

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

第三名

080111

極速小鋼珠-強磁加速器

學校名稱：高雄市三民區十全國民小學

作者：	指導老師：
小六 楊詠瑄	呂明吉
小六 曹博鈞	陳瑛雪
小六 陳炯宏	
小六 陳冠岳	
小六 蔡沅璟	

關鍵詞：小鋼珠、強力磁鐵、加速器

極速小鋼珠—強磁加速器

摘要

我們是受到一部影片的啟發，以做實驗方式找出「極速鋼珠」原理。

首先軌道坡度 40 度時效果最佳。其次加入 2 個強力磁鐵，用較重的磁性物質—大鋼珠來撞擊，效果最佳。因撞擊力道除了珠本身重力外，還多了與強力磁鐵間吸引的磁力。

再者，強力磁鐵後端鋼珠為 4 顆時，效果較佳，且放置愈多組強力磁鐵組，效果愈好。我們利用改良式撞擊力道測量器，可比較出末端鋼珠所產生的力道大小。末端珠必須是磁性物質、且與磁鐵間的磁力愈弱、重量愈重、大小和小鋼珠愈接近、離受撞器愈近，則所產生的力道會愈大。

我們由一連串的實驗結果推論，末端鋼珠一開始並非是先滾動的。後來利用高速攝影相機證實了末端珠的運動方式，是先滑動一段距離，然後再做滾動的。

壹、研究動機

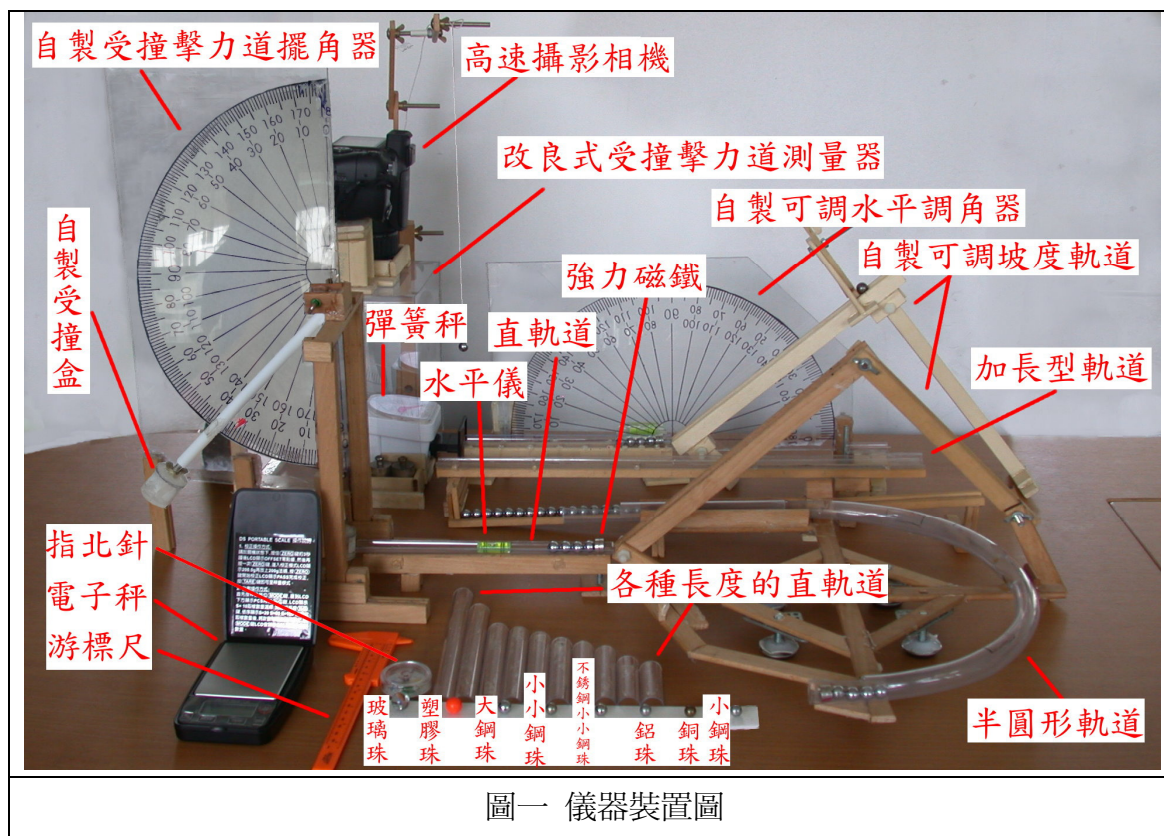
前一陣子電視播出一齣叫做神探伽利略的日劇，深深地吸引了我們。劇中主角湯川學教授以物理原理為基礎，來進行一系列科學方法的探討、分析，並進行實驗，協助警方解決了許多難以理解的懸案。我們幾個志同道合的同學，特地去租了一片劇場版伽利略的影片來觀賞。在片中有介紹一個關於鋼珠碰撞的實驗，是以慢速的鋼珠來進行碰撞，只不過在實驗裝置中多加了一塊強力磁鐵，居然可以使另一端的鋼珠以極快速度飛出去，讓我們覺得非常神奇。雖然主角在片中有介紹其中的物理原理，但我們還是不太明瞭，於是便相約去請教自然老師。老師告訴我們六上南一版自然與生活科技第四單元「奇妙的電磁世界」有介紹這方面的知識，希望我們能效法片中主角的科學精神，並要我們一同探討、研究與實驗，來找出及理解「極速鋼珠」的真正原理。

貳、研究目的

- 一、探討斜坡坡度與撞擊後所產生力道的關係
- 二、以不同材質的珠來撞擊時，探討末端鋼珠數與所產生力道的關係
- 三、在裝置中加入不同個數的強力磁鐵時，探討末端鋼珠數與所產生力道的關係
- 四、以不同材質的珠來撞擊有強力磁鐵的裝置時，探討末端鋼珠數與所產生力道的關係
- 五、改變最末端珠的材質與受撞器的形式，來探討末端鋼珠數與所產生擺角的關係
- 六、改變末端珠與軌道末端的距離，來探討撞擊後所產生力道的關係
- 七、比較自製受撞擊力道擺角器與改良式受撞擊力道測量器的差異性
- 八、改變最末端兩顆珠間的距離，來探討撞擊後所產生力道的關係
- 九、改變斜坡坡度，來探討撞擊後鋼珠與強力磁鐵後退距離的關係
- 十、如何改良實驗裝置，來增加撞擊後所產生的力道

參、研究設備與器材

自製受撞擊力道擺角器、改良式受撞擊力道測量器、自製可調水平量角器、可調坡度軌道、自製受撞盒、自製半圓形軌道、各種不同長度的直軌道、加長型直軌道、大鋼珠、小鋼珠、小小鋼珠、小小鉛珠、小小銅珠、磁珠、強力磁鐵、大玻璃珠、中玻璃珠、小玻璃珠、塑膠珠、水平儀、電子秤、彈簧秤、高速攝影相機、電腦、游標尺、捲尺。



肆、研究問題、過程與方法

研究問題一：由軌道傾斜坡度與撞擊後所產生力道的關係，找出最佳坡度角

實驗一、

過程與方法：

- (一) 將一小鋼珠置於水平軌道的一端，然後依序將斜坡軌道坡度調整為 5° 、 10° 、 15° 、 20° 、 25° 、 30° 、 35° 、 40° 、 45° 、 50°
- (二) 將另一小鋼珠置於距水平軌道 26.5cm 的斜坡軌道上方，然後自由滾下
- (三) 水平軌道上的小鋼珠會被撞擊飛出，然後利用自製受撞擊力道擺角器來測量小鋼珠被撞擊後所產生的力道，且每一數據測量六次
- (四) 用數位相機攝影記錄，並用電腦進行數據分析

研究問題二：用不同材質的珠來撞擊不同個數的小鋼珠時，其碰撞所產生的力道變化情形如何

實驗二、

過程與方法：

- (一) 依序將 1~10 顆小鋼珠置於水平軌道的一端，且斜坡軌道坡度固定為 40°
- (二) 分別將小鋼珠、大鋼珠、大玻璃珠和磁珠置於距水平軌道 26.5cm 的斜坡軌道上方，然後自由滾下
- (三) 同實驗一步驟(三)~(四)

研究問題三：在裝置中加入不同個數的強力磁鐵時，其碰撞所產生的力道變化情形如何

實驗三、

過程與方法：

- (一) 分別將 1~5 個強力磁鐵置於水平軌道的一端，其後依序放置 1~10 顆小鋼珠，且斜坡軌道坡度固定為 40°
- (二) 同實驗一步驟(二)~(四)

研究問題四：用不同材質的珠來撞擊有強力磁鐵的裝置時，其碰撞所產生的力道變化情形如何

實驗四、

過程與方法：

- (一) 將 2 個強力磁鐵置於水平軌道的一端，其後依序放置 1~10 顆小鋼珠，且斜坡軌道坡度固定為 40°
- (二) 分別將 1~4 個小鋼珠，以及小小鋼珠、大鋼珠、磁珠、小玻璃珠、中玻璃珠、大玻璃珠與塑膠珠置於距水平軌道 26.5cm 的斜坡軌道上方，然後自由滾下
- (三) 同實驗一步驟(三)~(四)

