

作品名稱：「無線」喜悅

國中組 物理科 第一名

縣市：雲林縣

作者：蔡可威、劉家銘、  
高佳駿、吳岱融

校名：雲林縣立雲林國民中學

指導老師：尤佐丞、林秀玲

關鍵詞：測量法、電磁絨布、加速度



# 「無線」喜悅

## (利用電線並聯-電磁-絨布在三種無線式測量法的研究)

### 一、研究動機:

在一次校內科學研習中，欣賞了去年學長的科展作品，其中一件做重力加速度的測量法，用二條線把鐵球和複擺連接，再利用磁鐵吸住一塊軟鐵，上下把兩條線壓住，關掉電磁鐵電源開關，使鐵球和複擺同時動作，因“有線”故，在操作過程中，發現諸多缺失，我們想如果能無線，不知有多好，因此我們再努力研究，精益求精，並應用其原理在其他相關的測量上，於是我們便做了下面系列的研究。

### 二、研究目的:

- (一)、利用電磁、絨布、複擺、自由壓頂及電線並聯方式設計無線式、永久、簡易、精準、易測量的重力加速度、動摩擦係數、滑車實驗(驗證牛頓第二運動定律)三種測量法，三合一的測量儀。
- (二)、比較本設計實驗(實驗組)與另一利用光電管(對照組)測量實驗，各方面優劣。
- (三)、以此研究改進或補充國中課本實驗之缺失。

### 三、研究器材:

- (一)、**無線式重力加速度測量實驗**:三合一測量儀的重力加速度測量器部份:電磁鐵 x2、包絨布廢電池 x1、貼絨布複擺 x1、直流電源供應器 x1。
- (二)、**無線式動摩擦係數測量實驗**:三合一測量儀動摩擦係數測量部分:電磁鐵 x2、絨布 x1、複擺 x1、斜面 x1、無輪圓盤滑車 x1、粗細砂紙 x1
- (三)、**無線式滑車實驗**:三合一測量儀滑車實驗部分:電磁鐵 x2、絨布 x1、複擺 x1、斜面 x1、滑車 x1。

### 四、研究過程:

#### (一)、無線式重力加速度測量實驗:

##### 1. 複擺型實驗組:

- (1) 使用無線式電磁實驗裝置。
- (2) 把包母面絨布電池一端黏上軟鐵片，複擺貼上公面絨布及一端黏上軟鐵片。
- (3) 複擺擺動十次，求十週期所費的時間，重複十次並求週期 T 的平均值。
- (4) 把兩塊電磁鐵用電線並聯，接於直流電源，一塊磁鐵置於頂端，一塊置於側端。
- (5) 打開電磁鐵電源開關，使廢電池及複擺同時被吸住。
- (6) 關掉開關，廢電池自由落下和複擺擺動同步動作(因並聯故)，等複擺擺到垂直面，剛好擺了四分之一週期，此時廢電池正好和複擺公面絨布相碰而黏住，測量電池在 T/4 落下的距離 h。
- (7) 重複(5)(6)十次，並求 h 平均值及 g 值， $g=2h/(T/4)^2$

##### 2. 光電型對照組:

- (1) 把光電計時器的啓動組，儘量靠近電磁鐵，停止組置於下方 61.5 公分處。
- (2) 用鉛垂線使鐵球能通過啓動組和停止組。
- (3) 打開電磁鐵開關，使電磁鐵吸住小鐵球。
- (4) 關電磁鐵開關，使小鐵球自由落下，並通過啓動組及停止組狹縫，記錄所費的時間。
- (5) 重複(3)(4)步驟十次，並求 t 平均值及 g 值  $g=2h/t^2$ 。

#### (二)、無線式動摩擦係數測量實驗:

##### 1. 複擺型實驗組:

- (1) 調整三合一自製儀器斜面比例為 5:4:3，仰角  $53^\circ$ 。
- (2) 滑車底部黏上牛皮紙，邊緣黏上絨布母面，上緣黏上一塊小軟鐵片，頂端電磁鐵及側邊電磁鐵並聯接於直流電源供應器。
- (3) 測量複擺十週期所費之時間，求出 T 平均及 T/4 值。

