

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

030103

新竹市立光武國民中學

指導老師姓名

林茂成

蘇昭鈴

作者姓名

巫建勳

黃志斌

陳皇達

王怡馨

# 中華民國第 四十四 屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理組

組 別：國中組

作品名稱：磁鐵在非鐵金屬管中的磁浮現象與應用

關 鍵 詞： 磁浮、磁緩衝機、渦電流

編 號：

## 壹.摘要

在國中理化課本中，我們所學到的《電流和磁的關係》，我們都知道「當電磁靠近金屬時，金屬內的磁場會發生變化，此時金屬會有『電流』的產生，進而使檢流計的指針發生偏轉，英國科學家法拉第在 1831 年，將這個現象稱為『感應電流』」。因此我們選擇銅、鋁兩種金屬管探討不同強度的磁鐵在金屬管中作自由落體時感應電流與磁鐵落下速度的變化關係。在本研究中，我們首先要找出能準確測量磁鐵從金屬管落下的時間的裝置，於是我們利用數位相機、放大鏡、馬錶設計了「同步攝影法」，來改善手按測量的不準確。藉由電腦的影像分析，在不同厚度(1.55、3.10 mm)與不同金屬管(銅、鋁)的研究發現以厚銅金屬管的效果最佳，此現象應與感應電流的大小與金屬材質的電阻大小成反比有關。在不同厚度的金屬管中改變磁鐵磁場強度的實驗發現薄金屬管在磁鐵磁場強度約為 5000 高斯及厚金屬管磁鐵磁場強度約為 3000 高斯時鐵落下的速度為等速度運動。其次在將金屬管切割成有缺口的實驗中，我們發現感應電流的現象依然存在，這現象顯示在金屬管中的感應電流不是沿著圓形的管子而形成，而是當磁鐵靠近金屬管時，在金屬管的管壁間可以形成無數連續的小「渦電流」，這無數的小渦電流在管壁內產生無數感應磁場形成「磁阻」用來抵抗磁鐵的下降。最後利用磁鐵、鋁管、定滑輪、砝碼組及投影片捲成的電梯設計「磁浮升降梯」、「磁緩衝機」可以在沒有電力的情況下將升降梯的速度控制在 0.18 公尺/秒的安全速度，及磁緩衝機的設計可使蛋由 4 公尺高落下卻完好如初不會破裂。

## 貳. 研究動機：

在國中理化科的第十二章中介紹了電流和磁的關係，其中十二之三的『感應電流』實驗最讓我們感興趣，在一線圈內有磁場變化時，會產生『感應電流』，而其產生的磁場會排斥我們進出線圈的磁鐵，我們不禁有個疑問：要是將線圈垂直放置，並投入一磁鐵時，磁鐵落下時的加速度是否會因感應電流產生的磁場而有所改變？老師使用鋁管做實驗時，效果更明顯，那不同的金屬管是否會有不同的結果？那要是使用不同厚度及不同長度的金屬管，又會出現什麼樣的結果呢？金屬管與線圈的感應電流一樣嗎？一連串的問題正等著我們去深入探討。

而現今的生活中，有科學家致力於磁力浮動(magnetic levitation)的研究，發展磁浮列車、磁浮太空船，而我們是否可以應用電磁感應的現象發展具有大樓逃生或電梯安全裝置功能的「磁浮升降梯」？也是我們研究的想法。

## 參. 研究目的：

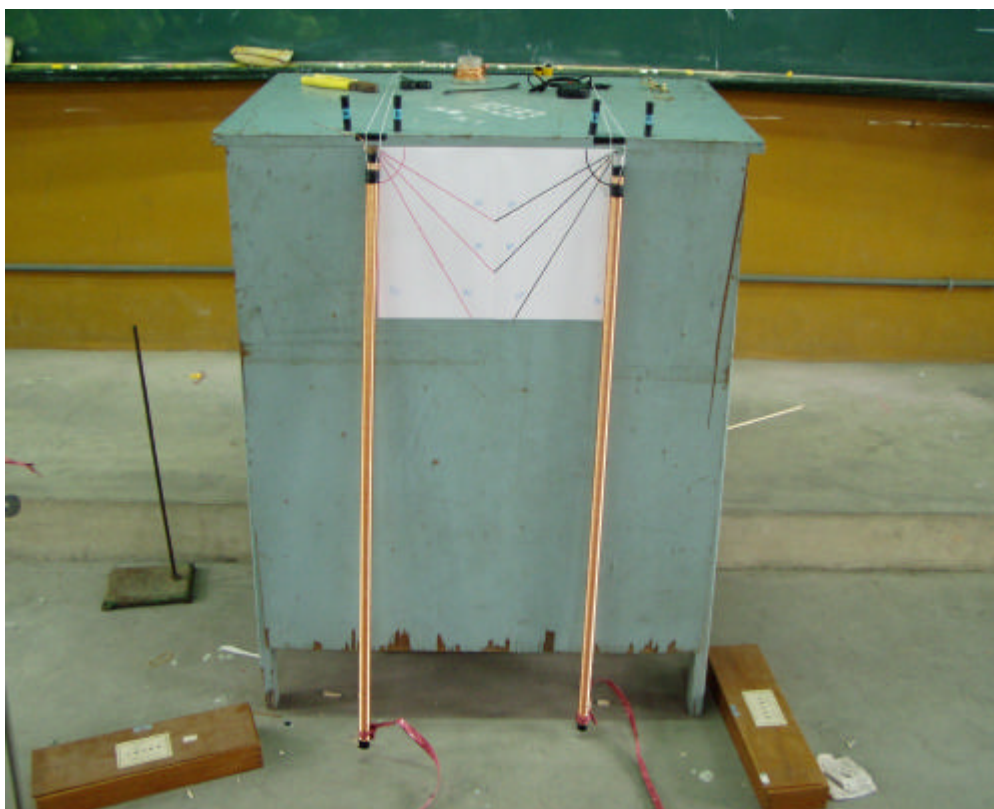
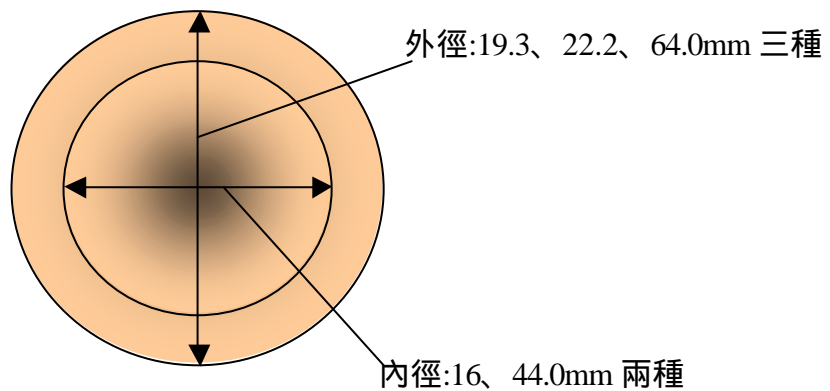
- 一. 設計磁鐵自由落下，測量時間的實驗裝置。
- 二. 探討磁鐵電梯在金屬管中落下時的運動方式。
- 三. 不同強度磁鐵在不同金屬管中落下時感應磁場的探討。
- 四. 改變金屬管的種類與厚度，探討在不同條件中感應磁場的變化。
- 五. 金屬管中感應電流的探討。
- 六. 磁緩衝機、磁浮升降梯的設計。

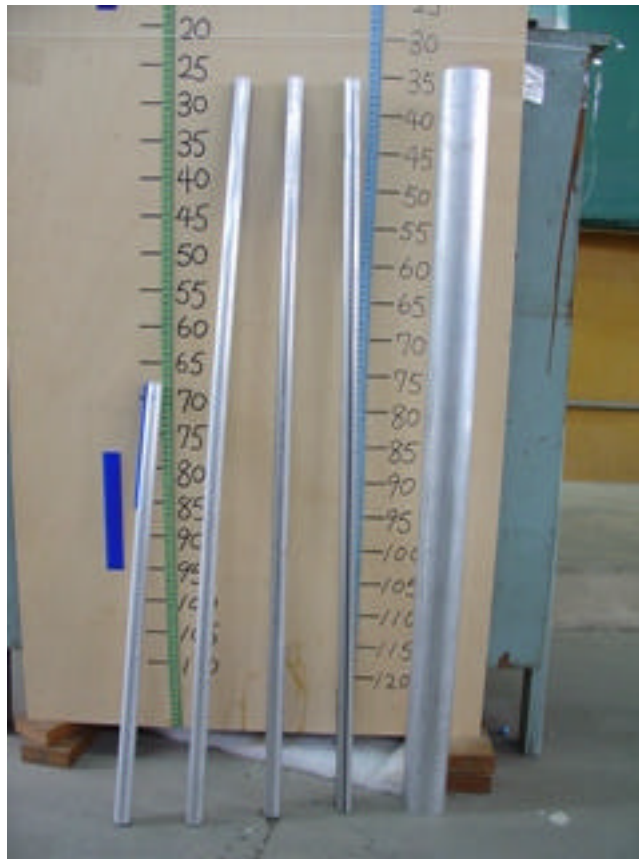
## 肆. 研究設備及器材：

- 木板 ×1 (長 150 公分.寬 70 公分)
- 粗吸管 (珍珠奶茶用) (長度：5 cm) ×4
- 不同磁場強度的磁鐵 (B1、B2、B3、B4)
- 絕緣膠帶和透明膠帶 各 1
- 數位照相機 COLYMPUSC-720 Ultra Zoom ×1
- 碼表(CASLO) ×2
- 放大鏡 ×1
- 鐵架 ×2
- 熱熔膠槍\* 1
- 黏土 (270 公克)
- 等臂天平 (金光儀器)
- 珍珠奶茶吸管 (數支)
- 棉線 (200 公分)
- 投影片紙 (數張)
- 高斯計 (F.W. BELL Gauss Tesla meter model 5070)
- 100、60、30 cm 鋁管 (內徑：16 mm) (外徑：19.3、22.2 mm) (厚：1.55、3.1 mm) 各 1

