

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030103

神秘的愛因斯坦電梯

—不同加速度系統中重力改變之探討

學校名稱：臺中市立北新國民中學

作者： 國三 林正修 國三 施柏伍 國三 李旭峰 國三 杜承翰	指導老師： 李明華
---	------------------

關鍵詞：愛因斯坦電梯、重力加速度

神秘的愛因斯坦電梯—不同加速度系統中重力改變之探討

摘要

我們利用簡單的器材，設計了兩套可以改變加速度的系統裝置(愛因斯坦電梯)，以火花記錄計時器(AC110V、60Hz)測量出系統裝置的加速度。

第一套加速度系統裝置，測量出彈簧的伸長量，再由虎克定律($W = kx$)計算出物體的重量。第二套加速度系統裝置，直接觀察電子秤的讀數，測量出物體的重量。

最後，將不同加速度系統中測得的數據(物體重量(w)和重力加速度(g))在座標軸上標出數據點，圖形顯示物體重量(w)和重力加速度(g)兩者間有正比的關係，實驗結果符合愛因斯坦等效原理的預測。

壹、研究動機

老師上課講解 96 年自然科國中第一次基本學力測驗題本，當講解到題組第 57、58 題時，老師說：96 年國中基本學力測驗是自 90 年有國中基本學力測驗以來，第一次未有滿級分的考生，很多考生錯在第 58 題而未能滿級分。

題組第 57、58 題是有關人在電梯內的情形，當電梯加速度上升時，人對地板的作用力變大，重量變重了；當電梯加速度下降時，人對地板的作用力變小，重量變輕了；當電梯等速度上升或下降時，人對地板的作用力不變，重量沒改變。也就是，在不同的加速系統中，重力加速度會不同。

爲了進一步解答我們的困惑，老師以愛因斯坦廣義相對論的基石—等效原理來說明。愛因斯坦是這樣假設的：一個人拿著盤子站在電梯裏，電梯的鋼索突然斷了，於是這個人和電梯一同以自由落體墜落下來。這時，他放下手中的盤子。在電梯外面的人看來，電梯、人和盤子一起向下降落，降落的速度和重量沒有關係，所以都是以同樣的速度降落。但是，在電梯裏面的人，卻感覺到自己是飄忽不定的，盤子也不會掉在地上，只停在他放手那個位置，這和他在毫無重力作用的太空中的感覺一樣。

再假設，在電梯頂上繫上鋼索，在毫無重力作用的太空中，用力將電梯以和地球重力加速度相同大小的加速度往上拉。那麼，電梯外面的人會說：“電梯上升了”。但在電梯裏面的人卻會說：“我在電梯裏穩穩地站著，放下手中的盤子，盤子就會如自由落體一般墜落到地面”。他並沒有發覺到電梯正以和地球重力加速度相同大小的加速度向上運動，滿以爲是自己的身體恢復了重量，就像重新站在地球上一樣，電梯裏的物體又受到地球引力的作用。這說明，電梯裏的人分不清電梯是在作向上等加速度運動，還是靜止在重力場中。

在地球上，電梯加速度上升時，電梯裏的物體猶如靜置在重力加速度較地球大的星球；電梯加速度下降時，電梯裏的物體猶如靜置在重力加速度較地球小的星球；電梯等速度上升和下降時，電梯裏的物體猶如靜置在重力加速度和地球相同的星球。所以在不同的加速度系統中，重力加速度不同，物體受到的重力大小也不同。

我們對於愛因斯坦電梯感到興趣，於是我們就想設計一套能改變加速度的系統裝置，猶如神秘的愛因斯坦電梯一般，探討在不同的加速度系統中，物體受到的重力會如何改變？爲了尋找答案，我們便展開了此次的科展研究之旅。

貳、研究目的

探討在加速度系統中，重力(w)與重力加速度(g)之關係，並驗證是否符合愛因斯坦等效原理的預測。

參、研究設備及器材

定滑輪(2 個)、10cm 虎克定律彈簧(2 條)、50 公克砝碼(2 個)、300 公克砝碼(1 個)、1 公斤砝碼(7 個)、2 公升塑膠桶(4 個)、童軍繩、鐵環(2 個)、3m 導線(2 條)、漆包線、電子秤、火花記錄計時器(AC110V、60Hz)、直流電源供應器、檢流計、數位相機。

肆、研究過程或方法

一、設計可以改變加速度的裝置

(一)說明：

- 1.我們設計了兩套能改變加速度的系統裝置。第一套加速度系統裝置，測量出彈簧的伸長量，再由虎克定律($w = kx$)計算出物體的重量。第二套加速度系統裝置，直接觀察電子秤的讀數，測量出物體的重量。
- 2.愛因斯坦等效原理：等加速度系統中，重力加速度 $g = g_0 + a$ 。(g_0 ：慣性系統中的重力加速度； a ：系統加速度，系統向上運動爲正，系統向下運動爲負)

