

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 物理與天文學科

051809

磁力震盪光點秀

—探討磁鐵在磁場中的舞動現象

學校名稱：臺北市立百齡高級中學

作者：	指導老師：
高二 楊閔翔	吳映璇
高一 倪呈旭	羅文杰
高一 顏鈞汶	

關鍵詞：磁力震盪、磁鐵、震動

摘 要

最早看到網路上有人利用磁鐵間的磁浮力量，玩起了擺盪的玩具，從磁鐵間看似不規律的起落中，有著一股無形的默契，形成相互擺盪的有趣現象。為一探究竟，好幾年針對不同變項研究，不斷改良簡易又精準的自製儀器，累積許多經驗，以此為基礎，發現：

1. 磁力震盪傳遞的效果會受到磁鐵本身磁力與形狀雙重的交互影響
2. 外圍磁鐵數量越多磁力震盪傳遞的效果越好
3. 改變兩顆外圍磁鐵夾角對磁力震盪影響不是呈現線性比例關係

過程中利用磁力震盪的特性，設計並製做出實驗所需的測量器具，再由磁力震盪變項的相互影響，可歸納傳遞磁力效能最佳的變項組合，最後利用磁力震盪的特性，設計出光感式磁力震盪的測震儀，可說是從小東西玩出大道理來！

壹、研究動機

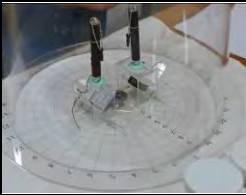
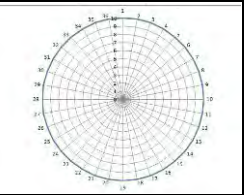
從國一接觸磁鐵磁力傳遞時的現象開始，每年都能看到有趣的新發現，原本只是三顆磁排列，以中間的磁鐵為中心，兩旁再斜放兩顆磁鐵，只要輕碰一下兩旁其中一顆磁鐵，另一顆磁鐵就跟著一起擺動一個的簡單現象。在投入研究後才發現，目前都找不到任何相關的研究可參考，所以每次為了實驗，只能不斷自行摸索，幸好在改進設計器材的過程中竟也找出更多可以操控的變項，就這樣持續了幾年，每年都有意外的新發現和創意的用途，而這次我們又有了新構想，希望再從改進實驗的器材中探索出更有趣的新發現來。

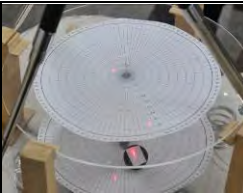
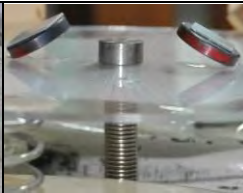
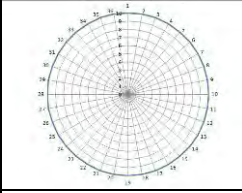
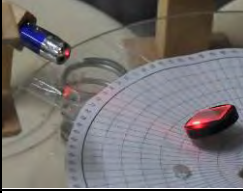
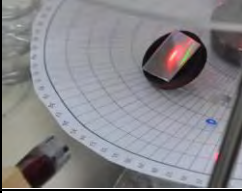
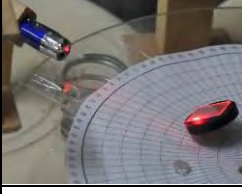
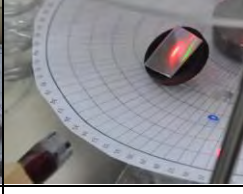
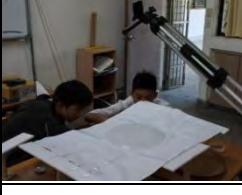
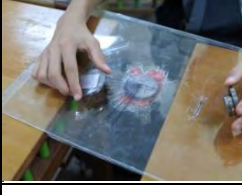
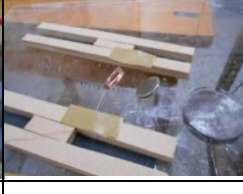
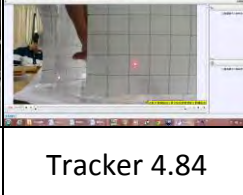
貳、研究目的

- 一、利用磁力震盪原理製作簡易精確的研究工具
- 二、探討影響磁力震盪的因素
- 三、探討磁力震盪變項間的交互作用
- 四、建立磁力震盪的能量傳遞模式

參、研究設備及器材

一、磁力震盪實驗組：器材改良過程

第一代磁力震盪實驗組					
	鐵氧磁鐵(厚)	鐵氧磁鐵(薄)	雷射固定架	雷射筆	反光貼紙
					
	測試槽	定位投影底紙	方格紙	磁鐵測試架	雙面膠帶

第二代 磁力震盪實驗組					
	磁力震盪測試板	雷射投影板	各種尺寸鐵塊	鐵塊	強力磁鐵
					
	定位投影底紙	雷射筆	CD 反光貼紙	雷射固定架	投影板固定架
					
第三代 磁力震盪實驗組	複合磁鐵 A	複合磁鐵 B	複合磁鐵 C	雷射筆	CD 反光貼紙
					
	定位投影底紙	實驗基台	測試面板一	測試面板二	
					
	投影板	定位投影底紙	投影板基座	實驗基台一	實驗基台二
第四代 磁力震盪實驗組					
	磁力控制線圈	電源供應器	為動電力開關	測試面板二	高角度高速相機
					
	筆記型電腦	相機/三腳架	錄影機	雷射光點投影	Tracker 4.84

肆、研究過程與方法

一、文獻收集：

在最早也是唯一找到有關磁力震盪的資料，是在 youtube 網站上看到「磁鐵的平衡與振盪」，提到：當第一個磁鐵受到壓迫時，外力介入改變原本的平衡，磁鐵的晃動也使磁力線的空間分佈呈現動態變化，進而影響另外兩個原先未受力的



磁鐵，此時這兩個磁鐵的振盪是同步的。磁鐵的晃動程度當然會隨時間進行而逐漸變小，不過若是在第一塊磁鐵尚未完全靜止下來時，就對第二塊磁鐵施加外力，使得第二塊磁鐵的磁場分佈產生劇烈變化，進而影響第一塊及第三塊磁鐵。卻發現第一、三塊磁鐵振盪是不同步，想想看為什麼？

二、相關研究發現：

(一)第一階段實驗發現：主要是以相同尺寸的鐵氧磁鐵為主，磁力強度、大小與重量不可改變，所以針對厚薄形狀、排列間距、外圍磁鐵數量與排列夾角等變項來看振動頻率的改變，從震盪現象分析能量移轉形式，發現形狀、距離、數量與夾角間的相互影響

1.具體發現

- (1)改變夾角的不對稱偏斜，可以調整磁鐵擺盪的頻率
- (2)增加磁鐵數量、縮短外圍磁鐵間距與降低中央磁厚度，可延長磁力傳遞的效果



第一代磁力震盪測量器

- (3)從震盪頻率平衡過程的時間差，可推算力的來源方向與強度

2.研究限制

- (1)所用的磁鐵全為鐵氧磁鐵磁力固定，若改變形狀磁力也跟著改變，無發操控想要的形狀與磁力



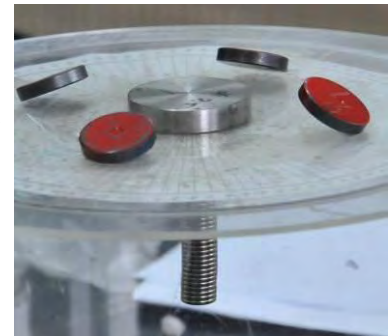
中央與外圍磁鐵

- (2)投影在側邊，常會造成不同側投影時基準點的誤差，不易進行同步比較
- (3)外圍磁鐵重量輕、慣性小、容易晃動，使許多細微的變化不易精準測量
- (4)周圍磁鐵固定架在磁鐵擺盪時會產生阻力，會耗損磁力震盪傳遞時的力量

(二)第二階段實驗發現：主要是改變中央磁鐵的形狀與磁力強度，與外圍不同數量和距離的鐵氧磁鐵間所產生的交互作用，利用此現象特性成功設計出「光感磁震式測震儀」

1.器材改良

(1)中央磁鐵的形狀與磁力能獨立調控：把強力磁鐵透過壓克力隔板吸附在不同形狀的鐵塊上，只要調整強力磁鐵的數量與所搭配的鐵塊形狀，便能獨立調控磁鐵出想要的磁力強度與形狀



第二代磁力震盪測量器

(2)周圍磁鐵在擺盪時能減少阻力：移除磁鐵固定架改用透明膠帶，黏貼在磁鐵翹起時與底板的接觸點，由擺動停止所需的時間明顯拉長，證實此方法能有效降低阻力



(3)讓投影基準能一致方便同步比較：將投影在側邊的投影板改在上方，雷射筆也由上方改為側邊，如此便能在同一塊投影板上進行不同數量磁鐵的同步比較



可調控磁力與形狀設計

(4)在磁力震盪測試板底部四週黏上緩衝彈簧，在敲擊測試板時，讓震波不會被擴散消失

(5)以影像軟體進行資料分析

a.以手機錄影方式記錄雷射光點的移動變化

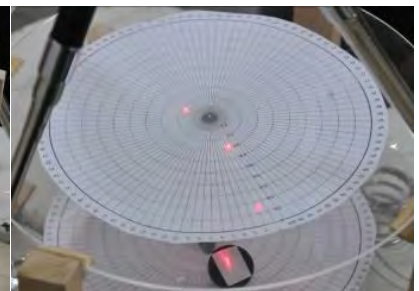
b.透過軟體 Tracker 4.84 將影片中的光點移動數值化，提供磁力震盪分析的數據