研究問題五：當末端換成不同材質的珠時，其碰撞所產生的力道變化情形如何

實驗五之一、利用無洞受撞盒做實驗

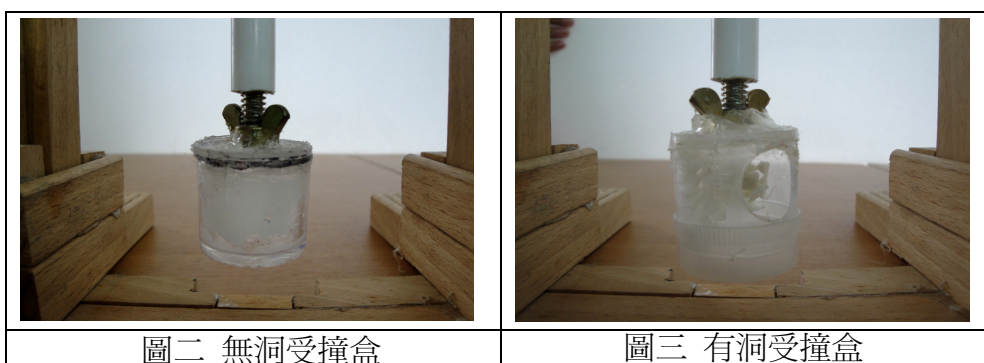
過程與方法：

- (一) 將 2 個強力磁鐵置於水平軌道的一端，其後依序放置 0~9 顆小鋼珠，且斜坡軌道坡度固定為 40°
- (二) 分別將大鋼珠、小鋼珠、小小鋼珠、中玻璃珠與塑膠珠置於 0~9 顆小鋼珠的最末端
- (三) 將一大鋼珠置於距水平軌道 26.5cm 的斜坡軌道上方，然後自由滾下
- (四) 同實驗一步驟(三)~(四)

實驗五之二、利用有洞受撞盒做實驗

過程與方法：

- (一) 承實驗五之一，將自製受撞擊力道擺角器中的無洞受撞盒換成有洞受撞盒
- (二) 同實驗五步驟(一)~(四)

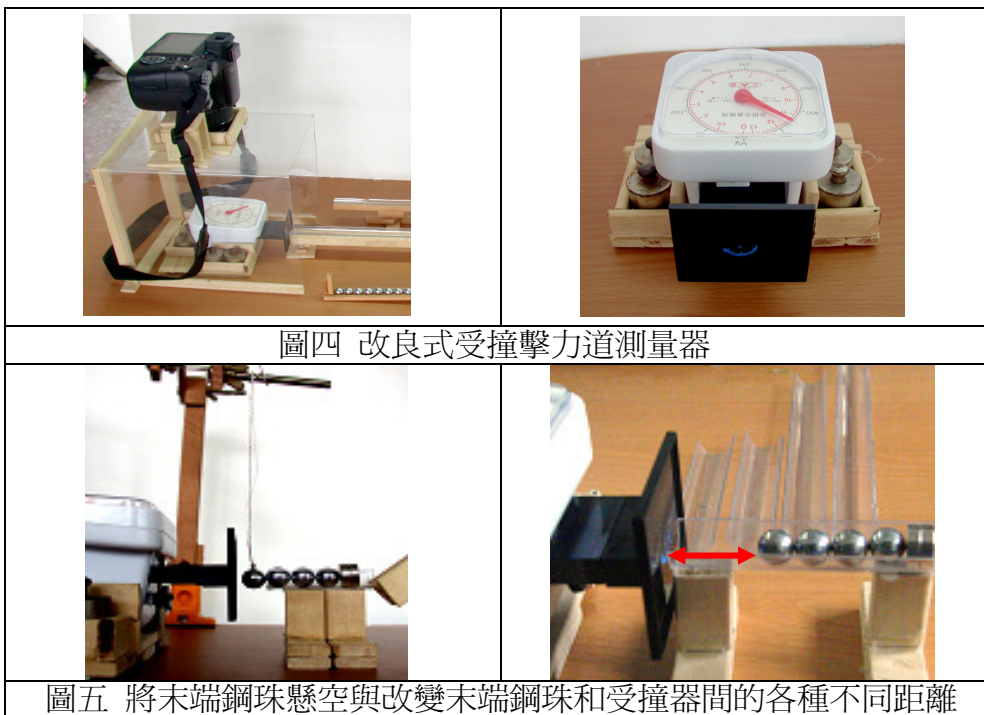


研究問題六：末端鋼珠被撞擊後，是否因滾動一小距離而產生斥力，進而增加了前進的力道

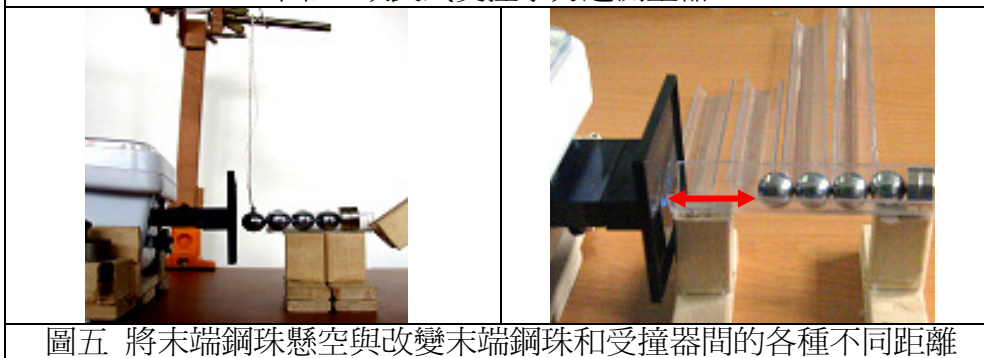
實驗六、

過程與方法：

- (一) 將 2 個強力磁鐵置於水平軌道的一端，其後放置 4 顆小鋼珠，且斜坡軌道坡度固定為 40°
- (二) 首先將上述的最末端小鋼珠懸空並置於軌道最末端，然後依序將上述鋼珠置於距軌道末端 $1/4$ 、 $1/2$ 、 $3/4$ 、 1 、 $5/4$ 、 $3/2$ 、 $7/4$ 、 2 、 3 、 4 倍小鋼珠周長(直徑 1.06cm)的位置
- (三) 同實驗五之一步驟(三)
- (四) 水平軌道上的末端珠會被撞擊飛出，然後在軌道末端利用改良式受撞擊力道測量器來測量撞擊後所產生的力道，且每一數據測量六次
- (五) 用高速攝影相機記錄，並用電腦進行數據分析



圖四 改良式受撞擊力道測量器



圖五 將末端鋼珠懸空與改變末端鋼珠和受撞器間的各種不同距離

研究問題七：用自製受撞擊力道擺角器與改良式受撞擊力道測量器來進行實驗時，其測量的結果是否相同

實驗七、

過程與方法：

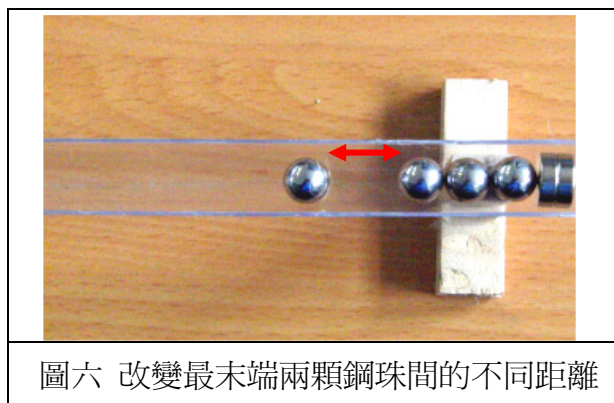
- (一) 將 2 個強力磁鐵置於水平軌道的一端，其後放置 3 顆小鋼珠，且斜坡軌道坡度固定為 40°
- (二) 分別將大鋼珠、小鋼珠、小小鋼珠、小小銅珠、小小鉛珠、塑膠珠與小玻璃珠置於上述步驟 3 顆小鋼珠之後
- (三) 同實驗六步驟(三)~(五)

研究問題八：改變最末端兩顆鋼珠之間的距離，其碰撞所產生的力道變化情形如何

實驗八、

過程與方法：

- (一) 同實驗五之三步驟(一)
- (二) 將第 4 顆小鋼珠分別置於距上述 3 顆小鋼珠末端 0、2、3、4cm 的位置
- (三) 同實驗六步驟(三)



研究問題九：改變斜坡的坡度，其撞擊後，鋼珠與強力磁鐵組後退的變化情形如何

實驗九、

過程與方法：

- (一) 將 2 個強力磁鐵置於水平軌道的一端，其後放置 4 顆小鋼珠，然後依序將斜坡軌道坡度調整為 10° 、 20° 、 30° 、 40°
- (二) 同實驗五之一步驟(三)
- (三) 水平軌道上的小鋼珠會被撞擊飛出，然後利用數位相機錄影記錄鋼珠與強力磁鐵組後退的距離，且每一數據測量六次

研究問題十：如何改良實驗裝置，來增加撞擊後所產生的力道

實驗十之一、在直軌道中增加強力磁鐵的組數

過程與方法：

- (一) 依序將 1~3 組強力磁鐵組(2 個/組)置於水平直軌道(26.5cm)上，其後放置 4 顆小鋼珠，且斜坡軌道坡度固定為 40°
- (二) 同實驗五之三步驟(三)~(五)

實驗十之二、設計成半圓形軌道，並增加強力磁鐵的組數

過程與方法：

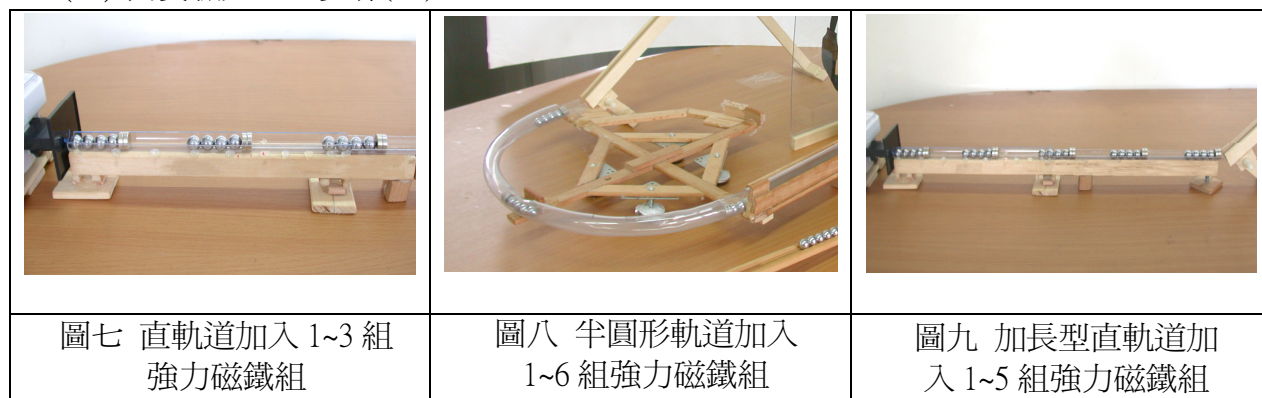
- (一) 將軌道設計成半徑約 17cm 的圓形軌道
- (二) 依序將 1~6 組強力磁鐵組(2 個/組)置於半圓形軌道上，其後放置 4 顆小鋼珠，且斜坡軌道坡度固定為 40°
- (三) 同實驗九之一步驟(二)

