

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

031601

絕妙好「磁」！「它」抓的住我！

桃園縣立凌雲國民中學

作者姓名：

國二 蕭世平 國二 蔡柏雅 國二 黃品諺
國二 廖頌揚

指導老師：

王福英 陳美琴

桃園縣第四十五屆中小學科學展覽會作品說明

組別：國中組

科別：理化科

作品名稱：絕妙好「磁」！「它」抓得住我！

關鍵詞：電磁感應、渦電流、磁煞車

編號：

摘要

我們對『磁浮列車』、『磁煞車』一直都非常感興趣，也知道電磁感應的原理，但是無法親眼看到總是覺得有些虛幻不切實，『磁』真能有那麼大的力量嗎？老師告訴我們科展有相關的作品可以參考，但是他們都是做「自由落體」情境下的磁浮現象，這在日常生活中不太容易體會，我們的活動都是在平面或斜面上呀！因此我們決定研究磁珠在斜面上運動時的變化，讓眼睛可以看得得到電磁感應的影響，再進一步改造滑車設計並利用打點計時器紀錄運動軌跡以模擬並了解『磁煞車』的效果！

我們利用數位錄影機拍攝磁珠在非鐵金屬管中運動情形，再運用會聲會影編輯程式分析其運動情形，以了解磁珠在不同金屬管中感應生成的渦電流強弱，實驗發現導電性較好的紅銅管，對磁珠所造成的磁阻較明顯。磁珠磁場愈強、金屬管口徑愈小、長度越短，皆利於渦電流產生，而金屬管的傾斜角度越大，磁珠滾動速度加快，也會使感應產生的渦電流變大；磁珠在凹槽鋁條上滾動時，也有減速的現象，顯示非封閉式金屬管也會有感應電流的產生，而且磁珠最後以接近等速度的運動形式滾下；最特別的是，磁珠在不對稱的 L 型鋁條上運動時呈現不規則的弧狀或旋轉軌跡，使磁珠的運動速度特別慢。最後，利用渦電流磁阻效應原理設計台車的煞車系統，用打點計時器紀錄運動軌跡，再分析其運動情形製成圖表，發現的確具有減速效果，但因時間不足尚有部分實驗須再補充以得到更具體的數據。

壹、研究動機

甚麼是『磁浮』？我們一直很感興趣，老師說全國科展有些作品可以參考，但找了一些資料後發現他們都是做「自由落體」情境下的磁浮現象，這在日常生活中不太容易體會，我們的活動都是在平面或斜面上呀！因此我們想可以試著做一些實驗以了解磁浮現象，於是向老師請教並討論後，設計了以下的實驗：探討磁鐵在傾斜的金屬管、凹槽鋁片及不對稱 L 型鋁片上運動之情形。金屬管的口徑、長度、傾斜度、導電性及磁鐵磁性強弱是如何影響感應電流產生的磁場？磁珠在金屬管中的運動方式又是如何？另外是否可以利用電磁感應的現象設計發展車子的煞車系統，以了解『磁煞車』的效果。

貳、研究目的

- (一) 瞭解磁力強度不同的磁珠在傾斜的非鐵金屬管中滾動時，磁場變化對所產生的感應電流之影響。
- (二) 探討金屬管的種類、口徑、長度對感應電流的影響。
- (三) 探討磁珠在不同傾斜角度的鋁條上滾動時的運動方式。
- (四) 利用渦電流磁阻效應設計台車的煞車系統。
- (五) 探討銅片厚度、磁力強弱、拉力大小、車輪轉軸有無、磁鐵極性的相對位置對台車的煞車系統的影響。

參、研究設備及器材

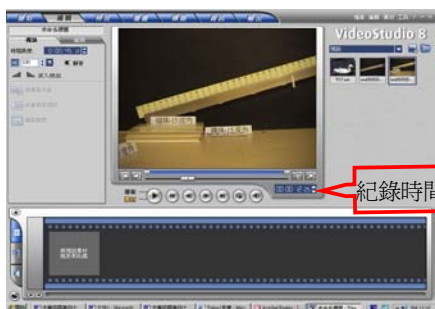
強力磁珠：直徑 1.40 cm (磁力：4000 高斯)、1.00 cm (磁力：3200 高斯)、0.75 cm (磁力：2800 高斯) 各一顆
鐵珠：直徑 1.40 cm、1.00 cm、0.75cm 各一顆
強力磁鐵：5000 高斯、4000 高斯 各十顆
銅管：(內徑：3.40 cm 外徑：3.80 cm) 長度 120cm、60cm 各一隻
鋁管：(內徑：3.40 cm 外徑：3.80 cm) 長度 120cm 一隻
(內徑：2.80 cm 外徑：3.20 cm) 長度 120cm 一隻
PVC 管：(內徑：4.30 cm 外徑：4.70 cm) 長度 120cm、60cm 各一隻
黃銅管：(內徑：3.40 cm 外徑：3.80 cm) 長度 60cm 一隻
L 型鋁條、凹槽鋁條：長度 150cm 各一隻
數位攝影機 (SONY DCR-TRV15 NTSC) 一台
鋁製台車、鐵製台車、四驅車 各一台
改造塑膠車輪 直徑 5.0cm、6.5cm 各六輪
打點計時器 (固定頻率 60 赫) 一台
複寫紙帶 十捲
銅片：厚度 0.3mm、0.1mm 各一片
鋁片：厚度 0.3mm 一片



肆、研究過程

(一) 測量不同強度的磁珠在圓柱形非鐵金屬管中滾落時的時間，並改變金屬管的傾斜角度：

磁珠滾落速度極快，無法以碼表準確測量，改以數位攝影拍攝其落下之過程。再利用會聲會影編輯程式讀取（每秒 30 張）磁珠由上端釋放至落下的瞬間所需時間。



(二) 測量磁珠及對照鐵珠在凹槽鋁條中滾動落下時的運動軌跡：

1. 因速度較快故使用兩台數位攝影機分別拍攝前半段及後半段之滾動情形，並改變傾斜角度。
2. 以會聲會影軟體每隔 1/6 秒擷取運動的靜態畫面
3. 將畫面並列於 WORD 後列印出，標出磁珠及鐵珠的位置，量出位移，再算出速度。



(三) 觀察磁珠在 L 型鋁條上滾動滑落之運動情形：

1. 以數位攝影機拍攝磁珠從 L 型鋁條上端（傾斜角度分別為 30 度及 45 度）落下之運動情形（如圖 1）。
2. 以數位攝影機拍攝磁珠從凹磁鋁條內之孔洞及鋁條上端（傾斜角度分別為 30 度及 45 度）落下之運動情形（如圖 2），並與步驟 1 之結果相互比較。



圖 1

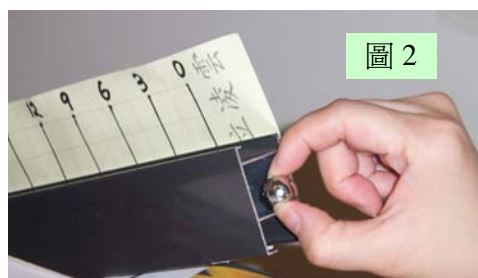
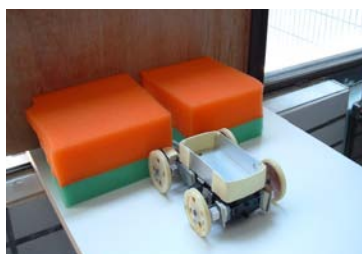
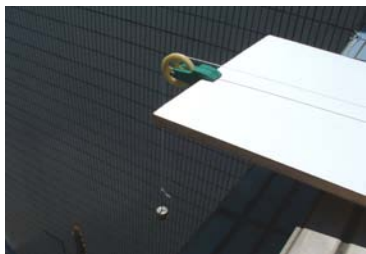


