速度值a( m/s <sup>2</sup> )
1	(五，四)	1.88	1.85	1.88	1.88	1.87	0.57	1.08
		1.85	1.87	1.86	1.87			
2	(三，二)	1.19	1.19	1.19	1.19	1.17	1.46	1.92
		1.15	1.19	1.13	1.15			
3	(二，一)	0.91	0.91	0.93	0.93	0.91	2.42	3.15
		0.90	0.90	0.90	0.91			
4	(五，二)	0.78	0.75	0.78	0.81	0.79	3.20	4.07
		0.84	0.78	0.78	0.78			
5	(三，一)	0.72	0.69	0.68	0.72	0.69	4.20	4.77
		0.69	0.69	0.69	0.68			
6	(四，一)	0.62	0.62	0.63	0.62	0.62	5.20	5.76
		0.63	0.63	0.62	0.62			

表(一)不同重量下的加速度值

- 1.由表(一)可知：定滑輪兩側質量差距愈大，則系統的加速度也會愈大。
- 2.由表(一)也可知：由實驗所得到的加速度都比無阻力下所算出的加速度為小。
- 3.鐵塊總重量愈重，造成定滑輪摩擦阻力愈大，所得兩者加速度的差距也愈大。

實驗三：單擺擺動軌跡的拍攝。

(一) 說明：

- 1.爲了測出單擺擺動的週期，我們使用高速閃光燈爲光源；以單眼相機及快門線拍下單擺擺動的軌跡。
- 2.爲了增加實驗的準確性及便於拍攝，單擺擺長設定爲 50 公分，其落下距離也約 50 公分；我們估算過：擺長 50 公分，降下時間約 1.5 秒，而乒乓球落下距離 50 公分，時間約 0.3 秒；因此我們將快門控制在 1 秒，高速閃光燈爲 1200rpm；在此條件下，至少能攝下 1/4 週期，而影像約 6~10 個。
- 3.實驗值週期的計算：高速閃光燈閃爍頻率 1200rpm，故知相鄰影像間隔爲 1/20 秒；因此只要算出相片中影像個數，即可算出週期大小。

4.理論值週期的計算：由 $T=2\pi(l/g)^{0.5}$ 可算出。

## (二) 步驟

- 1.裝置如照片(四)，將照相機光圈調至最大，快門調至 1 秒，並以快門線控制快門，以避免相機晃動。



照片（四）週期測量裝置圖

- 2.將高速閃光燈調至 1200rpm，並盡量靠近乒乓球，使乒乓球有足夠的亮度曝光。
- 3.打開高速閃光燈開關使其閃爍，並啓動實驗（一）之裝置，在落下瞬間以快門線按下快門，即可拍下乒乓球運動的軌跡。
- 4.分別將左邊及右邊鐵塊調整為【(四，一)、(三，一)、(五，二)、(二，一)、(三，二)、(五，四)、(四，五)、(二，三)、(一，二)、(二，五)、(一，三)、(一，四)】；並拍下乒乓球運動軌跡，如照片(五)至照片(十六)。
- 5.分析乒乓球運動的軌跡及算出擺動 1/4 週期的影像數，即可知道單擺擺動的週期；結果如表(二)。