(二)步驟：

- 1.將兩個定滑輪，用螺絲固定在高約 350 公分的天花板上。
- 2.取一條長約 4 公尺的童軍繩，繞過兩個定滑輪，並在童軍繩兩端綁上掛鉤。
- 3.取兩個容積約 2 公升的塑膠桶，提把的中央裝上吊環，塑膠桶兩側各綁上一根鐵棒，並固定好。金屬鐵環以漆包線固定在兩根鐵棒中央，在塑膠桶下方中央處，懸吊一條 10cm 虎克定律彈簧，彈簧下方懸掛 50gw 砝碼。將裝置好的兩個塑膠桶，分別懸掛在童軍繩左、右兩端，第一套能改變加速度的系統裝置即設計完成，如照片(一)。調整兩端塑膠桶內 1Kg_w 砝碼數量，即能改變系統裝置的加速度。
- 4.另取兩個容積約 2 公升的塑膠桶，提把的中央裝上吊環，將裝置好的兩個塑膠桶，分別懸掛在童軍繩左、右兩端。將電子秤固定在木板上，電子秤上放置 300gw 砝碼並懸掛在左端塑膠桶下方中央處，而在右端塑膠桶下方中央處懸掛 2300gw 砝碼，左、右兩端系統裝置重量相同(2.54Kg_w)，第二套能改變加速度的系統裝置即設計完成，如照片(二)。調整兩端塑膠桶內 1Kg_w 砝碼數量，即能改變系統裝置的加速度。



照片(一) 第一套加速度系統裝置圖



照片(二) 第二套加速度系統裝置圖

二、加速度的測量(第一套加速度系統裝置)

(一)說明：

1.實驗室天花板到地面距離約 350 公分，在落下時間不到 0.8 秒之下，要用電子碼錶準確測出時間，是個高難度的考驗。火花記錄計時器打點頻率大且穩定、打點清晰、摩擦阻力小，適合測量高速運動物體的加速度。

2.加速度 a 的計算：

Fig 1a 為等加速度運動，以火花記錄計時器(AC110V 60Hz)在紙帶上打點之記錄。選擇靠近第一個點的適當點，當做起點標記序號為 0，之後各點依序標記序號為 1、2...n-1、n、n+1...，相鄰兩點間的距離，依序標記為 S_0 、 S_1 ... S_{n-1} 、 S_n ...

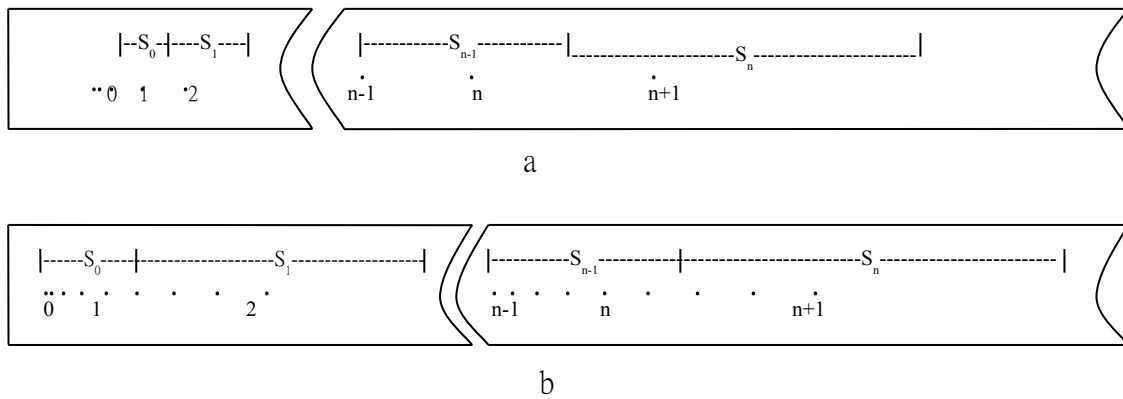


Fig1

如圖 Fig 1a，相鄰兩點間的時間間隔是相當的， $t=T_0=1/60(s)$ 。如果紙帶上的打點過於密集，可以中間隔若干點再標記序號。如 Fig 1b，中間隔 3 個點再標記序號，相鄰兩序號間的時間間隔為：

$$t=(b+1)T_0 \quad (1)$$

方程式(1)中， b 為相鄰兩序號間的點數，在 Fig 1b 中， $b=3$ ，所以 $t=4T_0=1/15(s)$ 。在 Fig 1a 中， $b=0$ ，所以 $t=T_0=1/60(s)$ 。