實驗十之三、在加長型直軌道中增加強力磁鐵的組數

過程與方法：

(一) 依序將 1~5 組強力磁鐵組(2 個/組)置於加長型直軌道上(50.7cm)，其後放置 4 顆小鋼珠，且斜坡軌道坡度固定為 40°

(二) 同實驗九之一步驟(二)



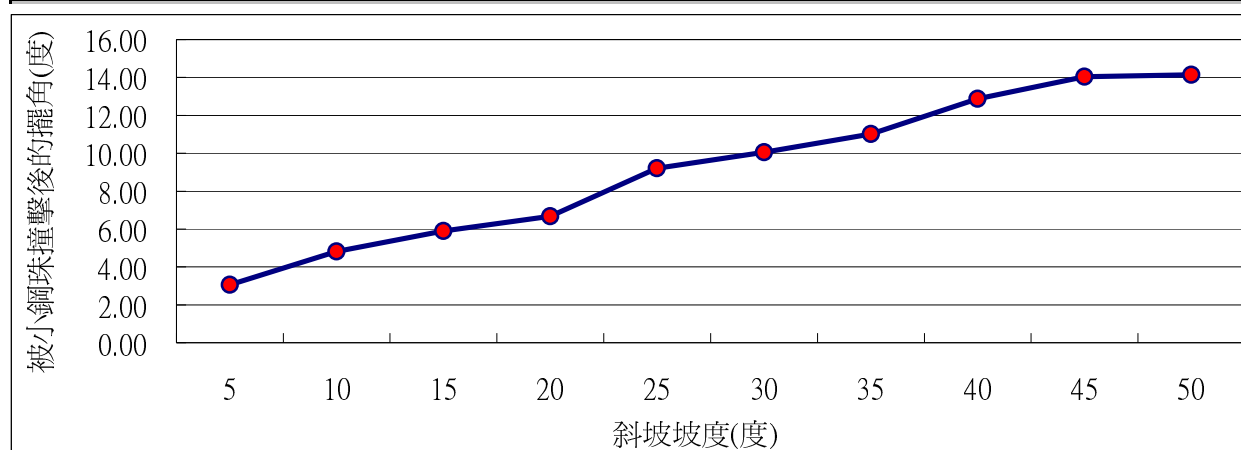
伍、研究結果與討論

研究結果一：

(表一)

用小鋼珠來撞擊時，斜坡坡度與撞擊後擺角的關係

撞擊後的擺角(度)										
坡度(度)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
第一次	3	4.8	5.8	6.7	9	10	11	12.7	14.9	12
第二次	3.2	4.9	6	6.6	9.4	10	11	12.9	13.9	14.9
第三次	3	4.5	6	6.7	9.2	9.7	10.5	12.8	14	15.3
第四次	3	5	5.9	6.5	9.1	10.3	10.5	12.9	14	15
第五次	3.05	4.9	5.9	6.7	9.3	10.1	10.9	12.9	13	12.5
第六次	3.1	4.8	5.8	6.8	9.2	10.2	12.2	13	14.4	15.1
平均	3.06	4.82	5.90	6.67	9.20	10.05	11.02	12.87	14.03	14.13



圖十

發現：(一)撞擊後所產生的擺角會隨著斜坡坡度的增加而加大。

(二)坡度增加到 45 度後，所產生的擺角不再明顯加大。

研究討論：

(一)雖然坡度 45 度所產生的擺角最大，但鋼珠從斜坡上方滾落至水平軌道時，卻常常彈出軌道外，造成實驗失敗。

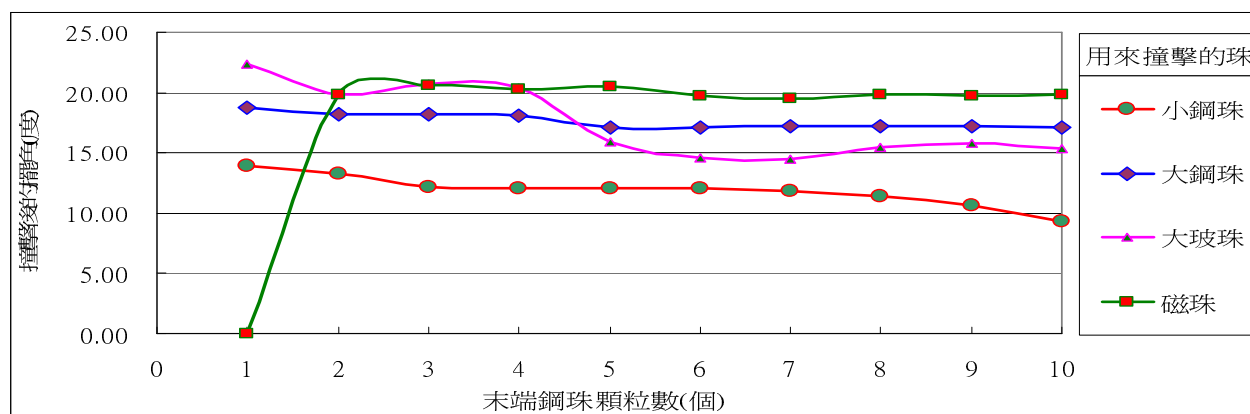
(二)雖然坡度 40 度所產生的擺角第二大，但鋼珠滾落過程非常平穩，不易造成實驗失敗。因此以下實驗都以坡度 40 度角來進行。

研究結果二：

(表二)

用不同材質的珠來撞擊時，末端鋼珠數與撞擊後擺角的關係

用	末端鋼珠數	撞擊後的擺角(度)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
用小鋼珠來撞擊	第一次	13.6	13.2	12.1	12.2	12	11.8	11.8	11	10.9	10
	第二次	13.9	13.4	12.9	11.9	12.2	12.1	11.7	11.9	10.9	9.9
	第三次	13.8	13	11.6	12.2	11.9	11.9	11.9	11.8	10.9	9
	第四次	14	13.6	12	12.1	12.4	12.1	12	11.4	10	9
	第五次	14.6	12.9	12.5	12.2	12.1	12.3	11.8	11	10.9	8.7
	第六次	13.4	13.4	12.2	12	11.9	12	11.9	11.5	10	9.3
	平均	13.88	13.25	12.22	12.10	12.08	12.03	11.85	11.43	10.60	9.32
用大鋼珠來撞擊	第一次	18.7	18.1	18	18.1	17.4	17.1	17	17.1	17.9	17.2
	第二次	18.9	18.2	18	18.2	17	17.3	17	17.2	17.1	17.3
	第三次	18.8	18.4	18.2	18.3	17.1	17.2	17.1	17.3	17	17
	第四次	18.5	18.3	18	18	17	17	17.4	17.3	17.2	17.1
	第五次	18.8	18.1	18.5	17.9	17.2	17	17.9	17.4	17	17.2
	第六次	18.6	18.2	18.8	17.9	17.1	16.9	17.2	17.2	16.9	17.1
	平均	18.72	18.22	18.25	18.07	17.13	17.08	17.27	17.25	17.18	17.15
用大玻璃珠來撞擊	第一次	21	21.2	20.8	20.4	17	14.4	15.5	15	16.4	15.2
	第二次	20	19.7	20.7	19	15.6	14.5	13.9	15.4	15.9	14.9
	第三次	24	19	22	20.5	16.3	14.6	14.5	15.5	16	15
	第四次	22	19.5	20.6	20.4	15	14.7	14.4	15.9	15.8	15.2
	第五次	24.8	19.8	19.3	22	15.9	14.6	14.4	15.8	15	15
	第六次	22.4	19.9	20.9	20.3	15.7	15	14	15	15.7	16.9
	平均	22.37	19.85	20.72	20.43	15.92	14.63	14.45	15.43	15.80	15.37
用磁珠來撞擊	第一次	X	20	21.1	19.8	20.1	17.1	19.6	21	20.6	20
	第二次	X	18.5	20.8	18.9	20.1	19.9	19.5	18	19	20.8
	第三次	X	19.7	20.2	22.2	20.5	20	20.1	21	19.8	19.7
	第四次	X	21	19.1	20.3	20.6	21.7	20.1	20.4	20.1	20.1
	第五次	X	20.9	22	20.4	21.2	19.8	19	19	19.5	18.2
	第六次	X	18.9	20.7	20.4	20.4	20.1	18.8	20	19.7	20
	平均	X	19.83	20.65	20.33	20.48	19.77	19.52	19.90	19.78	19.80
珠的材質		大鋼珠			小鋼珠		大玻璃珠		磁珠		
直徑；重量		1.24cm；8.4gw			1.06cm；5.5gw		2.54cm；21.0gw		2.02cm；20.6gw		



圖十一

發現：(一)用愈重的珠來撞擊時，所產生的擺角有加大的趨勢。

(二)隨著末端被撞擊鋼珠數的增加，所產生的擺角有稍微減小的趨勢。

研究討論：

(一)磁珠和大玻璃珠所產生的擺角雖然較大，但其顆粒較大(直徑 2.02、2.54cm)，在滾落時容易彈出軌道外，造成實驗失敗。

(二)末端被撞擊鋼珠數愈多，則碰撞過程中的能量會損失愈多，因此所產生的擺角有稍微減小的趨勢。

(三)因磁珠具有磁性，無法直接用儀器來測量重量。必須去除磁珠與儀器間的磁性，才能夠來測量。我們想到兩種間接測量法：

1. 將磁珠放在一墊高物上來測量，以減少磁珠與儀器間的磁性
2. 將磁珠放在一鐵製品上來測量，以隔絕磁珠與儀器間的磁性



圖十二 隔絕磁力的方法



圖十三 測量方法 1.