## (三) 結果：



照片(五)：(四，一)  
 $a=4.60\text{m/s}^2$ ;  $T=1.74$  秒



照片(六)：(三，一)  
 $a=5.60\text{m/s}^2$ ;  $T=1.66$



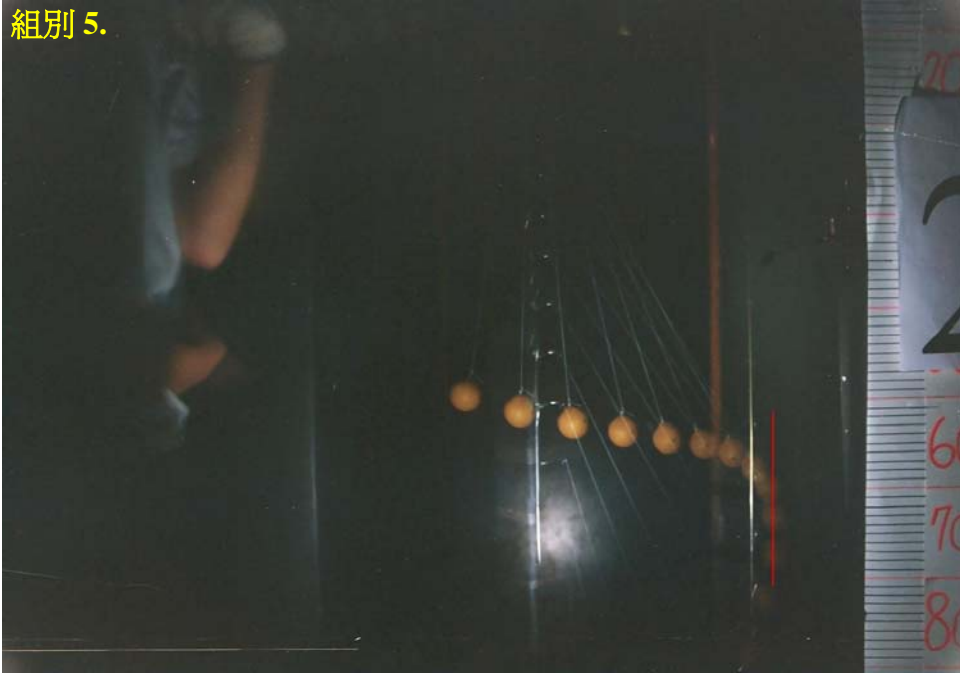
照片(七)：(五，二)  
 $a=6.60\text{m/s}^2$ ;  $T=1.64$  秒



照片(八)：(二，一)  
 $a=7.38\text{m/s}^2$ ;  $T=1.56$  秒



組別 5.



照片(九)：(三，二)  
 $a=8.34\text{m/s}^2$ ;  $T=1.52$  秒

組別 6.



照片(十)：(五，四)  
 $a=9.23\text{m/s}^2$ ;  $T=1.42$  秒

組別 7.



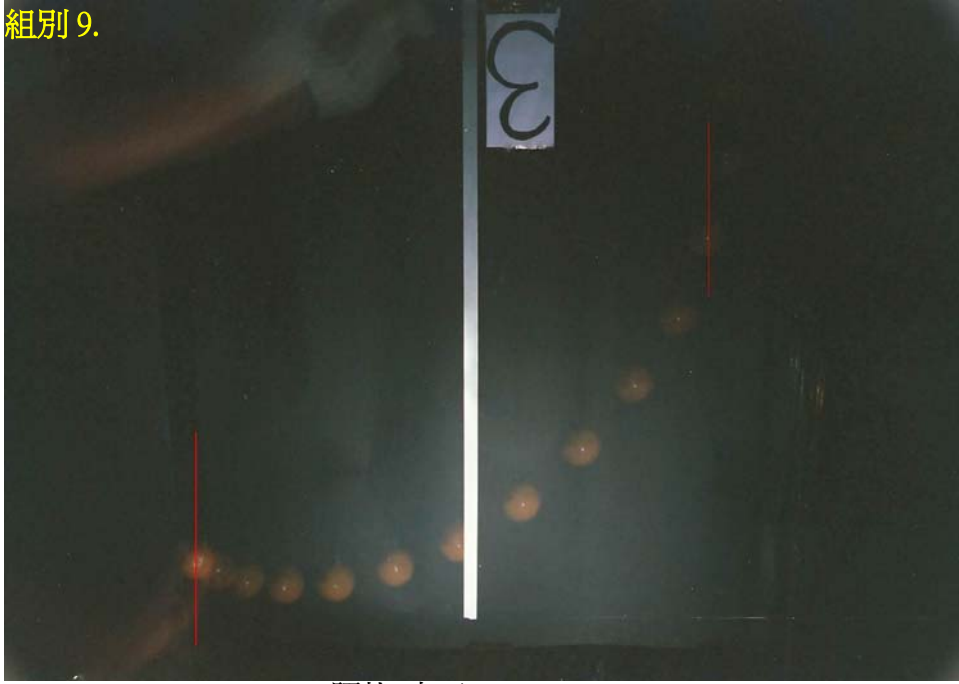
照片(十一)：(四，五)  
 $a=10.37\text{m/s}^2$ ;  $T=1.40$  秒

組別 8.