- (4) 測量滑車質量，把圓型滑車內裝一塊 50g 砝碼，上黏有軟鐵置於電磁鐵下方被吸住，同時複擺(貼上小軟鐵片)也被吸住。
- (5) 關掉電開關，滑車自由落下，同時複擺並同步擺動(因電線並聯故)。
- (6) 當複擺到最下面時，剛好撞到積木，使斜面傾斜，滑車(貼絨布母面)斜滑被邊木(貼絨布公面)黏住，測量滑車滑下距離。
- (7) 重複步驟(4)至步驟(6)十次，測量 S 值，求距離平均值及求出動摩擦係數  $u$ ， $u=[g*0.8-(2*s)/(T/4)^2]/(g*0.6)$ 。
- (8) 把滑車內改裝(2 塊砝碼共 100g)，重複步驟(4)至步驟(7)。
- (9) 把滑車底部換成細砂紙，重複步驟(4)至步驟(8)。
- (10) 把滑車底部換成粗砂紙，重複步驟(4)至步驟(8)。

## 2. 壓頂型實驗組:

- (1) 測量重心，在角落固定一點，懸吊劃鉛垂線，再懸另一點，鉛垂線交叉點即是重心，做記號，量出重心到轉軸距離  $l$ 。
- (2) 壓頂板自由落下時，測量重心由高點到低點的轉動角度，利用鉛垂面非等速度圓週運動，轉  $\theta$  角，由公式  $t \cong \sqrt{\frac{l}{g} \left( \theta + \frac{3}{8}\theta^2 + \frac{11}{512}\theta^3 \right)}$  求出所費時間  $t$  值。
- (3) 調整三合一自製儀器斜面比例為 5:4:3，仰角  $53^\circ$ ，鋪上紙於斜面上。
- (4) 滑車底部黏上牛皮紙，上邊黏上絨布母面，上緣黏上一塊小軟鐵片，頂端電磁鐵及側邊電磁鐵並聯接於直流電源供應器。
- (5) 測量滑車質量。
- (6) 把圓型滑車內裝一塊 50g 砝碼上黏有軟鐵置於電磁鐵下方被吸住，同時複擺(貼上小軟鐵片)也被吸住。
- (7) 關掉電開關，滑車自由滑下，同時壓頂板同步落下(因電線並聯故)。
- (8) 壓頂板自由壓下，壓黏住自由滑下的滑車。
- (9) 重複步驟(6)至步驟(8)十次，測量  $s$  值。求距離平均值及求出動摩擦係數  $u=[g*0.8-(2*s)/t^2]/(g*0.6)$ 。
- (10) 把滑車內改裝(2 塊砝碼共 100g)，重複步驟(6)至步驟(9)。
- (11) 把滑車底部換成細砂紙，重複步驟(6)至步驟(10)。
- (12) 把滑車底部換成粗砂紙，重複步驟(6)至步驟(10)。

## 3. 光電型對照組:

- (1) 把圓形滑車置於電磁鐵下方被電磁鐵吸住，光電計時器啓動組儘量靠近圓形滑車。
- (2) 量出光電計時器啓動組與停止組之間的距離。
- (3) 斷電，使滑車自由滑下，通過光電管啓動組及停止組，紀錄這段距離所得的時間。
- (4) 重複步驟(3)十次，求時間平均值，並求動摩擦係數  $u=[g*0.8-(2*s)/t^2]/(g*0.6)$ 。
- (5) 把滑車內改裝(兩塊砝碼共 100g)，重複步驟(3)、(4)。
- (6) 圓形滑車底部改黏細砂紙，重複實驗步驟(2)至步驟(5)。
- (7) 圓形滑車底部改黏粗砂紙，重複實驗步驟(2)至步驟(5)。
- (8) 我們利用攝影機來記錄圓形滑車從開始至通過光電計時器啓動組及停止組所費的時間，並利用它來修正誤差，作為標準值用。