圖 2

(四) 設計台車的煞車系統：

連接兩片長為 240 cm、寬為 60 cm 表面光滑的木板，組成長為 480 公分的平面，置於桌面上，作為台車滑行軌道。木板前端伸出三樓實驗室窗外約 40 公分，並固定一定滑輪，以為懸掛砝碼之用，木板後端放置打點計時器，以測量台車的運動情形（如照片所示）。



實驗中共使用：小輪鋁車（車輪半徑為 1.5cm）、大輪鋁車（車輪半徑為 2.5cm）、較重的鐵製大型台車及玩具四驅車改造成的二代車。如圖 3、圖 4 所示。

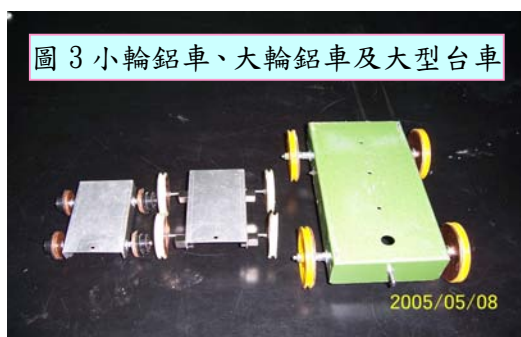


圖 3 小輪鋁車、大輪鋁車及大型台車



圖 4 二代車

小輪鋁車的實驗步驟：

1. 剪 40 片圓形銅片（半徑 1.4 cm 厚度 0.3 mm），圓心處以電鑽鑽洞，10 片一組，銅片間以強力膠粘著，再分別粘在小鋁車的車輪上。
2. 在車輪旁分別裝上一組磁鐵（車體內外各一顆，互相吸引使固定於車身，以單磁稱呼）以及兩組磁鐵（兩組磁鐵的 N 極皆朝外，以雙磁稱呼），與沒有裝上磁鐵的鋁車（以無磁稱呼，以砝碼調整使質量均相同）做比較。
3. 以質量 113.6 克秤錘拉動鋁車，用打點計時器紀錄並分析其運動情形。

大輪鋁車的實驗步驟：

1. 剪下 4 片半徑 2.4cm，厚度 0.3mm 的銅片，圓心處以電鑽鑽洞，以強力膠將 4 片銅片分別粘上大鋁車的車輪。
2. 以質量 113.6 克秤錘拉動鋁車，用打點計時器紀錄並分析單磁、雙磁及無磁（質量均相同）時鋁車之運動情形。如圖 5、圖 6 所示。



圖 5 單磁大輪鋁車

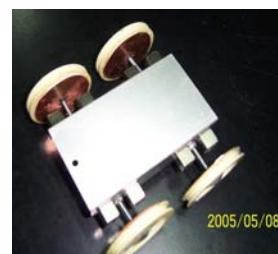


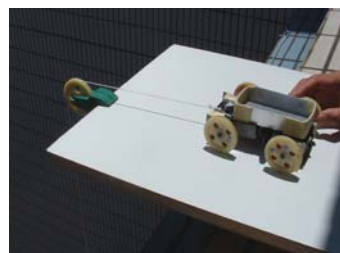
圖 6 雙磁大輪鋁車

大型台車的實驗步驟：

1. 四個車輪分別粘上 1 片 0.3mm 的銅片，1 片 0.1mm 的銅片以及 3 片 0.1mm 的銅片，藉以比較之間的差異。
2. 調整磁鐵的磁極，做雙磁 N. S、無磁、單磁及雙磁 N, N 以質量 500g 之砝碼拉動台車比較其結果。



3. 利用打點計時器紙帶分析鉛車的運動情形。
4. 四個車輪分別以強力膠粘上 5 片 0.3mm 的銅片秤錘質量改為 113.6 克[1F]及 227.2 克[2F]並重複上述步驟。



二代車的實驗步驟：

1. 分別將二代車的車輪粘上 5 片 0.3mm 的銅片及 10 片 0.3mm 的銅片。
2. 車輪分別以單磁、雙磁 N.N、雙磁 N.S 及無磁（質量均相同）做比較。
3. 以質量 100 克砝碼拉動小車，用打點計時器紀錄並分析其運動情形。
4. 將細線上的砝碼拿起 50 克放置於二代車中，改變拉力，重複上述步驟。



加強銅片與車輪間黏著力

伍、研究結果

（一）不同強度的磁珠在不同管中滾落時間：

表（一）~（五）分別為磁珠及鐵珠在不同傾斜角度之不同管中滾動落下的時間：

表（一）：傾斜為 10 度時，磁珠、鐵珠在各種管中滾落的時間（單位：秒）

	120cm 紅銅管	120cm 粗鋁管	120cm 細鋁管	120cm PVC 管	60cm 紅銅管	60cm 黃銅管	60cm P V C 管
大磁珠	23.53	17.60	20.67	1.33	20.43	5.43	1.03
中磁珠	21.77	16.53	18.43	1.33	12.93	3.43	1.10
小磁珠	19.83	13.83	15.93	1.43	11.03	2.80	1.10
大鐵珠	1.53	1.26	1.30	1.33	0.97	0.97	1.03
中鐵珠	1.53	1.20	1.40	1.43	0.90	0.87	0.97
小鐵珠	1.53	1.43	1.40	1.36	0.90	0.80	1.03

表（二）：傾斜為 20 度時，磁珠、鐵珠在各種管中滾落的時間（單位：秒）

	120cm 紅銅管	120cm 粗鋁管	120cm 細鋁管	120cm PVC 管	60cm 紅銅管	60cm 黃銅管	60cm P V C 管
大磁珠	12.20	11.57	11.77	0.97	7.00	1.63	0.67
中磁珠	11.03	8.80	9.60	0.93	5.70	1.33	0.7
小磁珠	6.7	4.20	5.70	0.97	4.33	1.33	0.73
大鐵珠	0.97	1.23	0.93	0.93	0.67	0.63	0.60
中鐵珠	0.97	1.30	1.00	0.97	0.63	0.53	0.86
小鐵珠	1.00	1.00	1.00	0.97	0.67	0.46	0.70

表（三）：傾斜為 30 度時，磁珠、鐵珠在各種管中滾落的時間（單位：秒）

	120cm 紅銅管	120cm 粗鋁管	120cm 細鋁管	120cm PVC 管	60cm 紅銅管	60cm 黃銅管	60cm P V C 管
大磁珠	7.60	6.47	7.20	0.77	4.00	1.16	0.53
中磁珠	6.20	4.63	5.73	0.77	2.90	1.03	0.50
小磁珠	4.60	3.53	3.87	0.83	2.23	0.97	0.53
大鐵珠	0.80	0.83	0.80	0.77	0.53	0.53	0.50
中鐵珠	0.80	0.87	0.87	0.80	0.53	0.53	0.50
小鐵珠	0.80	0.80	0.80	0.80	0.53	0.50	0.50