照片(十二)：(二，三)  
 $a=11.26\text{m/s}^2$ ;  $T=1.30$  秒

組別 9.



照片(十三)：(一，二)  
 $a=12.22\text{m/s}^2$ ;  $T=1.24$  秒

組別 10.



照片(十四)：(二，五)  
 $a=13.00\text{m/s}^2$ ;  $T=1.22$  秒

組別 11.



照片(十五)：(一，三)  
 $a=14.00\text{m/s}^2$ ;  $T=1.20$  秒

組別 12.



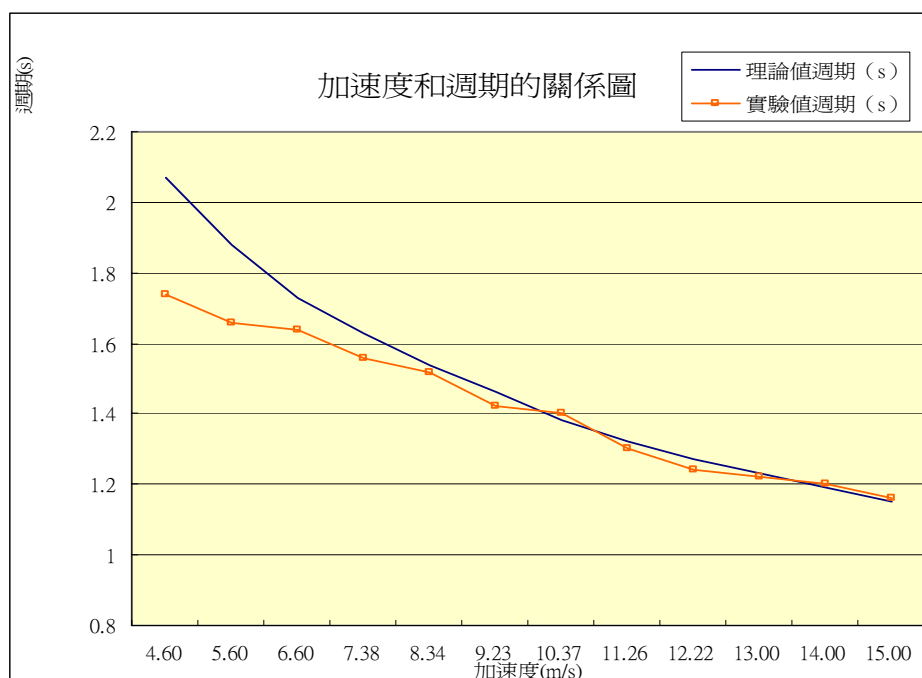
照片(十六)：(一，四)  
 $a=15.00\text{m/s}^2$ ;  $T=1.16$  秒

1.由照片中所拍下乒乓球運動軌跡可算出週期及加速度如下表：

組別	鐵塊數量	系統加速度 ( $m/s^2$ )	單擺加速度【重力加速度 $\pm$ 系統加速度】( $m/s^2$ )	實驗值週期 (s)	理論值週期 (s)
1	(四,一)	5.20	4.60	1.74	2.07
2	(三,一)	4.20	5.60	1.66	1.88
3	(五,二)	3.20	6.60	1.64	1.73
4	(二,一)	2.42	7.38	1.56	1.63
5	(三,二)	1.46	8.34	1.52	1.54
6	(五,四)	0.57	9.23	1.42	1.46
7	(四,五)	0.57	10.37	1.40	1.38
8	(二,三)	1.46	11.26	1.30	1.32
9	(一,二)	2.42	12.22	1.24	1.27
10	(二,五)	3.20	13.00	1.22	1.23
11	(一,三)	4.20	14.00	1.20	1.19
12	(一,四)	5.20	15.00	1.16	1.15