圖十四 測量方法 2.

(四)實驗結果顯示，用磁珠所產生的擺角最大。我們猜測，擺角大小可能和磁性有關，因此我們在裝置中加入強力磁鐵來進行以下實驗。

研究結果三：

(表三)

在被撞鋼珠前放置不同個數的強力磁鐵時，末端鋼珠數與撞擊後擺角的關係

強力磁鐵 個數	撞擊後的擺角(度)										
	末端鋼珠數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0 個	第一次	13.6	13.2	12.1	12.2	12	11.8	11.8	11	10.9	10
	第二次	13.9	13.4	12.9	11.9	12.2	12.1	11.7	11.9	10.9	9.9
	第三次	13.8	13	11.6	12.2	11.9	11.9	11.9	11.8	10.9	9
	第四次	14	13.6	12	12.1	12.4	12.1	12	11.4	10	9
	第五次	14.6	12.9	12.5	12.2	12.1	12.3	11.8	11	10.9	8.7
	第六次	13.4	13.4	12.2	12	11.9	12	11.9	11.5	10	9.3
	平均	13.88	13.25	12.22	12.10	12.08	12.03	11.85	11.43	10.60	9.32
1 個	第一次	X	25.1	32.5	28.3	33.5	28.5	28.1	30.4	30	30
	第二次	X	25	32	32	29.9	29.3	28.1	30.6	30.2	30.5
	第三次	X	26.2	30	32	27	28.6	30.5	30.5	29.6	29
	第四次	X	26.8	32.8	29	33.6	32	30.9	30.5	27.2	30.2
	第五次	X	28	31.1	33.4	30.4	29.6	30.9	30.8	28.4	30.5
	第六次	X	26	28.1	28.2	28	30.6	31	30	32	31
	平均	X	26.18	31.08	30.48	30.40	29.77	29.92	30.47	29.57	30.20
2 個	第一次	X	27.6	32	31.4	30.1	33.6	32.6	33.4	33	30
	第二次	X	25.4	32.1	32.6	31.9	33	33.6	33.1	33.1	31.4
	第三次	X	27	32	32.7	32.1	33.1	32.7	34	31.2	31.3
	第四次	X	26.9	32.9	32.5	33.6	32.1	33.2	33.3	32.3	31.2
	第五次	X	26.8	32.3	32.9	32	33.2	33.1	33.4	32.5	33
	第六次	X	27	32.2	33.2	31.8	33.4	34	33.5	32	31
	平均	X	26.78	32.25	32.55	31.92	33.07	33.20	33.45	32.35	31.32
3 個	第一次	X	19.9	27.1	30.1	31	32.7	29	32.5	31.5	31.4
	第二次	X	18.9	29.6	31.3	31	32	29.8	32	32.9	31
	第三次	X	21.9	31.1	32	29	32.9	32.8	31.3	32	31.4
	第四次	X	18.5	27.1	29.1	31.4	32	30.2	31.8	31.9	31.1
	第五次	X	21.1	28.9	30.8	30	30.1	30	31.8	32.1	31.5
	第六次	X	22	28	31.2	29.5	32	32	28.2	32.1	31.1
	平均	X	20.38	28.63	30.75	30.32	31.95	30.63	31.27	32.08	31.25
4 個	第一次	X	15.7	26.8	28.1	29.9	29.9	30.1	30.1	29.4	28.9
	第二次	X	16.1	26.8	29	29.5	30	30.1	29.1	29.8	29
	第三次	X	17	26.3	29.8	29.7	30	30	30.9	28.8	28.9
	第四次	X	15	26.2	28.7	30.8	29.5	29.7	29.1	29.3	29.1
	第五次	X	15.7	26	28.8	29.8	29	29.1	29.6	29.3	28.9
	第六次	X	17.2	26.3	29	29.2	29.7	29.2	29	29.3	28.7
	平均	X	16.12	26.40	28.90	29.82	29.68	29.70	29.63	29.32	28.92
5 個	第一次	X	19.3	25.5	30.2	31.6	30.5	30.2	31	31.2	30.2
	第二次	X	19.2	26	30.2	29.6	30.5	30.1	30	31	26.2
	第三次	X	19.2	28.2	29.5	29	29.9	29.2	27.3	30.1	29.8
	第四次	X	19	28.3	30.2	30.1	31	30	29.2	29.4	29.8
	第五次	X	19.1	27.7	29	29.5	31	30.9	30.7	29.9	29
	第六次	X	19.4	28.1	29.3	29.5	31.2	30.1	30	31.9	29
	平均	X	19.20	27.30	29.73	29.88	30.68	30.08	29.70	30.58	29.00

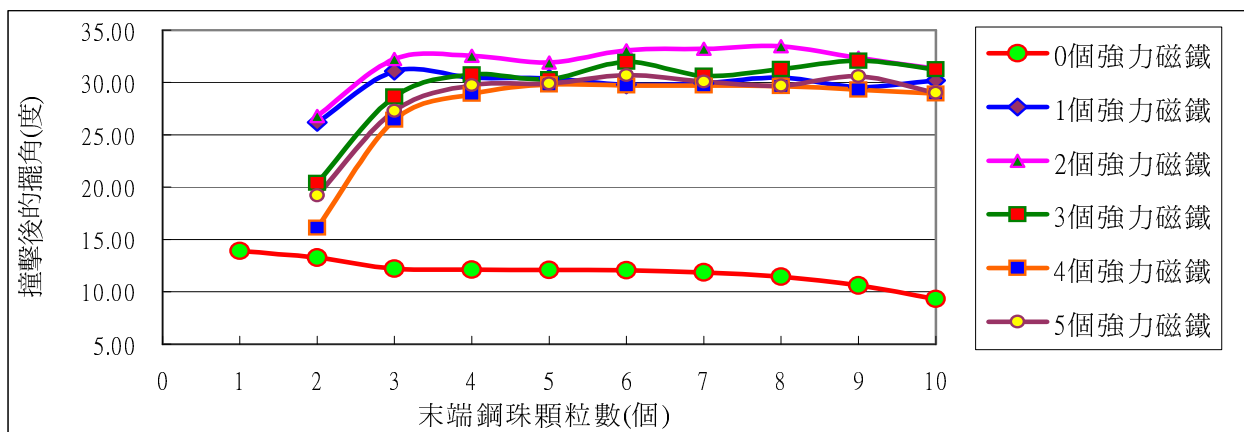


圖 十五

發現：(一)在裝置中加入強力磁鐵後，碰撞所產生的擺角明顯加大許多。

(二)加入 2 個強力磁鐵時，碰撞所產生的擺角最大。

研究討論：

(一)加入強力磁鐵後，鋼珠除了有從高處落下的動能之外，還多了被強力磁鐵吸引的磁能，因此所產生的擺角明顯比沒有強力磁鐵時多了許多。

(二)實驗發現，並非強力磁鐵個數愈多，其所產生的擺角會愈大。當加入 2 個強力磁鐵時，所產生的擺角最大，因此以下都是在裝置中加入 2 個強力磁鐵來進行實驗。

研究結果四：

(表四)

用2個強力磁鐵，以不同個數、不同材質的珠來撞擊時，末端鋼珠數與撞擊後擺角的關係

用來撞擊的珠	末端鋼珠數	撞擊後的擺角(度)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 個小鋼珠	第一次	X	27.6	32	31.4	30.1	33.6	32.6	33.4	33	30
	第二次	X	25.4	32.1	32.6	31.9	33	33.6	33.1	33.1	31.4
	第三次	X	27	32	32.7	32.1	33.1	32.7	34	31.2	31.3
	第四次	X	26.9	32.9	32.5	33.6	32.1	33.2	33.3	32.3	31.2
	第五次	X	26.8	32.3	32.9	32	33.2	33.1	33.4	32.5	33
	第六次	X	27	32.2	33.2	31.8	33.4	34	33.5	32	31
	平均	X	26.78	32.25	32.55	31.92	33.07	33.20	33.45	32.35	31.32
2 個小鋼珠	第一次	X	25	34.3	32.1	32	32.5	34	34	33	33.1
	第二次	X	26.2	28.9	32.1	33.1	33	34	32.1	33	33
	第三次	X	25.2	32.2	34.5	31.9	32.3	33.5	33.8	32	27.9
	第四次	X	22.6	34.5	31.9	32.2	31.9	31.1	34	29.2	35.1
	第五次	X	25.5	32.1	33.5	32.1	33.9	32.1	34.1	33	33.3
	第六次	X	26.8	27.8	34.1	32.5	31.1	34.8	33.9	30	28.9
	平均	X	25.22	31.63	33.03	32.30	32.45	33.25	33.65	31.70	31.88
3 個小鋼珠	第一次	X	29	33.7	33.6	33.9	34	31.3	31.2	33.1	29
	第二次	X	28	33.1	34.2	34.1	32.5	29.4	32.4	32.3	31.9
	第三次	X	24.1	33.5	34	32.5	29.8	31.6	32	31.3	32
	第四次	X	26.9	35	32.1	34.2	33	34	29.2	32.4	31.8
	第五次	X	26.8	33	33.9	34	32.2	31.5	33	33.1	30.9
	第六次	X	26	34	33.6	35	32.5	31.8	29.4	33.9	29.8
	平均	X	26.80	33.72	33.57	33.95	32.33	31.60	31.20	32.68	30.90