表（四）：傾斜為 40 度時，磁珠、鐵珠在各種管中滾落的時間（單位：秒）

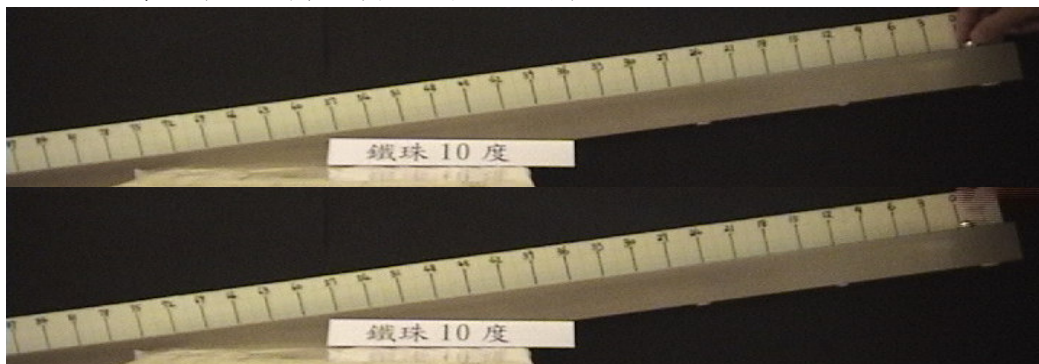
	120cm 紅銅管	120cm 粗鋁管	120cm 細鋁管	120cm PVC 管	60cm 紅銅管	60cm 黃銅管	60cm P V C 管
大磁珠	5.00	4.03	5.37	0.67	3.03	0.90	0.43
中磁珠	3.77	2.77	3.97	0.67	2.83	0.80	0.43
小磁珠	3.57	2.60	3.00	0.67	1.93	0.80	0.47
大鐵珠	0.70	0.70	0.73	0.63	0.47	0.47	0.47
中鐵珠	0.73	0.73	0.70	0.70	0.47	0.50	0.47
小鐵珠	0.73	0.73	0.67	0.67	0.50	0.50	0.43

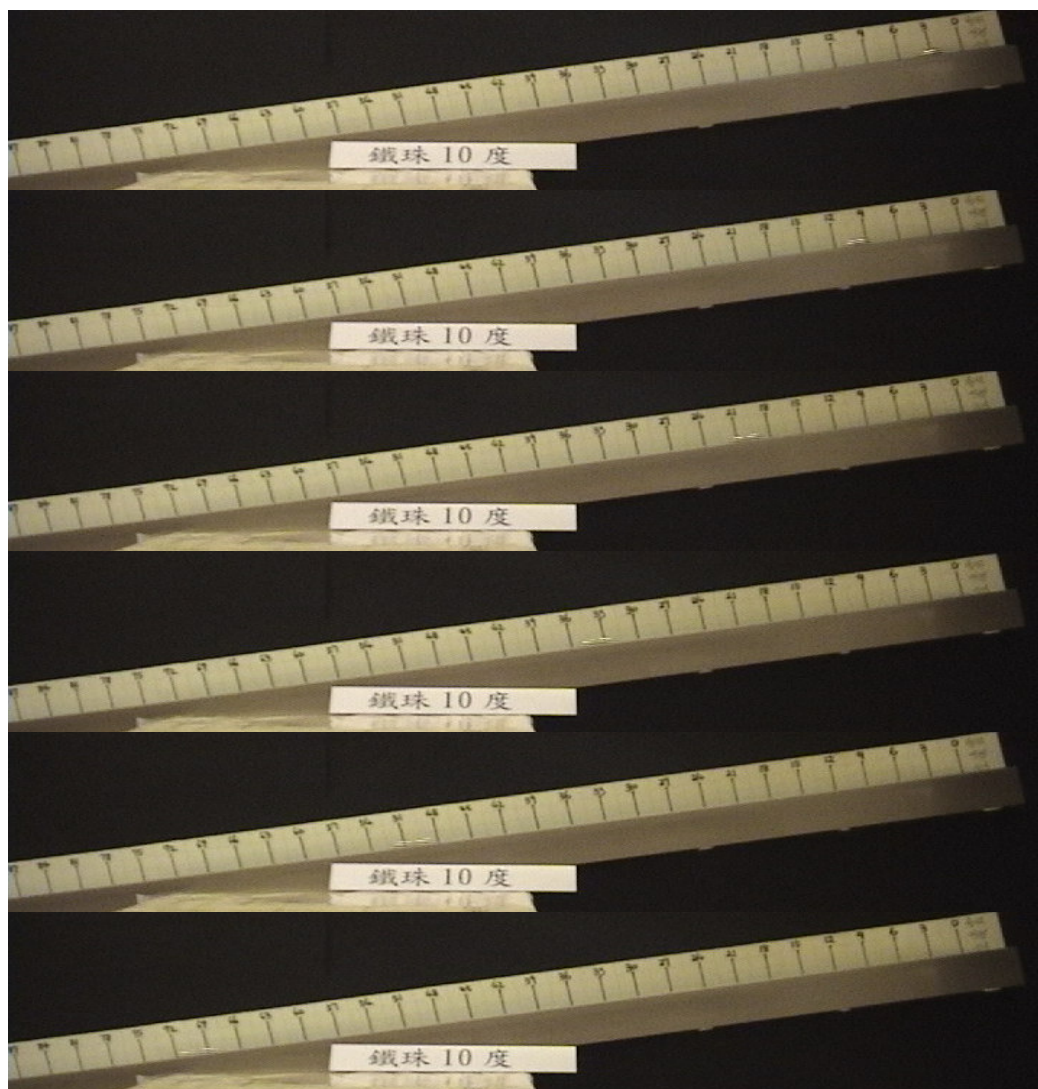
表（五）：傾斜為 45 度時，磁珠、鐵珠在各種管中滾落的時間（單位：秒）

	120cm 紅銅管	120cm 粗鋁管	120cm 細鋁管	120cm PVC 管	60cm 紅銅管	60cm 黃銅管	60cm P V C 管
大磁珠	4.27	3.23	5.00	0.67	2.80	0.87	0.47
中磁珠	3.53	2.47	3.73	0.67	1.63	0.80	0.43
小磁珠	3.20	2.37	2.76	0.63	1.63	0.77	0.47
大鐵珠	0.63	0.63	0.67	0.67	0.50	0.40	0.40
中鐵珠	0.63	0.67	0.73	0.67	0.50	0.47	0.40
小鐵珠	0.67	0.67	0.73	0.67	0.47	0.50	0.43