表(二)加速度和週期的關係

2.由表(二)可知，加速度愈大單擺的週期就愈小，加速度愈小單擺的週期就愈大。



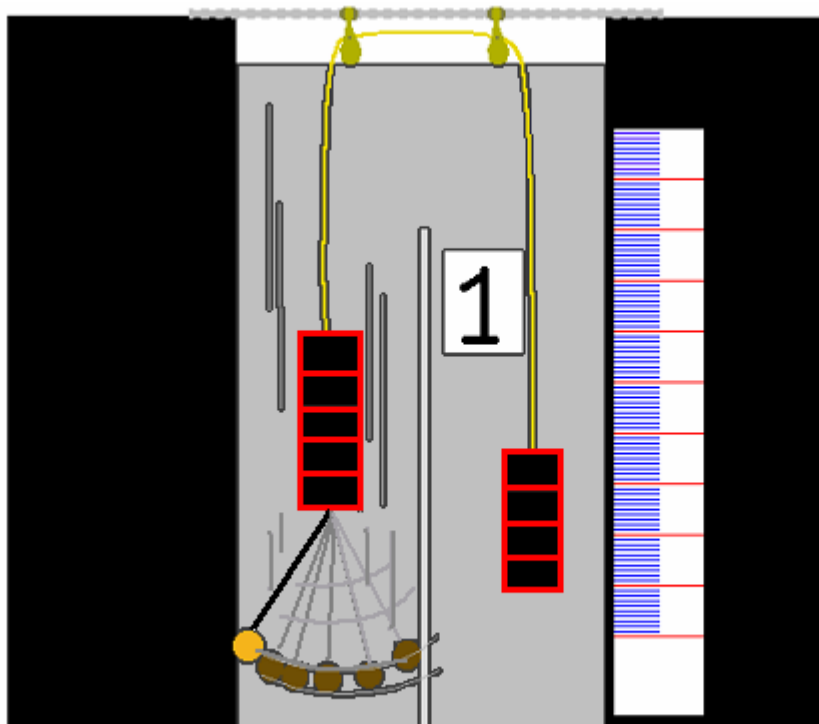
圖(一)加速度和週期的關係圖

3.由圖(一)可更清楚看出週期大小會隨著加速度大小改變，而理論值和加速度值也非常接近。在加速度較大時，單擺實驗值與理論值週期非常接近；而在加速度較小時，則有較大的差距。

## 六、研究討論

### 一、加速度系統的分析：

- (一)如圖(二)，當右側砝碼較重時，系統會以順時鐘方向產生加速度運動，此時乒乓球也會跟著產生一個向上的加速度；在此狀況下的乒乓球，除了受到重力外，也會受到系統向上的拉力；就如同電梯瞬間向上時，雙腳也會承受一股額外的力量，故此時乒乓球所受的力較地球重力大，如同處在一個引力較地球大的星球般。



圖(二) 加速度裝置圖

- (二)反之，當左側砝碼較重時，此時乒乓球所受的力較地球重力小，就如同處在一個引力較地球小的星球般；如在月球上。
- (三)電子碼錶裝置：利用通路和斷路與否，可控制開始與結束計時，它可測量至秒的下二位，若系統速度較慢，會有連碰兩次的問題；反之，若系統速度太快，則碰觸後碼錶並無反應，故每個數值必須反覆數十次的測量才能得到其結果。
- (四)摩擦阻力問題：由 $a=2S/t^2$ 所得到的實驗值加速度和由 $a = (M-m)/(M+m)*g$ 所得到的理論值加速度，都有大小不同程度的差距，這是因為定滑輪轉動時受摩擦阻力所造成的，而我們也觀察到鐵塊愈重時，兩者差距也愈大。這是因為鐵塊重量愈大，造成定滑輪摩擦阻力就愈大。

### 二、單擺週期的分析：

- (一) 裝置問題：對於利用高速閃光燈及單眼相機拍下鐵塊快速落下擺動的乒乓球軌跡，是件很辛苦的事，因為必須考慮亮度是否足夠使底片曝光完全，因此我們採用感光度 400 的底片，而相機距離裝置也拉近至 50 公分

處，至於高速閃光燈閃爍頻率必須多少才能留下足夠多的影像以便分析，也是問題之一，而本次實驗中高速閃光燈的閃爍頻率為 1200rpm 照片中約可留下 6~10 個影像數。至於快門線的操控、何時該將裝置放手？及何時放下單擺？也都要反覆練習以培養默契，因此，底片的消耗，沖洗費用，都很可觀。