4 個小鋼珠	第一次	X	26	33	34.8	32.9	33.8	32.1	32.3	32	32
	第二次	X	27	26.7	33.7	33.9	34.9	31.9	30.5	31.9	29.9
	第三次	X	28	29.4	33.6	32.2	35	31.2	32.2	32.3	32.2
	第四次	X	27.4	28.9	33.2	33.6	33.9	33	32	33.8	29
	第五次	X	26.9	30	32.3	35.1	28.4	32.9	33.1	33	32.9
	第六次	X	28.9	28	34	33.9	34	32.3	31.8	32.2	31.8
	平均	X	27.37	29.33	33.60	33.60	33.33	32.23	31.98	32.53	31.30
小小鋼珠	第一次	X	17	23.5	23	25	24.8	24.1	25.1	24.2	25
	第二次	X	14.4	22.5	21	25	25	24	24.3	21.6	20
	第三次	X	14	21.2	24.1	22.9	23	24	22	23	24.5
	第四次	X	14	22	25	25	25	24.6	24.1	24	24
	第五次	X	16.4	21.9	22.5	22.5	24	24	23	24.8	22.7
	第六次	X	17.8	22.4	23.6	23	25	24.2	24	23.5	24.5
	平均	X	15.60	22.25	23.20	23.90	24.47	24.15	23.75	23.52	23.45
大鋼珠	第一次	X	27.7	33	37.5	34	28.2	32.2	33.7	34.3	31.9
	第二次	X	24.3	33	39.9	35.2	33.3	33.7	32	30	30.6
	第三次	X	28	33	37.7	35.3	39	30	27.4	30.2	31
	第四次	X	24	34.8	37.9	39.1	33.5	28.6	32.1	29.8	30
	第五次	X	28	34.9	36	38	29	33	35	26.1	29
	第六次	X	28.8	36	36	36.3	37	36.5	31.8	31	29.8
	平均	X	26.80	34.12	37.50	36.32	33.33	32.33	32.00	30.23	30.38
磁珠	第一次	X	X	X	18.2	5	20	5.6	6.1	5.2	14
	第二次	X	X	X	11	8.2	8.9	12.7	5.9	12	11
	第三次	X	X	X	7.3	10.8	7	12.1	11	12	12.9
	第四次	X	X	X	6.5	4.3	6.1	9	13.9	10	11
	第五次	X	X	X	15.1	25	12	7	17.2	13.2	5
	第六次	X	X	X	8	11.2	13.7	9.3	10	13.1	10.8
	平均	X	X	X	11.02	10.75	11.28	9.28	10.68	10.92	10.78
小玻璃珠	第一次	X	X	X	5.5	4	6	6	4.2	5	4.3
	第二次	X	X	X	5	3.9	5.5	4.1	4.9	5.5	5.2
	第三次	X	X	X	4	7	5	4.6	6	5.1	5
	第四次	X	X	X	3.7	6.2	5.7	6.9	5.5	5.1	4
	第五次	X	X	X	6.5	6.5	6	6.5	4.9	3.7	5.9
	第六次	X	X	X	6	5	6.2	7	4	6	4.9
	平均	X	X	X	5.12	5.43	5.73	5.85	4.92	5.07	4.88
中玻璃珠	第一次	X	X	X	6.3	6	6.2	5.6	5.2	6.1	5.2
	第二次	X	X	X	6	6.9	6.3	5.5	6.5	5.2	5
	第三次	X	X	X	6	6	7	5.2	5.1	5.3	5.1
	第四次	X	X	X	7.2	6.4	6.1	5.6	4.5	5.1	5
	第五次	X	X	X	5.8	7	6	5.4	4.6	4.7	5.6
	第六次	X	X	X	6.9	6.5	5.1	5.5	5.8	5	5.2
	平均	X	X	X	6.37	6.47	6.12	5.47	5.28	5.23	5.18
大玻璃珠	第一次	X	X	X	6.6	11.5	9.8	14	11.1	10.2	11
	第二次	X	X	X	6.9	11.6	10	12.5	8.6	13.7	12
	第三次	X	X	X	6	10	13.4	9.1	13.5	14	11
	第四次	X	X	X	7.7	10.9	12	11	11.9	12	11.5
	第五次	X	X	X	8.8	11.2	10.8	11.8	12	12.1	10
	第六次	X	X	X	6.9	11	10.1	11	14.7	11.1	11.2
	平均	X	X	X	7.15	11.03	11.02	11.57	11.97	12.18	11.12

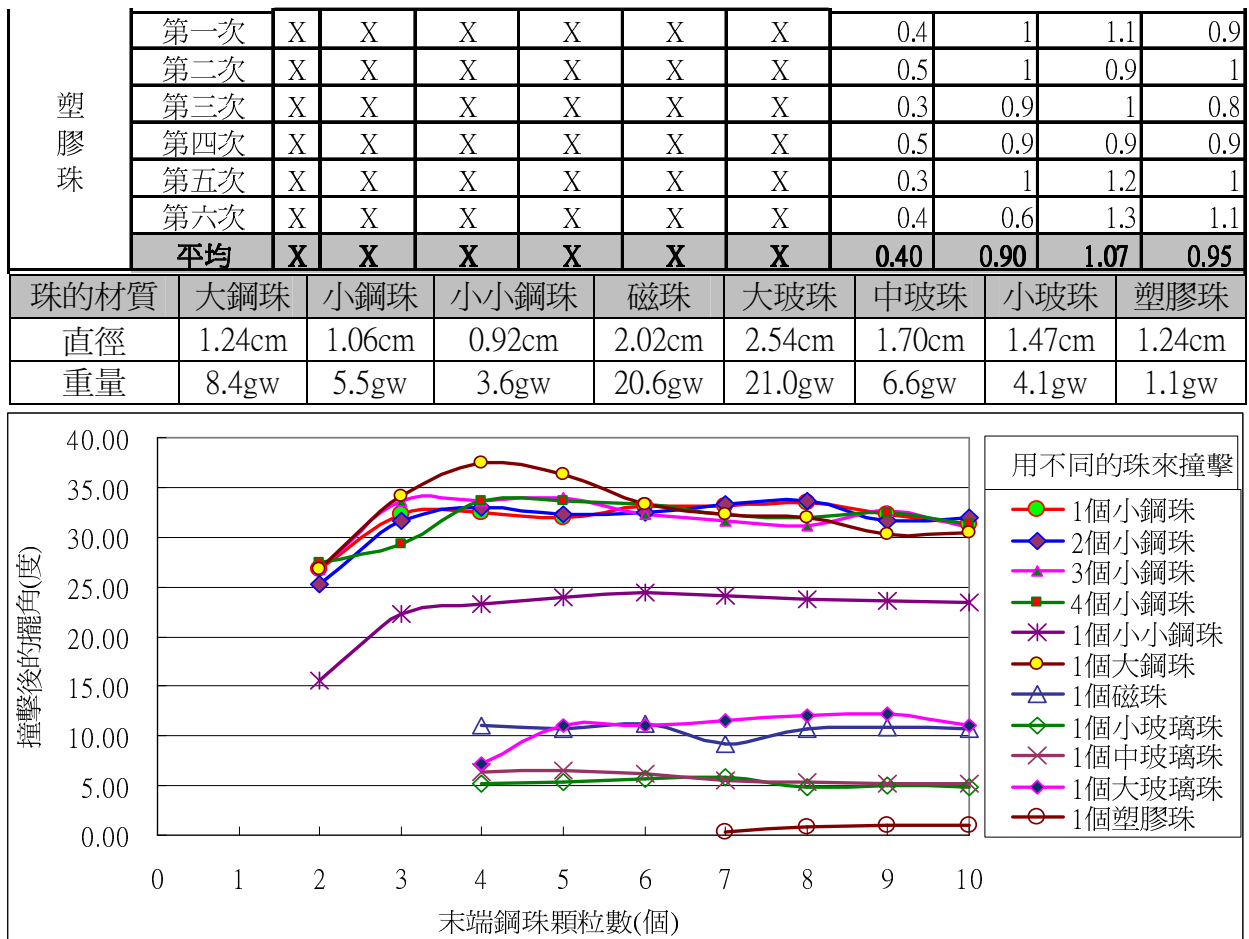


圖 十六

發現：(一)用磁性物質的珠來碰撞時，所產生的擺角都較大些。其中以大鋼珠的效果較好，小小鋼珠的效果較差。而磁珠是例外，效果最差。

(二)用非磁性物質的珠來碰撞時，所產生的擺角都較小。其中以塑膠珠的效果最差。

(三)在強力磁鐵後放置的鋼珠數太少或太多時，所產生的擺角都不會是最大的。實驗顯示，在強力磁鐵後放置約 4 個小鋼珠時，其所產生擺角的效果最佳。

研究討論：

(一)磁性物質的珠與強力磁鐵間多了吸引的磁力，因此會產生較大的擺角。而磁珠本身就具有磁性，在滾落後可能與強力磁鐵產生斥力，所以產生的擺角較小。

(二)在強力磁鐵後只放 1 顆鋼珠時，因與強力磁鐵間的磁力太強，經碰撞後，鋼珠無法飛出。

(三)在強力磁鐵後放 2 顆鋼珠時，其與強力磁鐵間的磁力變弱了，鋼珠經碰撞後雖然有飛出，但由於與強力磁鐵間存有吸引力，使得碰撞後所產生的擺角並非最大。

(四)在強力磁鐵後放 3~4 顆鋼珠時，與強力磁鐵間的吸引磁力變得更弱，此時鋼珠經碰撞後所產生的擺角最大。

(五)我們設想，若是能減少強力磁鐵與其末端珠之間的吸引力，那麼末端珠飛出的速度應該會更快。因此我們設計以非磁性物質的珠放在末端，來進行下一個實驗。

研究結果五：

(表五)