紙帶中，任兩點間的距離，相當於物體在這段時間內運動的位移，所以物體在

這段時間內的平均速度，可以計算如下：

$$U = \frac{s}{t} = \frac{S}{(b+1)T_0} \quad (2)$$

$$a = \frac{U_n - U_0}{n(b+1)T_0} \quad (3)$$

方程式(3)中， U_n 為物體靠近紙帶終點時的平均速度，而 U_0 為物體靠近紙帶起點時的平均速度。將方程式(2)代入方程式(3)中，可得：

$$a = \frac{S_n - S_0}{n(b+1)^2 T_0^2} \quad (4)$$

(二)步驟：

- 1.裝置如照片(一)，在右端塑膠桶內放置 1 個 1Kgw 砝碼，實驗記錄表示為 (0, 1)。一人站在高梯上並用手撐著右端塑膠桶，使系統維持在靜止狀態。
- 2.剪取長約 150 公分的紙帶一段，將紙帶一端用膠帶黏貼固定在左端塑膠桶一側外壁上，另一端穿過火花記錄計時器，一人手持火花記錄計時器，火花記錄計時器盡量靠近塑膠桶，位在塑膠桶一側外壁的正下方，如照片(三)。
- 3.當火花記錄計時器開關按下時，站在高梯上的人旋即將手鬆開，紙帶隨著左端系統裝置而加速度上升。
- 4.實驗重複十五次，選取其中實驗數據較接近的十次，計算平均系統加速度(a)。
- 5.分別將右端塑膠桶內的 1Kgw 砝碼數量調整為 2、3、4 和 5 個，重複步驟 1~4。



照片(三) 加速度測量裝置圖
(第一套加速度系統裝置)

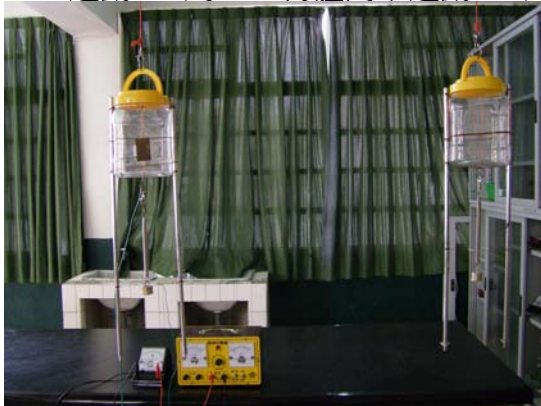
三、彈簧伸長量的測量

(一)說明：

- 1.為了測出彈簧的伸長量，我們原先設計的系統裝置，是用膠帶將直尺一端黏貼固定在左、右兩端的塑膠桶一側外壁上，藉由觀察和照相的方式，測出運動過程中，左、右兩端彈簧的伸長量。但因系統運動速度太快，無法準確測出彈簧的伸長量。
- 2.當學習到電磁感應單元時，我們學習到檢流計的功用為檢測微小的電流和方向，一般以檢流計檢測感應電流的大小和方向。如同一道乍現的曙光，我們靈機一動，設計出一套藉由檢流計檢測電路為通路或斷路，而測量出運動過程中彈簧伸長量的裝置。
- 3.因為彈簧本身具有重量(10gw)，加速度運動時彈簧的長度會改變，向上加速度運

動時彈簧的長度會變長，向下加速度運動時彈簧的長度會變短，造成物體向上加速度運動時，實驗測得彈簧的伸長量比實際值大，物體向下加速度運動時，實驗測得彈簧的伸長量比實際值小，所以必須將彈簧的重量加入實驗條件中減少誤差。因彈簧的重量是均勻分佈在整條彈簧上，所以在加速度運動時彈簧長度的變化量，相當於在彈簧下方掛上 $5gw$ 的物體，在加速度運動時彈簧伸長量的變化量。此變化量可由 $(5 \times g/g_0 - 5)/k$ 求得。(g : 加速度系統中的重力加速度， g_0 : 慣性系統中的重力加速度， k : 彈簧的彈力係數)

4. 物體作等加速度運動時，物體的重量理論值可由 $w = w_0 \times (g_0 + a)/g_0$ 算出。(物體向上運動： a 為正；物體向下運動： a 為負)(w_0 為靜止時物體的重量)(重力單位)



照片(四) 彈簧伸長量的測量裝置圖
(左端系統)



照片(五) 彈簧伸長量的測量裝置圖
(右端系統)

(二)步驟：

1. 測出彈簧的彈力係數 $k = 10.5gw/cm$ 。
2. 由先前加速度的測量實驗結果得知，當右端塑膠桶內放置 1 個 $1Kgw$ 砝碼時，左端系統的加速度(a)為 $2.72m/s^2$ (↑)。當系統運動時，左端掛著 $50gw$ 砝碼的彈簧，伸長量經由計算理論值為 $6.08cm$ 。
3. 將未掛砝碼時彈簧指針的位置定為原點(O)，並在鐵棒上做記號。將左端金屬鐵環位置調到距原點(O)下方 $8.1cm$ 處(系統運動時，彈簧指針理論位置下方約 $2cm$ 處)。
4. 裝置如照片(四)，在右端塑膠桶內放置 1 個 $1Kgw$ 砝碼，一人站在高梯上並用手撐著右端塑膠桶，使系統維持在靜止狀態。隨後，站在高梯上的人將手鬆開，觀察檢流計指針是否產生偏轉。
5. 實驗重複十次，若實驗有五次以上觀測到檢流計指針有產生偏轉，表示彈簧的指針和下方的金屬鐵環有相碰觸；反之，則表示彈簧的指針和下方的金屬鐵環沒有相碰觸。若實驗結果表示彈簧的指針和下方的金屬鐵環沒有相碰觸，則將金屬鐵環向上提高 $2mm$ ，直到實驗結果表示彈簧的指針和下方的金屬鐵環有相碰觸為止，測量此時金屬鐵環和原點(O)的距離。
6. 分別將右端塑膠桶內的 $1Kgw$ 砝碼數量調整為 2、3、4 和 5 個，先計算出當系統運動時，彈簧伸長量的理論值。然後，調整金屬鐵環的位置(系統運動時，彈簧指針理論位置下方約 $2cm$ 處)，重複步驟 4~5。
7. 裝置如照片(五)，右端彈簧伸長量的測量方法和步驟與左端彈簧伸長量的測量相同。不同處在於，金屬鐵環的位置調整到系統運動時，彈簧指針理論位置上約