100 cm銅管 (內徑 : 16 mm)(外徑 : 19.3、 22.2 mm)(厚 : 1.55、 3.1 mm) 各 1  
100 cm鋁管 (內徑 : 44.0 mm)(外徑 : 64.0 mm)(厚 : 10.0 mm) 各 1

鋁、銅金屬管

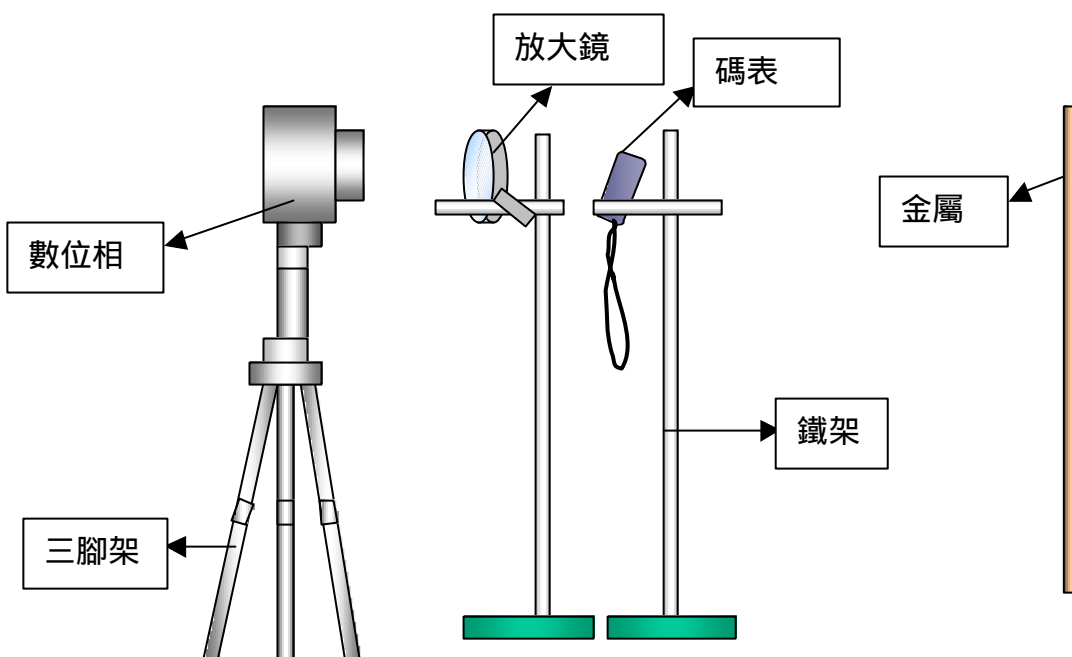






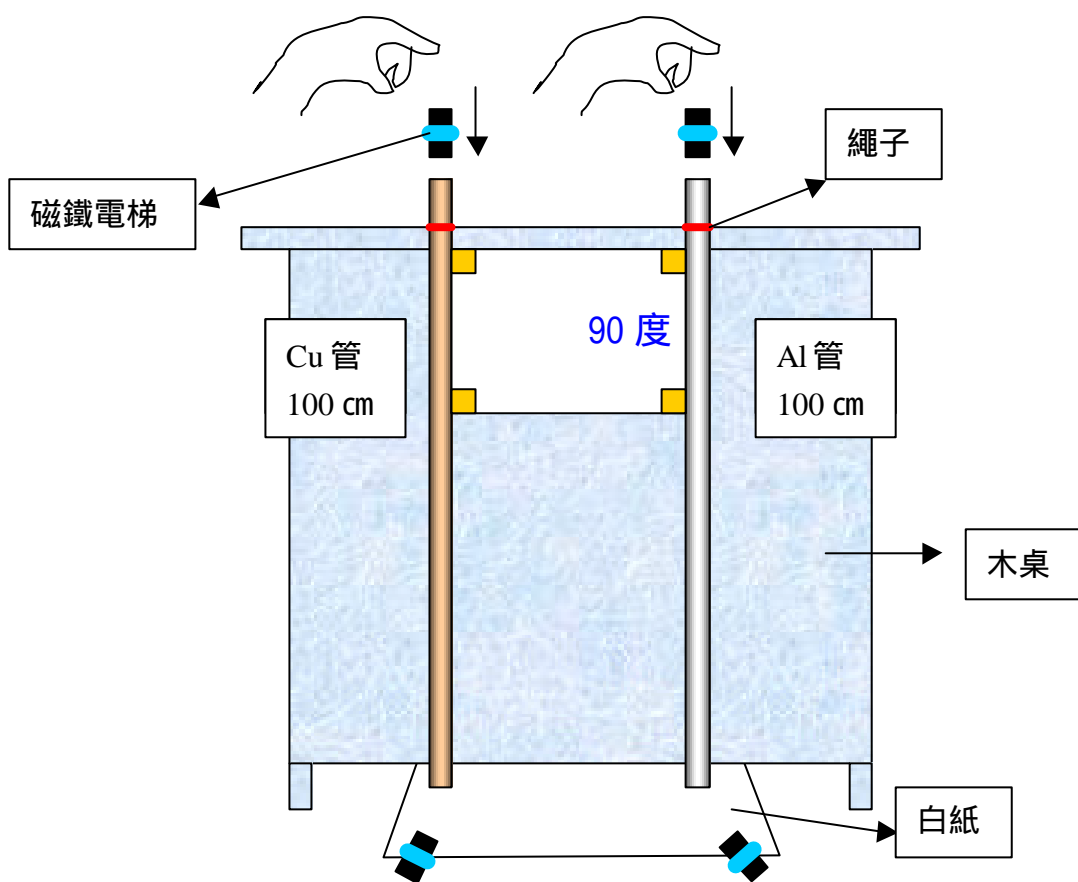
## 伍. 研究裝置：

- 一. 同步攝影裝置：利用數位攝影機再加上一組放大鏡，可以同步攝影測量自由落體所需時間。

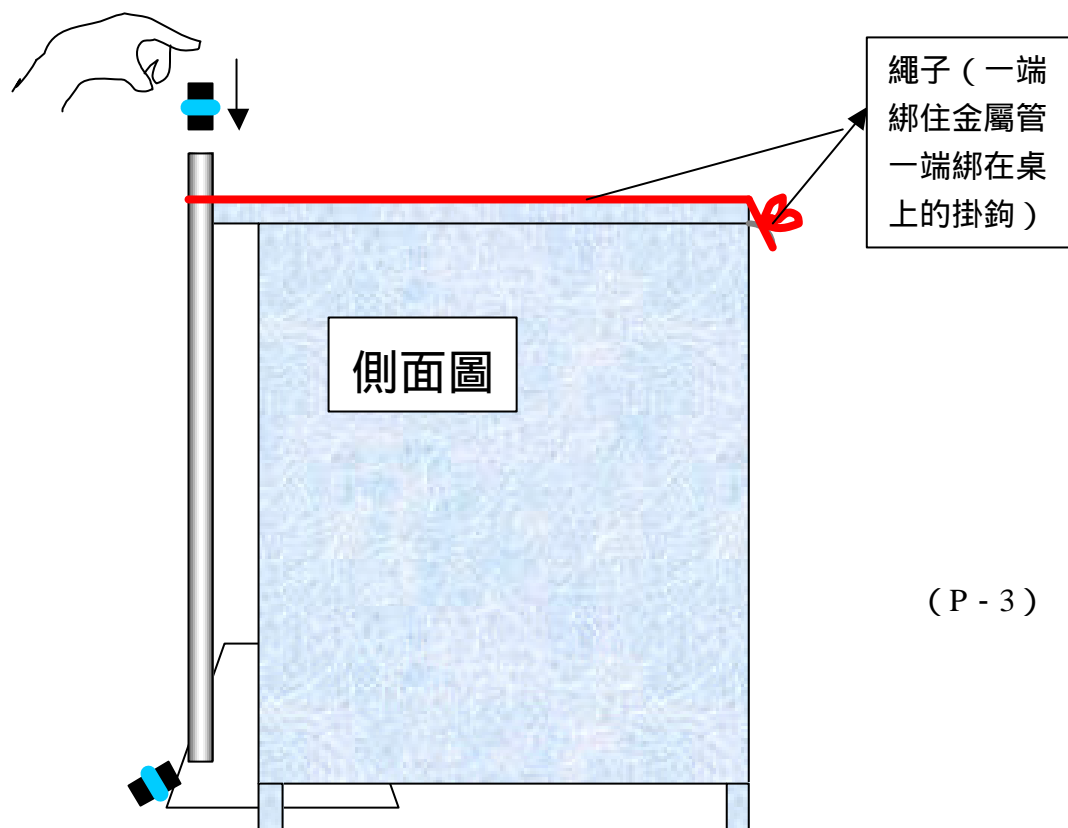


(P - 1)