改良後磁鐵固定座



測震投影設計



投影板進行多點紀錄

2.具體發現

(1)中央磁鐵直徑對震盪幅度的影響，要比周圍磁鐵數量明顯

(2)周圍磁鐵數量對震盪幅度的影響，要比中央磁鐵厚度明顯

(3)外圍磁鐵數量增加，會使外圍磁鐵震盪擺幅縮小，而且頻率會增加

(4)中央磁鐵厚度增加，會使外圍磁鐵震盪擺幅增加，但頻率不會改變

(5)中央磁鐵直徑縮小

a.當與外圍磁鐵的磁力形成最佳角度時，外圍磁鐵震盪擺幅會加大，且頻率增加

b.當偏離與外圍磁鐵磁力形成的最佳角度時，外圍磁鐵震盪擺幅會縮小，且頻率降低

3.研究限制

(1)雖然中央磁鐵可以操控形狀與磁力強度，但外圍磁鐵則受限於需要擺盪，為提高靈敏度無法像中央磁鐵般能任意改變形狀與磁力強度

(2)磁鐵與固定板接觸點以膠帶黏貼與固定位置，依舊會有少許阻力

(3)外圍磁鐵重量輕、慣性小、容易晃動，使許多細微的變化不易精準測量

(三)第三階段實驗發現：

1.實驗器材改良

(1)外圍磁鐵形狀與磁力能獨立調控：把強力磁鐵與不同形狀鐵塊上直接堆疊吸附，只要調整強力磁鐵的尺寸與所搭配的鐵塊形狀，便能獨立調控磁鐵想要的磁力強度與形狀

(2)為保持外圍磁鐵在震盪時的穩定，於是將中央磁鐵位置換到壓克力板的下方

(3)周圍磁鐵在擺盪時能減少阻力：移除黏貼在磁鐵翹起時與底板的接觸點的透明膠帶，改由長度與磁鐵直徑相同的，

鐵棒(2mm)，黏貼在外圍磁鐵所在的壓克力板位置的正下方，透過磁鐵與鐵棒的吸力來固定，由擺動頻率與停止所需時間明顯變慢與拉長，證實此方法能有效提高外圍磁鐵的穩定與降低阻力

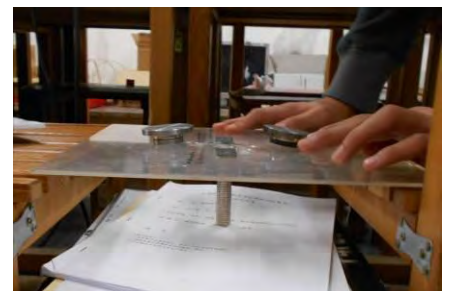
(4)加大投影幕尺寸：由於這次的外圍的磁鐵重量重、穩定性高、擺盪幅度廣，所以便加大所能投影的面積，讓雷射反射的光點不會跑出範圍。

2.具體發現

(1)外圍磁鐵數量受限於外觀形狀，由於距離的限制外圍的間距不可能太大，於是對中央



第三階段實驗器材



磁鐵的相斥(或相吸)，但外圍磁鐵本身彼此也會造成相斥(或相吸)，所以外圍磁鐵數量會有數量上限，否則會全部吸在一起，即使強行固定，也會成環狀而動彈不得。

(2)外圍磁鐵數量增加，擺盪的幅度會降低，其實從外圍磁極排列、擺盪方向與幅度，三個變項不僅相互影響，還可以從任意兩個已知變項，來推算出另一個未知的變項



器材測試

外圍複合磁鐵

錄影裝置

3.研究限制

(1)雖然外圍磁鐵可以操控形狀、重量與磁力強度，但由於複合的磁鐵重量大幅增加，雖然穩定度高，但對於細微磁力變化的靈敏度就相對降低。

(2)影格分析的解析度不夠(每秒 30 格)，使影像分析誤判或無法解析到關鍵的時間點。

(四)第四階段實驗設計：

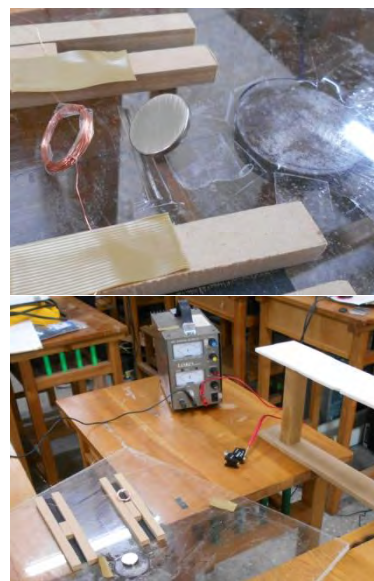
1.實驗器材改良

(1)外圍磁鐵改為純強力磁鐵：之前由於強力磁鐵磁力過強，不易擺放在外圍磁鐵需要的位置，換成複合磁鐵，重量會過重，靈敏度也會降低，後來改進壓克力板下的鐵條規格後，隔著壓克力板，利用強力磁鐵本身的吸力，便能固定又可靈活擺盪，經測試發現靈敏度高而且擺盪也很穩定。

(2)利用磁場磁力控制磁鐵擺盪：之前都是利用棒子敲擊其中一顆外圍磁鐵，讓其他磁鐵跟著擺盪，但由於力道無法一致，造成震盪的擺幅無法進行精確的比較，於是便在外圍磁鐵後方放漆包線圈(30 圈)，利用通電的電流控制推力，為精確控制通電時間，於是在電路中串接微動開關，測試發現擺幅一致且穩定性高。



第四階段實驗器材



(3)高速錄影：之前影像分析時影格為 30 格/秒，造成有些關鍵的畫面遺漏，導致影像分析時無法精確計算出速度與加速度等數值，於是改用具有高速錄影功能的數位相機，同時將相機固定在天花板上，以避免畫面因偏斜而變形。

2.實驗器材規格：

(1)實驗基台：透明壓克力板(長 50cm、寬 50cm、厚 0.5cm)。

(2)中央磁鐵：圓形鐵塊(直徑 5cm、高 1cm)吸附強力磁鐵(直徑 3cm、高 0.5cm)5 顆，以膠帶黏貼固定在實驗機台下方。

(3)外圍磁鐵：強力磁鐵(直徑 3cm、高 0.5cm)，四顆。

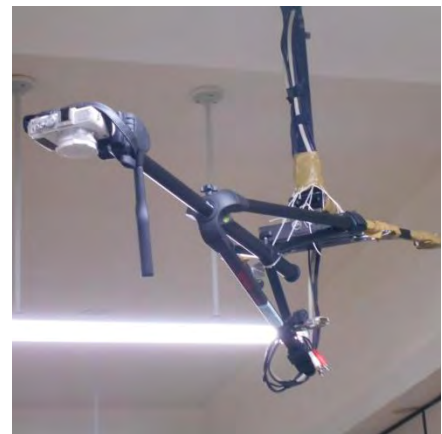
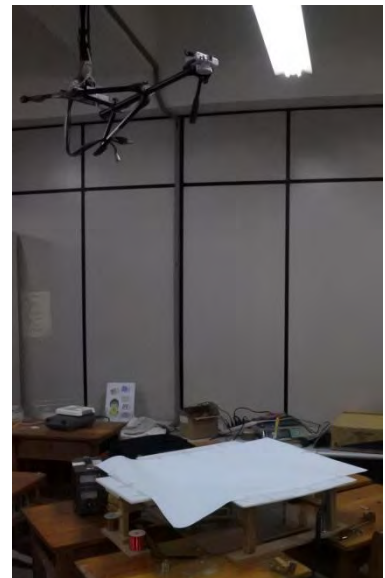
(4)震動源：利用控制通電線圈電力(5V~7V)與時間(微動開關)所產生的磁力，來推動外圍磁鐵產生連鎖的震盪。

(5)投影幕：再加大所能投影的面積(150cm × 100cm)，讓雷射反射的光點不會跑出範圍。

(6)雷射光：把雷射光筆固定架在雷射光固定上再把 CD 片剪成 2cm 平方的形狀，貼在外圍的磁鐵上，便能將雷射光點反射在投影幕上。

(7)相機：利用具有高速錄影(240 格/秒)功能的數位相機記錄投影板光點的移動變化。

(8)分析軟體：透過 Tracker 4.84 將影片中的光點移動數值化，提供磁力震盪分析的數據



高速錄影數位相機



雷射光點投影平面



數值記錄



磁力電源脈衝控制

三、變項探討與實驗設計

(一)比較中央磁鐵與外圍磁鐵形狀對磁力震盪頻率

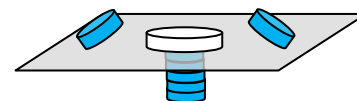
操作：在中央磁鐵磁力(直徑 3cm、高 0.5cm、5 顆)固定下，分別改變三種外圍磁鐵形狀與磁力，並通以 7V、3A 電力所產生的磁推力來比較三者磁力震盪的差異。

實驗 1-A：中央磁鐵鐵塊(直徑 5cm、高 1cm)、外圍強力磁鐵(直徑 3cm、高 0.5cm)、中央與外圍間距 4cm

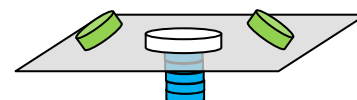
實驗 1-B：中央磁鐵鐵塊(直徑 5cm、高 1cm)、外圍鐵氧磁鐵(直徑 3cm、高 1cm)、中央與外圍間距 6cm

實驗 1-C：中央磁鐵鐵塊(無)、外圍強力磁鐵+鐵塊(直徑 3cm、高 1.5cm)、中央與外圍間距 6cm

實驗 1-A：中央磁鐵形狀磁力固定，外圍強力磁鐵



實驗 1-B：中央磁鐵形狀磁力固定，外圍鐵氧磁鐵



實驗 1-C：中央磁鐵磁力固定，

改變外圍磁鐵形狀



鐵塊 鐵氧磁鐵 強力磁鐵

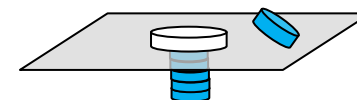
(二)比較中央磁鐵與外圍磁鐵在不同距離下對磁力震盪頻率

操作：在中央與外圍磁鐵各種間距下，比較五種

實驗組合(2-A、2-B、2-C、2-D、2-E)，並通以 5V、2A 電力所產生的磁推力來比較磁力震盪差異。

實驗 2-A~2-E：中央磁鐵鐵塊(直徑 5cm、高 1cm)+中央磁鐵(直徑 3cm、高 0.5cm)、外圍強力磁鐵(直徑 3cm、高 0.5cm)、中央與外圍間距(4.0、4.1、4.2、4.3、4.4、4.5cm)

實驗 2-A：改變中央與外圍磁鐵距離

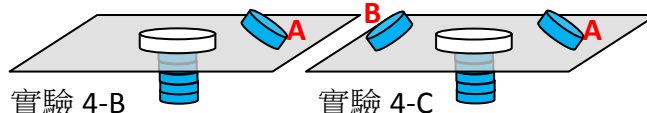


(三)比較外圍磁鐵在不同數量下對磁力震盪頻率

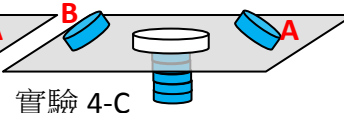
操作：在中央磁鐵磁力固定下，比較四種外圍磁鐵數量(3-A、3-B、3-C、

3-D)，並通以 7V、3A 電力所產生的磁推力來比較磁力震盪的差異。

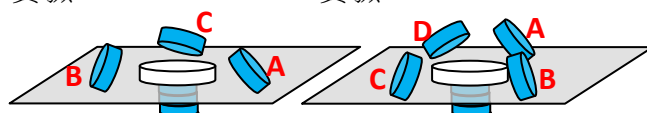
實驗 3-A~3-D：中央磁鐵鐵塊(直徑 5cm、高 1cm)+中央磁鐵(直徑 3cm、高 0.5cm)、外圍強力磁鐵(直徑 3cm、高 0.5cm)、外圍磁鐵數量(一、二、三、四顆)