2cm 處。若實驗結果表示彈簧的指針和上方的金屬鐵環沒有相碰觸，則將金屬鐵環向下降低 2mm，直到實驗結果表示彈簧的指針和上方的金屬鐵環有相碰觸為止，測量此時金屬鐵環和原點(O)的距離。

五、加速度的測量和物體重量的測量(第二套加速度系統裝置)

(一)說明：

- 1.當系統裝置向上加速度運動時，電子秤測得物體的重量(實驗值)比理論值來得大很多；當系統裝置向下加速度運動時，電子秤測得物體的重量(實驗值)比理論值來得小很多。主要是因為當系統裝置向上加速度運動時，電子秤的秤盤對電子秤的作用力變大；當系統裝置向下加速度運動時，電子秤的秤盤對電子秤的作用力變小。
- 2.先測出系統裝置向上加速度運動時，秤盤對電子秤的作用力(↓)(系統裝置靜止時，利用歸零鈕將秤盤對電子秤的作用力定為零)；再測出物體放在秤盤上，系統裝置向上加速度運動時，物體和秤盤對電子秤的作用力(↓) 將物體和秤盤對電子秤的作用力(↓)減掉秤盤對電子秤的作用力(↓)，即為系統裝置向上加速度運動時，電子秤所測得的物體重量。反之，系統裝置向下加速度運動時，秤盤對電子秤的作用力(↑)(系統裝置靜止時，利用歸零鈕將秤盤對電子秤的作用力定為零)，雖然無法由電子秤直接測得(電子秤無法顯示負值)，但可由先前系統裝置向上加速度運動時，秤盤對電子秤的作用力實驗得知。再測出物體放在秤盤上，系統裝置向下加速度運動時，物體和秤盤對電子秤的作用力(↓) 將物體和秤盤對電子秤的作用力(↓)減掉秤盤對電子秤的作用力(↑)，即為系統裝置向下加速度運動時，電子秤所測得的物體重量。

(二)步驟：

- 1.裝置如照片(二)，將電子秤上砝碼(300gw)放置在左端塑膠桶內，在右端塑膠桶內放置 1 個 1Kg 砝碼。一人站在高梯上並用手撐著右端塑膠桶，使系統維持在靜止狀態。
- 2.剪取長約 150 公分的紙帶一段，將紙帶一端用膠帶黏貼固定在乘載電子秤的木板側邊上，另一端穿過火花記錄計時器，一人手持火花記錄計時器，火花記錄計時器盡量靠近木板，位在木板側邊的正下方，如照片(六)。
- 3.當火花記錄計時器開關按下時，站在高梯上的人旋即將手鬆開，觀察加速上升中電子秤讀數的變化並在系統裝置加速度運動接近終止時，讀出電子秤的數值。
- 4.實驗重複十五次，選取其中實驗數據較接近的十次，計算平均系統加速度(a)和在加速度運動過程中秤盤對電子秤的平均作用力。
- 5.分別將右端塑膠桶內的 1Kg 砝碼數量調整為 2 個、3 個、4 個和 5 個，重複步驟 1



照片(六) 加速度測量裝置圖
(第二套加速度系統裝置)

~4。

- 6.將左端塑膠桶內砝碼(300gw)放在電子秤上，裝置如照片(二)。在右端塑膠桶內放置 1 個 1Kgw 砝碼，一人站在高梯上並用手撐著右端塑膠桶，使系統維持在靜止狀態。隨後，站在高梯上的人將手鬆開，觀察加速上升中電子秤讀數的變化並在系統裝置加速度運動終止前，讀出電子秤的數值。
- 7.實驗重複十五次，選取其中實驗數據較接近的十次，計算在加速度運動過程中，砝碼(300gw)和秤盤對電子秤的平均作用力。
- 8.裝置如照片(二)，在左端塑膠桶內放置 1 個 1Kgw 砝碼，一人站在高梯上並用手撐著塑膠桶，使系統維持在靜止狀態。隨後，站在高梯上的人將手鬆開，觀察加速下降中電子秤讀數的變更，並在系統裝置加速度運動接近終止時，讀出電子秤的數值。
- 9.實驗重複十五次，選取其中實驗數據較接近的十次，計算在加速度運動過程中，砝碼(300gw)和秤盤對電子秤的平均作用力。
- 10.分別將左端塑膠桶內的 1Kgw 砝碼數量調整為 2 個、3 個、4 個和 5 個，重複步驟 8~9。