二. 自金屬管上端釋放磁鐵電梯使自由落下，測量由上端落至下端所需時間。



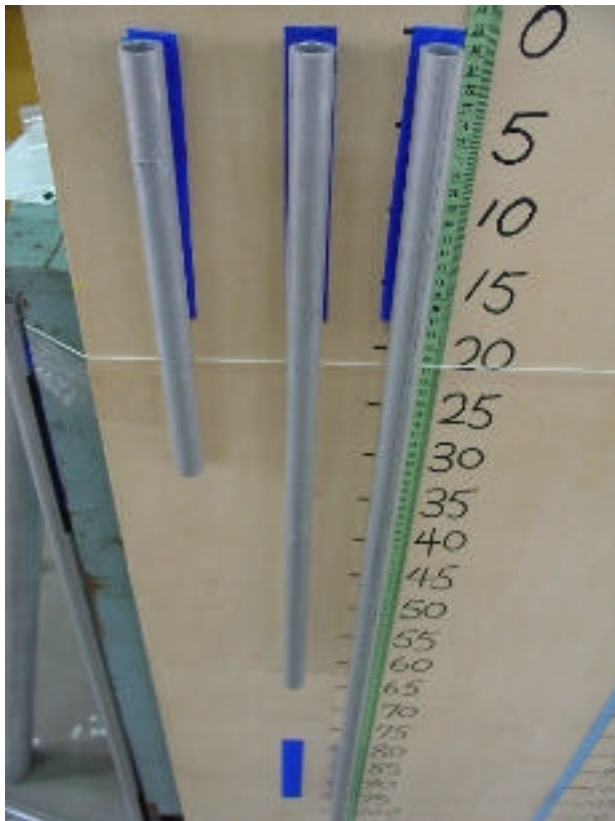
( P - 2 )



( P - 3 )



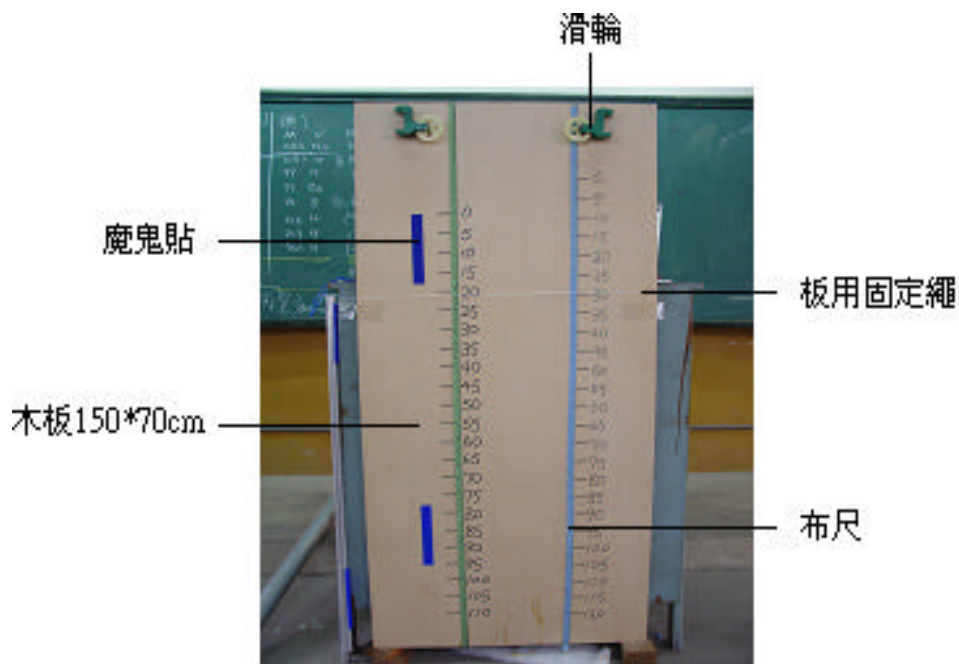
三. 不同長度金屬管，使磁鐵電梯自金屬管上端自由落下，測量由上端落至下端所需時間。



(P - 4)

## 陸. 研究過程或方法：

- 一. 利用吸管、磁鐵、大理石和膠帶製作出磁性強度不同的『磁鐵電梯』，分別編號為：B1、B2、B3、B4，各電梯重 20 公克，並以高斯計測量其磁場大小。(B4 為對照組)
- 二. 架設實驗裝置。
- 三. 選用 1~5 組進行實驗：
  - 1、100 cm 銅、鋁管實驗組(內徑 16mm、外徑 19.3mm)
  - 2、100 cm 銅、鋁厚管實驗組(內徑 16mm、外徑 22.2mm)
  - 3、100 cm 鋁管與定滑輪實驗組(內徑 16mm、外徑 22.2mm)
  - 4、100、60、30cm 鋁管實驗組
  - 5、100、15cm 鋁管實驗組(內徑 440mm、外徑 640mm)
- 四. 利用同步攝影測量『磁鐵電梯』B1~B4 在不同金屬管落下所需之時間  $t$ 。



(P - 5)

五. 利用距離 - 加速度的關係式：

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (\text{式 1-1})$$

s 為金屬管長度，初速度  $v_0$  為零，時間 t 為實驗值，代入上式計算出各不同條件下的加速度 a 值。

由式 1-1 計算出的加速度 a 值為磁鐵電梯在金屬管中所受向下的重力加速度(g)與向上的摩擦力加速度( $a_f$ )、感應磁力加速度( $a_m$ )三力的淨加速度，其關係如下：

$$a = g - (a_f + a_m) \quad (\text{式 1-2})$$

B4(對照組)的磁場強度為 0，即  $a_m$  等於零，故 B4 的加速度  $a_4$  為：

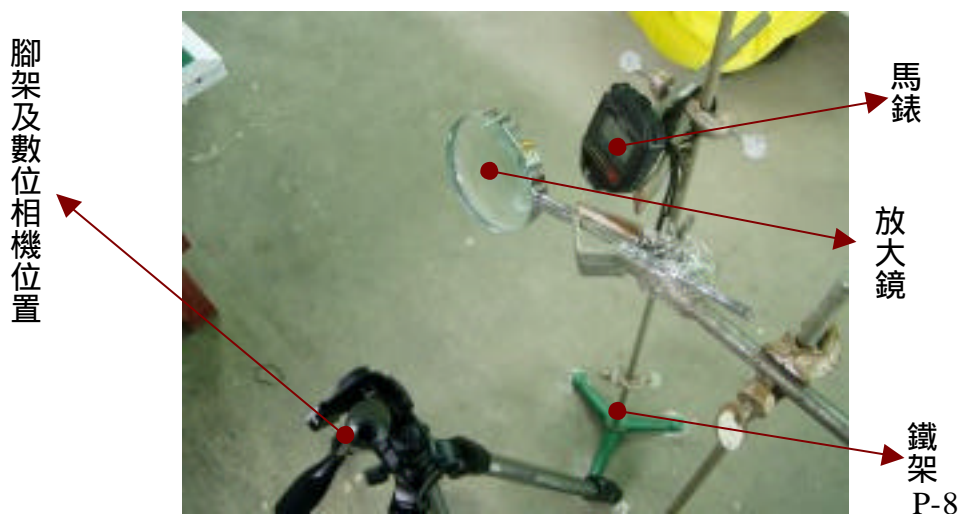
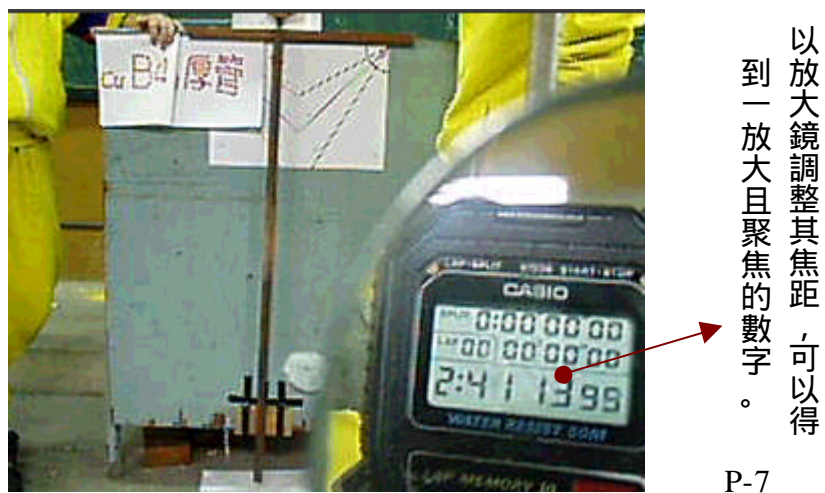
$$a_4 = g - a_f \quad (\text{式 1-3})$$