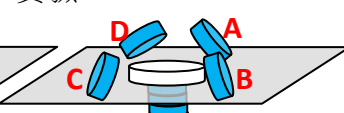
實驗 4-B



實驗 4-C



實驗 4-B

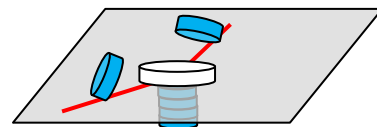


實驗 4-C

(四)比較兩顆外圍磁鐵間的夾角對磁力震盪頻率的影响

操作：兩顆外圍磁鐵在各種夾角下，通以 7V、3A 電力所產生的磁推力來比較磁力震盪的差異。

實驗 4-A

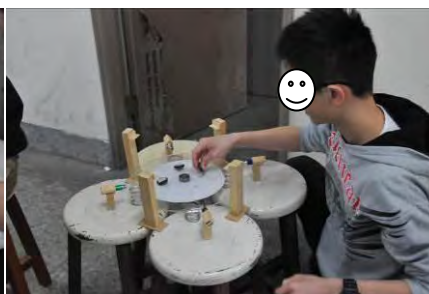


實驗 5-A：中央磁鐵鐵塊(直徑 5cm、高 1cm)、外圍強力磁鐵(直徑 3cm、高 1cm)、外圍磁鐵夾角($70^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 、間隔 10°)

四、器材製作與實驗過程照片



彈簧、測試板與雷射光源



操作實驗變項



擺放實驗磁鐵



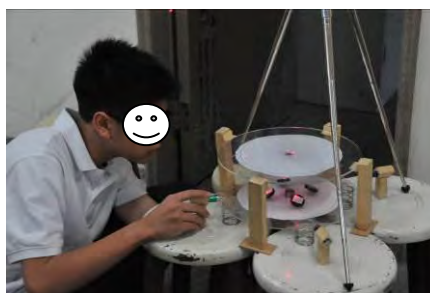
外圍磁鐵擺放完成



調整雷射光源



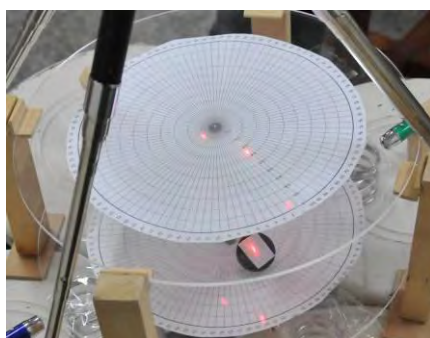
擺放雷射投影板



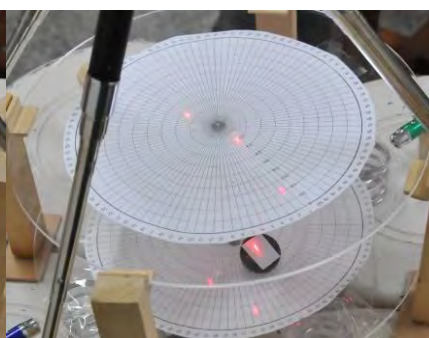
調整投影板上雷射光點位置



架設相機錄影



雷射光點移動反應外圍磁鐵磁力震盪的擺動

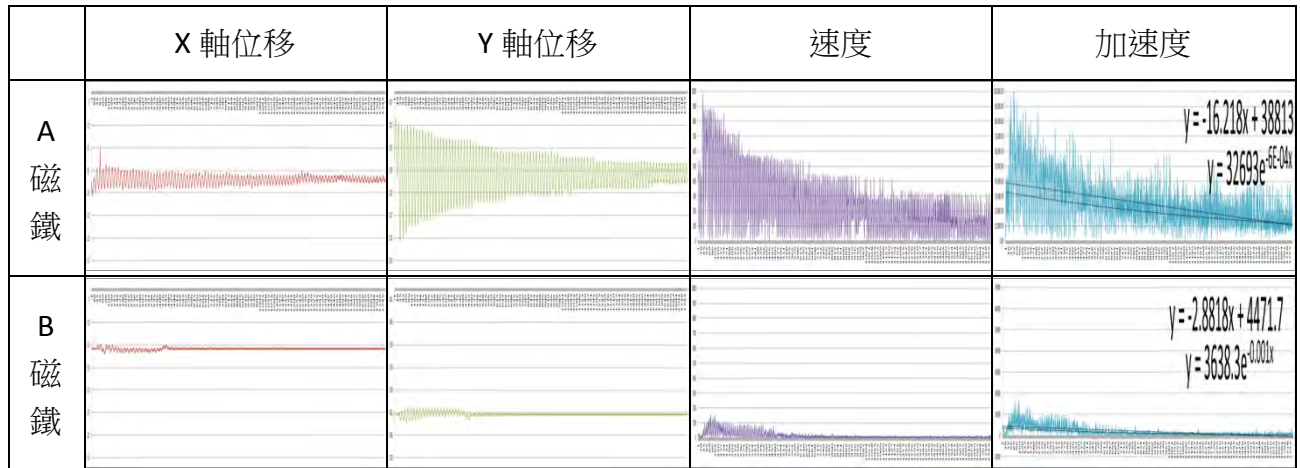


產生震源進行震動光點錄影

伍、研究結果

實驗一：比較中央磁鐵與外圍磁鐵形狀對磁力震盪頻率的影响

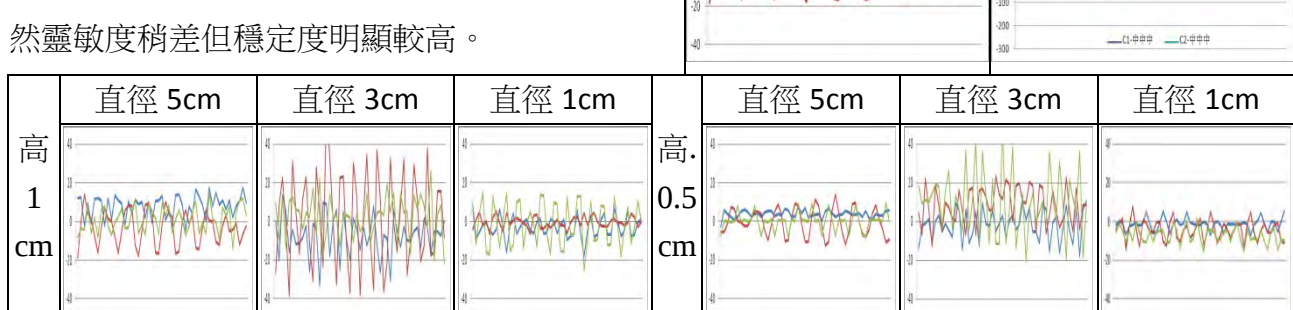
結果：1.外圍兩顆強力磁鐵磁力擺盪比較



(1)由 XY 軸的位移幅度判斷擺幅的震盪以 Y 軸的擺幅為主要的參考依據發現強力磁鐵的磁力雖強，但是動能的傳遞的效果並不明顯，推測原因可能是由於兩顆外圍磁鐵的位置是以相對兩端最遠的距離磁力必須透過中央的磁鐵來進行傳遞，若能改變中央磁鐵的形狀或磁力便能看出磁力在傳遞時中央磁鐵所扮演的中繼角色，同樣速度與加速度也反應了兩顆相對的外圍磁鐵在動能傳遞上耗損很大。

2.當中央與外圍磁鐵同時改變時的磁力震盪變化比較

(1)當 1B 中的中央磁鐵 5cm 1cm 與 1C 的形狀相同，所以可以相互比較，發現兩者的外圍磁鐵都呈反向擺盪，但 1C 的擺盪由於重量較大，雖然靈敏度稍差但穩定度明顯較高。



(2)外圍磁鐵磁力震盪平衡時發現

a 中央磁鐵上方為北極，周圍三顆要以北、南、南極的方向才能平衡。

b.觸動一塊與中央磁鐵相吸的磁時，其他兩塊磁鐵相斥使震盪方向相反，但又同時與中

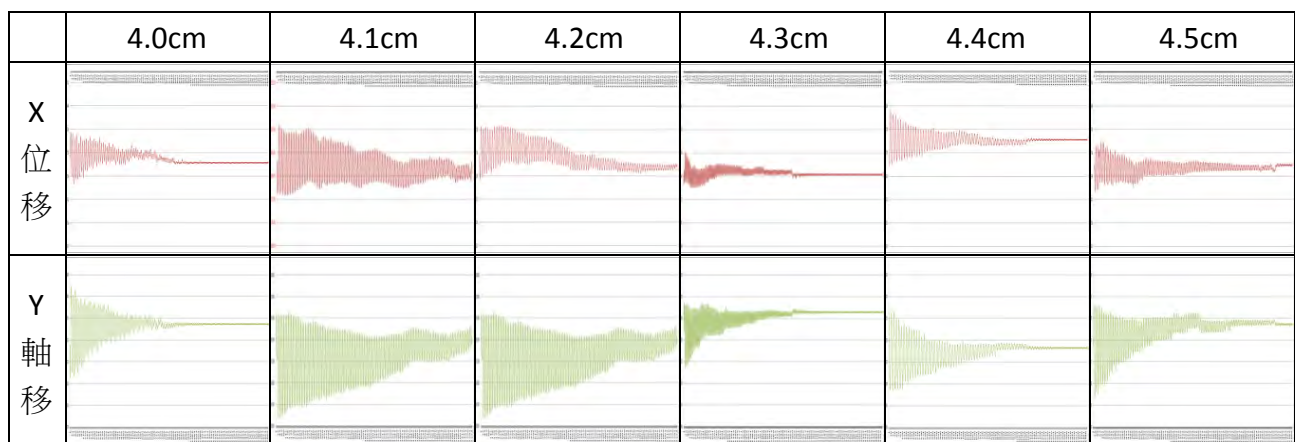
央磁鐵與被觸動的磁鐵呈相吸，產生震盪時間差，從震盪的頻率看到有趣複雜的平衡。

(3)中央磁鐵直徑由 5cm-->1cm 時周圍磁鐵磁力的震盪發現

- a.在 5cm-->3cm 時震幅變大，可能直徑縮小，使周圍磁鐵靠近和中央磁鐵所形成的磁力線，形成最佳角度與距離，造成彼此吸斥力增加。
- b.直徑 3cm-->1cm 震幅縮小，推測中央磁鐵直徑幾乎縮成點狀，使得中央磁鐵對周圍磁鐵的作用力也會減少。
- c.高度 1cm-->0.5cm 擺幅縮小，推測高度降低使周圍磁鐵平衡時，傾斜的角度也降低。
- d.比較寬扁型(B：直徑 5cm、高 0.5cm)與窄厚型(E：直徑 1cm、高 1cm)磁鐵震盪差異
 - (a)窄厚型磁鐵，外圍環繞磁鐵的磁極方向不同(S、N、N)；寬扁型磁鐵，外圍環繞磁鐵磁極方向則相同(N、N、N)。
 - (b)寬扁型磁鐵，離中央的磁力作用點越遠，磁力傳遞差，但穩定性較高，容易平衡。
 - (c)窄厚型磁鐵，外圍的磁鐵擺放時，距離磁鐵中央地磁力作用點較近，磁力傳遞效果較好。但因為形狀的限制，平衡時傾斜的角度較大，使得穩定性比較差。
 - (d)磁鐵擺盪需要與中間的磁鐵相斥，但這樣一來，旁邊的磁鐵之間就也會形成相斥的結果，一旦相斥到某一個程度，磁鐵就無法繼續擺動。