伍、研究結果

一、加速度的測量(第一套加速度系統裝置)

組別	砝碼數量 (1Kgw)	$(S_5 - S_0)/5 \times 10^2(m)$					平均 $(S_5 - S_0)/5(m)$	平均系統加 速度 $a(m/s^2)$
1	(0, 1)	2.70	2.64	2.68	2.75	2.78	0.0272	2.72
		2.69	2.68	2.64	2.80	2.84		
2	(0, 2)	4.48	4.40	4.45	4.50	4.54	0.0445	4.45
		4.38	4.38	4.48	4.42	4.48		
3	(0, 3)	5.32	5.38	5.40	5.30	5.32	0.0562	5.36
		5.45	5.35	5.32	5.40	5.34		
4	(0, 4)	6.28	6.20	6.24	6.36	6.36	0.0628	6.28
		6.24	6.30	6.26	6.24	6.34		
5	(0, 5)	6.68	6.70	6.80	6.78	6.72	0.0665	6.74
		6.82	6.73	6.70	6.75	6.72		

表(一) 加速度的測量(第一套加速度系統裝置)

二、彈簧伸長量的測量： $(w_0 = 50\text{gw})$

組別	砝碼數量 (1Kgw)	系統加速度 $a(\text{m/s}^2)$	重力加速度 $g(\text{m/s}^2)$	彈簧長度 的變化量 (cm)	彈簧伸長 量(cm) (未校正)	彈簧伸長 量(cm) (校正)	物體的重量 $w(\text{gw})$ (實驗值)	物體的重量 $w(\text{gw})$ (理論值)
1	(0, 1)	2.72(↑)(左)	12.52	+0.13	6.7	6.57	68.99	63.88
2		2.72(↓)(右)	7.08	-0.13	3.1	3.23	33.92	36.12
3	(0, 2)	4.45(↑)(左)	14.25	+0.22	7.7	7.48	78.54	72.70
4		4.45(↓)(右)	5.27	-0.22	2.1	2.32	24.36	26.89
5	(0, 3)	5.36(↑)(左)	15.16	+0.26	8.4	8.14	85.47	77.35
6		5.36(↓)(右)	4.44	-0.26	1.6	1.86	19.53	22.65
7	(0, 4)	6.28(↑)(左)	16.08	+0.31	8.8	8.49	89.15	82.04
8		6.28(↓)(右)	3.52	-0.31	1.0	1.31	13.76	17.96
9	(0, 5)	6.74(↑)(左)	16.54	+0.33	9.4	9.07	95.24	84.39
10		6.74(↓)(右)	3.06	-0.33	0.6	0.93	9.77	15.61

表(二) 彈簧伸長量的測量

三、加速度的測量(第二套加速度系統裝置)

組別	砝碼數量 (1Kgw)	$(S_5 - S_0)/5 \times 10^2(\text{m})$					平均 $(S_5 - S_0)/5(\text{m})$	平均系統加 速度 $a(\text{m/s}^2)$
1	(0, 1)	0.94	0.92	0.98	1.02	0.96	0.0098	0.98
		1.02	0.95	1.00	0.98	1.02		
2	(0, 2)	2.20	2.18	2.24	2.22	2.18	0.0223	2.23
		2.20	2.26	2.26	2.28	2.26		
3	(0, 3)	3.00	3.03	2.92	3.04	2.90	0.0296	2.96
		3.02	2.92	2.90	2.92	2.98		
4	(0, 4)	3.82	3.80	3.82	3.80	3.86	0.0383	3.83
		3.80	3.86	3.90	3.88	3.80		
5	(0, 5)	4.00	3.92	4.00	4.04	3.90	0.0396	3.96
		3.92	4.05	4.06	3.88	3.86		