## (三)、無線式滑車實驗(驗證牛頓第二運動定律)

### 1. 複擺型實驗組:

- (1) 測量複擺十週期的時間，並求出週期  $T$  平均值及  $T/4$  值。  
**(甲)外力一定，質量改變。**
- (2) 用天平秤滑車加砝碼重，質量 60g。
- (3) 把斜面仰角調成  $30^\circ$ ，此時斜面方向外力 30gw、質量=60g。
- (4) 滑車置於電磁鐵下方被吸住，複擺被吸住，斜面下用積木支持。

- (5) 關掉電磁鐵，滑車自由滑下和複擺擺動同步動作，複擺到最下方(T/4 處)剛好撞倒積木，使斜面傾斜，包絨布母面滑車被邊木(包絨布公面)黏住，測量滑下距離。
- (6) 重複步驟(3)、(4)十次，量出滑下距離 L，並求平均值，求加速度  $a=2L/(T/4)^2$ 。
- (7) 用天平秤滑車加砝碼重 50g。
- (8) 把斜面仰角調整成 37 度，此時斜面方向外力 30gw、質量=50g。
- (9) 重複步驟(3)至步驟(5)。

**(乙)質量一定，外力改變。**

- (10) 用天平秤滑車加砝碼重 60g。
- (11) 把斜面仰角調整成 30 度，此時  $F=30gw$ 、 $M=60g$ 。
- (12) 重複步驟(3)至步驟(5)。
- (13) 把斜面仰角調整成 37 度，此時  $F=36gw$ 、 $M=60g$ 。
- (14) 重複步驟(3)至步驟(5)。

**2. 無線式壓頂板實驗組：**

- (1) 測量壓頂板重心到轉軸距離 l，並求出轉軸角度  $\theta$ ，由鉛垂面非等速度圓週運動，轉  $\theta$  角，由公式  $t \cong \sqrt{\frac{l}{g} \left( \theta + \frac{3}{8}\theta^2 + \frac{11}{512}\theta^3 \right)}$  求出所費時間 t 值。

**(甲)外力一定，質量改變。**

- (2) 用天平秤滑車加砝碼重 60g。
- (3) 把斜面仰角調成  $30^\circ$ ，此時  $F=30gw$ 、 $M=60g$ 。
- (4) 滑車置於電磁鐵下方被吸住，壓頂板被吸住。
- (5) 關掉電磁鐵，滑車自由滑下，壓頂板亦同時落下，最後壓頂板壓黏住滑車。
- (6) 重複步驟(3)、(4)、(5)十次，量出滑下距離，並求平均值，求出  $a=2s/t^2$ 。
- (7) 用天平秤滑車加砝碼重 50g。
- (8) 把斜面仰角調整成 37 度，此時外力=30gw、 $M=50g$ 。
- (9) 重複步驟(3)至步驟(6)。

**(乙)質量一定，外力改變。**

- (10) 用天平秤滑車加砝碼重 60g。
- (11) 把斜面仰角調整成 30 度，此時  $F=30gw$ 、 $M=60g$ 。
- (12) 重複步驟(3)至步驟(6)。
- (13) 把斜面仰角調整成 37 度，此時  $F=36gw$ 、 $M=60g$ 。
- (14) 重複步驟(3)至步驟(6)。