實驗二：比較中央磁鐵與外圍磁鐵在不同距離下對磁力震盪頻率的影响

結果：1.不同距離的外圍磁鐵磁力擺盪變化比較

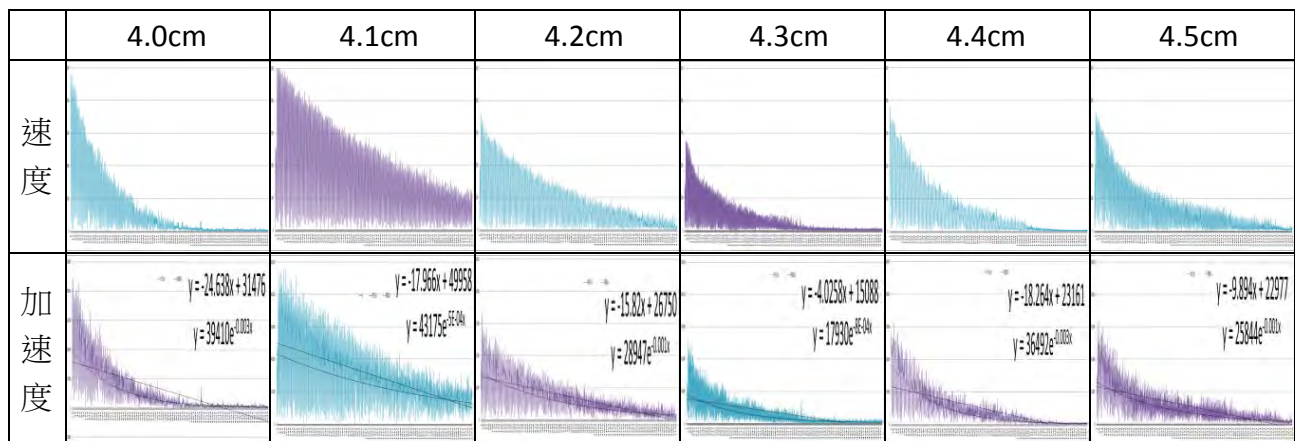


- (1)從 X 與 Y 軸的位移來看，兩者皆有位移而且不是呈反向或對稱擺動所以實際的總位移是要兩者一起看 XY 軸向的合力方向。

(2)基本上 Y 分向的位移程度比 X 分向要明顯但從不同的距離來看擺盪的幅度並不與距離成附相關的關係，由此可看出磁鐵的磁力震盪雖然會隨距離拉長而縮減但依舊可看出有一個最佳的距離(4.1~4.2cm)。

(3)將時間的基準點定位後，比對 XY 軸向的擺盪發現兩者是反向的，由此推論磁鐵的擺動模式可能不是純粹只有上下擺盪而已精確地說應會是呈現些微的圓弧形擺盪。

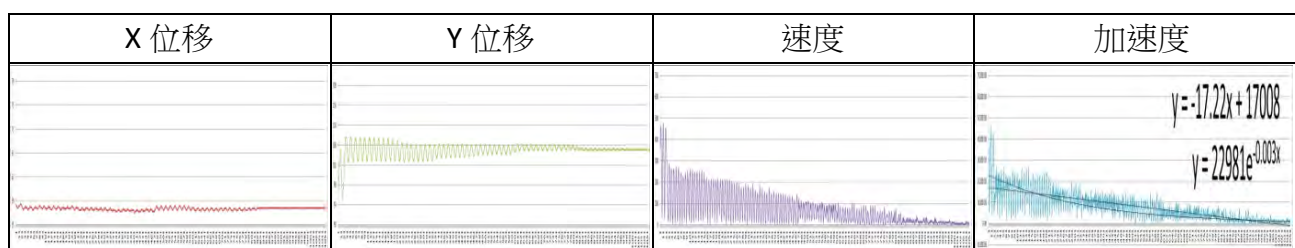
2.不同距離的外圍磁鐵磁力擺盪速度變化比較



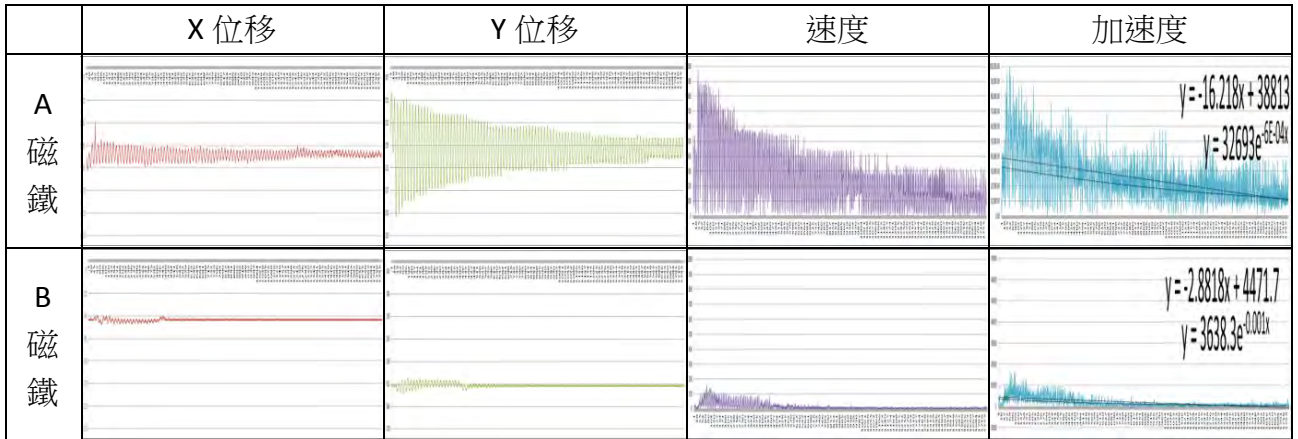
- 1.磁鐵擺盪速度與加速度變化從斜率發現隨時間遞減，且距離越近，遞減幅度就越明顯
- 2.速度和加速度的關係幾乎是等比例放大，由於影片的影格是每秒 240 幅，所以換算成速度以秒為單位時就會放大到比位移要多 240 倍，而時間平方的加速度則又更明顯。
- 3.隨著距離的增加可以看到速度與加速度的遞減就相當明顯，但有趣的是 XY 軸向的位移量在某點的距離會是最大，但速度與加速度則是呈現明顯的遞減關係。
- 4.擺盪的幅度與速度在改變距離時會產生不一致的遞減情形，看出距離效應對能量的遞減的確存在但靠磁鐵擺盪的磁力震盪則會因為距離與形狀之間的幾何關係在擺盪到一個磁力形狀交互作用的轉折點時，會產生加強或削弱的現象，所以我們從實驗一的發現也可印證磁鐵形狀與磁力在擺盪時所產生交互的反應正好可以解釋此一現象