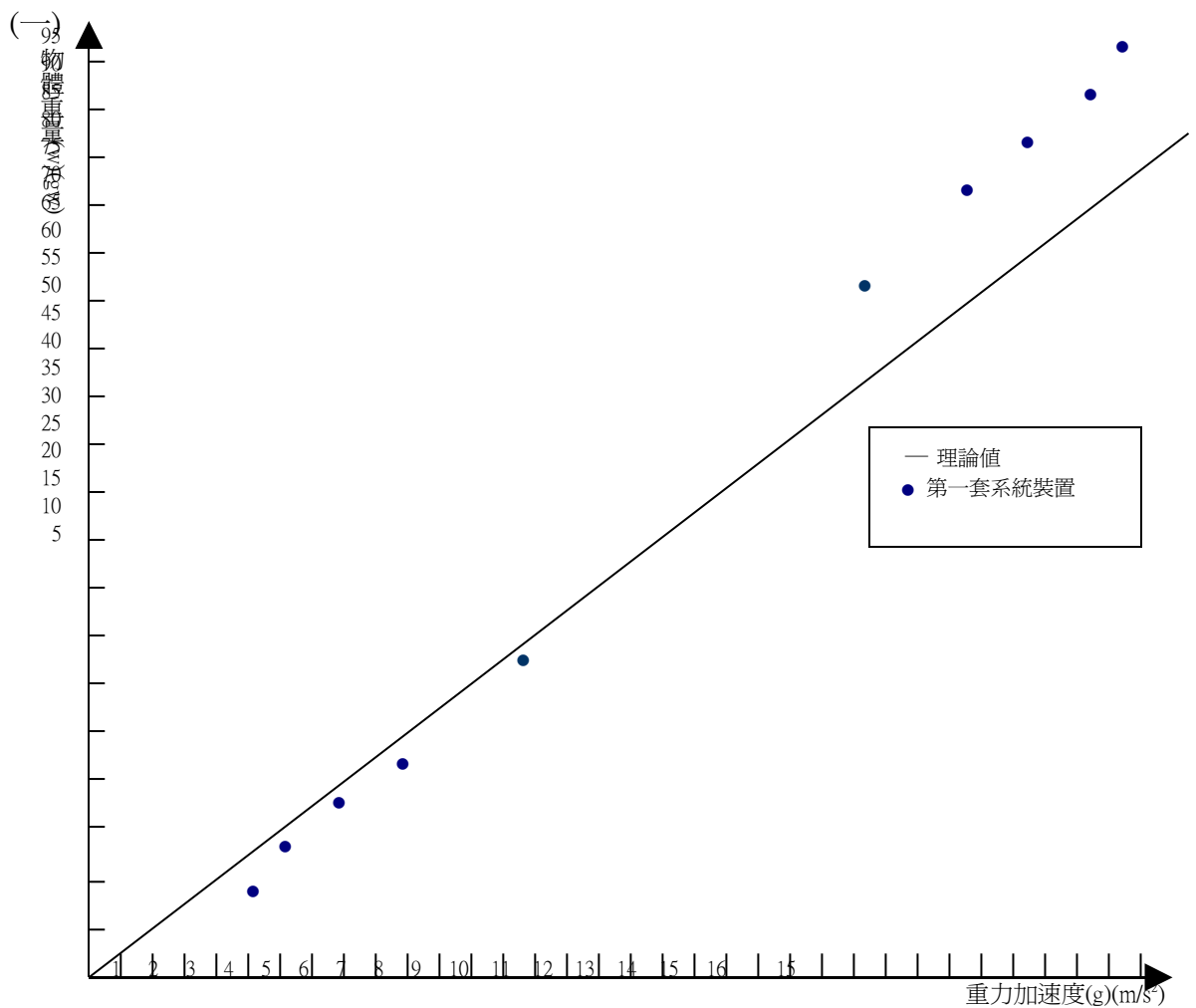
表(三) 加速度的測量(第二套加速度系統裝置)

四、系統加速運動時，物體重量的測量： $(w_0=300\text{gw})$ (第二套加速度系統裝置)

組別	砝碼數量 (1Kgw)	系統加速度 $a(\text{m/s}^2)$	重力加速度 $g(\text{m/s}^2)$ ($g = g_0 + a$)	秤盤對電子秤 的作用力(gw)	物體和秤盤 對電子秤的 作用力(gw)	物體的重量 (gw) (實驗值)	物體的重量 (gw) (理論值)
1	(0, 1)	0.98(↑)	10.78	19.34(↓)	353.72(↓)	334.38	330.00
2	(0, 2)	2.23(↑)	12.03	42.11(↓)	407.10(↓)	364.99	368.26
3	(0, 3)	2.96(↑)	12.76	57.43(↓)	447.30(↓)	389.87	390.61
4	(0, 4)	3.83(↑)	13.63	71.44(↓)	487.06(↓)	415.62	417.24
5	(0, 5)	3.96(↑)	13.76	82.08(↓)	E	E	421.22
6	(1, 0)	0.98(↓)	8.82	19.34(↑)	248.50(↓)	267.84	270.00
7	(2, 0)	2.23(↓)	7.57	42.11(↑)	196.77(↓)	238.88	231.73
8	(3, 0)	2.96(↓)	6.84	57.43(↑)	153.42(↓)	210.85	209.39
9	(4, 0)	3.83(↓)	5.97	71.44(↑)	117.58(↓)	189.02	182.76
10	(5, 0)	3.96(↓)	5.84	82.08(↑)	90.74(↓)	172.82	178.78