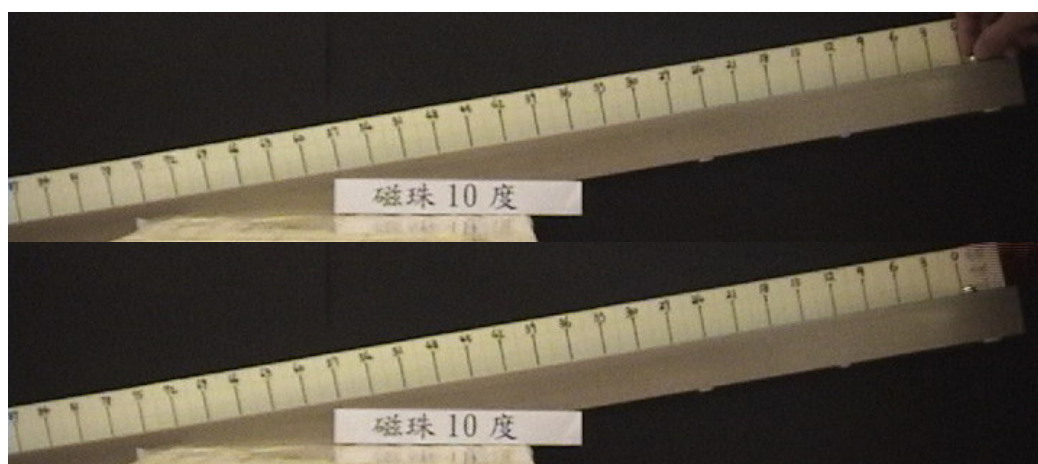
（二）磁珠在不同傾斜角度的鋁條上滾動時的運動情形：

圖（6）、（7）分別為鐵珠及磁珠在傾斜角度 10 度之凹槽鋁條中下滑之部分軌跡影像，（其餘角度資料列於附錄）：





圖（7）鐵珠在傾斜角度 10 度之凹槽鋁條中滾下之部分軌跡



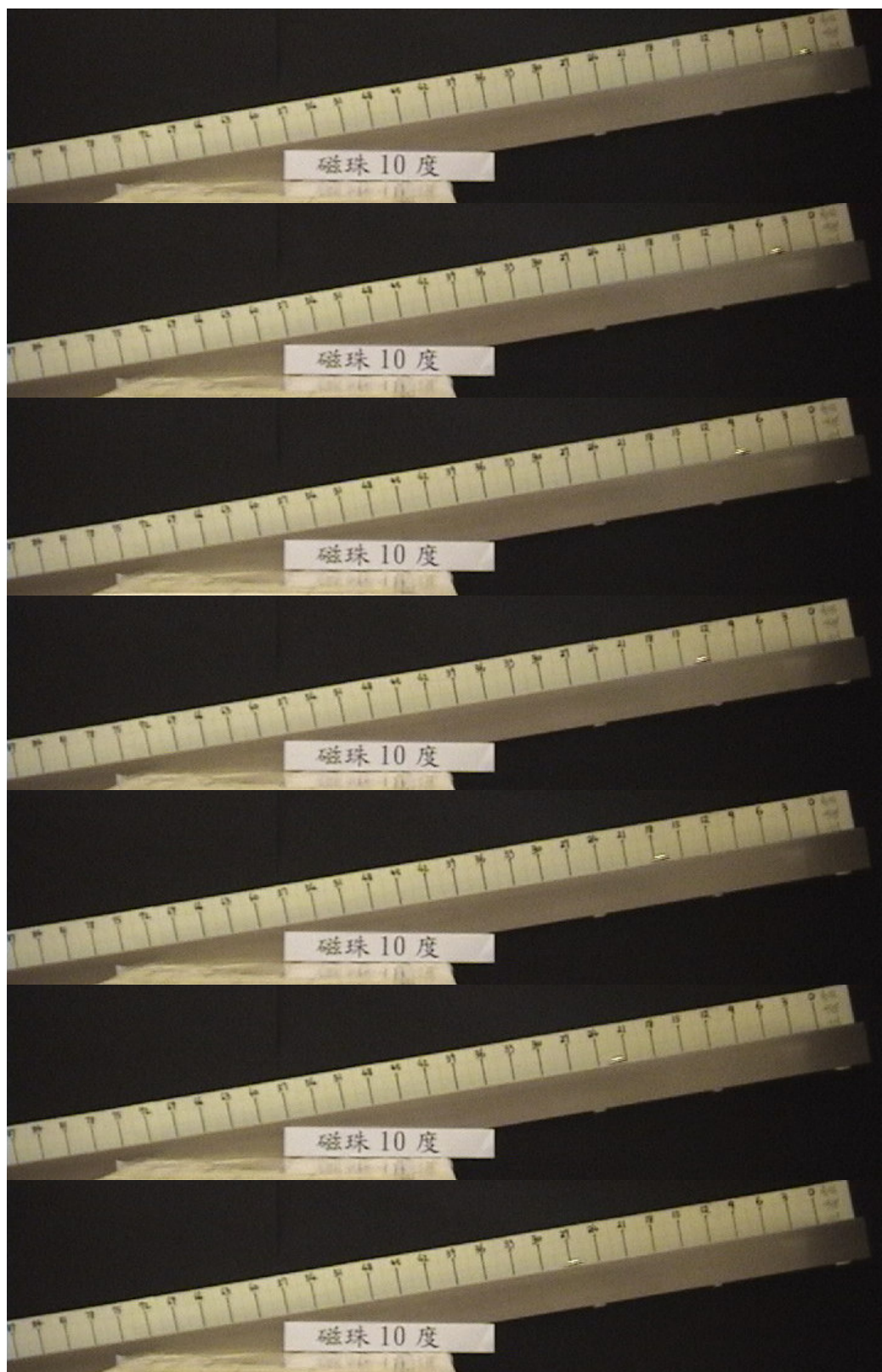


圖 (8) 磁珠在傾斜角度 10 度之凹槽鋁條中滾下之部分軌跡

表 (六)、(七) 分別為鐵珠及磁珠在不同傾斜角度之凹槽鋁條中滾下之位移及平均速度結果：

表（六）鐵珠及磁珠在不同傾斜角度之凹槽鋁條中滾下之位移

位移（公分）							
滾下時間 (×1/6 秒)	鐵 珠 10 度	磁 珠 10 度	鐵 珠 15 度	磁 珠 15 度	鐵 珠 30 度	磁 珠 30 度	磁 珠 45 度
1	0.76	0.60	1.26	0.93	2.63	1.99	1.56
2	1.43	0.78	2.17	0.93	5.02	2.44	2.47
3	2.11	0.86	3.03	1.14	7.07	2.63	2.84
4	2.76	0.96	3.88	1.14		2.73	3.11
5	3.48	0.91	4.66	1.24		2.73	3.27
6	4.01	0.97	5.54	1.29		2.68	3.32
7	4.41	0.94	6.64	1.14		2.73	3.75
8	5.49	0.97		1.27		2.83	3.68
9	6.17	0.96		1.24		2.71	3.75
10		1.00		1.51			
11		0.91		1.54			
12		0.93		1.55			
13		0.98		1.47			
14		0.93		1.50			
15		0.97		1.52			
16		0.95		1.54			
17		0.93		1.50			

表（七）鐵珠及磁珠在不同傾斜角度之凹槽鋁條中滾下之平均速度

平均速度（公分/秒）							
滾下時間 (×1/6 秒)	鐵 珠 10 度	磁 珠 10 度	鐵 珠 15 度	磁 珠 15 度	鐵 珠 30 度	磁 珠 30 度	磁 珠 45 度
1	4.57	3.59	7.58	5.59	15.80	11.92	9.33
2	8.59	4.69	13.04	5.59	30.14	14.62	14.85
3	12.67	5.18	18.20	6.83	42.40	15.80	17.06
4	16.57	5.79	23.29	6.83		16.35	18.67
5	20.90	5.48	27.95	7.45		16.35	19.60
6	24.07	5.85	33.23	7.76		16.07	19.94
7	26.44	5.67	39.82	6.83		16.35	22.49
8	32.96	5.85		7.64		16.97	22.06
9	37.04	5.79		7.45		16.28	22.49
10		5.97		9.07			
11		5.48		9.26			
12		5.61		9.32			
13		5.91		8.82			
14		5.61		9.01			
15		5.85		9.13			
16		5.73		9.26			
17		5.61		9.01			

(三) 磁珠在 L 型鋁條上滾動滑落之運動情形：

表 (八)：磁珠在凹槽鋁條上、凹槽鋁條中及 L 型鋁條上滾落的時間 (單位：秒)

傾斜角度	落下 時間	軌道類型		
		凹槽鋁條上	凹槽鋁條中	L 型鋁條上
30 度		2.20	8.10	11.43
45 度		1.80	5.19	8.00

(四) 台車的煞車系統的設計研究結果：

數據取得方式：每次實驗均以打點計時器(60Hz)紀錄小車運動之軌跡，且重複測量三次，量取紙帶上每三個點間之距離(1/30 秒)，再將數據輸入 Excel 試算表取平均值後，作統計並分析資料製成圖表。