**3. 光電型對照組：**

- (1) 把光電啓動組，盡量接近電磁鐵，測量啓動組到停止組距離。

**(甲)外力一定，質量改變。**

- (2) 用天秤稱滑車加砝碼共重 60 克。
- (3) 斜面仰角調成  $30^\circ$ ，此時  $F=30gw$ 、 $M=60g$ 。
- (4) 滑車置於電磁鐵下方被吸住，斷電，使通過啓動組、停止組，紀錄所費的時間 t。
- (5) 重複步驟(4)十次，並求平均值及 a 值， $a=2s/t^2$ 。
- (6) 用天秤量滑車加砝碼重共 50 克。
- (7) 把斜面仰角調成  $37^\circ$ ，此時外力=30gw、 $M=50g$ 。
- (8) 重複步驟(4)步驟(5)。

**(乙)質量一定，外力改變。**

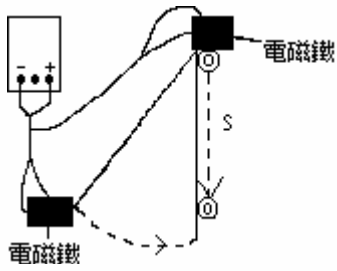
- (9) 用天秤秤滑車加砝碼共重 60 克。
- (10) 把斜面仰角調成  $30^\circ$ ，此時  $F=30gw$ 、 $M=60g$ 。
- (11) 重複步驟(4)步驟(5)。
- (12) 把斜面調成  $37^\circ$ ，此時外力=36gw、 $M=60g$ 。
- (13) 重複步驟(4)步驟(5)。

((圖片說明))

(一)、 無線式重力加速度測量實驗：

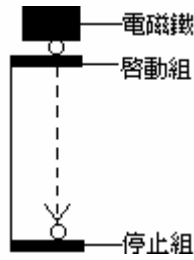
1. 複擺型實驗組：

圖示：



2. 光電對照組：

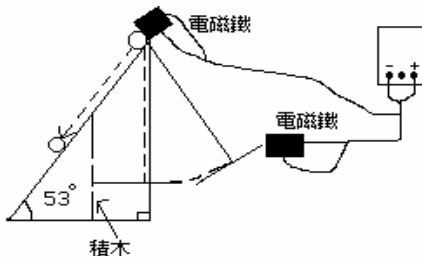
圖示：



(二)、 無線式動摩擦係數測量實驗：

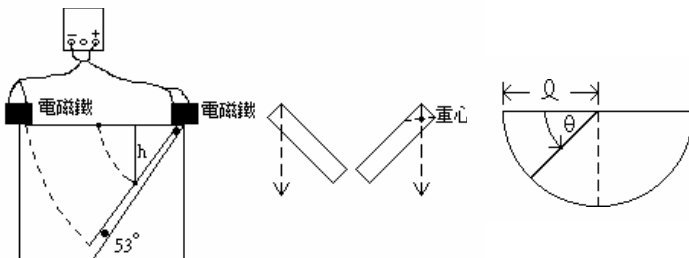
1. 複擺型實驗組：

圖示：



2. 壓頂型實驗組：

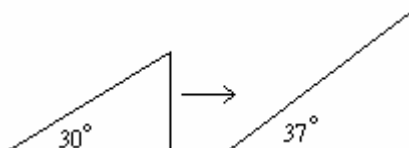
圖示：



(三)、 無線式滑車實驗：

1. 操作原理同動摩擦係數測量實驗，僅滑車改用有輪子的滑車，以減少摩擦力。

2. 圖示：



## 五、研究結果：

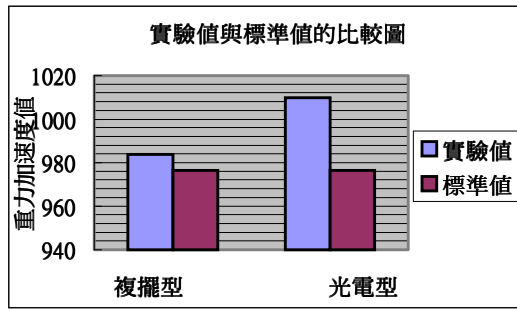
### (一)無線式重力加速度測量實驗

兩組實驗比較：

實驗類	t	l	g	誤差%
複擺型	0.3	60	984	0.7
光電型	0.3	62	1010	3.4
標準值			977	0

說明：

- 1.以中正大學地球物理研所，雲嘉地區 $g=976.52\text{cm/s}^2$ 為標準值。
- 2.誤差值= $(\text{測量值}-\text{標準值})/\text{標準值} \times 100\%$ 。