實驗三：比較外圍磁鐵在不同數量下對磁力震盪頻率的影响

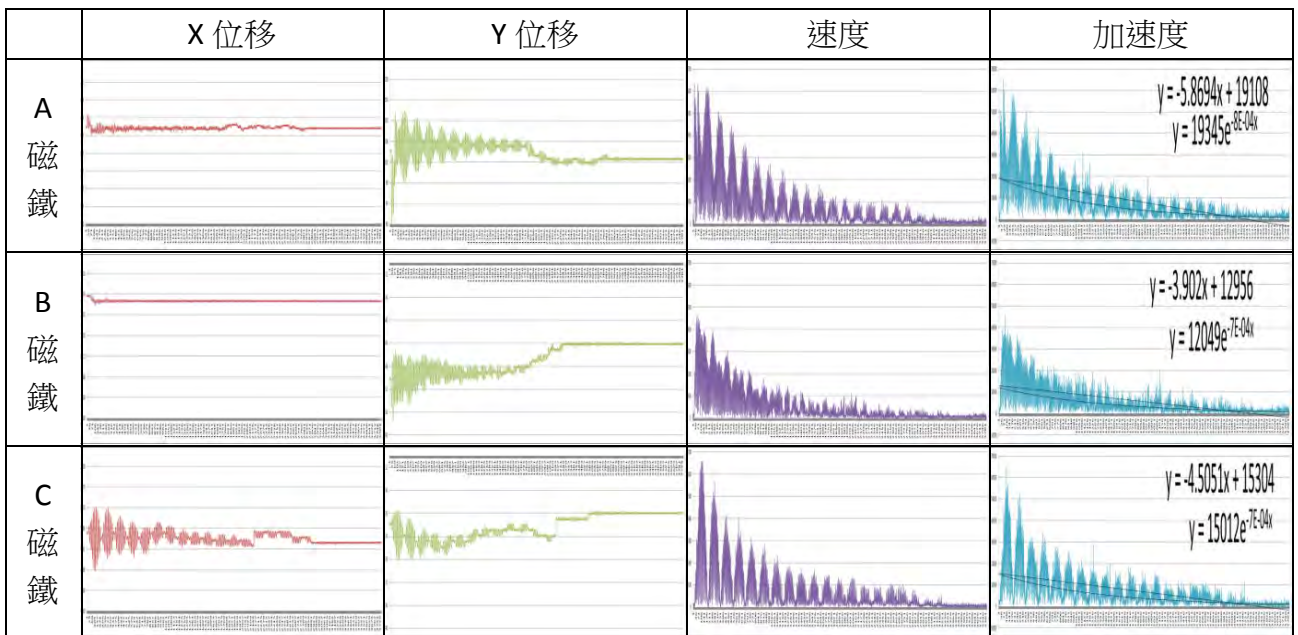
結果：1.一顆磁鐵的磁力震盪結果



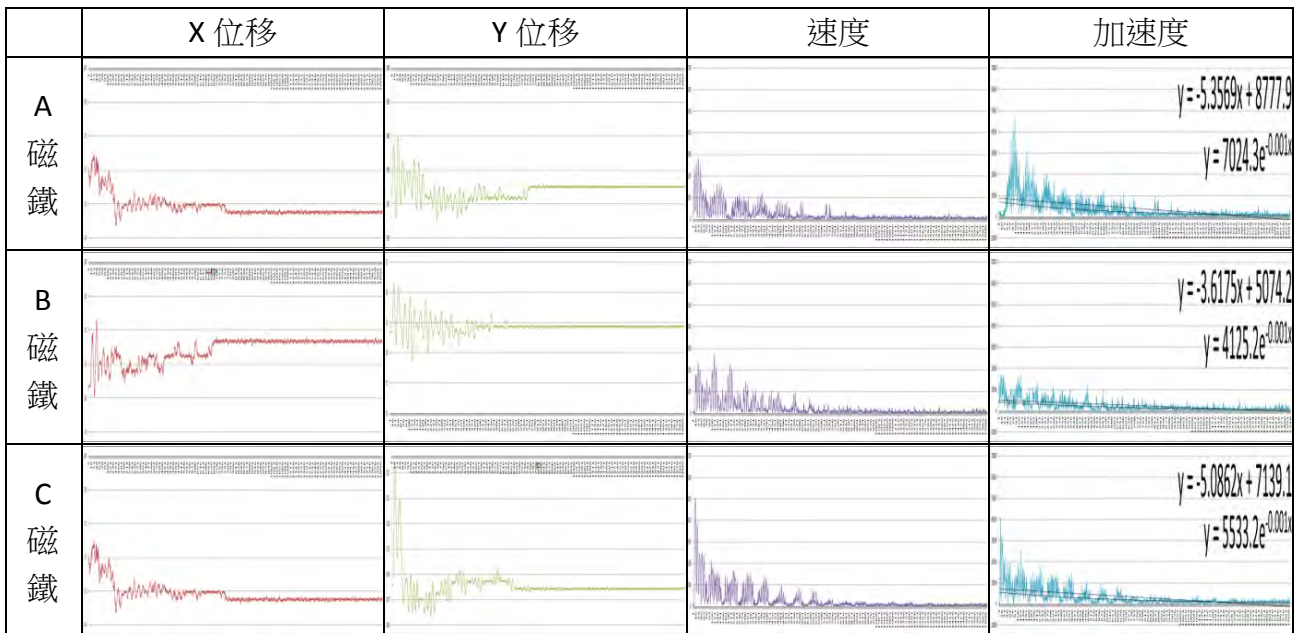
2.兩顆磁鐵的磁力震盪結果

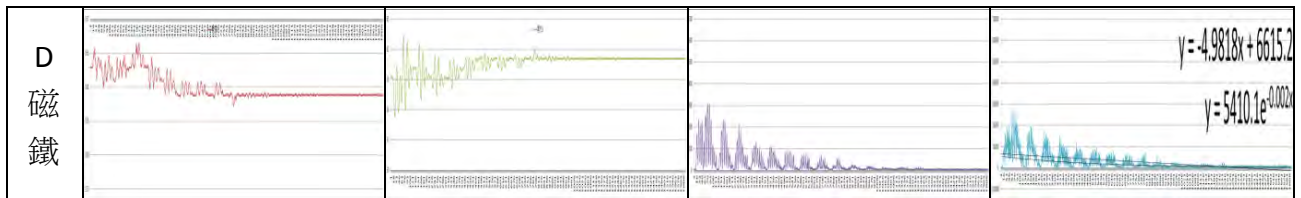


3.三顆磁鐵的磁力震盪結果



4.四顆磁鐵的磁力震盪結果

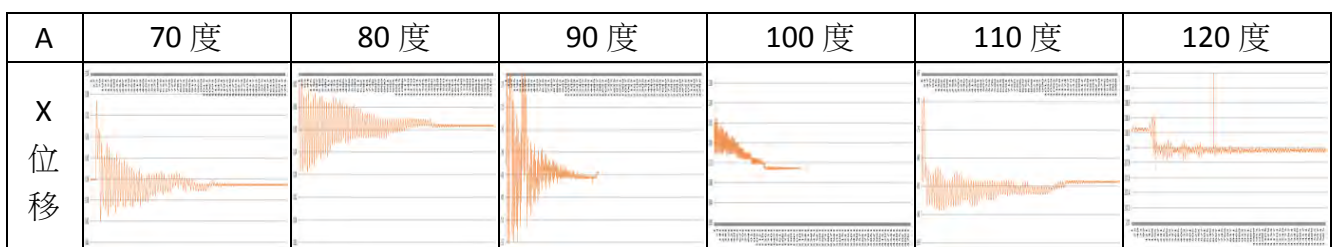


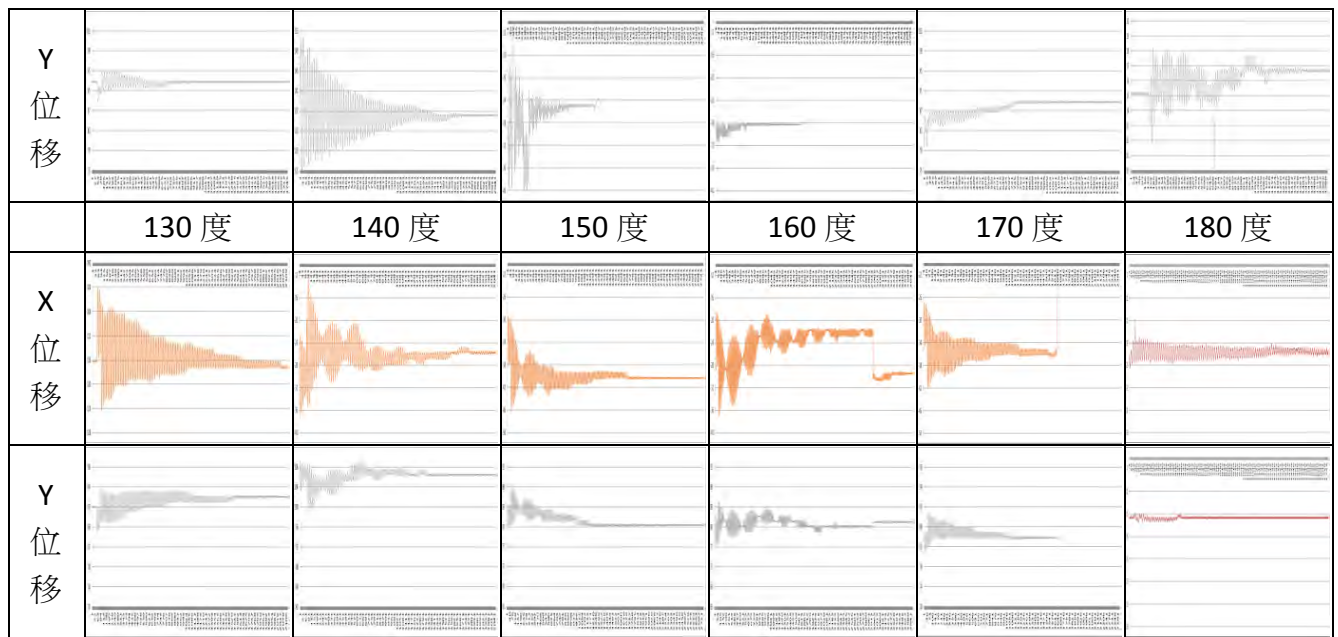


- (1) 加速度遞減的斜率可以看出單獨一顆的磁鐵擺盪相當穩定，沒有能量因傳遞時的因平衡其他外圍磁鐵的阻抗而加速的遞減耗損。
- (2) 兩顆磁鐵的磁力耗損情形相當明顯，由主震源(A 磁鐵)與接收端(B 磁鐵)的擺幅與加速度差距可以看出磁力傳遞的效果並不好，判斷兩個外圍磁鐵的相對距離應該是主要的原因。
- (3) 換成三顆外圍磁鐵後發現擺幅差距變小看出磁力擺盪的效果大幅提升。
- (4) 再由 AB 磁鐵的擺動呈反向的震盪，頻率發現兩顆磁鐵是屬於相對的擺盪與 C 磁鐵擺幅型態則接近 B 所以三顆磁鐵的擺盪方式是兩個接收端磁鐵擺幅較接近而與震動源呈反向。
- (5) 此外震動源的擺幅較大而兩顆接收端的擺幅較小，以此可解釋屬動能平衡下的結果。
- (6) 由主震源(A 磁鐵)的擺幅最大，但與其他外圍磁鐵的擺幅也相當接近，可以看出磁力傳遞的效果比三顆磁鐵又要好。
- (7) 由 BC 磁鐵的擺盪模式接近，再由位置判斷都在主震源(A 磁鐵)的相鄰位置可看出主震源磁鐵與相鄰的兩顆磁鐵成反向擺盪。
- (8) 由外圍磁鐵的數量，從 2~4 顆發現，數量越多磁力傳遞效果越好，數量少的時候擺幅的差距，表示能量的傳遞效果差，但數量一但增加之後，各顆外圍磁鐵間擺幅的差距就明顯縮小，而且還能看到有能量在傳遞過程中的消長現象。