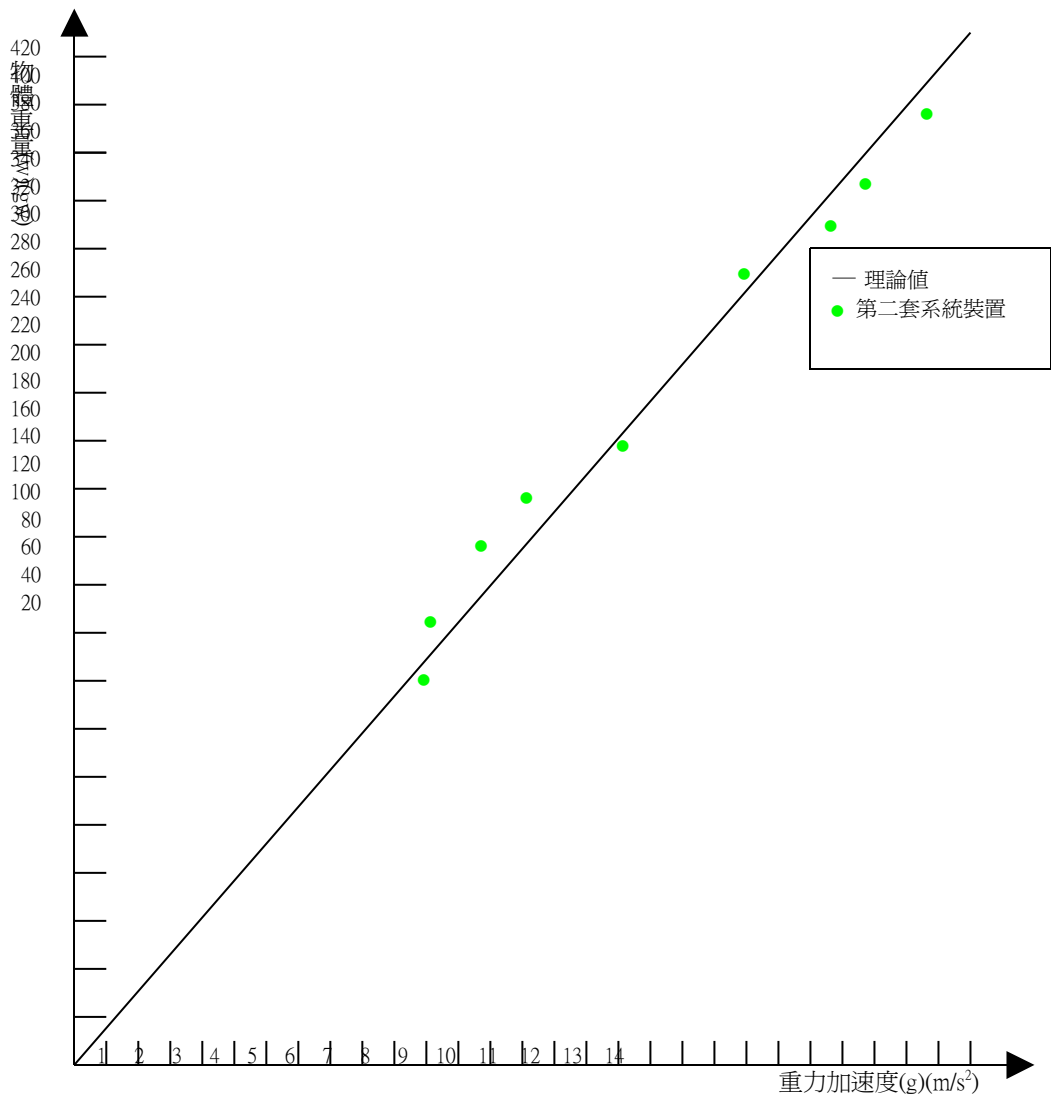
(表四) 系統加速運動時，物體重量的測量(第二套加速度系統裝置)

五、等加速度系統中，物體重量(w)與重力加速度(g)的關係圖



圖(二) 物體重量(w)與重力加速度(g)的關係圖(第一套加速度系統裝置)

(二)



圖(三) 物體重量(w)與重力加速度(g)的關係圖(第二套加速度系統裝置)

陸、討論

一、設計可以改變加速度的裝置

(一)當自然課上到簡單機械滑輪時，在定滑輪的兩端掛上重量不同的物體，重物會向下作加速度運動，輕物則會向上作加速度運動，系統的加速度 $a = (M - m) / (M + m) \times g$ (不考慮繩和滑輪的摩擦力)。從這裡我們得到靈感，只要改變滑輪兩端物體的重量就能改變系統的加速度。為了避免運動過程中滑輪兩端的物體會互相碰觸，影響到系統的運動，我們用兩個定滑輪組成的滑輪組來做實驗。只要改變左、右兩端系統裝置的砝碼(1Kg)數，就能使系統裝置做不同的加速度運動。為了避免運動過程中，左、右兩端系統裝置過於輕而產生搖晃，我們在塑膠桶兩側各綁上一根鐵棒以增加左、右兩端系統裝置的重量。