### (二)動摩擦係數實驗組：

#### (1)動摩擦係數[牛皮紙]：

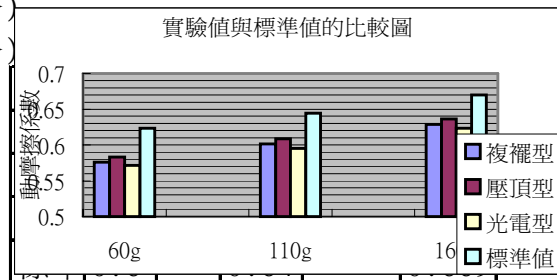
	60g				110g				160g			
	l&t	u測量	u標準	誤差	l&t	u測量	u標準	誤差	l&t	u測量	u標準	誤差%
複擺型	28	0.6	0.6	-8	27	0.6	0.6	-7	26.2	0.629	0.669	-6.1
壓頂型	21	0.6	0.6	-6	20	0.6	0.6	-6	19.6	0.636	0.669	-4.9
光電型	0.6	0.6	0.6	-8	0.6	0.6	0.6	-8	0.58	0.623	0.669	-7

#### (2)動摩擦係數[細砂紙]：(略)

#### (3)動摩擦係數[粗砂紙]：(略)

說明：

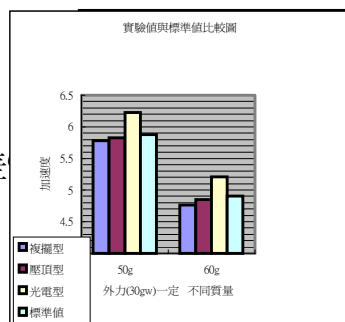
1. u標準值係以，光電型對照組數據，經攝影機拍攝，由靜止到啟動組再到停止組所重複放映研究， $t=0.02$ 秒，此段距離 $0.2\text{cm}$ ，把相關修正代入公式，所得u作標準值。



### (三)無線式滑車實驗(驗證 $F=ma$ )

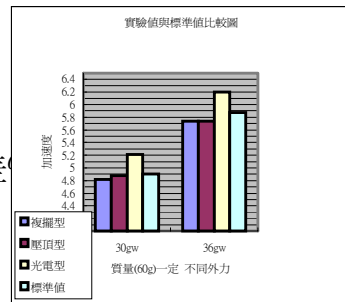
(甲)外力一定，質量改變。

	角度 外力 質量				角度 外力 質量			
	l&t	a	F/M	誤差	l&t	a	F/M	誤差
複擺型	37	5.8	5.9	-2	30	4.8	4.9	-3
壓頂型	28	5.8	5.9	-1	23	4.9	4.9	-1
光電型	0.4	6.2	5.9	5.9	0.5	5.2	4.9	6.3



(乙)質量一定，外力改變。

	角度 外力 質量				角度 外力 質量			
	l&t	a	F/M	誤差	l&t	a	F/M	誤差
複擺型	31	4.8	4.9	-2	36	5.7	5.9	-2
壓頂型	23	4.9	4.9	-1	28	5.7	5.9	-1
光電型	0.5	5.2	4.9	6.3	0.4	6.2	5.9	5.4



說明：a為標準值，係以 $F/M$ 值表示。

## 六、討論：

### (一)、無線式重力加速度測量實驗部份：

#### 1. 複擺型實驗組部份：

- (1) 在複擺型實驗組實驗中，我們利用電線並聯的方式把當做自由落體(包絨布母面及上貼上一小軟鐵片)的廢電池及複擺(一邊貼絨布公面，另一邊下緣貼上一小軟鐵片)用電磁鐵同時吸住，如此終於突破了有線的障礙，斷電使自由落下及複擺擺動，達成無線且能同步動作的理想設計，這是一件令人振奮的創意。
- (2) 我們用圓柱型的廢電池代替球形鐵球。主要增加碰觸之接觸面積，增加黏力。
- (3) 實驗值和標準值，誤差為 0.74% 在 1% 以下相當可喜。