小輪鋁車的實驗結果：

無磁車重 173.52g (1)				無磁車重 173.52g (2)			無磁車重 173.52g (3)		
時間	位置	位移	速度	位置	位移	速度	位置	位移	速度
0	0	0.4	12	0	0.45	13.5	0	0.4	12
1	0.4	0.7	21	0.45	0.7	21	0.4	0.88	26.4
2	1.1	1.29	38.7	1.15	1.3	39	1.28	1.1	33
3	2.39	1.58	47.4	2.45	1.4	42	2.38	1.35	40.5
4	3.97	1.79	53.7	3.85	1.6	48	3.73	1.6	48
5	5.76	2.25	67.5	5.45	1.9	57	5.33	1.98	59.4

中間數據省略

50	358.8	13	390	345.34	12.2	366	354.34	13.8	414
51	371.8	13		357.54	13.5	405	368.14	12.77	383.1
52				371.04	13.65	409.5	380.91	13.9	417
53				384.69	13.77	413.1			
54				398.46	12.55	376.5			

四種小車總實驗數據數量非常龐大，無法逐一表列，請參考附錄之資料。

陸、 研究討論

(一) 探討磁珠在非鐵金屬管中滾動時感應磁場的影響：

1. 因 PVC 塑膠管不導電，磁珠滾動時無渦電流產生故落下速度很快；在長度皆為 60cm、厚度皆為 0.20 cm 的紅銅管及黃銅管滾落時，紅銅的導電性較佳，感應生成的渦電流較大使速度較慢。而長度皆為 120cm、厚度皆為 0.20 cm 的紅銅管及鋁管，紅銅導電性較好，渦電流較大，對磁珠所造成的磁阻較明顯。因此，我們可以利用磁珠滾動快慢，來檢測金屬管的導電度。

2. 磁珠磁性愈強時，產生的渦電流愈大，使其滾動所需時間愈長。
3. 相同厚度的鋁管口徑愈大，產生的渦電流愈小，磁阻效應較差，在管中滾動的時間也愈短。
4. 假設磁珠在金屬管中作等加速度運動，其所受淨加速度為 a (向下加速度 $g\sin\theta$ 、向上摩擦力加速度 a_f 、感應磁力加速度 a_m 之和)
 $a = g\sin\theta - (a_f + a_m)$ (式 1) 鐵珠的感應磁力加速度 a_m 為 0，
故其在金屬管中淨加速度： $a = g\sin\theta - a_f$ (式 2)
將(式 1)、(式 2)相減則可求出磁珠在金屬管中感應磁力加速度 a_m 。
由下表可知：銅管長度越長，產生的渦電流愈小。

斜角 30 度	紅銅管 (長 1.20m)		紅銅管 (長 0.6m)	
	a (m/s ²)	a_m (m/s ²)	a (m/s ²)	a_m (m/s ²)
大磁珠	0.042	3.708	0.075	4.197
大鐵珠	3.75	0	4.272	0
中磁珠	0.062	3.688	0.143	4.129
中鐵珠	3.75	0	4.272	0
小磁珠	0.113	3.637	0.241	4.031
小鐵珠	3.75	0	4.272	0

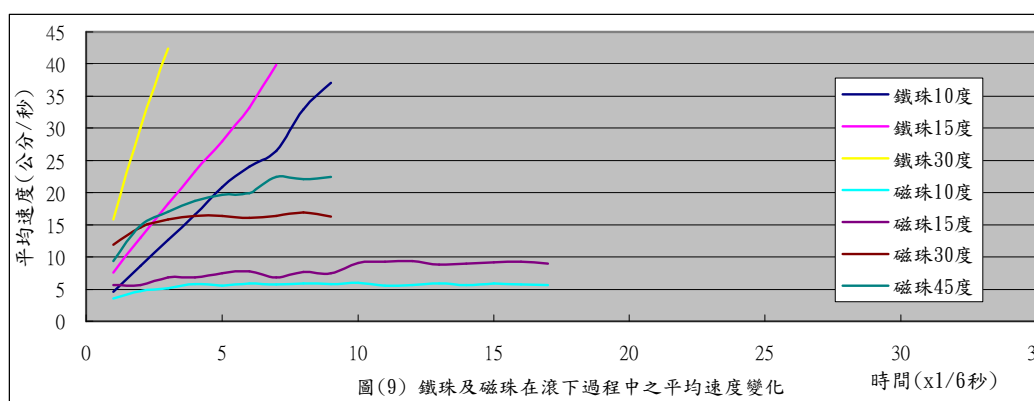
5. 將磁珠及對照鐵珠在不同傾斜角度的銅管 (1.2m) 中滾落，計算出滾動加速度 a (m/s²) 及感應磁力加速度 a_m (m/s²)：

	10 度		20 度		30 度		40 度		45 度	
	a	a_m	a	a_m	a	a_m	a	a_m	a	a_m
大磁珠	0.004	1.021	0.016	2.535	0.042	3.708	0.096	4.802	0.132	5.915
對照大鐵珠	1.025	0	2.551	0	3.75	0	4.898	0	6.047	0
中磁珠	0.005	1.02	0.020	2.531	0.062	3.688	0.169	4.335	0.193	5.854
對照中鐵珠	1.025	0	2.551	0	3.750	0	4.504	0	6.047	0
小磁珠	0.006	1.019	0.053	2.347	0.113	3.637	0.188	4.315	0.234	5.112
對照小鐵珠	1.025	0	2.4	0	3.750	0	4.504	0	5.346	0

根據法拉第定律，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愈強，因此，當金屬管的傾斜角度越大，磁珠滾動速度加快，感應產生的渦電流也變大。

(二) 探討磁珠在不同傾斜角度的凹槽鋁條上滾動時的運動情形：

1. 將鐵珠及磁珠在不同斜度之凹槽鋁條中滾下之平均速度對時間作圖：



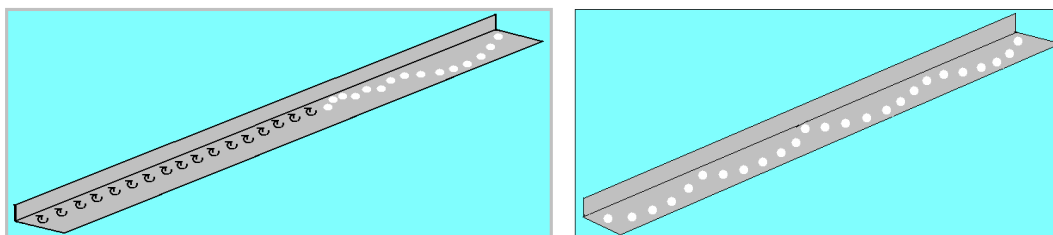
由上圖中可知，鐵珠滾下為速度漸增的加速度運動，且傾斜度越大，加速度越大。而磁珠的滾下情形開始時也是速度漸增的加速度運動，但加速度較鐵珠小了許多，之後則是以接近等速度的運動形式滾下。因磁珠在凹槽鋁條內滾下時，會感應出渦電流並產生磁阻阻止磁珠的下滑，且磁珠滾下速度越快，感應產生的渦電流及磁阻也越大，最後以接近等速度的運動形式滾下。

2. 凹槽鋁條的傾斜角度不同，磁珠最後做等速度運動的速率也不同，傾斜角度越大時，磁珠所受到的下滑力越大，達到合力為零時做等速度運動的磁阻及渦電流也要越大，因此，鋁條傾斜角度越大時，磁珠在滾下後期做等速度運動的速率也會越大，可知磁場的變化速率越快所產生的感應電流也愈強。