用2個強力磁鐵，在最末端放置不同材質的珠時，末端鋼珠數與撞擊後擺角的關係

最末端的珠		撞擊後的擺角(度)										
		末端小鋼珠數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
大鋼珠	受撞盒無洞	第一次	X	27.7	33	41.3	39	35.9	35.2	38	37	37
		第二次	X	24.3	40	39	37	37	35.3	39.1	38.9	33
		第三次	X	28	38	38	36.5	36.5	36.9	39	38	32.1
		第四次	X	24	38.3	38	36.1	36.1	39	36.5	36	38
		第五次	X	28	39.2	40	36.7	36.7	38	31	36.6	37.6
		第六次	X	28.8	41.1	39.2	36	36	36.8	36.7	33	39.5
		平均	X	26.80	38.27	39.25	36.88	36.37	36.87	36.72	36.58	36.20
	受撞盒有洞	第一次	X	17	23.3	25.5	27	23	27	25.3	24	26
		第二次	X	17.1	22	24	25.6	26.5	25.6	25.6	26	26.1
		第三次	X	21	25	23.2	23	25	27	23.5	25.1	22
		第四次	X	18	19.2	25	28	26	25.9	27	25	26
		第五次	X	21.1	25	26	26.2	26.5	25	27	24.6	27.1
		第六次	X	20	25	27.2	24	27	23	25.1	28	23.2
		平均	X	19.03	23.25	25.15	25.63	25.67	25.58	25.58	25.45	25.07
小鋼珠	受撞盒無洞	第一次	X	27.3	33	37.5	34	28.2	32.2	33.7	34.3	31.9
		第二次	X	25.5	33	39.9	35.2	33.3	33.7	32	30	30.6
		第三次	X	25.1	33	37.7	35.3	39	30	27.4	30.2	31
		第四次	X	23.7	34.8	37.9	39.1	33.5	28.6	32.1	29.8	30
		第五次	X	22	34.9	36	38	29	33	35	26.1	29
		第六次	X	27.1	36	36	36.3	37	36.5	31.8	31	29.8
		平均	X	25.12	34.12	37.50	36.32	33.33	32.33	32.00	30.23	30.38
	受撞盒有洞	第一次	X	19	25	32	31	25	24	24.2	22.7	23.8
		第二次	X	20.8	27	25	26	24	24	25	21.6	23
		第三次	X	20	24.8	28.2	28.6	24.8	24.8	22.3	22.7	21
		第四次	X	20	29	28	26	25	25	25.1	23.1	23.9
		第五次	X	23	24	25.3	28.8	25.1	25.2	25.3	24.9	24.6
		第六次	X	22	23.7	30	26.2	24.8	24.8	24.8	25.1	23.3
		平均	X	20.80	25.58	28.08	27.77	24.78	24.63	24.45	23.35	23.27
小小	受撞盒無洞	第一次	X	18	23.6	25.8	28	25.4	25.3	21	23.3	20
		第二次	X	17.7	24.1	30	28.1	27	26.6	25.1	26	21.2
		第三次	X	18.9	23.9	28.4	28.8	27	26	26.6	25.4	22.2
		第四次	X	15.9	25	27.1	25	26	24.9	27	26	25.1
		第五次	X	18	24.1	25.8	25.1	22.2	21.2	24.9	27.1	25.9
		第六次	X	17.8	21	33.3	29.9	24.4	27.7	25	24.6	27
		平均	X	17.72	23.62	28.40	27.48	25.33	25.28	24.93	25.40	23.57

鋼珠	受撞盒有洞	第一次	X	13	13.2	17.1	19	19	17.8	18	18.3	16
		第二次	X	13	13	16	17.1	17	20	17.4	17	18
		第三次	X	13.8	18	17	18.1	17.1	17.9	17	17	17.9
		第四次	X	13.9	16.1	16.5	16.5	17	19.1	18	18.2	17
		第五次	X	14	15.9	16.9	18	17.4	17	18.9	18.3	19
		第六次	X	15.1	14	17	18	16.9	16	18.1	17.9	19.5
		平均	X	13.80	15.03	16.75	17.78	17.40	17.97	17.90	17.78	17.90
小玻璃珠	受撞盒無洞	第一次	13	20.6	26.1	28	29.2	26	28.2	26	25	26.5
		第二次	9.1	20.5	28.2	29	27	27	27	26.5	25.8	26
		第三次	7.1	17.9	27.4	28	29	28.1	27.1	28	27	24.9
		第四次	9	17.2	26	26.9	26.2	27.2	27.2	27	26	25.8
		第五次	6	24	27.9	28	28.6	28.2	28	24	27	26
		第六次	10.2	23	29	27.9	26.2	27	26	27.1	24.2	25.9
		平均	9.07	20.53	27.43	27.97	27.70	27.25	27.25	26.43	25.83	25.85
	受撞盒有洞	第一次	13	20.5	26.1	28	29.2	26	28.2	26	25	27
		第二次	7.1	17.9	28.2	29	27	27	27.2	24.2	25.9	26
		第三次	9.1	17.2	32	28	29	27.1	27.1	28	27	24.9
		第四次	9	24	26	26.9	26.2	27.2	27.9	27.1	26	25.9
		第五次	6	20	27.9	28	28.6	28	28	24	27.1	26
		第六次	10.2	23	29	28.1	26.2	27	25	27.1	24.2	25.8
		平均	9.07	20.43	28.20	28.00	27.70	27.05	27.23	26.07	25.87	25.93
塑膠珠	受撞盒無洞	第一次	3.1	5.8	13	20	27	24.4	24	24	21	21.1
		第二次	3.8	7.5	16.2	28.1	23.5	24.5	26.5	27	27.2	20
		第三次	5	7.6	17.5	24.1	23	27	24.4	24.1	23.1	22
		第四次	3	5.1	15.2	23.6	26.1	26.9	24.5	23	23.2	23.4
		第五次	4.5	9.2	14.9	21.9	24.8	22.1	24.2	23.6	23.6	21
		第六次	3.7	10.2	15	23.6	25	22	23	24.5	23.9	19.1
		平均	3.85	7.57	15.30	23.55	24.90	24.48	24.43	24.37	23.67	21.10
	受撞盒有洞	第一次	2.1	1.5	18	22	22.4	25	22.9	23.5	19.9	21.6
		第二次	1.6	6.7	19	22.8	22	21	22.9	22.8	20.5	22.1
		第三次	0.5	5.7	18.9	23	22	25	22.3	20.9	23	20.1
		第四次	1.6	6.5	17.3	22	24	24	23.2	23	22.9	23.5
		第五次	1.6	4.8	19.3	24	23	23	24.1	20.3	18.9	20.9
		第六次	0.9	5	22.9	22.7	21	21	23.8	20.1	21	21.7
		平均	1.38	5.03	19.23	22.75	22.40	23.17	23.20	21.77	21.03	21.65
珠的材質		大鋼珠		小鋼珠		小小鋼珠		小玻璃珠		塑膠珠		
直徑；重量		1.24cm；8.4gw		1.06 cm；5.5 gw		0.92 cm；3.6 gw		1.47 cm；4.1 gw		1.24 cm；1.1 gw		

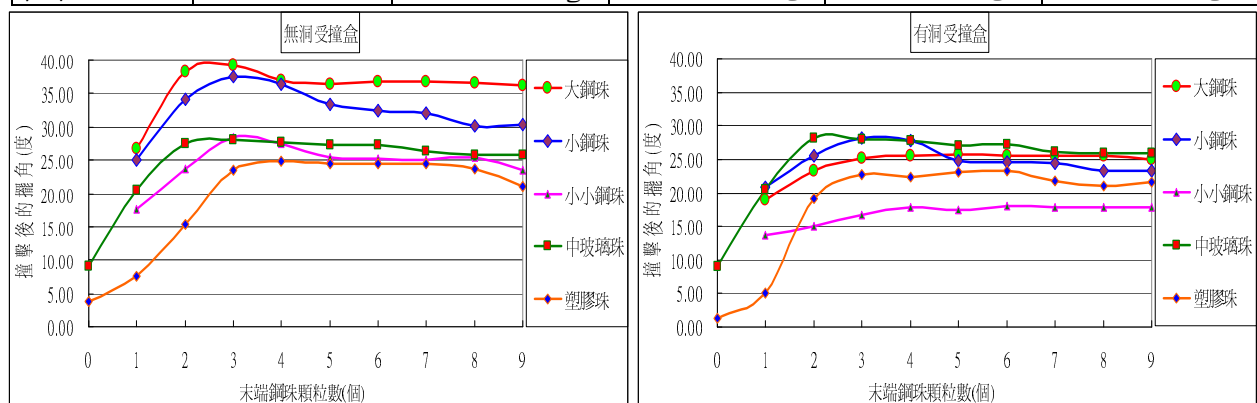


圖 十七

發現：(一)用無洞受撞盒時，磁性物質的大鋼珠和小鋼珠所產生的擺角較大，而非磁性物質的珠所產生的擺角較小。

(二)用有洞受撞盒所產生的擺角，通常比用無洞受撞盒較小。

研究討論

(一)用有洞受撞盒的目的，是要讓末端的珠滾進洞裡，並與受撞盒一起擺動。因擺動時還需克服珠的重量，其中大鋼珠較重，所以產生的擺角會明顯減小許多；而塑膠珠較輕，所產生的擺角減小較少。

(二)原本以為非磁性物質的珠不會受到強力磁鐵的吸引，而會產生較大的擺角，實驗結果卻是磁性物質的珠才會產生較大的擺角。我們認為可能是，鋼珠剛開始因撞擊而震開滾動一小距離，因被磁化的原因帶有磁性，而和強力磁鐵產生一斥力而非吸力，所以增加了前進的力道。為了證明這個假設，我們進行下一個實驗。



圖十八 猜測最末端鋼珠可能滾動而與強力磁鐵產生斥力而非吸力

研究結果六：

(表六)

改變末端鋼珠與受撞器間的距離，其撞擊後所產生力道的關係

末端鋼珠與受撞器之距離(小鋼珠周長)	碰撞後所產生的力道(gw)										
	0	1/4	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	3	4
第一次	235	225	206	195	190	197	185	202	189	170	174
第二次	230	207	194	181	193	176	196	190	171	175	185
第三次	195	198	214	196	215	190	192	185	197	189	173
第四次	224	220	214	201	166	188	180	191	190	188	166
第五次	196	205	215	202	194	191	194	175	184	190	195
第六次	206	210	208	210	200	215	200	193	187	191	176
平均	214.33	210.83	208.50	197.50	193.00	192.83	191.17	189.33	186.33	183.83	178.17