#### 2. 光電型對照組實驗部份：

- (1) 要調整小鐵球同時經過啟動組及停止組的狹縫是極困難的，操作上並不容易。
- (2) 在光電型實驗中，因為我們量啟動組到停止組的距離，所以應將鐵球放在啟動組的位置，但這樣的話便會使得光電計時器開始計時。於是必須將鐵球移到啟動組的上方。但測量時，鐵球經過啟動組到停止組的時間一定比鐵球放在啟動組時還要短，因初速度不為 0。再把此時間代入  $g=2h/t^2$  的公式中，因為  $t$  變小了，所以求的  $g$  值是  $1009.8\text{cm/s}^2$  就比標準值  $976.52\text{cm/s}^2$  還要大，誤差是 3.4%。
- (3) 這個實驗中，因為是用光電計時器，所以計時比較精準。不過鐵球在啟動組時，初速度不為 0，且校正麻煩。天生上有誤差且儀器昂貴，耗電，誤差大且成本高。

#### 3. 比較兩組實驗優劣：

優劣順序	複擺型	光電型
操作方便	1	2
準確度	1	2
價格便宜	1	2

### (二)、無線式動摩擦係數測量實驗：

#### 1. 複擺型實驗組部份：

- (1) 我們利用並聯電線，使用電磁鐵同時吸住圓盤滑車及複擺，引進了前面測重力加速度中複擺型的創意，突破有線的障礙，且關掉電源，使圓盤及複擺同步擺動，當複擺擺到最低(自然垂下)，剛好四分之一週期的時間，此時剛好撞到支撐斜面的積木，使斜面傾斜，圓盤滑車便滑向邊木(貼絨布公面)，並被黏住(公，母面絨布故)。這是以前的設計基礎再引進斜面的構思。
- (2) 我們選用圓盤的理由是圓盤滑向邊木時能自然黏合。
- (3) 在以相同粗糙程度的接觸面，測動摩擦係數，發現正向力越大， $u$  值略增大，顯然，正向力可以使接觸更密合，粗糙程度略變大。
- (4) 在相同正向力，接觸面越粗糙， $u$  值越大，且測量相當有規律性。
- (5) 由表中分析發現，越粗糙的誤差越小，牛皮紙誤差 -7.58%~-6.09%，細砂紙 -4.8%~-4.02%，粗砂紙 -3.36%~-2.95%，可能是因斜面傾斜時，圓盤滑向邊木，因慣性故，量出的距離變長雖然我們已經把圓盤儘量靠近邊木。由  $u = \{g \cdot 0.8 - [2s / (T/4)^2]\} / (g \cdot 0.6)$ ， $s$  越大， $u$  值越小，故誤差為負值。

#### 2. 壓頂型實驗組部份：

- (1) 本實驗利用鉛垂面非等速度圓週運動，轉動某角度，由公式  $t = \sqrt{\frac{l}{g} \left( \theta + \frac{3}{8} \theta^2 + \frac{11}{512} \theta^3 \right)}$  求出時間，再藉圓盤及壓頂板同步被電磁鐵吸住，因接兩塊電磁鐵的電線並聯，關掉開關，壓頂板及圓盤滑車同步動作，當一定時間，壓頂板壓黏住滑車，可求出此段時間，滑車滑行距離，操作相當方便且精準，這項創意令人興奮。
- (2) 起初我們測量壓頂板落下的時間是利用自由落體公式  $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$ ，由壓頂板重心在最高點到最低點的垂直距離代入公式得到落下時間，但經指導老師及縣賽評審教授