實驗四：比較兩顆外圍磁鐵間的夾角對磁力震盪頻率的影响

結果：1. 兩顆不同夾角產生的磁鐵擺盪變化比較

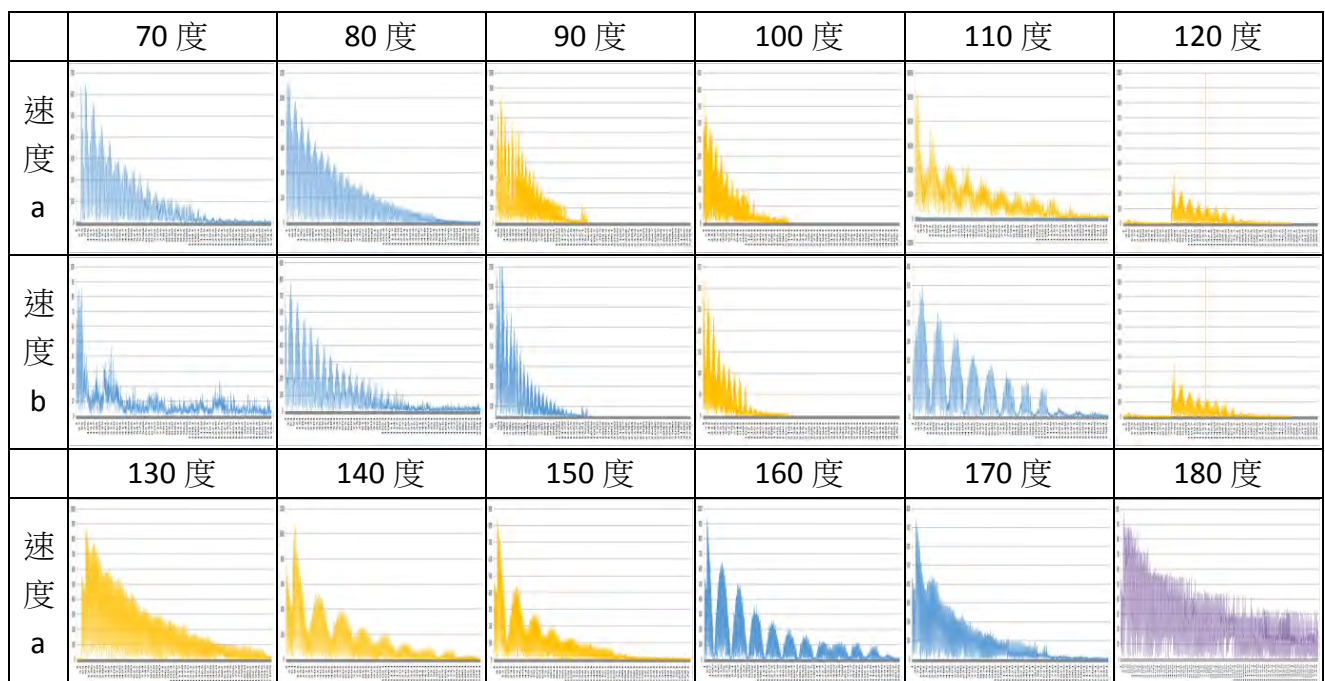


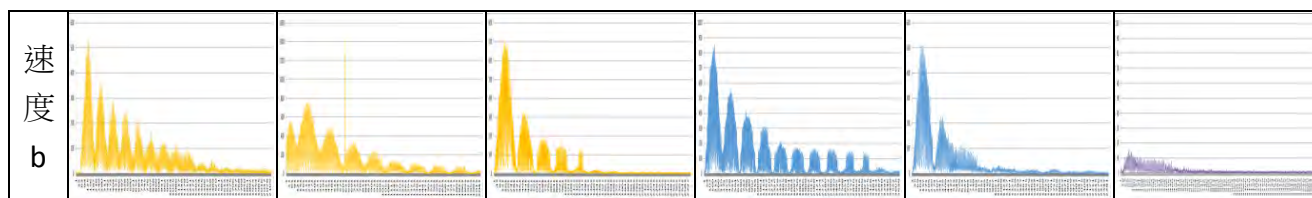


(1)由角度的改變，在比對三、四顆外圍磁鐵後便可以交叉出角度的純效應從夾角 120 度的磁力傳遞效果，不僅主震源(A 磁鐵)的擺盪受到影響接收端影響更大，與三顆 120 度夾角有完全不同的結果。

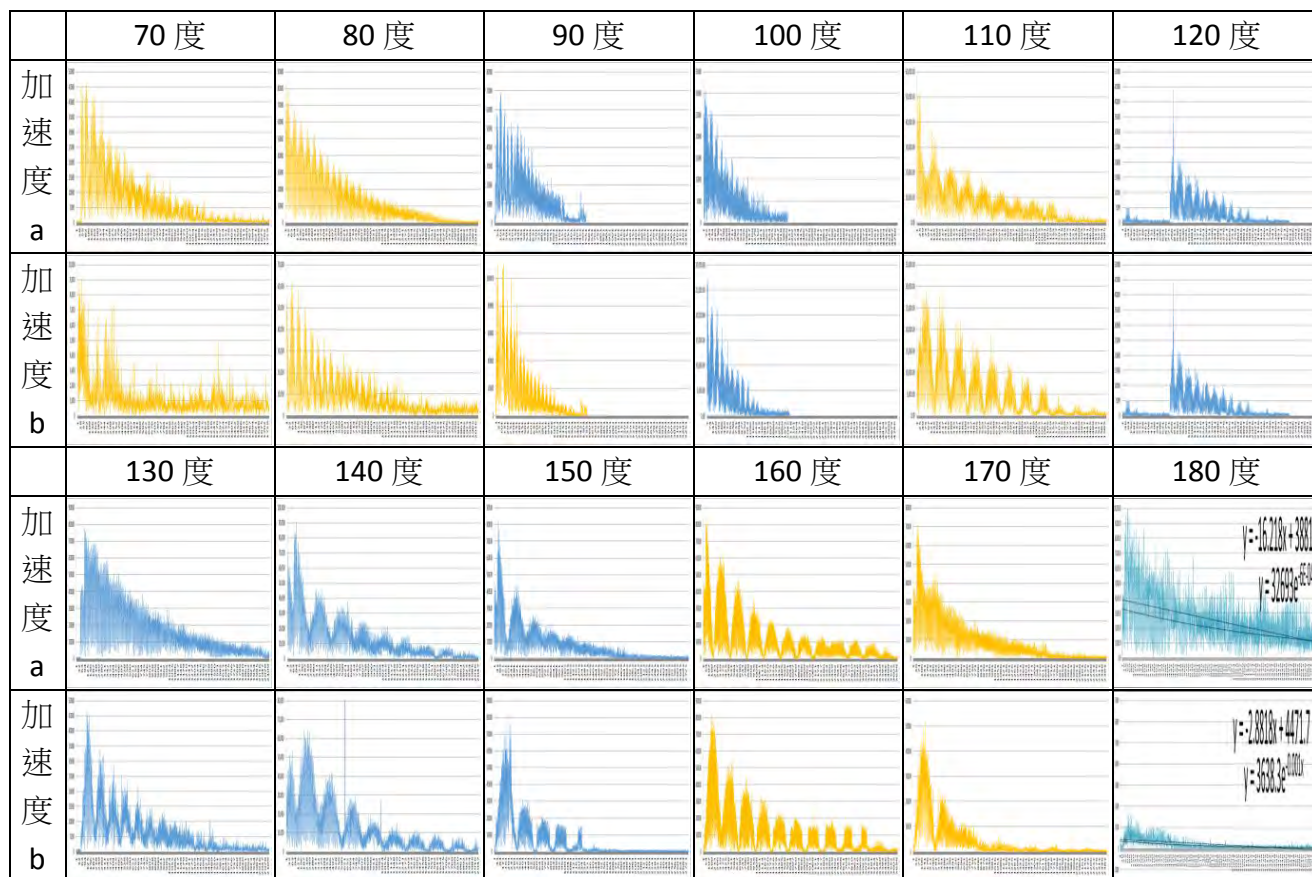
(2)推測磁力在傳遞的過程中，必須要在中央磁鐵外圍之間要能產生磁力傳遞的路徑否則極容易在斷點間產生傳遞中斷的結果，甚至還會與主震源的相互抵銷。

(3)夾角 90 度的外圍磁鐵在動能傳遞上就比 120 度要好些，推測可能是因為距離縮短在磁力傳遞的耗損較少，但由於也是處在外圍磁鐵磁力不均勻的狀態下所以 AB 磁鐵擺幅不僅差距大，型態也不一致，甚至還產生快速遞減現象，證明上一個推論是合理的。





2.兩顆不同夾角產生的磁鐵擺盪速度變化比較



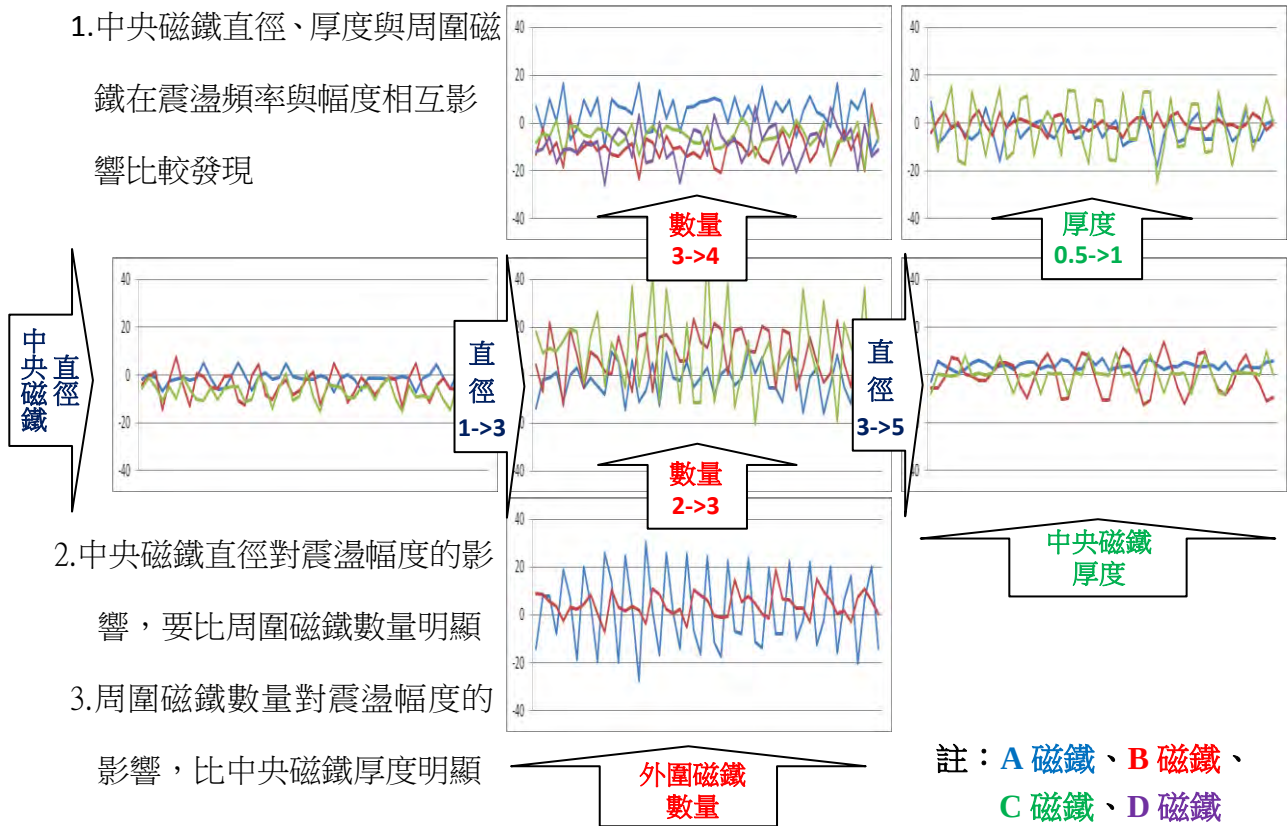
(4)由兩顆不同夾角的速度與加速度變化呈現與 XY 軸向的位移有明顯不同的結果，兩顆磁鐵的速度變化差距不大，顯然磁力有在傳遞，但為何會出現位移量的差異與快速遞減，推測可能是由於磁鐵受到不平衡的磁力所影響而產生非直線性的上下擺動而是有名點的左右晃動造成加速度，雖有震動但沒有反應在真正磁力傳遞時的擺盪上。