(二)設計兩套可以改變加速度的裝置，主要是想藉由兩種不同的實驗方法，得到在加速系統中重力加速度與物體重量的關係，使實驗結果更具有可信度。

二、彈簧伸長量的測量

- (一)在加速度運動時，彈簧長度的變化量，原先打算以空彈簧直接做實驗測量得到。但在加速度運動時，彈簧長度的變化量很小，藉由實驗測量會有困難，甚至有可能測量得到的實驗值誤差太大，反而造成實驗更大的誤差，故改而用公式計算求得。
- (二)由表(二)可知，當系統裝置加速度上升時，測得物體的重量比理論值來得大；而當系統裝置加速度下降時，測得物體的重量比理論值來得小，主要的原因為物體的慣性所造成的誤差。當系統裝置加速度上升時，因為慣性的原因，造成物體在加速度上升的瞬間，物體的位置位於平衡點的下方，也就是實驗測得的彈簧伸長量比系統裝置加速度上升運動過程中，彈簧的伸長量要來得大。當系統裝置加速度下降時，因為慣性的原因，造成物體在加速度下降的瞬間，物體的位置位於平衡點的上方，也就是實驗測得的彈簧伸長量比系統裝置加速度下降運動過程中，彈簧的伸長量要來得小。
- (三)為了克服慣性對實驗所造成的誤差，我們打算物體在進行加速度運動接近終點時，才將直流電源供應器開關打開，測量此時彈簧的伸長量，而不是實驗開始前就將直流電源供應器開關打開，測量物體剛開始進行加速度運動時彈簧的伸長量，但實驗失敗。一般實驗室天花板到地面的距離約為 350cm，實際上，物體進行加速度運動的距離約為 250cm，時間不到 1 秒，在這麼短的時間內，彈簧因物體慣性所造成的上下振盪振幅依然很大，由於彈簧的伸長量無法保持一個定值，因此無法準確測量出物體在進行加速度運動過程中彈簧的伸長量，只能準確測量出物體剛開始進行加速度運動時彈簧的伸長量，所以物體慣性對實驗所造成的誤差依然存在。

三、物體重量的測量(第二套加速度系統裝置)

- (一)進行第二套加速度系統裝置實驗時，實驗測得的實驗值與理論值相差很大，始終找不出實驗誤差的原因。在一次實驗中，電子秤的秤盤因電子秤的劇烈搖晃而掉落，這時我們才發現電子秤的秤盤對電子秤有一向下的作用力，此作用力會因加速度的不同而改變。向上加速度運動時，此作用力變大，向下加速度運動時，此作用力變小，由於忽略此作用力造成實驗的誤差。
- (二)剛開始進行實驗時，我們選用的砝碼為 50gw，在進行第 7、8、9、10 四組實驗時，因物體和秤盤對電子秤的作用力(負值)無法由電子秤測得，因而我們改選用 100gw 的砝碼進行實驗，在進行第 9、10 兩組實驗時，仍然因物體和秤盤對電子秤的作用力(負值)無法由電子秤測得，因而作罷。實驗室無 200gw 的砝碼，最後我們選用 300gw 的砝碼進行實驗，在進行第 5 組實驗時，因物體和秤盤對電子秤的作用力超過電子秤測量的最大值 500gw，無法測量，所以此次實驗我們測得九組數據。
- (三)由(表四)可知，藉由電子秤直接測量物體在不同加速度系統中的重量，結果與理論值相當接近。誤差的來源應該是來自於加速度測量的誤差所造成，只要能提高加速度測量的準確性，則實驗值會更接近理論值。

四、等加速度系統中，物體重量(w)與重力加速度(g)的關係的討論

- (一)由圖(二)的數據點可看出，物體重量(w)與重力加速度(g)有正比關係，實驗值與理

論值相差較大。

(二)由圖(三)的數據點可看出，物體重量(w)與重力加速度(g)有正比關係，實驗值與理論值較接近。

(三)第二套系統裝置比第一套系統裝置，實驗測得的實驗值較為接近理論值，那是因為第二套系統裝置在加速度運動過程中，慣性對實驗產生的誤差較小。如果第一套系統裝置能減少慣性對實驗產生的誤差，那麼實驗值與理論值會更接近

柒、結論

- 一、在加速度系統中，物體的重量(w)與系統中的重力加速度(g)成正比關係。
- 二、系統往上產生加速度時，就如同處在重力較大的星球；系統往下產生加速度時，就如同處在重力較小的星球。所以我們不須要到月球上，只要我們能設計出和月球重力相當的加速度系統裝置，就能模擬在月球上所作的實驗，而且實驗的結果會一致。

捌、參考資料及其他

- 一、96年自然科國中第一次基本學力測驗試題第57、58題。
- 二、南一版自然與生活科技，97年9月初版，第五冊第三章。

【評語】 030103

本研究探討在不同加速度系統中重力之改變。實驗裝置相當準確，理論值與實驗值非常吻合，顯示同學們動手實驗的能力很強，但本研究作為示範教學非常好，作為科展題目則創意不足，為其缺點。