指導，知道需用鉛垂面非等速度圓週運動，轉動某角度，所費時間  $t$ ，由公式

$$t \cong \sqrt{\frac{l}{g} \left( \theta + \frac{3}{8} \theta^2 + \frac{11}{512} \theta^3 \right)}$$

求出時間，結果所得誤差確實較小。

### 3. 光電型對照組部分:

- (1) 利用光電計時器來測時間是相當準確，但要測物體，由靜止滑到某點所費的時間，有其先天缺憾，就是當啓動組與物體接觸，便開始計時，若向上提一點點，物體通過啓動組，便非靜止，因此之故，以通啓動時視為靜止，誤差頗大。
- (2) 我們利用錄影機，拍攝由開始到啓動組所費的時間，經重複放映研究，所費時間  $t=0.02$  秒，此段距離約  $0.2\text{cm}$ ，把相關修正代入公式，所得  $u$  值作標準值。

### 4. 綜合比較

- (1) 比較三種測量法優劣:

優劣順序	複擺型	壓頂型	光電型
操作方便	3	1	2
精確度	2	1	3
價格便宜	2	1	3

- (2) 由三種實驗所測得  $u$  值發現，正向力越大，接觸面，接合程度越密，粗糙程度越大， $u$  值變大。
- (3) 光電型儘管科技型且價格貴，但在此  $u$  值測量上，卻比壓頂型及複擺型遜色很多，可見一點創意會比科技的呆板使用優良多了。

### (三)、 無線式滑車實驗部份(驗證牛頓第二運動定律):

因本實驗操作方法與測動摩擦係數同，遭遇的問題大同小異，前面已述者不再重複，僅不同處再提出討論:

#### 1. 複擺型實驗組部分:

- (1) 我們以  $F/M$  作標準值，顯然測量值  $a$ ，略小於標準值，呈負誤差，蓋摩擦力故。
- (2) 我們改用有輪子的小滑車，在斜面傾斜時因慣性故，較不易向邊木滑動黏住，操作不甚方便，且使  $s$  變大， $a$  應變少， $a=2s/t^2$ 。
- (3) 前(1)、(2)誤差因素互相影響下，誤差在  $-1.7\% \sim -2.7\%$  間，尚可接受。

#### 2. 壓頂型實驗組部分:

- (1) 這是一個完美的實驗，不僅壓頂板及滑車因電線並聯，斷電時，同步重作，且壓頂板壓黏住滑車可克服複擺型具輪滑車不易滑向邊木的缺點，因絨布公母面故，幾無距離誤差，誤差範圍  $-0.94\% \sim 1.01\%$ ，相當精準，結果令人振奮。
- (2) 上項誤差來自兩個因素 <1> 斜面不可能完全光滑。<2> 壓頂板以蝴蝶葉接合斜面處，轉動有摩擦力，使  $t$  變大， $a=2s/t^2$ ，使  $a$  變小。但誤差  $-1\%$  左右，相當不錯。
- (3) 我們用光電管監測壓頂自由落下時間，與  $t \cong \sqrt{\frac{l}{g} \left( \theta + \frac{3}{8} \theta^2 + \frac{11}{512} \theta^3 \right)}$ ，求出誤差在  $0.1\%$  左右，已屬難得，若把蝴蝶葉解開，誤差在  $0.01\%$  左右，因幾無摩擦力之故。

#### 3. 光電型對照組部分:

- (1) 前述因通過啓動組時非靜止，因摩擦力故，使  $a$  變小，天生便具有誤差，但在啓動組速度不為  $0$ ，使  $t$  變小， $a=(2s/t^2)$  變大。
- (2) (1) 中兩項因素影響下，誤差為正，顯然初速不為  $0$  是主因，測量值的誤差  $5.4\% \sim 6.3\%$ ，尚可接受。

#### 4. 綜合分析:

- (1) 比較三組實驗優劣:

優劣順序	複擺型	壓頂型	光電型
操作方便	3	1	2
準確度	2	1	3
價格便宜	2	1	3



- (2) 藉由改變斜面角度來控制變因，固定質量，改變外力，或固定外力，改變質量操作上，相當方便。
- (3) 與課本滑車實驗比較，課本用手按控制滑車啓動及碼錶測時，相當傳統，因滑車太重，撞擊力太大，常使整座實驗台解體，並不實用。
- (4) 我們改用壓頂型，不僅能同步動作，且測時間及距離當精準，最令人滿意。
- (5) 壓頂型可改善複擺型，具輪滑車不易斜滑的困難，結果令人滿意。

### 七、結論：

- (一) 站在前人研究的基礎上，我們擺脫了”有線”的束縛，利用電線並聯-電磁-絨布，通電來吸住廢電池(或滑車)及側板，及斷電使落下(滑下)及擺動同步動作，並利用絨布來停住廢電池(或滑車)，很方便測距離。
- (二) 我們也利用複擺的週期性及壓頂板自由轉動某角度，所費時間觀念來測時間非常精確。
- (三) 合併(一)(二)，我們很精確地測出距離及移動此距離所費的時間  $t$ ，來求取各項測量值。結果令人滿意。
- (四) 比較三項實驗優劣：

優劣順序	重力加速度測量		動摩擦係數測量			滑車實驗		
	複擺	光電	複擺	壓頂	光電	複擺	壓頂	光電
操作方便	1	2	3	1	2	3	1	2
準確度	1	2	2	1	3	2	1	3
價格便宜	1	2	2	1	3	2	1	3

- (五) 以上三種測量法，複擺型，壓頂型，光電型所做測動加速度，測量動摩擦係數，滑車實驗(驗證牛頓第二運動定律)，可改進或補充課本實驗諸多缺失。

### 八、參考資料：

- (一) 王昭富(民 84)，中小學科學展覽優勝作品專輯物理組合訂本，國立台灣科學教育館，P362~P367。
- (二) 國立編譯館，國中物理課本第四冊，國立編譯館，P3~P25。
- (三) JERRY B.MARION(民 74)古典力學，p160~p163。
- (四) 台中圖書館(民 78)科學知識。台中；台中圖書館，P21~P23。

評語：

- 一、利用電磁並聯－電磁－絨布及複擺實驗測出重力加速度及斜面摩擦係數，並驗證牛頓第二運動定律。實驗器材操作方便，價格便宜且實驗精確度高。
- 二、學生操作技巧熟練，相關物理基本知識都能了解。
- 三、實驗器材稍顯粗大若能改為精細些則更佳。

## 作者簡介

### 蔡可威

我是目前就讀雲林國中 3 年級的蔡可威。因為對數學和科學方面有興趣，因此參加這次的科展。做完這實驗有許多收穫，不只是實驗本身的知識，還有團隊合作的精神。在實驗過程中有許多挫折，但大家靠團隊努力來完成實驗，是很棒的事

### 劉家銘

小時候，我無意間找到了一本書，這本書是利用一些生活中的東西來作成玩具，從此就開啓了我的科學之門。升上國中之後，知道有科展我便毫不考慮就去參加。在實驗中，剛開始很順利，但曾一度碰到瓶頸，這時候我們便靠著團隊精神克服難關。

### 高佳駿

我是雲林國中三年級學生高佳駿，平常我都往圖書館跑，借些科學的書來看，因為我能在書中滿足我的求知慾望。關於這次科展，原本只是有興趣想試試看，結果越做越有成就感，雖然我們遇到很多挫折，但多虧有尤老師的指導，我們才有這次的成績。

### 吳岱融

我從小就對科學方面的事物感到相當的好奇、感興趣,父母也買給我很多這方面的書籍,由於這方面的興趣,所以才參加科學展覽,而科學展覽也讓我學到了很多很多,更讓我學到了團隊的重要性。