由(式 1-2)、(式 1-3)可求出 B1~B3 在金屬管中感應磁場所產生的加速度：

$$a_m = a_4 - a \quad (\text{式 1-4})$$

## 柒.研究結果：

- 一. 利用本實驗的裝置可以運用最簡單、方便的器材同步攝影拍下自由落體的時間與位置，再經由電腦的輔助分析計算其加速度，此裝置可以改良課本的實驗裝置。



二. 利用高斯計分別測量磁鐵電梯 B1~B4 的磁場強度紀錄如下：

磁鐵電梯 高斯	B1	B2	B3	B4(對照組)
高斯 (G)	4870	1406	42.4	0

( T - 1 )

三. 不同厚度(N)固定長度(1.00m)的銅管，以不同磁場強度的磁鐵電梯(B)做自由落體實驗，測量所需時間(t)，紀錄如下：

t \ N B	薄銅管(1.55mm)	厚銅管(3.10mm)
B1	8.560 秒	16.202 秒
B2	0.840 秒	1.720 秒
B3	0.560 秒	0.600 秒
B4(對照組)	0.480 秒	0.470 秒

( T - 2 )

四. 不同金屬 (X)的銅、鋁管，固定長度(1.00m)及厚度(3.10mm)，以不同磁場強度的磁鐵電梯(B)做自由落體實驗，測量所需時間(t)，紀錄如下：

t \ X B	銅管	鋁管
B1	8.560 秒	4.131 秒
B2	0.840 秒	0.730 秒
B3	0.560 秒	0.550 秒
B4(對照組)	0.480 秒	0.470 秒

( T - 3 )

五. 不同長度(L)的 3.10 mm厚鋁管，以磁場強度 4870G 的磁鐵電梯(B1)做自由落體實驗，測量所需時間(t)，紀錄如下：

t \ L B	0.30m	0.60m	1.00m
B1	1.340 秒	2.590 秒	4.131 秒
B2	0.403 秒	0.580 秒	0.730 秒
B3	0.313 秒	0.440 秒	0.550 秒
對照組	0.230 秒	0.330 秒	0.470 秒

(T - 4)

六. 長度 1.00m 的 22.2 mm 有缺口厚鋁管，以磁場強度 4870G 的磁鐵電梯(B1)做自由落體實驗，測量所需時間(t)，紀錄如下：

$t$ B	管	完整鋁管	削薄的鋁管	削缺口的鋁管.
B1		4.131 秒	4.007 秒	3.000 秒
對照組		0.470 秒	0.451 秒	0.460 秒

(T - 5)

七. 以 640mm 粗的鋁管(100 cm 內徑 440 mm 外徑 640 mm 厚 100 mm) 用 5300G 的磁鐵及庵鶉蛋置入緩降梯內，並由高空自由落下觀察庵鶉蛋的完整性，結果如下：

高度(cm)	庵鶉蛋的完整性	
	實驗組	對照組
30	O	X
60	O	X
90	O	X
100	O	X
450	O	X

O 表示完整沒有破裂 X 表示破裂

(T - 6)

八. 以定滑輪設計一磁浮的緩降梯，利用磁鐵與電梯的重量差在金屬管中可以自由上下移動。

100 公分. 全管實驗值

鋁管	磁鐵(g)	距離(m)	入管時間(秒)	出管時間(秒)	所用時間(秒)	加速度	平均速度米/秒
100cm	20g-5g	1.00	23.01	33.11	8.10	0.03	0.12
100cm	20g-10g	1.00	17.64	28.14	10.50	0.02	0.10
100cm	20g-30g	1.00	55.39	68.93	13.54	0.01	0.07
100cm	20g-35g	1.00	3.27	11.05	7.78	0.03	0.13
100cm	20g-40g	1.00	51.55	57.02	5.47	0.07	0.18
100cm	20g-50g	1.00	18.98	22.15	3.17	0.20	0.32
100cm	20g-60g	1.00	9.37	11.72	2.35	0.36	0.43

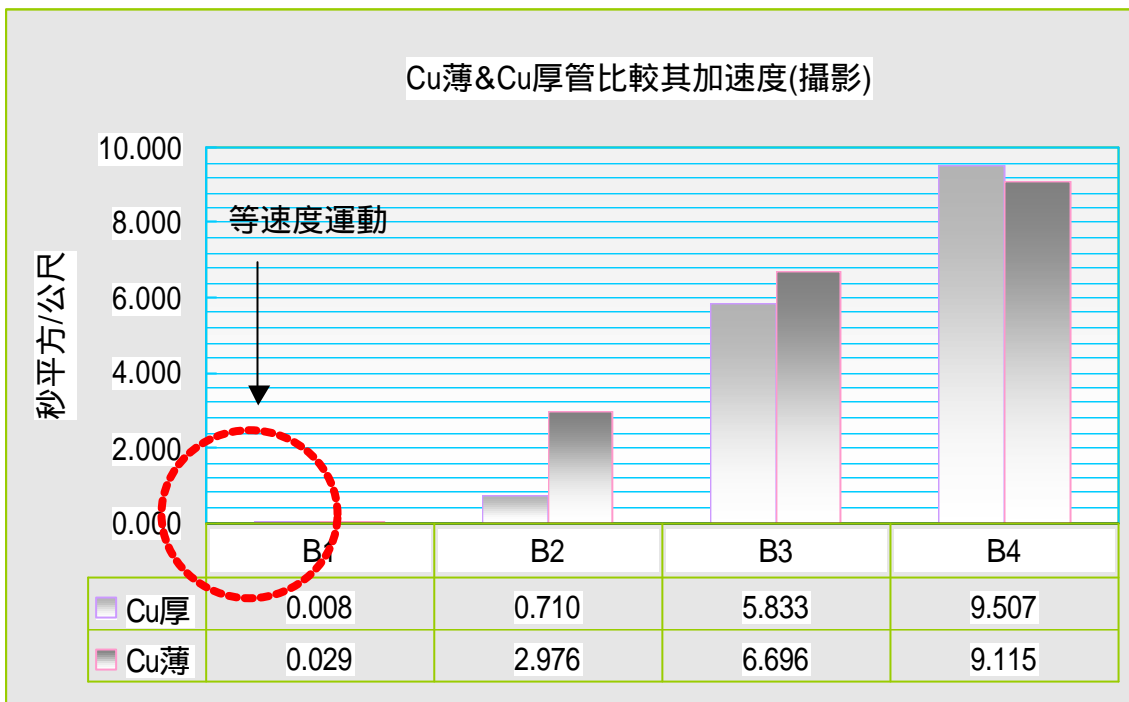
(T-7)

## 捌.研究討論：

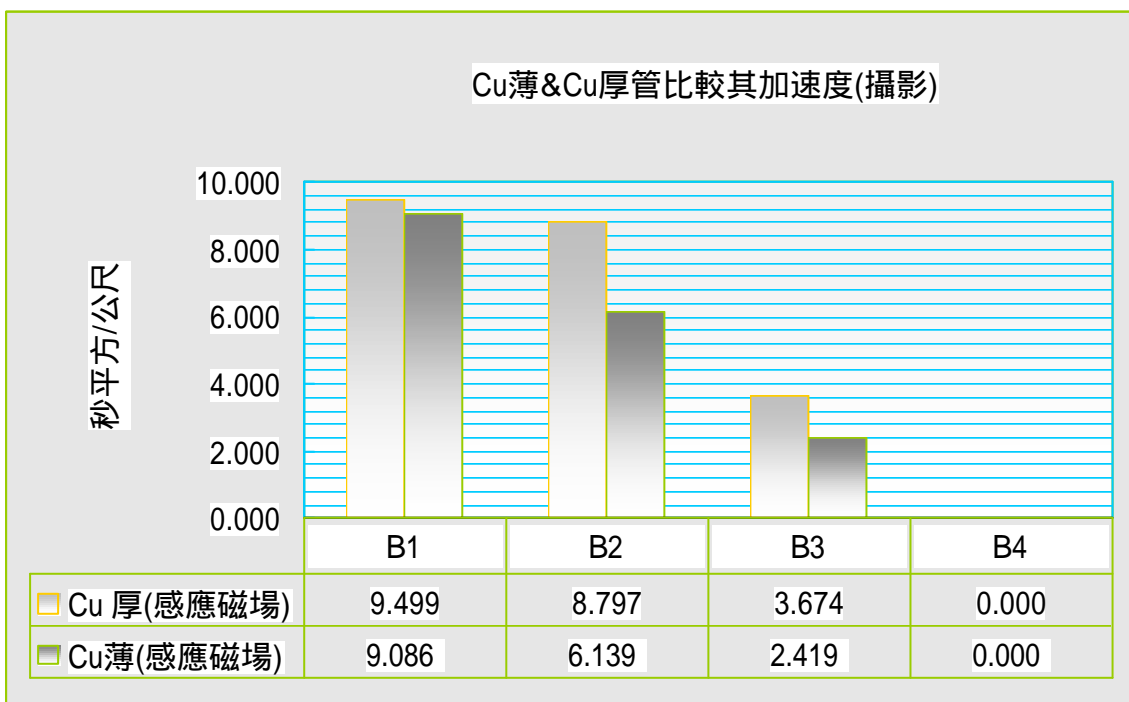
- 一. 我們一開始採用「肉眼觀測法」(用肉眼看，手按碼表)來觀測電磁電梯掉下來所花的時間，如(P - 6)所示。但數據有誤差，為追求精確，我們設計了一套裝置，命名為「同步攝影法」，如(P - 7)所示。在此實驗中，使用了一臺數位相機，並將其架設在三角架上，之後又用兩個鐵架分別固定上碼表和放大鏡，三者成一直線，如(P - 8)所示，排列順序為：數位相機 放大鏡 碼表 金屬管。在這之前並未使用放大鏡，但在觀看錄下的影片時，發現碼表上的數字模糊，難以觀測(數位相機的焦點只在遠處的金屬管上，管與碼表兩者相距甚遠，碼錶呈失焦的模糊狀態)，後來為彌補此缺點，我們使用放大鏡，利用凸透鏡的聚焦特性將碼表上的數字清楚的呈現在影片中，效果有了明顯的改善(見P - 7)。攝影後，我們使用「Quick Time Player」軟體觀看影片，記錄電磁電梯被丟下，及掉出的瞬間時間，兩者相減，便是其落下所費時。若以影片軟體已定格方式播放，因NTSC制的播放為每秒30張，故亦可以以此方法計算出錄影的時間，兩者結果相同。
- 二. 利用(式 1-1)~(式 1-4)計算出不同厚度的銅管，以不同磁場強度的磁鐵電梯(B)做自由落體落下之加速度(a)，及感應磁場的感應加速度( $a_m$ )分別如下：