(二) 誤差問題：由影像數所算出的實驗值週期及由  $T=2\pi(l/g)^{0.5}$  所得到的理論值週期，也有大小不同程度的誤差，這是因為手放下單擺與按下快門的時間無法同步及 1/4 週期影像數估算所產生的，至於在(六、一)、(八、一)的實驗中，因為速度太快且曝光不足而捕捉不到完整的 1/4 週期的影像，故未將其列入實驗結果中。

## 柒、研究結論

- 一、加速度系統中，用來改變加速度的大鐵塊(重達 1.3kg)及單擺使用灌矽膠的乒乓球以增加重量，都可減少系統的晃動，以增加實驗的準確度。
- 二、電子碼錶稍加改裝，即可取代光電計時器的功能，既實用又有創意。
- 三、利用高速閃光燈、單眼相機及快門線，可拍攝到鐵塊快速落下而擺動的乒乓球擺動軌跡，在週期的測量中，該是最佳拍擋。
- 四、本次實驗高速閃光燈的閃爍頻率為 1200rpm，單眼相機光圈為 3.5，快門為 1 秒。
- 五、乒乓球往上產生加速度時，就如同處在引力較地球大的星球。
- 六、乒乓球往下產生加速度時，就如同處在引力較地球小的星球。
- 七、在加速度系統靜止時，也就是加速度為  $9.8\text{m/s}^2$ ，擺長 50 公分時，此時單擺的週期為 1.4 秒。
- 八、系統往上產生的加速度時，也就是加速度大於重力加速度  $9.8\text{m/s}^2$ ，單擺的週期都會小於 1.4 秒，在加速度為  $15.00\text{m/s}^2$ ，單擺週期已減少為 1.02 秒。
- 九、系統往下產生加速度時，也就是加速度小於重力加速度  $9.8\text{m/s}^2$ ，單擺的週期會大於 1.4 秒，在加速度為  $4.6\text{m/s}^2$ ，單擺週期已增加至 1.70 秒。
- 十、至於在月球上單擺的週期為何，則是我們無法測出的，主要原因是加速度需要很大，影像的捕捉非常的困難，這該是我們的遺憾。
- 十一、加速度測量所產生的差距，主要是來自於定滑輪轉動時所產生的摩擦阻力。且鐵塊重量愈重，摩擦阻力愈大，兩者差距也就愈大。
- 十二、測量週期所產生的誤差，主要是來自於放下乒乓球的手與按下快門及影像的線無法同步所造成的。

## 捌、感想與展望

這是一個充滿歡笑的科學之旅，因老師的一句話，而使我們陷入瘋狂追夢之中。我們為了使快速落下的單擺可以穩定擺動，訂做了重達 1.3kg 的大鐵塊，而它落下的撞擊力，可說是石破天驚，嚇壞了我們幾個小女生；為了準確測量時間，

我們將電子碼錶改裝，效果就如同光電計時器般，這該是我們的傑作；至於利用高速閃光燈、單眼相機捕捉快速落下而擺動的單擺，因為必需同步，因此這也是培養我們默契的最佳機會。經腦力激盪、默契培養、創意激發，是本次科展的最大收穫。關於展望，我們則是希望能製作出有軌道的加速度系統，就如同電梯般，使測量結果更加穩定。至於週期的測量，也考慮以數位相機中十六連拍的技巧取代單眼相機，除可節省底片資源上及時間的浪費，並能再拍攝後立即看到乒乓球的擺動軌跡，以便做即時的修正，讓實驗裝置更趨於完美。

## 玖、參考資料

- 一、康軒文教事業，康軒版自然與生活科技，92年9月初版，第三冊第一章（時間的測量）活動 1-4 p.18~p.19，92年9月。
- 二、國立編譯館，國中理化第四冊，正式本初版四刷，15-4（加速度）p.22~p.26，16-4（牛頓第二運動定律）p.46~p.49，93年1月。
- 三、國立編譯館，高中物理課本，第三版，第一冊第二章 p.23~p.25，76年8月。



## 評語

030102 國中組物理科 第三名

單擺週期的疑惑-不同重力下單擺週期的改變

本作品的優點是利用自行設計的裝置及儀器，探討單擺週期和重力加速度的影響。研究問題的動機若改為電梯升降或汽車加速等，當更符合日常生活情境。實驗操作中最大的困難在於幾個動作是否確實同步，不能只靠學生之間的默契，而應在儀器裝置上有所改進。