(三) 磁珠在 L 型鋁條上滾動滑落之運動情形：

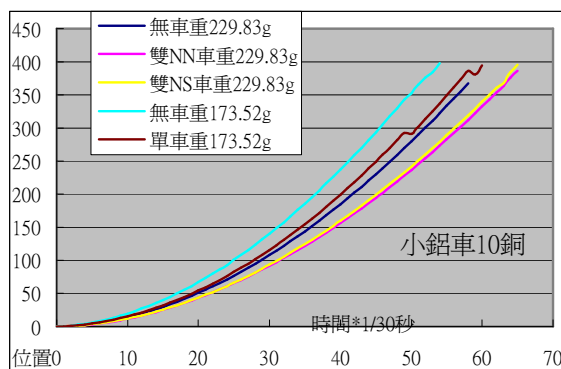
磁珠在不同類型軌道滑落快慢為：凹槽鋁條上最快，凹槽鋁條中次之，而型鋁條上最慢。產生原因可能為：

1. 環繞在磁珠周圍的金屬面積越大，感應渦電流及磁阻會越大故速度越慢。因此滾落速度為：凹槽鋁條上 > 凹槽鋁條中。
2. 軌道不對稱時：磁珠滾落時出現旋轉、滯留現象，使下滑過程要花更長的時間，因此滾動滑落速度最慢。參考軌跡圖如下：

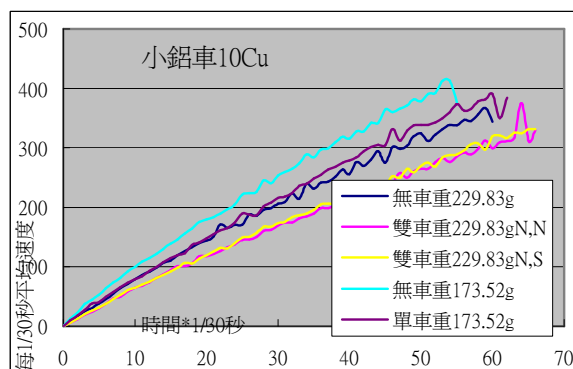


(四) 台車的煞車系統的研究：

一、小輪鋁車行進時銅片厚度、磁鐵數目與渦電流強弱關係之探討結果，如圖三~1、圖三~2 所示：可發現



圖三~1



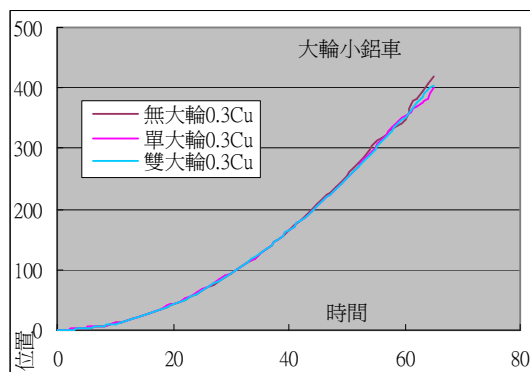
圖三~2

渦電流明顯存在！凡車輪附近有磁場時會使小車移動位移及平均速度之數值均明顯較小！

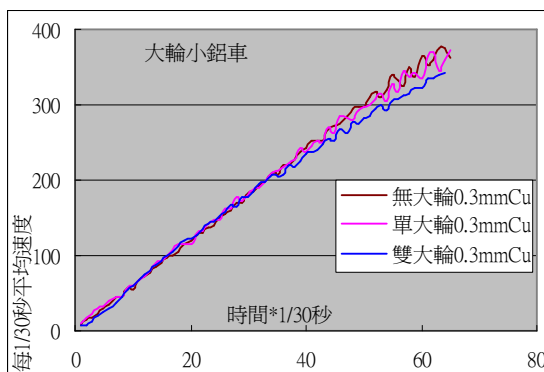
1. 因實驗初期小車質量未控制致使雙磁鐵時車重較單磁鐵時重，因而雖然由圖中大致可發現雙磁產生渦電流較單磁大，但無法明確的比較出單磁或雙磁狀況下何種情形可產生較大之渦電流！

【無：無磁，單：單磁，雙：雙磁】

二、大輪鋁車其實驗結果如圖三~3、圖三~4 所示：本次實驗雖然增加銅片之面積但因為採用之銅片厚度僅 0.3mm，因此由其位置對時間圖中較



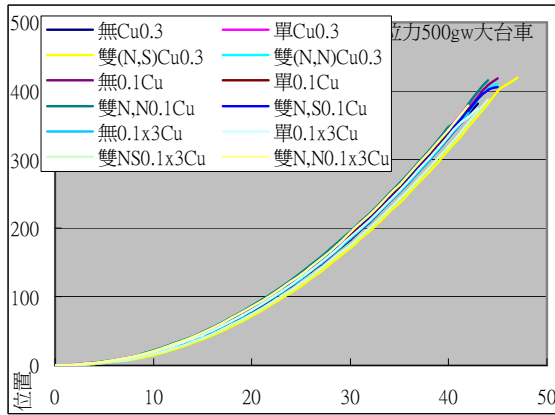
圖三~3



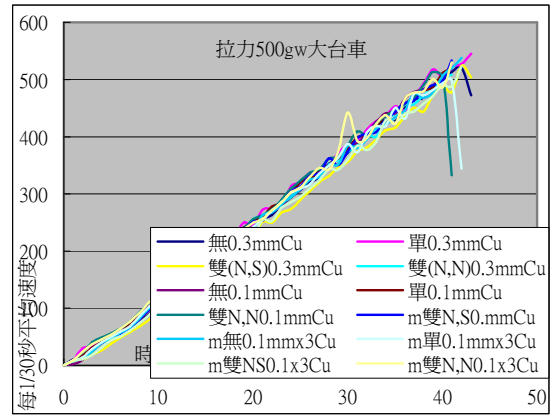
圖三~4

無法分辨渦電流對運動狀況之影響，然而在平均速度對時間圖中則可在運動時間超過一秒以後時，明顯發現小車運動的平均速度在無渦電流(無磁)時>單渦電流(單磁)>雙渦電流(雙磁)！

三、大型台車實驗結果如圖三~5、圖三~6 所示：本以為用較大拉力時可產生較大的渦電流使實驗結果能更易觀察，但發現因拉力大使車速過快，雖有渦電流產生但拉力遠大於渦電流之阻力，且高速時車輪也易發生滑動而非轉動之情形！因此本次實驗雖然變因控制均良好操縱變因也較多但可惜仍無法有明確的實驗結果可供參考！