管子種類 磁場 加速度	薄銅管(1.55mm)		厚銅管(3.10mm)	
	a	$a_m$	a	$a_m$
B1	0.029	9.086	0.008	9.499
B2	2.976	6.139	0.710	8.797
B3	6.696	2.419	5.833	3.674
B4(對照組)	9.115	0.000	9.507	0.000

(表 1-1)



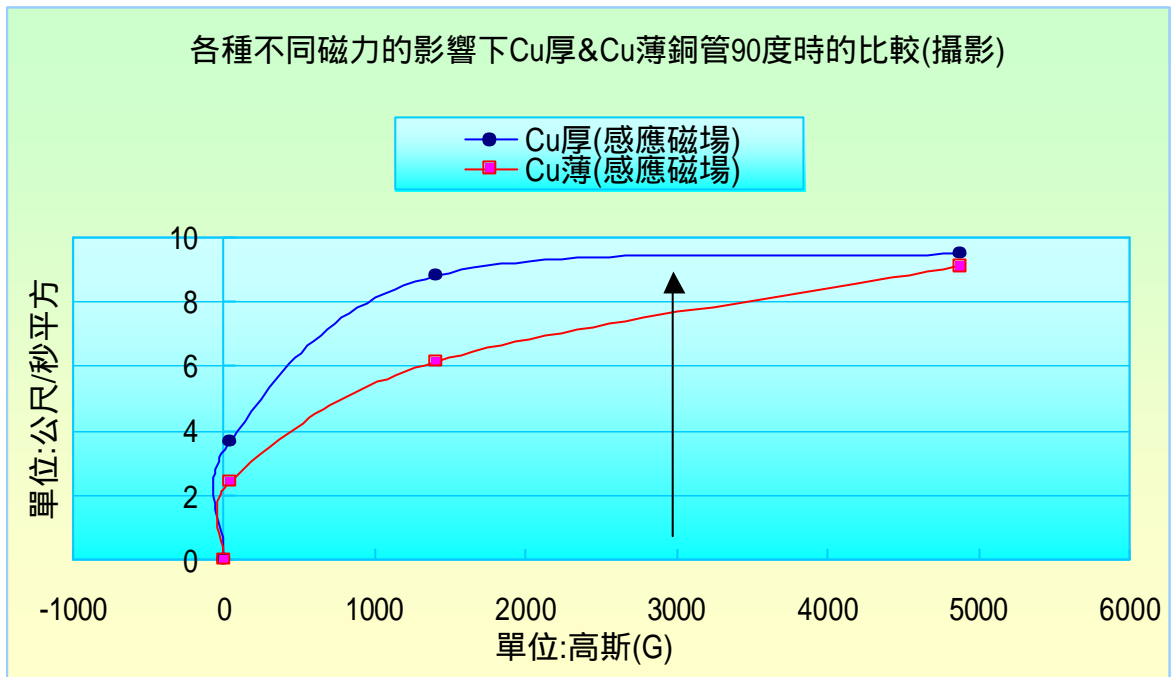
(圖 1-1)



(圖 1-2)

由不同金屬管厚度的實驗發現：

- (一)由(表 1 - 1) 可得知，當金屬管的厚度增加時(由 1.55mm 增加為 3.10 mm)，磁鐵電梯落下時的感應磁場也會增強，相對落下的加速度便會減小。
- (二)見(圖 1 - 1)(圖 1 - 2) 數據上 B4(對照組)在薄銅管中掉落時的加速度較在厚銅管小，是因薄銅管的摩擦力  $a_f$  較大所造成的影響(圖 1 - 1)，當以對照組作修正後厚管的加速度為 9.499 較薄管的 9.086 大，證明金屬管的厚度也會影響感應磁場的強度(圖 1-3)。



(圖 1 - 3)

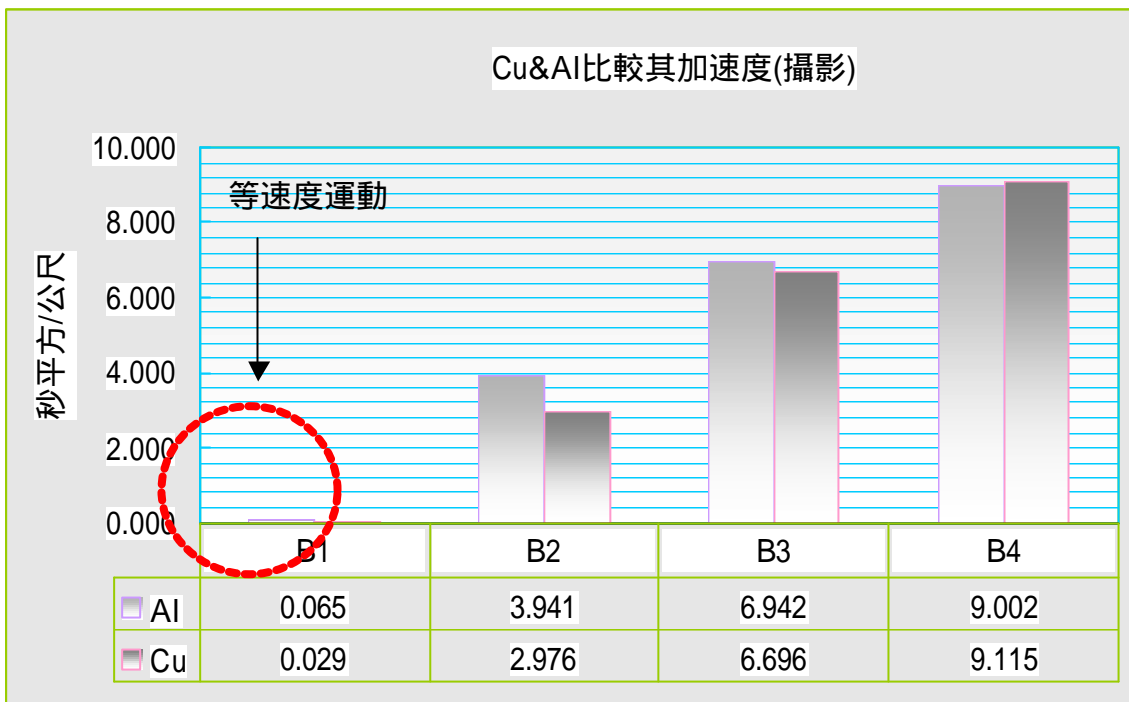
(三)以磁場強度對感應磁場產生的加速度作圖可得上圖(圖 1 - 3),由圖 1 - 3 我們可以發現,增加金屬管的厚度亦會使感應磁場的強度增加,且相較於薄的金屬銅管而言,厚管在約 3000G 時感應磁場的強度就可以趨向一定值其感應電流的強度已可以抵消重力場的強度,此時磁鐵以等速度落下,而在 5000G 下則薄的銅管所感應的電流亦可使磁鐵的加速度趨近 0 而呈等速度落下。有關磁鐵等速度落下的探討可由不同管長的討論加以探討。

二. 利用(式 1-1)~(式 1-4)計算出不同種類的金屬管,以不同磁場強度的磁鐵電梯(B)做自由落體落下之加速度(a),及感應磁場的感應加速度( $a_m$ )分別如下:

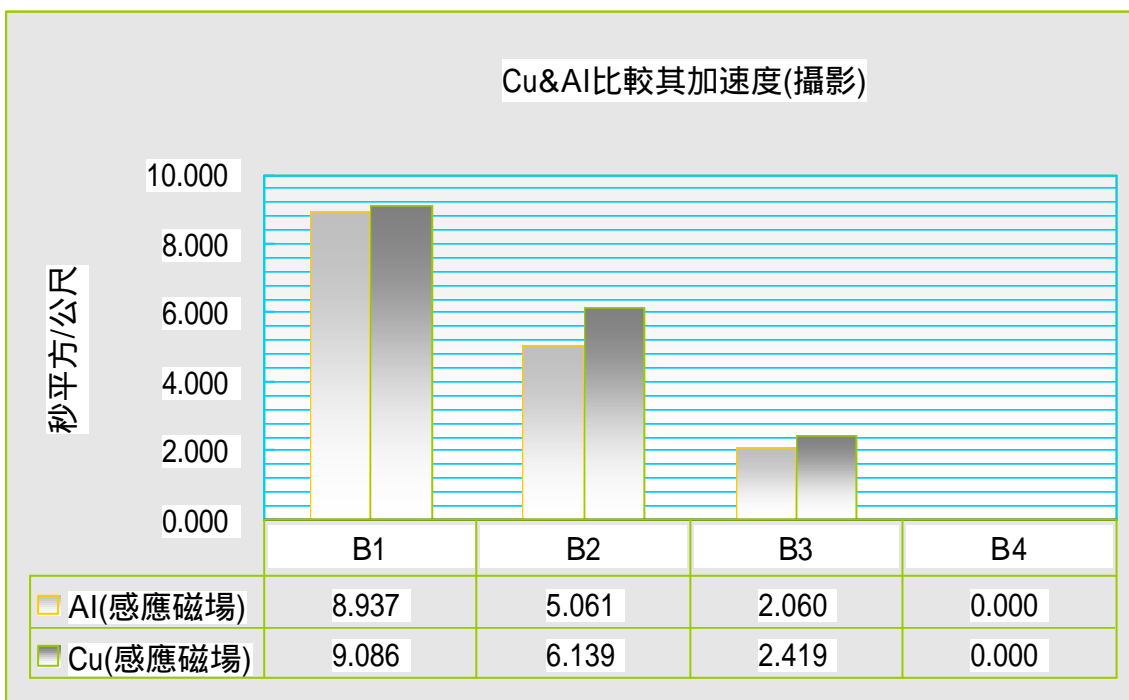
管子種類 磁場 加速度	Al(1.55mm)		Cu(1.55mm)	
	a	$a_m$	a	$a_m$
B1	0.065	8.937	0.029	9.086
B2	3.941	5.061	2.976	6.139
B3	6.942	2.060	6.696	2.419
B4(對照組)	9.002	0.000	9.115	0.000

(表 2-1)





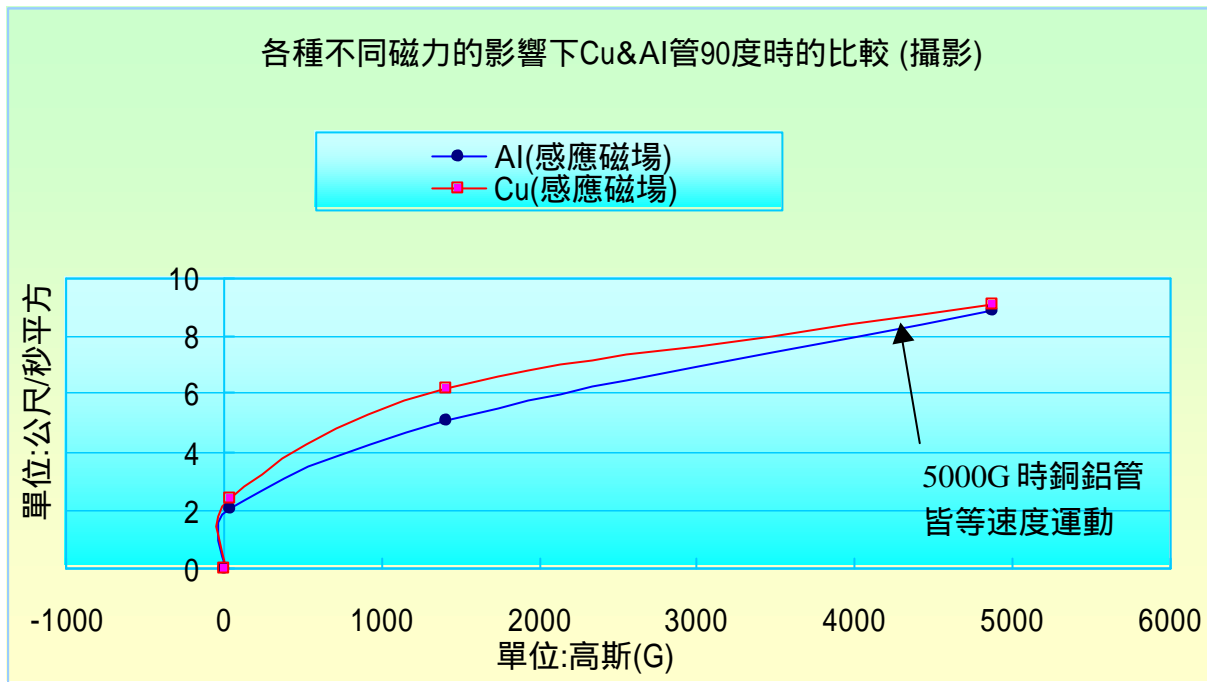
(圖 2-1)



(圖 2-2)

由不同金屬管的實驗發現：

- (一)由(圖 2 - 2) 可得知，導電性較佳的銅管(1.55mm)在磁鐵電梯落下時產生的感應磁場較鋁管(1.55mm)大(圖 2 - 3)。



(圖 2-3)

(二) 依據冷次定律；一個隨著時間變化的磁場，會感應出一感應電流，由本實驗發現，此感應電流會隨金屬管的材質、長度、厚度不同而異。故若有一超導金屬管，其所產生的感應電流依本實驗推測即可以產生強大的感應磁場。

### 三. 討論金屬管中落體的運動模式：

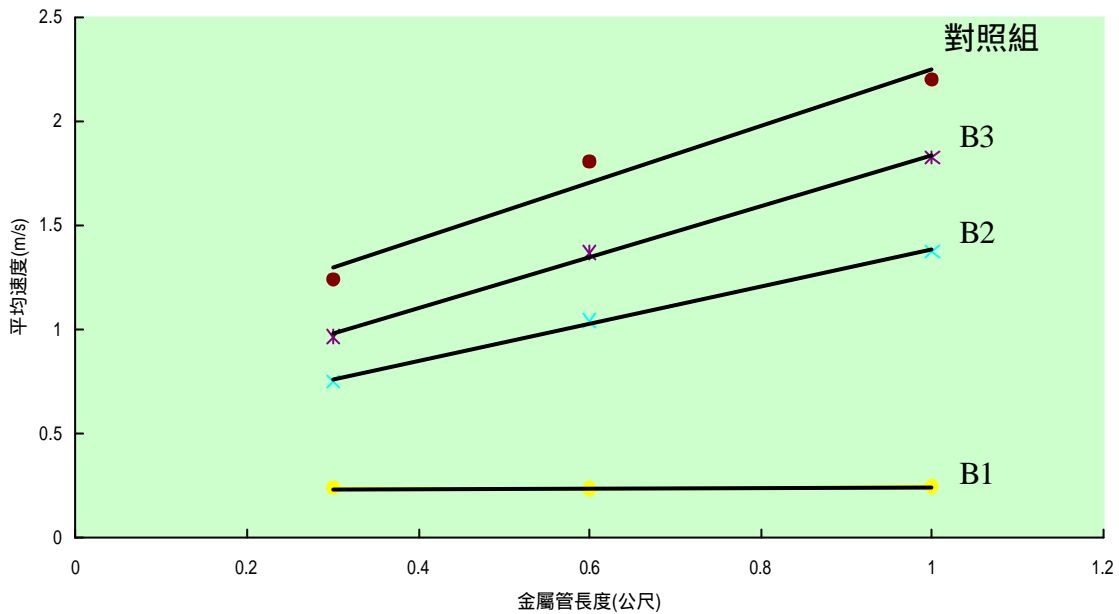
(一) 由(表 1-1)與(1-2)發現在薄金屬管中的磁鐵若強度在 5000G 磁鐵落下的加速度為 0.029、0.065 又以厚管的實驗則在 3000G 以上磁鐵落下的加速度為 0.008、0.710 推論在以上的條件中磁鐵在金屬管中的運動模式為等速度運動。

(二) 在選擇厚的鋁質金屬管的實驗(T-4)中，控制不同的鋁管長度將管長除以落下的時間得下(表 3-1)：

(表 3-1)