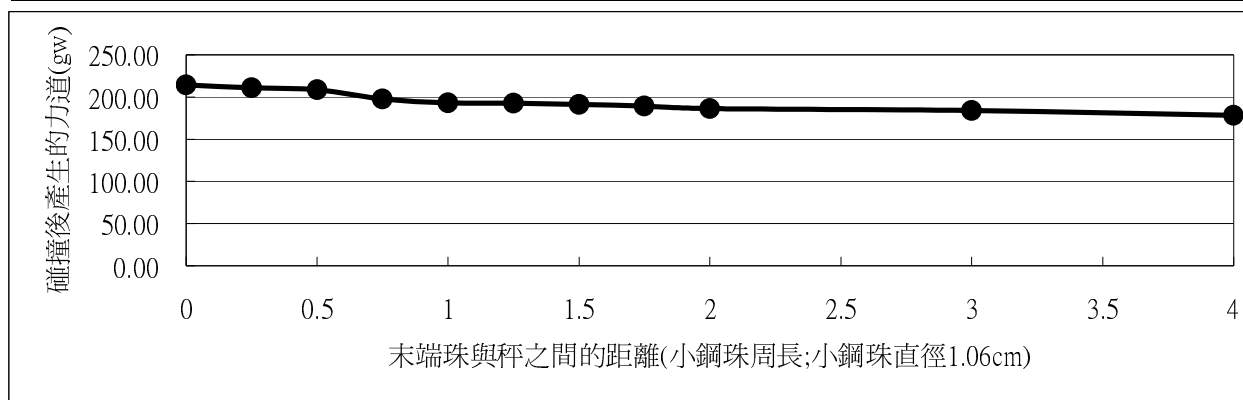


圖 十九

發現：(一)碰撞後所產生的力道，有隨著末端珠與彈簧秤之間距離的增加，而有減少的趨勢，但是變化並不大。

研究討論

(一)原本以為末端鋼珠一開始會因滾動一小距離而與強力磁鐵產生一斥力，進而增加前進的力道，所產生的力道應該會先增加，然後再慢慢減弱。可是實驗結果顯示，末端鋼珠在最初開始飛出時所產生的力道最大，然後隨著末端鋼珠運動距離的增加，所產生的力道慢慢輕微地衰減。

(二)本實驗結果和我們在實驗五所做的假設不符合，我們懷疑用自製受撞擊力道擺角器和用改良式受撞擊力道測量器測量的結果會不一樣，因此進行下一個實驗。

研究結果七：

(表七)

最末端改放不同材質的珠，其撞擊後所產生力道的關係

撞擊後產生的力道(gw)								
不同材質的珠	大鋼珠	小鋼珠	小小鋼珠	不鏽鋼小小鋼珠	小小銅珠	小小鋁珠	塑膠珠	小玻璃珠
第一次	198	210	191	210	200	85	126	197
第二次	192	220	193	205	201	75	116	196
第三次	189	215	191	211	195	83	110	190
第四次	185	196	189	208	186	80	130	203
第五次	200	198	199	209	193	95	115	192
第六次	201	195	201	203	185	74	114	185
平均	194.17	205.67	194.00	207.67	193.33	82.00	118.50	193.83
珠的材質	大鋼珠	小鋼珠	小小鋼珠	不鏽鋼小小鋼珠	小小銅珠	小小鋁珠	塑膠珠	小玻璃珠
直徑	1.24cm	1.06cm	0.92cm	0.97cm	0.92cm	0.91cm	1.24cm	1.47cm
重量	8.4gw	5.5gw	3.6gw	4.7gw	3.8gw	1.2gw	1.1gw	4.1gw

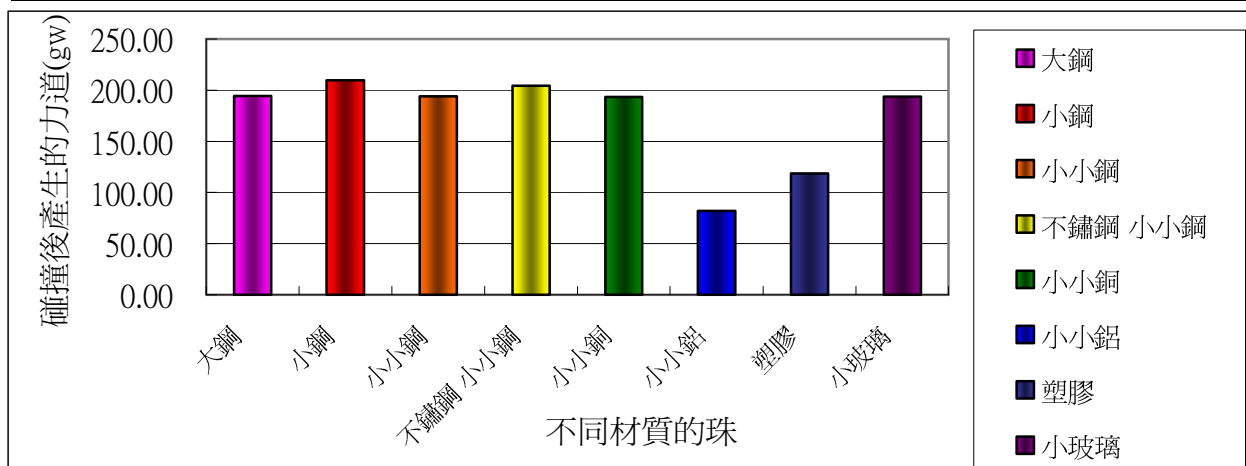


圖 二十

發現：(一)末端珠為小鋼珠時，碰撞後所產生的力道最大、塑膠珠較小、小小鋁珠最小。

研究討論

- (一)本實驗和實驗五的結果不同，我們認為實驗五用撞擊力道擺角器因牽涉到碰撞後不同型式能量轉換的問題，並不能真正測出末端珠所產生的力道。本實驗用的改良式撞擊力道測量器，是將彈簧秤固定不動，較能測出末端珠所產生的力道。
- (二)不鏽鋼小小鋼珠與強力磁鐵間的磁力，比小小鋼珠小了許多，且較重、較接近小小鋼珠的大小，所以所產生的力道比小小鋼珠稍大些。
- (三)末端珠愈重、愈接近小小鋼珠的大小，則碰撞後所產生的力道愈大。反之則愈小。
- (四)實驗過程中發現，用來撞擊的大鋼珠和強力磁鐵會互相吸引，而使得最末端兩顆珠會分開一小距離，因此我們進行下一個實驗。

研究結果八：

(表八)

改變最末端兩顆鋼珠之間的距離，其碰撞所產生的力道變化情形

碰撞後產生的力道 (gw)				
最末端兩顆鋼珠之間的距離	0cm	2cm	3cm	4cm
第一次	211	215	205	177
第二次	194	203	176	185
第三次	195	183	200	188
第四次	189	180	185	174
第五次	193	180	175	191
第六次	189	165	163	160
平均	195.17	187.67	184.00	179.17

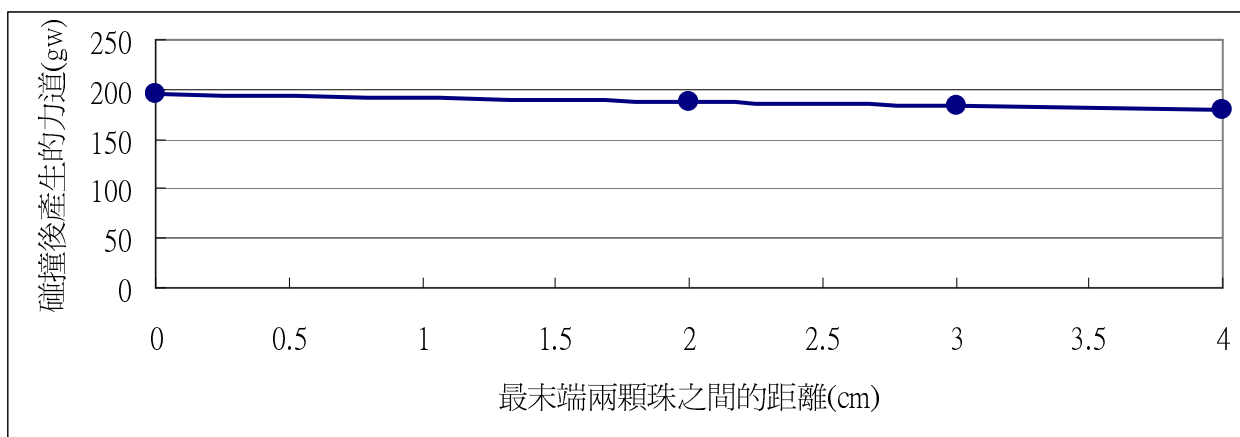


圖 二十一

發現：(一)碰撞後所產生的力道，隨著最末端兩顆珠間的距離的增加而有稍微減弱的趨勢。

研究討論

- (一)鋼珠與軌道間有摩擦力，所以隨著鋼珠運動距離的增加，產生的力道會稍有減弱。

(二)由實驗結果知，末端珠必須是磁性物質，才能使最末端兩顆珠吸在一起，距離最小，產生較大的力道。

(三)實驗過程中，觀察到鋼珠和強力磁鐵組會以反方向移動，所以進行下一個實驗。

研究結果九：

(表九)

改變斜坡的坡度，其撞擊後鋼珠與強力磁鐵組後退距離的變化情形

鋼珠與強力磁鐵組後退的距離 (cm)				
斜坡角度(度)	10	20	30	40
第一次	3.1	2.4	2.1	1.8
第二次	3	2.8	2.2	1.6
第三次	3	2.2	2	2.2
第四次	3	1.7	2.4	2.4
第五次	2.6	2.5	1.9	2.3
第六次	2.5	2.6	2.4	2.1
平均	2.87	2.37	2.17	2.07