陸、討 論

討論一：歸納磁力震盪變項間的相互影響

(一)中央磁鐵形狀與周圍磁鐵數量間的相互影響

- 1.中央磁鐵直徑、厚度與周圍磁鐵在震盪頻率與幅度相互影響比較發現



- 2.中央磁鐵直徑對震盪幅度的影響，要比周圍磁鐵數量明顯
- 3.周圍磁鐵數量對震盪幅度的影響，比中央磁鐵厚度明顯

- 4.外圍磁鐵數量增加，會使外圍磁鐵震盪擺幅縮小，而且頻率會增加
- 5.中央磁鐵厚度增加，會使外圍磁鐵震盪擺幅增加，但頻率不會改變
- 6.中央磁鐵直徑縮小

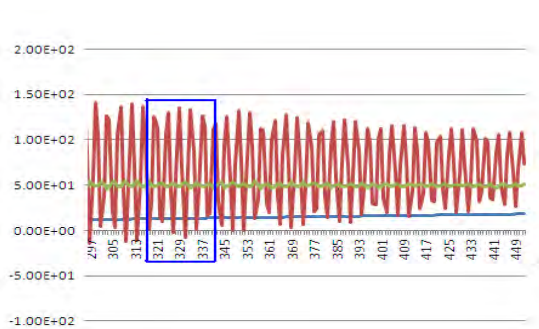
(1)當與外圍磁鐵的磁力形成最佳角度時，外圍磁鐵震盪擺幅會加大，且頻率增加

(2)當偏離與外圍磁鐵磁力形成的最佳角度時，外圍磁鐵震盪擺幅會縮小，且頻率降低

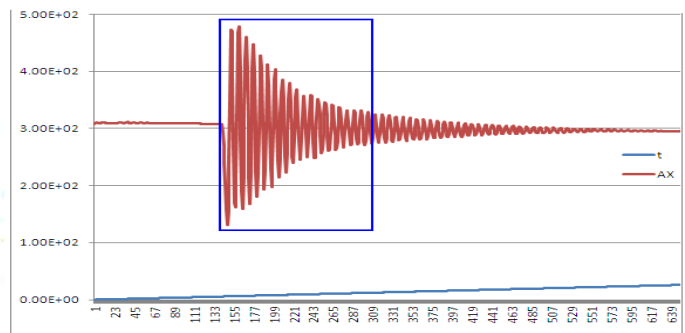
- 7.數量又受限於外觀形狀，由於距離的限制外圍的間距不可能太大，於是對中央磁鐵的相斥(或相吸)，但外圍磁鐵本身彼此也會造成相斥(或相吸)，所以外圍磁鐵數量會有一個數量上的極限，否則會全部吸在一起，即使強行固定，也會成環狀而動彈不得。
- 8.外圍磁鐵數量增加，擺盪的幅度會降低，其實從外圍磁極排列、擺盪方向與幅度，三個變項不僅相互影響，還可以從任意兩個已知變項，來推算出另一個未知的變項

討論二：推論磁力震盪變項間的相互影響

(一)比較外圍磁鐵距離對磁力震盪頻率的影響



3 顆強力磁鐵 距離 4cm



4 顆強力磁鐵 距離 4.5cm

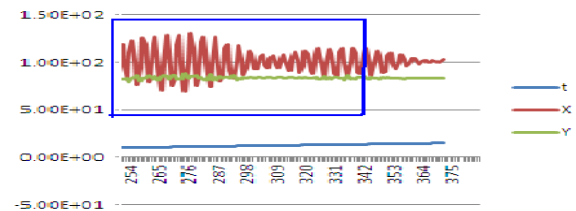
在 4cm 時，可以看到磁力傳遞的效果較好，能量的遞減較多，且擺盪十分規律。而 4.5cm 時能量遞減快速

(二)比較外圍磁鐵數量對磁力震盪頻率的影響

三顆強力磁鐵 - 單顆 vs 2 顆



單顆



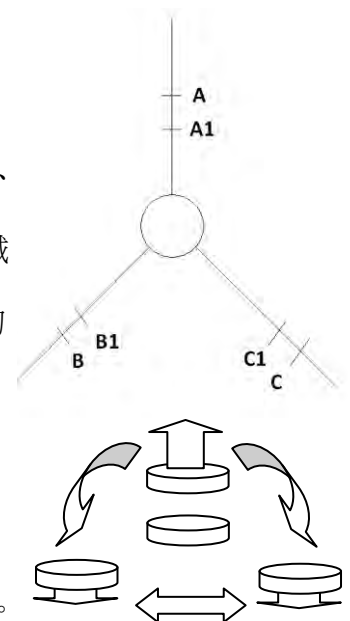
兩顆

1. 單顆擺幅的差異沒有很明顯，在 2 顆時就變得相當明顯，且皆規律性
2. 在單顆時能量的遞減較沒有 2 顆明顯

(三)比較距離與數量之間的關係

1. 只要距離相等的外圍磁鐵頻率就會一致，在 A、B1、C 和 A1、B、C1 的組合時，距離相等的 A、C 磁鐵頻率一致，而 B 磁鐵則是想辦法要同向，但三角形的間錯作用卻無距離皆相等的 A、B、C 和 A1、B1、C1 來的明顯。

2. 在三顆外圍磁鐵的情況下 A、B、C 三點的效果最好，雖然 A1、B1、C1 三點的距離較近但卻不在磁力線最佳的作用點上。



討論三：探討磁力震盪與能量轉換之間的關係

一、簡諧運動與磁力震盪的關係：

由定義「所形成的一個後的平質點在其平衡位置（即所受合力為零的位置）附近，沿一直線作往復的週期性運動。同時若一個質點在一條直線上的來回運動，以中點作為坐標原點，若物體加速度和其位置成正比且反方向者，即為簡諧運動。」由磁力震盪的型態發現，雖然磁鐵的擺盪受到其他外圍的磁鐵所影響，但最後的擺幅與頻率都是在與其他外圍磁鐵間處在動能傳遞平衡狀態下的結果，所以算是一種簡諧運動。

質點作簡諧運動時，其位置即其距平衡點的位移 x 和時間 t 的數學關係式為：

$$x = A \cos(\omega t + \varphi)$$

小角度的單擺擺動為簡諧運動，擺動週期為： $T = 2\pi \times \sqrt{L/g}$

鉛直懸掛的彈簧，其振動模式仍是簡諧運動，週期為

$$T = 2\pi / \omega = 2\pi \times \sqrt{m/k}, \text{ 與振幅無關}$$

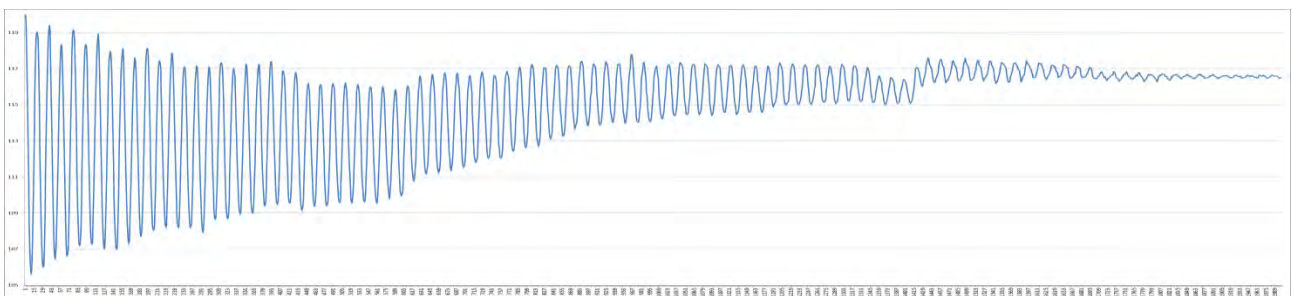
根據牛頓第二定律知： $F = ma = -kx$ $a = -(k/m) \times x = -\omega^2 \times x$ (角速率： $\omega = \sqrt{k/m}$)

$$T = 2\pi / \omega = 2\pi \times \sqrt{m/k}$$

由以上簡諧運動與能量傳遞的關係式比對磁鐵擺盪變項的實驗結果可看出，磁力震盪其實是以磁鐵的磁力作為動能傳遞的導體，在系統產生不平衡時以簡諧運動的形式，將動能在磁鐵間來回的傳遞。

二、由實驗發現分析磁力震盪的運動模式

(一)由磁力震盪擺幅遞減的圖形變化



發現遞減的趨勢線 $y = 26.578 \cdot e^{-0.394x}$ ，推論若以具阻尼的簡諧運動公式：

$$x = A \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sin(\omega t + \delta)$$

帶入實驗時，前、後兩段遞減擺幅的單位量 $A_1=11$ 、 $A_2=8$

$$\text{變成 } 8 = 11 \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sin(\omega t + \delta)$$

由於角頻率(ω)與向位角(δ)為定值，可視為常數

再加上因為 $\alpha = \frac{b}{2m}$ (b =阻尼係數； m =質量)

因此 α 在此系統中也是固定的，同樣也能視為常數

如此一來，透過實驗震盪時，擺幅所產生的遞減趨勢線(由 Excel 帶入計算)