平均速度 (公尺/秒)		鋁金屬管(1.00m,OD22.2mm)		
		0.30m	0.60m	1.00m
20g	B1	0.234	0.231	0.242
	B2	0.745	1.038	1.371
	B3	0.962	1.364	1.821
	對照組	1.304	1.818	2.128

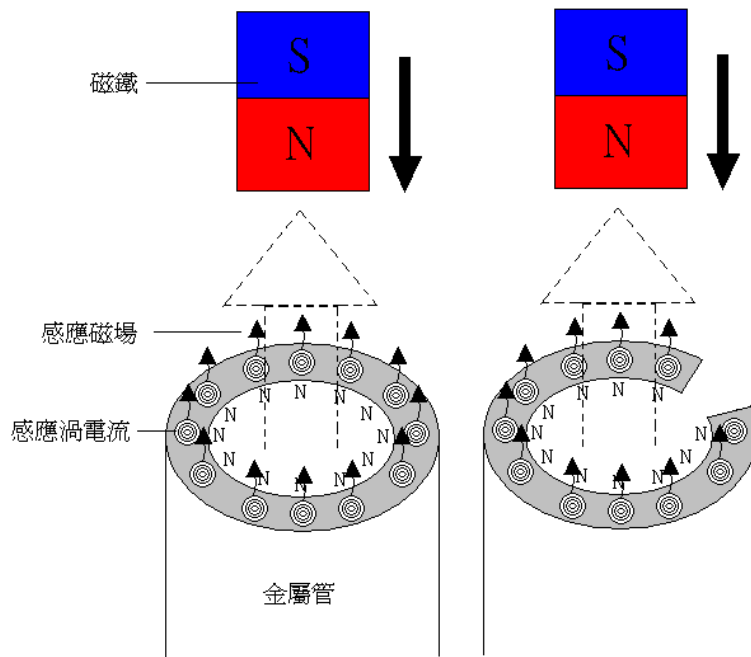
不同長度金屬管磁鐵落下的平均速度



(圖 3-4)

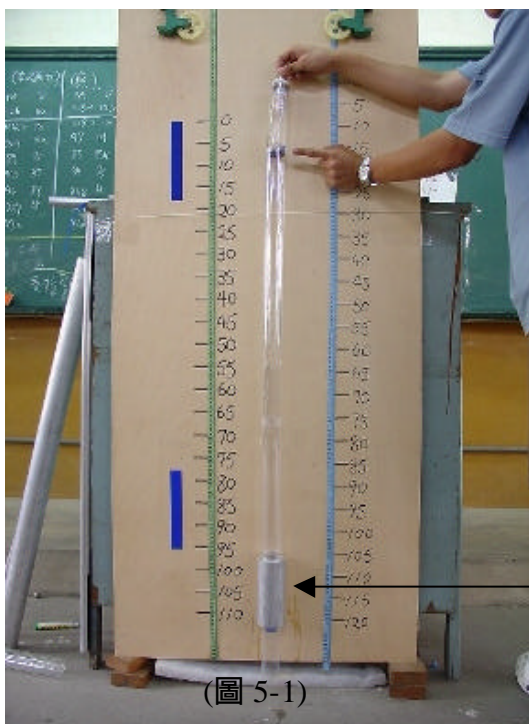
(三)由(表 3-1)及(圖 3-4)可以發現對 B1 磁鐵而言，其落下的平均速度分別為 0.234、0.231、0.242m/s，金屬管的長度並不會影響磁鐵落下的平均速度，但由較弱的磁場 B2、B3 及對照組 B4 在(圖 3-4)中顯示其位移對速度做圖的曲線為斜線，其平均加速度經計算分別為 3.69、6.35、10.69m/s<sup>2</sup>。故可以推論在足夠的磁場強度與適當的金屬管厚度的配合下，磁鐵在管中落下的方式為等速度運動。

四. 由有缺口的金屬管實驗(T-5)，金屬管的缺口並不會影響金屬管因時變磁場所產生的感應電流的產生，證明金屬管的感應電流與線圈的感應電流兩者間的流動方式並不相同，線圈的感應電流是沿著導線的方向流動，當導線是斷路時就不能產生電流的現象，而金屬管可以視為無限多個金屬片堆疊形成，如同電磁爐的原理一樣，每個金屬薄片上都可以有許多微小的「感應渦電流」，只是許多有關渦電流的介紹，皆將渦電流的流動方向形容成在金屬片上的同心圓，但由本實驗推測，渦電流的流動方式與方向應是局部的小範圍的，且細細密佈在金屬表面上的，因此即使金屬片上有任何缺口或破損存在，都不會影響感應電流的產生，模擬如(圖 4-1)所示。金屬管壁上無數的渦電流有共同的感應磁場方向，這股力量就是金屬管產生磁阻的原因，又當磁鐵進入金屬管中時，介於磁鐵兩端的磁場變化，若在線圈纏繞的管中因上下感應的方向相反故感應電流會互相抵消，但在金屬管中，渦電流可以存在每一片想像的金屬片中，不會互相干擾影響，這應是為何磁鐵在金屬管中可以有如此明顯的磁阻原因。



(圖 4-1)

五. 金屬管的感應電流除了受到金屬管的種類、管子厚度及磁鐵強度的影響以外，磁場的變化速率也會影響感應電流的強度，越快的速率所產生的感應電流也越強，因此我們發展以黏妥磁鐵的庵鶉蛋為實驗物體由高空自由落下一起快速進入金屬管中再著地(圖 5-1,2)，結果如表 T-6 所示，發現由兩層樓高落下的蛋，當有磁場時，蛋完好如初沒有任何裂痕(圖 5-3)，但是沒有磁鐵的蛋，只要 30 公分的高度就會破裂，從二樓拋下時更是蛋汁四濺(圖 5-4)。這現象可以用來設計許多緩衝的機械，如電梯的安全緩降裝置，甚或可以來個高空跳落遊戲，體驗那自由落體的滋味。

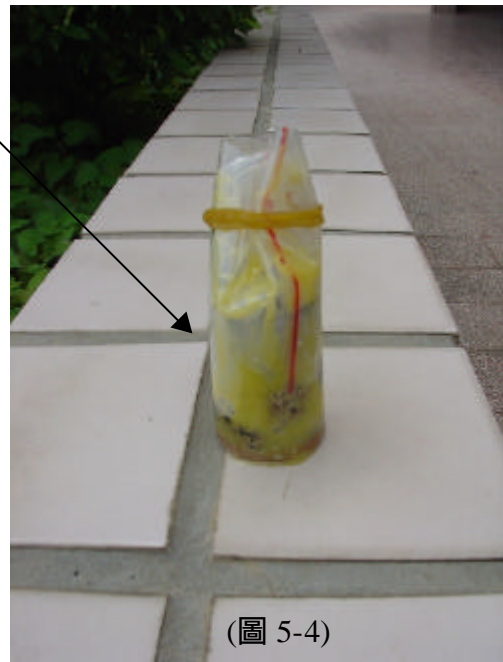


(圖 5-1)



(圖 5-2)

沒有緩衝機落下的蛋，撞擊成蛋汁。  
有緩衝機落下的蛋，仍然完好。



六. 由資料顯示降落傘、家用電梯、舞台升降的安全速度如下(表 6-2)，一般住家的電梯速度為 0.2 米/秒，由我們設計的磁浮升降電梯，可以由磁鐵在金屬管中的緩降現象(T-7)，控制砝碼的重量使升降梯上下移動，在磁鐵與電梯的重量差 2 倍時升降速度可以控制在 0.2(m/s)以下的安全速度如(表 6-2)、(圖 6-1)所示。以此來設計高樓逃生的緩降梯，或是在不等重量下可以利用砝碼控制上下速度的「無電力電梯」裝置，電梯的載重約 200 公斤重，針對如此大的重量我們可以使用多根金屬管的設計，如(圖 6-2)、(6-3)，另外若有更強的磁鐵，如超導磁鐵，則更可達到理想的效果。

磁鐵(g)	電梯(g)	平均速度米/秒
20g	5g	0.12
20g	10g	0.10
20g	30g	0.07
20g	35g	0.13
20g	40g	0.18
20g	50g	0.32
20g	60g	0.43