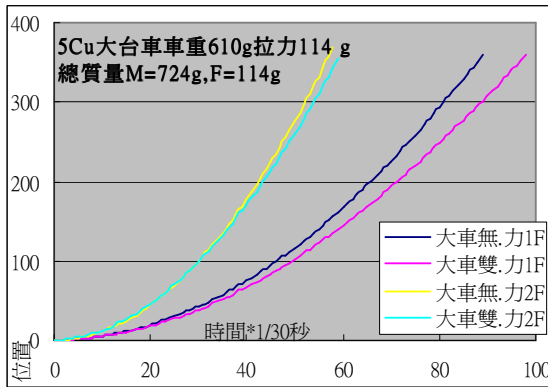


圖三~5

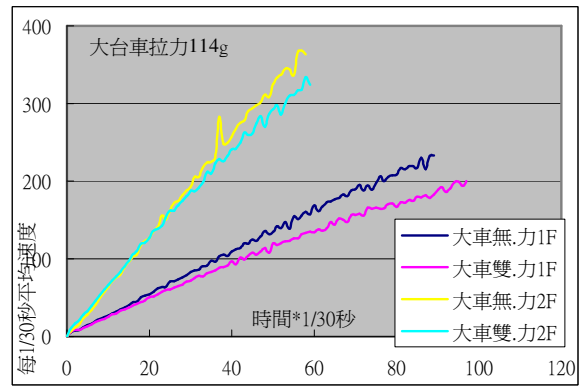


圖三~6

四、大型台車輪以 1F 及 2F 拉力之砝碼拉動台車，結果如圖三~7、圖三~8 所示：

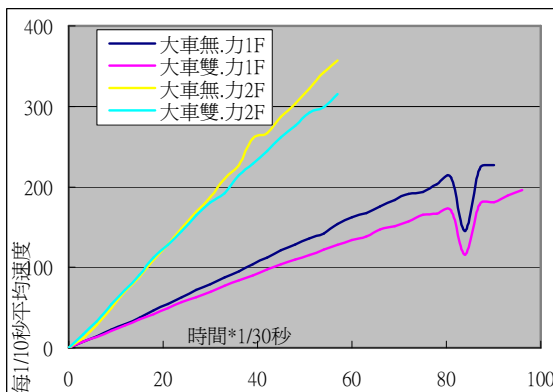


圖三~7

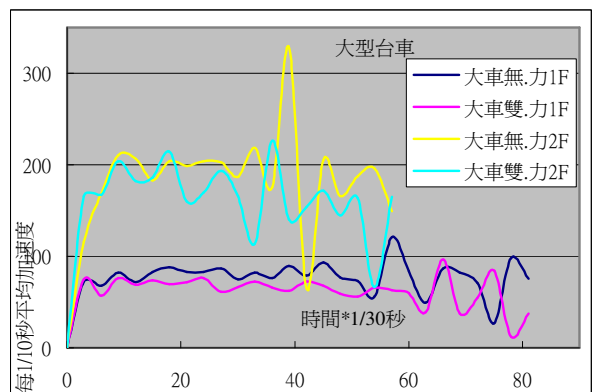


圖三~8

本次實驗目的想比較同質量時拉力(車輪轉動快慢)與產生之渦電流大小之關係為何？依據磁珠在斜面上運動之情形推論拉力愈大時銅片產生之渦電流應愈大，然而圖中之結果看來拉力大時差距反而減小！為甚麼？為了進一步了解，我們將數據進一步轉為加速度對時間圖且將採計時間拉長為 1/10 秒得到的結果如圖三~9、圖三~10 所示：



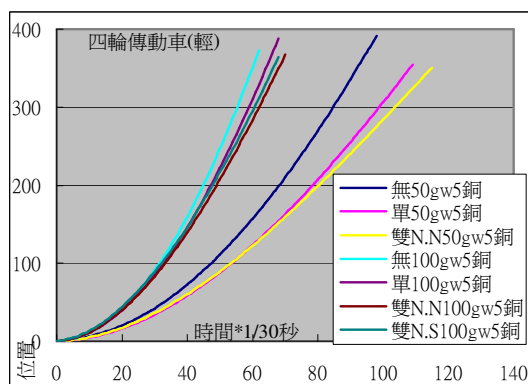
圖三~9



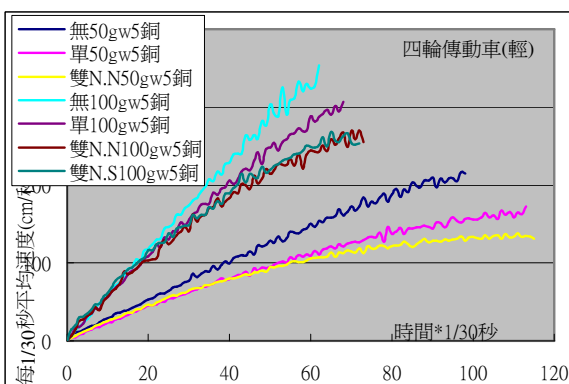
圖三~10

1. 由圖中可發現拉力較小時其平均加速度曲線較平滑，拉力較大時其平均加速度之曲線出現上下振動之情形振幅較大！
2. 拉力 $2F$ 時雙磁與無磁時其平均加速度差較大，應可解釋為速度快時產生之渦電流較強使車輪轉動減慢，車輪轉動減慢又使渦電流減小然後車輪轉速又增加，如此反覆循環，因此使平均加速度圖產生振動之現象！
3. 另外車輪轉動快時其與車軸的摩擦增加，車輪之轉動可能較不順暢，是否可能出現車輪為滑動而非轉動之情形？應進一步探討！

五、 二代車實驗結果如圖三~11、圖三~12 所示：本實驗之結果與大台車

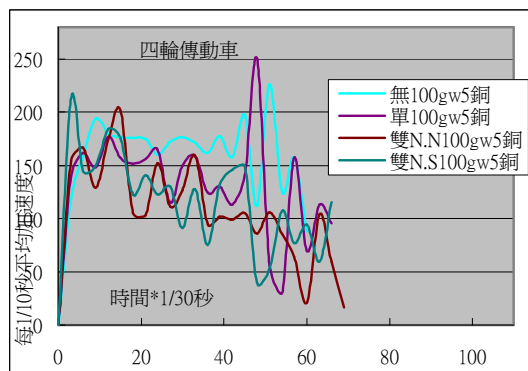


圖三~11

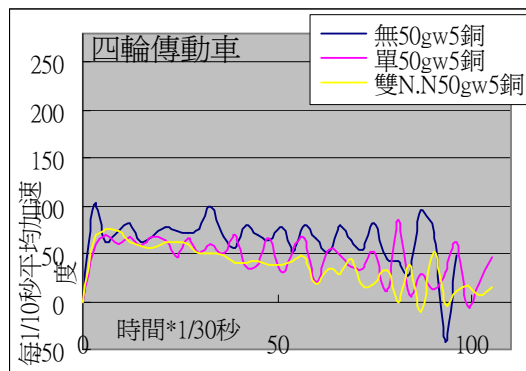


圖三~12

拉力 $1F$ 、 $2F$ 實驗結果極為相似，但因為齒輪帶動四輪同時轉動故其產生渦電流而使車速減慢之現象更明顯，統計圖中無論位置會平均速度間的差距也較大，再進一步分析比對其每 $1/10$ 秒之平均加速度圖，如圖三~13、圖三~14 所示：



圖三~13

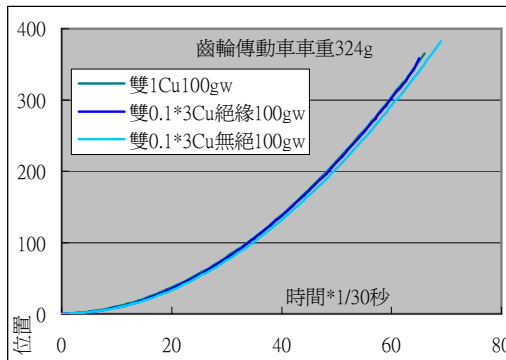


圖三~14

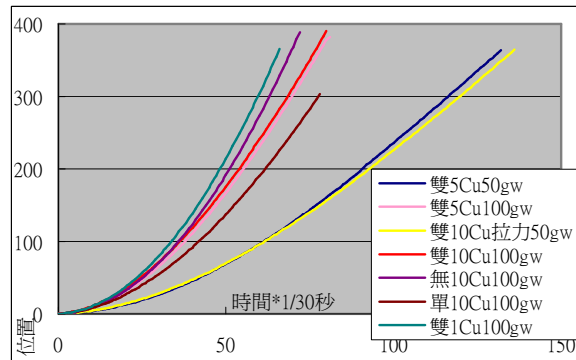
拉力較大時平均加速度的曲線出現上下振動之情形振幅更大！且振動之頻率較大台車為高，應可解釋為車輪穩定轉動沒有移動情形發生時其渦電流效應較明顯，故使振動頻率增加。