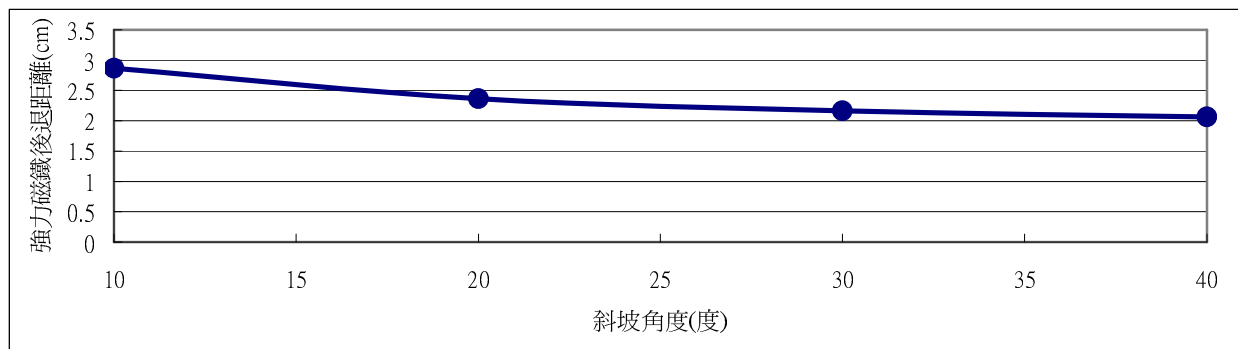


圖 二十二

發現：(一)碰撞後，鋼珠與強力磁鐵組後退的距離，隨著斜坡角度的增加有稍微減小的趨勢。

研究討論

(一)坡度愈大，大鋼珠的重力位能愈大，所產生的力道會愈強，但強力磁鐵組後退的距離卻變小。我們認為這是因為用來撞擊的大鋼珠，其前進的速度增加所致。

研究結果十：

(表十)

在各種軌道中，所加入的強力磁鐵組數與撞擊後所產生力道的關係

直軌道							
強力磁鐵組數	撞擊後所產生的力道(gw)						平均
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	
1	119	122	125	125	117	120	121.33
2	139	131	126	144	161	150	141.83
3	192	166	200	176	191	190	185.83
半圓形軌道							
1	135	131	125	115	140	152	133.00
2	140	144	136	149	145	150	144.00
3	169	160	141	153	117	170	151.67
4	152	172	175	185	167	169	170.00
5	230	167	200	202	215	174	198.00
6	201	207	214	240	202	205	211.50

加長型直軌道						
1	102	121	115	125	121	125
2	150	139	140	146	142	141
3	174	177	160	179	172	161
4	200	200	225	239	220	225
5	260	255	240	245	250	256

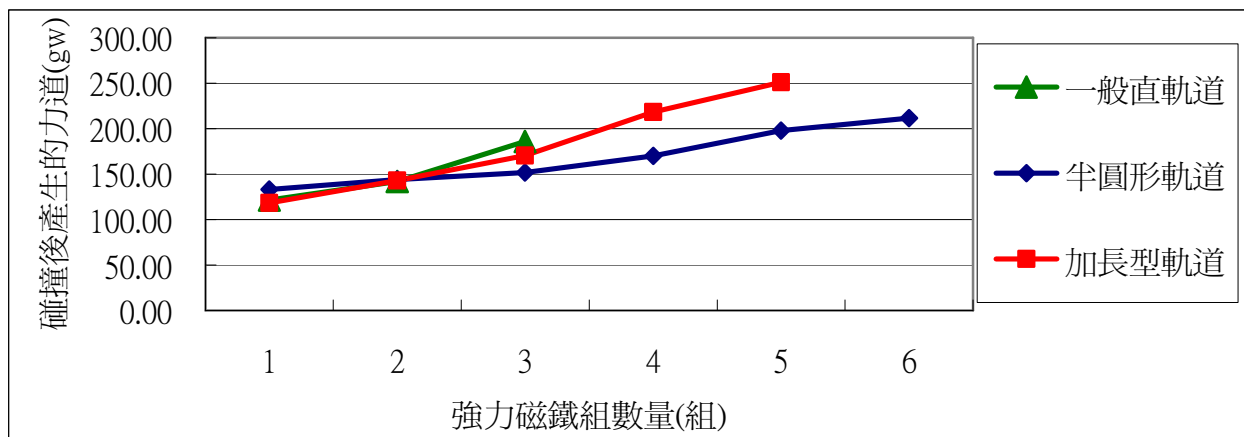


圖 二十三

發現：(一)不論是在直軌道、半圓形或是加長型軌道中，所產生的力道都是隨著所加入的強力磁鐵組數的增加而增大。

研究討論

(一)由於我們製作的直軌道只有 22.6cm 長，當加入 3 組強力磁鐵組時，因長度不夠，使得強力磁鐵組互相吸引而吸在一起而無法進行實驗。後來我們將強力磁鐵組的磁性兩兩相反，克服了吸在一起的問題。

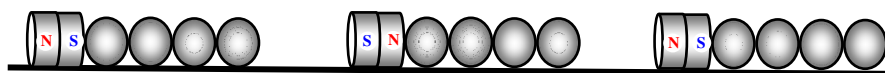


圖 二十四 3 組強力磁鐵組兩兩磁性相反的裝置圖

(二)爲了不要太佔空間，又要增加軌道長度，我們原本用軟質水管做圓軌道(半徑 15cm)來進行實驗，可能是因爲摩擦力太大，以致實驗效果很差。後來用硬質塑膠管來做軌道，因管的長度最長只有 90cm，所以只能做成半圓形軌道(半徑 17cm)。

(三)雖然半圓形軌道所產生的力道比直軌道還大，但不如我們預期的好。後來我們做了加長型直軌道(50.7cm)來做實驗，結果只用 5 組強力磁鐵組，所產生的力道就比半圓形軌道用 6 組還來得大。

陸、研究結論

- 一、當軌道坡度增為 45 度，所產生的擺角最大，但滾落時容易彈出軌道外，造成實驗失敗，效果不好。而軌道坡度為 40 度時，鋼珠滾落的過程穩定，且所產生的擺角第二大，效果最佳。
- 二、在實驗二中，用來撞擊的珠愈重，則所產生的擺角會愈大。但珠的直徑不宜太大，必須適合軌道，否則容易出軌造成實驗失敗。
- 三、在裝置中所加入的強力磁鐵個數要適量，才能產生較大的擺角。本實驗結果顯示，加入 2 個強力磁鐵時，所產生的力道最大。
- 四、在實驗四中，用來撞擊的珠必須是不具磁性的磁性物質—鋼珠，且愈重，但直徑不宜太大，所產生的力道才會愈大。這是因為其從高處落下時，除了有本身由重力位能轉換成的動能之外，還多了被強力磁鐵吸引的磁能所致。且在強力磁鐵後放 3~4 顆鋼珠時，其碰撞後所產生的擺角會較大。
- 五、有洞受撞盒會和末端珠結合在一起擺動，因此擺動的角度會比用無洞受撞盒時還小。
- 六、由實驗六、七、八可知，末端珠與彈簧秤之間距離愈小、末端珠愈重、愈接近小鋼珠的大小、最末端兩顆珠間的距離愈小，碰撞後所產生的力道會愈大。
- 七、綜合實驗六、七、八可推知，末端鋼珠一開始的運動方式並非滾動。為了證明我們的推論，我們將鋼珠採上紅藍兩色，並利用高速攝影相機拍攝末端鋼珠的運動情形如下。

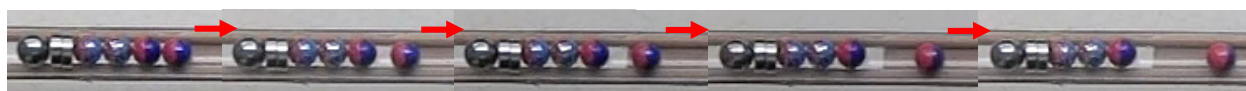


圖 二十五 末端鋼珠的運動方式是先滑動一段距離後再進行滾動的

- 八、鋼珠與強力磁鐵組後退的距離，會隨著斜坡角度的增加有稍微減小的趨勢。
- 九、用不同材質的珠來撞擊受撞力道擺角器時，因牽涉到不同型式能量的轉換，所以無法測出撞擊後末端珠所產生的力道。必須改用改良式受撞擊力道測量器，才較能反映出末端珠所產生的力道。
- 十、不論是在直軌道、半圓形或是加長型軌道中，所加入的強力磁鐵組數愈多，所產生的力道愈大。

柒、參考資料

- 一、牛頓科學研習百科(民 82 年 9 月 1 日)。牛頓出版股份有限公司。
- 二、王國和(1996 年 8 月)。知識的焦點—電與磁力(6~7 頁)。台北：理科出版社有限公司。
- 三、自然科學大百科 第 15 冊 量度與力(61~62 頁)。台北市：綠地球國際有限公司。
- 四、自然科學大百科。第 17 冊 電磁與機械 (37~38 頁)。台北市：綠地球國際有限公司。
- 五、科學實驗王(2009)。電流與磁力 第 5 冊。台北市：三彩出版集團。
- 六、高源清(民 82 年)。牛頓科學研習百科 物理篇 (130~168 頁)。台北市：牛頓出版社。
- 七、郭治(民 86 年)。小博士教室 物理篇(71~72 頁、74~76 頁)。台北市：國際少年村出版。
- 八、梁曉燕(民 94 年)。自然科學探索 神奇的電與磁(16-17 頁)。臺北縣：優美國際出版。
- 九、黃明山(民 95 年)。中國兒童大百科全書 第十六冊 (374~376 頁)。嘉義市：明山書局。

【評語】 080111

- 1.實驗設計嚴謹，儀器設計相當好，唯實驗變因太多，宜多做考量。
- 2.可多加些實驗創意。