表 6-1

ATPS 降落傘的著陸速度	住家電梯額定速度	舞台最大升降速度
4.9 米/秒	0.2 米/秒	0.1 公尺/秒

表 6-2

電梯重量與昇降速度

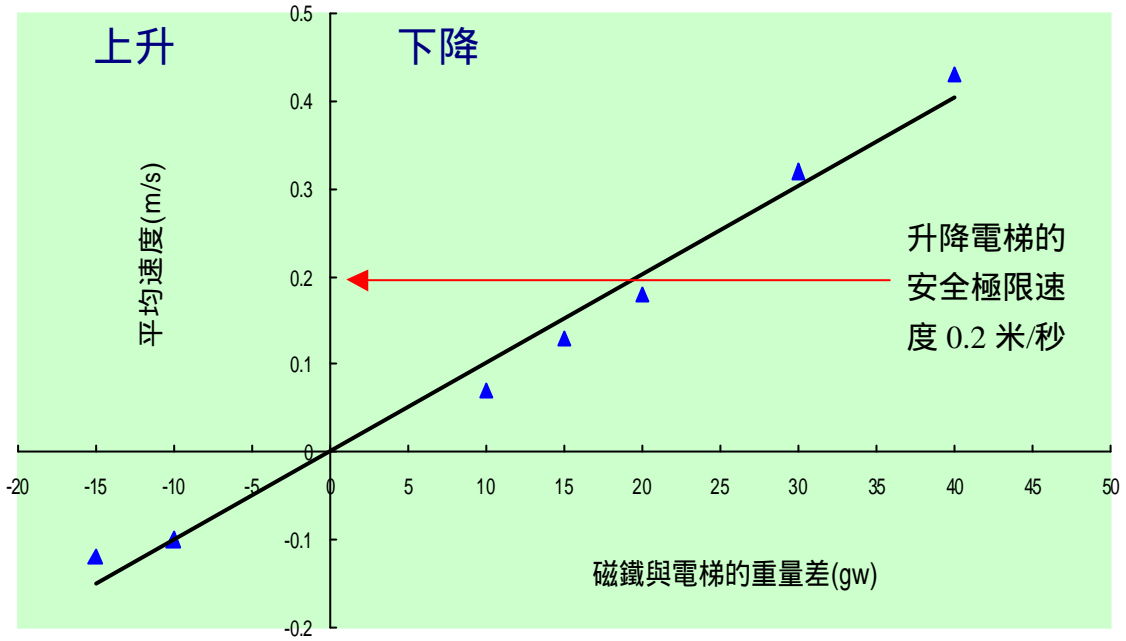


圖 6-1

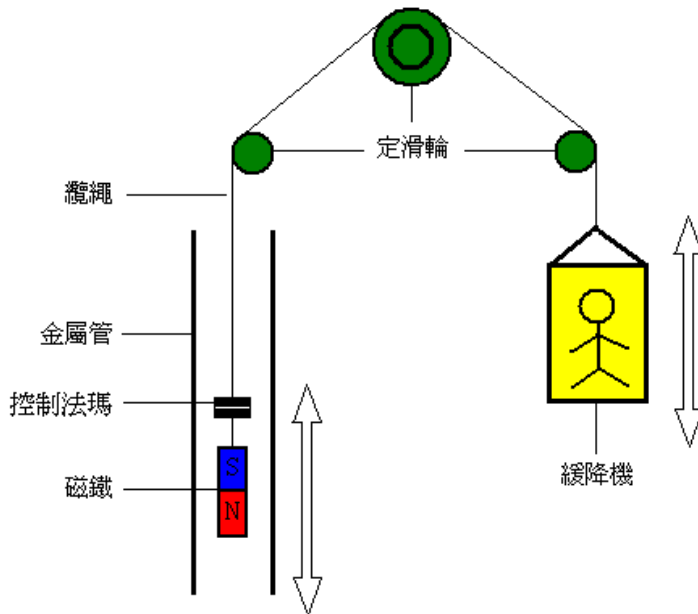


圖 6-2

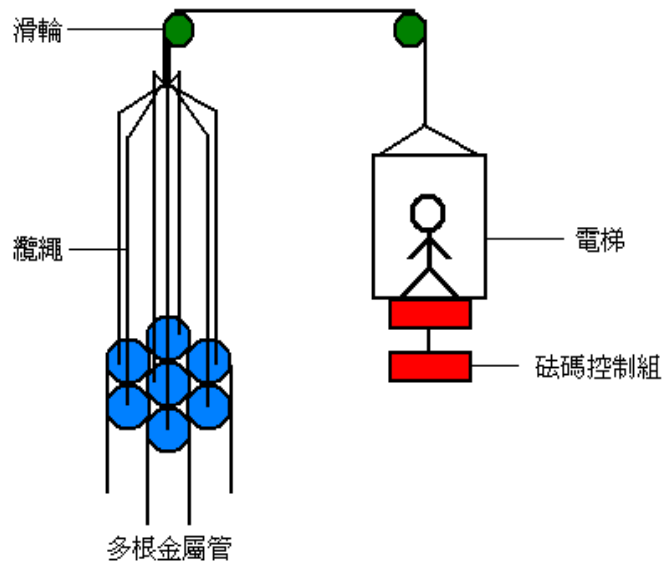


圖 6-3

## 玖.結論：

- 一、在使用「同步攝影法」所測量的時間，較以目測的方法來得精準許多，在圖表上也顯示，使用「同步攝影法」測量的時間變化，較為穩定。
- 二、比較不同金屬管中落下時產生的感應磁場（金屬管的選擇）  
在實驗中我們計算出當 B1 在 1.00m 銅管中落下需 8.56 秒，可得感應磁場產生的感應磁場為  $9.086 (m/s^2)$ ，而 B1 在 1.00m 鋁管中落下需 5.690 秒，感應磁場為  $8.937(m/s^2)$ ，由此可知，磁鐵掉入銅管時產生的感應磁場較鋁管大。
- 三、相同金屬材料的管子在改變電阻後，對感應電磁場的影響（我們改變電阻的方法是改變金屬管管壁的厚度）  
實驗結果發現，金屬管的管壁愈厚，磁鐵電梯落下的時間越長，加速度的數值愈小，產生的感應磁場強度愈強。當銅金屬管的管壁增厚時（電阻變小），磁鐵電梯在管中落下的時間，相較於管壁較薄的金屬管（電阻較大），落下的時間有明顯的增加，可見得當金屬管的管壁變厚時，所產生的感應磁場會增強。
- 四、探討磁鐵電梯在金屬管中落下時的運動方式  
不同的金屬管、金屬管的規格以及磁鐵的磁場強度都會影響金屬管的感應電流大小，使磁鐵在管中的速度改變，依據不同厚度的銅及鋁金屬管實驗得知管子若是 1.55mm 厚時，磁場強度約在 5000 高斯的磁鐵在管中的運動應為等速度下降，其加速度約為 0；而在管壁厚 3.1mm 的金屬管則磁鐵的強度只要在 3000 高斯以上就有等速度運動的現象發生。鋁管 100、60、30 cm 的實驗可得知，以 B1 為例，磁鐵在鋁管中落下時的平均速度為 0.234、0.231、0.242(m/s)、故推測選擇適當的金屬管與磁鐵磁場強度，應可以使物體在管中的運動維持等速度運動。
- 五、感應電流的探討

在實驗中我們將金屬管切割成半缺口及缺口的管子，原本以為缺口的金屬管不能形成環形電流使感應電流因管子的斷路而消失，但是實驗結果顯示仍有很強的感應電流存在，故推測在金屬管中的感應電流是以「渦電流」的流動方式存在，此方式異於線圈的感應電流沿線圈流動的方式。

- 六、由金屬管的種類、長度、厚度與升降梯磁場的強度應可調整出最佳的緩降效果，進一步我們研究自不同高度落下的緩降梯之設計，設計出自兩層樓高落下的鳥蛋，落入 20 公分高 10mm 厚的鋁金屬管再著地，實驗發現有磁鐵存在的緩降能力，可以安全的使一顆鳥蛋著地不破裂。
- 七、如何設計高空升降梯或是利用磁鐵在金屬管中的緩降磁浮現象設計的機械緩衝機器，可以真正應用在生活中，是值得進一步探討的話題。

## 壹拾. 參考資料：

- 一、國民中學教科書 國立編譯館理化 第三冊
- 二、科學研習 國立台灣科學教育館 第四十二卷第二期 中華民國九十二年四月出刊
- 三、南一出版社 高中物理(三下) 第二十一章
- 四、<http://database.cpst.net.cn/popul/guard/manys/artic/31223094607.html>  
Advanced Tactical Parachute System (ATPS)，而 ATPS 降落傘的著陸速度為 4.9 米/秒，進而能使跳傘員的受傷率降低 53%。
- 五、<http://tw.news.yahoo.com/040614/19/q4fd.html>  
美國 (BRS) 公司研發的飛機降落傘，是用防彈衣材質製成，機師或乘客只要拉開操縱桿，就可啟動展開巨型降落傘的火箭。飛機展開直徑近 17 公尺的降落傘後，下降速度會降到每秒 6 公尺，落地時的撞擊力相當於一個人從 4.5 公尺高度跳下。
- 六、<http://www.elevator.org.tw/>  
中華民國電梯協會
- 七、<http://www.lilu.com.tw/serv02.htm>  
根據經濟部標準檢驗局 88 年 8 月 27 日修訂頒布『個人住宅用昇降機』標準：『住家電梯』額定速度於 12 m/min 以下。
- 八、<http://www4.cca.gov.tw/artsquery/theater/003/stage.htm>  
舞台升降平台，升降速度：最大升降速度 0.1 公尺/秒。



## 評語

030103 國中組物理科 第一名

磁鐵在非鐵金屬管中的磁浮現象與應用

配合教材內容及學生程度，能利用簡易儀器並設計實驗裝置，藉以探討磁鐵在銅、鋁等金屬管中的運動，並探討其做為升降梯及緩降機的應用。研究題材及方法適切，具教學參考價值。