1. 由圖中可發現雖為四輪傳動但在車輪轉動較快時齒輪間亦有摩擦使車輪轉動困難(由無磁狀況下小車的平均加速度亦有明顯的上下振動現象可知)，但這已是我們目前所能找到的最佳實驗工具車了！

六、二代車增加銅片數及中間夾著紙片黏著成絕緣狀態，以質量 100g 之砝碼拉動滑車，其結果如圖三~15、圖三~16 所示：



圖三~15



圖三~16

1. 此次實驗由圖三~15 中可發現此三種狀況下渦電流的差異性無法觀察，可能是銅片的厚度太小而造成，應再進一步作 0.3mm 銅片五片中間夾絕緣紙片之實驗再下結論。
2. 由圖三~16 中更有驚人的發現：車輪上黏有 0.3mm 十片黏成之銅片比五片黏成之銅片在雙磁場及 50g 拉力之作用下的運動情形只稍稍慢一些！
3. 又在 100g 拉力作用下時，十片銅片較五片銅片在單磁場下之運動為快！而十片之銅片在雙磁場下之運動速度較在單磁場下之運動為快！應是重疊愈多彼此間產生的渦電流互相干擾反而讓減速效應減弱，也就是渦電流效應減小！尤其是在運動較快的情形下又更明顯！
4. 十片銅片在無磁狀況下之運動速度比一片 0.3mm 銅在雙磁場的渦電流效應下運動較慢，這讓我們發現需進一步探討車輪的重量不同對小車運動之影響！

柒、 結論

1. 銅管、鋁管、黃銅管均有渦電流的產生，PVC 塑膠管沒有，且導電性愈好的金屬，產生的渦電流愈大。因此可利用磁珠滾動的快慢，來檢測金屬管的導電度。
2. 磁珠磁性愈強時，產生的渦電流愈大；相同厚度的鋁管口徑愈大，產生的渦電流愈小。
3. 銅管長度越短，產生的渦電流愈大。
4. 金屬管的傾斜角度越大，磁珠滾動速度加快，感應產生的渦電流也變大。
5. 非封閉式金屬管也會有感應電流的產生，在由無數小片金屬片所堆積成的金屬管上，可以有許多局部小範圍的渦電流存在。
6. 鐵珠在滾下過程中，做加速度運動。但磁珠最後以接近等速度的運動形式滾下。

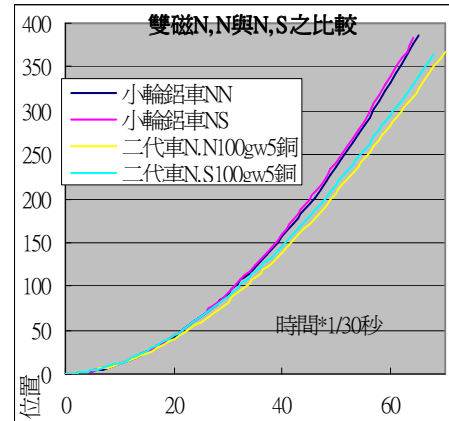
7. 磁鐵在非對稱型金屬管上運動時，運動軌跡複雜且有趣，值得再深入研究，且其產生的磁阻效應可能更強，應可再進一步善加運用。



8. 金屬片在磁場中轉動時金屬片上會感應產生渦電流而影響其轉動之速率：**車輪狀況相同時**

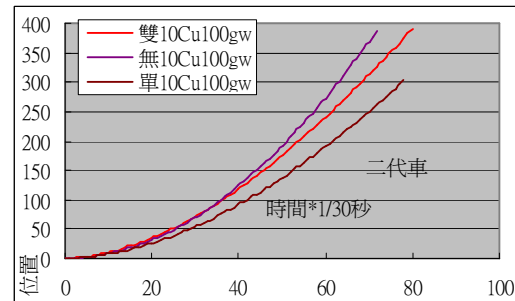
A. 金屬片重疊數小於 10 片時，金屬片在磁場轉動時感應生成的渦電流為：雙磁 > 單磁 > 無磁

B. 在雙磁場中運動時，兩側磁場為 N,N 或 N,S 時其感應生成的渦電流於車輪上黏著 5 片銅時，N,N 略微比 N,S 強一些(如右圖所示)，然而因差距很小，須再加作一些實驗才能進一步探討。



C. 拉力愈大時，金屬片轉動愈快，其感應生成的渦電流效應愈強，但因受到車輪轉動時摩擦較大之影響，使其運動速率出現：減小—增加—減小—增加之循環現象，不過由其振幅與頻率仍可確定轉速愈快產生之渦電流效應也愈強！

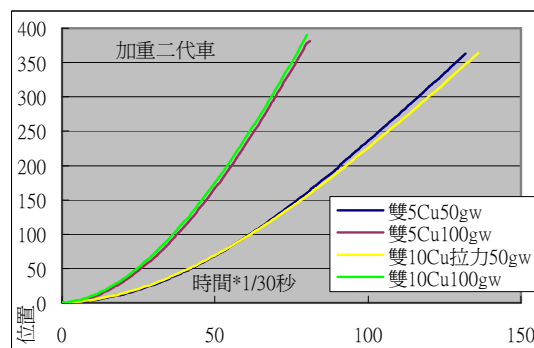
D. 10 片銅片重疊時單磁之渦電流強度較雙磁強許多(如又圖所示)，可發現當金屬片重疊數過多時反而干擾了渦電流的產生，使渦電流效應減少，此可應證文獻資料中欲減少渦電流可採用片狀重疊金屬材料。



9. 金屬片在磁場中轉動時金屬片上會感應產生渦電流而影響其轉動之速率：

車輪狀況不同時

車輪上黏著 5 片銅及 10 片銅重疊時，拉力較小時渦電流 10 片 > 5 片；拉力較大時渦電流 10 片 < 5 片，運動情形恰巧相反，因此可推測運動速度愈快時，金屬片重疊對渦電流效應的減弱更明顯！



10. 金屬片在磁場中轉動時金屬片上會感應產生渦電流之強弱與金屬的種類、厚度(重疊數)、面積及轉速均有關係，實際之影響情形需進一步克服困難(車輪狀況需相同)做好變因控制，才能較明確的分析其相關性。

捌、參考資料

1. 巫建勳等四位(民94年):磁鐵在非鐵金屬管中的磁浮現象與應用。中華民國第四十四屆中小學科學展覽優勝作品。
2. 高至煒等四位(民94年):磁體與渦電流的交會。中華民國第四十四屆中小學科學展覽優勝作品。
3. 國民中學理化課本第三冊,國立編譯館主編。
4. 觀念物理 V,休伊特著 陳可崗譯,91年3月出版,天下文化出版, P.123。
5. 網路資源:<http://www.ppaen18.fcu.edu.tw/new1/4.htm>
<http://homepage.ntu.edu.tw/~b91507044/exp/final8WOCURRENTreport.doc>

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

國中組 理化科

031601

絕妙好「磁」！「它」抓的住我！

桃園縣立凌雲國民中學

評語：

1. 採用數位攝影及會聲繪影軟體讀取或擷取圖像做更精確計時的方法是本件的最大優點。
2. 數據、圖表及討論對照上有些紊亂及複雜。
3. 材料的取材上多注意材質的再現性磁力及長度呈倍數關係，會較能與理論做定量的驗證及討論，如此作品應用在教學上的價值會更大。