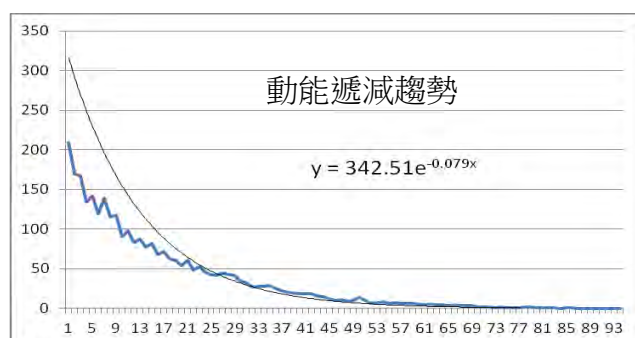
$$\text{得出 } y = 26.578 \cdot e^{-0.394x}$$

整併後與帶入實驗擺幅遞減數值的趨勢一致

$$8 = C_1 \cdot 11 \cdot e^{-C_2} \cdot C_3 \rightarrow 8 = C_4 \cdot 11 \cdot e^{-C_2} \quad (C_1、C_2、C_3、C_4 \text{ 為常數})$$

由以上推論證明，本實驗中磁力震盪的現象，應屬於「弱阻尼式簡諧運動」的一種型態。

若將磁鐵震盪的擺幅，轉換成動能的形式呈現，將發現動能隨時間呈現相同的遞減幅度，可由趨勢線 $y = 342.51 \cdot e^{-0.079x}$ 的幅度看出，推測動能遞減的原因，可能來自於擺盪磁鐵與桌面接觸的摩擦力與空氣阻力等造成。

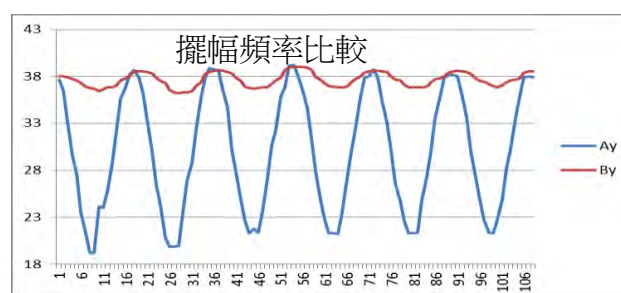


三、由不同數量磁鐵來看磁力震盪間的交互影響

(一)兩顆外圍磁鐵間磁力震盪的交互作用

1.由主震源的 A 磁鐵的擺幅明顯大於接收端的 B 磁鐵，但由兩者的擺盪方向一致可看出動能傳遞的現象不明顯。

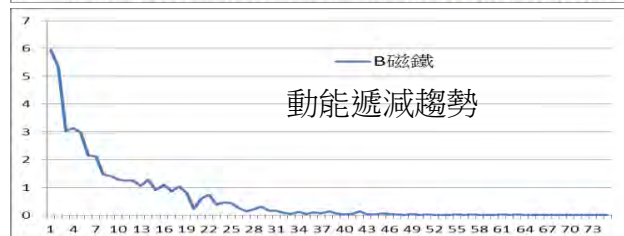
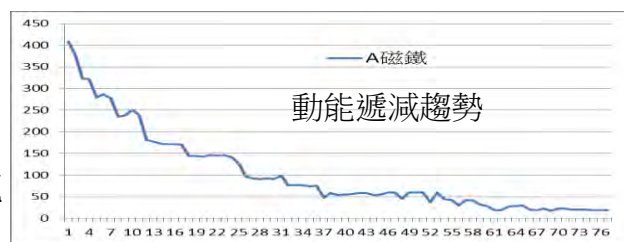
2.推論兩顆外圍磁鐵採對邊擺放時，距離是最



遠，極可能造成能量在傳遞時的耗損最大。

- 3.通常能量在傳遞時擺幅都呈相互消長的擺盪，但由於兩顆距離較遠，再加上磁鐵外觀的幾何形狀與重量等因素相互加乘的影響，造成平衡時的擺盪呈同步方向的結果。

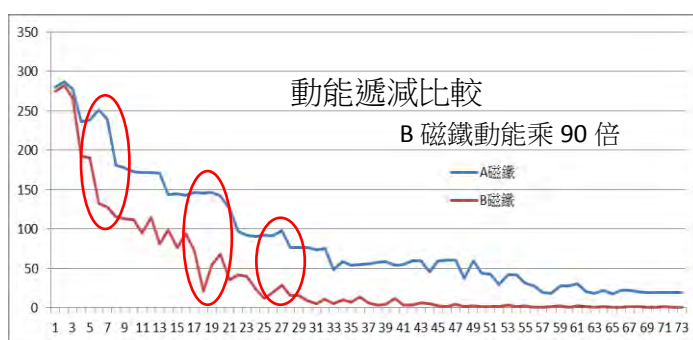
- 4.若此系統中的 A 磁鐵與單一顆磁鐵的擺盪圖形相互比對，將可看出另一顆 B 磁鐵在此系統的純效應。



兩顆外圍磁鐵間磁力震盪的交互作用

- 5.若比較兩顆動能變化將發現，雖然動能的傳遞不明顯，但依舊可以從差距看出具有守恆的現象。

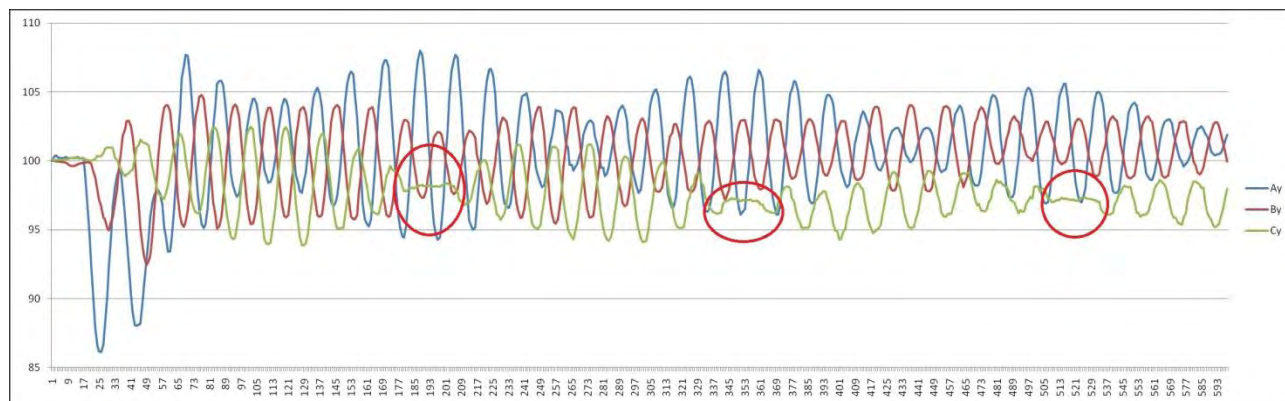
- 6.當 A 磁鐵動能移轉到 B 磁鐵時，A 的動能便降低，而 B 磁鐵動能則升高。



(二)三顆外圍磁鐵間磁力震盪的交互作用

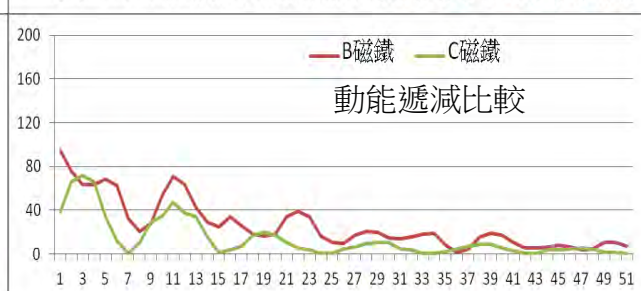
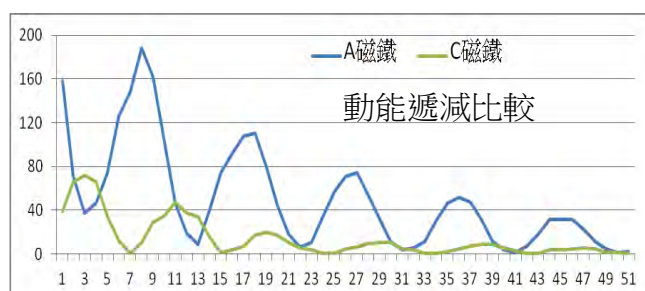
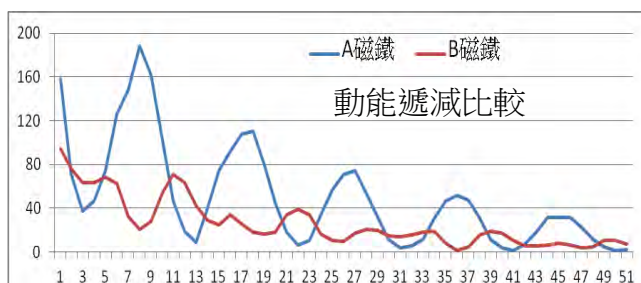
- 1.由主震源的 A 磁鐵的擺幅原本大於接收端的 BC 磁鐵但發現 A 磁鐵的擺幅由大變小而 C 磁鐵的擺幅則是由小變大，再加上 B 磁鐵的擺幅幾乎不變，可看出能量明顯是由 A 磁鐵移轉到 C 磁鐵。
- 2.但是擺幅則會隨 A、B 磁鐵與 A、C 磁鐵相互產生消長的現象，也就是說當 A、B 磁鐵的擺幅產生消長時，C 磁鐵的擺幅則維持不變，但當 A、C 磁鐵的擺幅產生消長時，B 磁鐵的擺幅便維持不變。也就是說主震源的能量不會同時移轉到兩顆接收端的磁鐵，而是相互輪流在 $A \rightarrow B$ 與 $A \rightarrow C$ 磁鐵間相互傳遞。
- 3.再由擺盪的方向看出，原本 A、B 磁鐵是呈同步擺盪的方向，但後來轉為反向擺盪後，可看出磁力震盪雖然是屬於阻尼式的簡諧運動的擺盪外，還會看到擺盪時能量移轉(A 擺幅遞減、B 擺幅遞增)的現象。
- 4.原本 A、B 磁鐵同向與 A、C 磁鐵反向的擺盪方向，但經震盪平衡後，便一直保持 A、B 磁鐵反向與 A、C 磁鐵同向的方向，即使中間反覆出現轉折不穩(也可視為平衡的一部分)，

但最後依舊會回到原先 A、B 磁鐵反向與 A、C 磁鐵同向的平衡狀態，因此 B、C 磁鐵的接收端便永遠保持相互反向的擺動方向。



三顆外圍磁鐵間磁力震盪的交互作用

5.再相互比較三顆磁鐵間的動能變化看出，主震源 A 磁鐵與接收端 B 磁鐵間呈現相互消長的趨勢看出，A 磁鐵的動能有移轉到 B 磁鐵上。



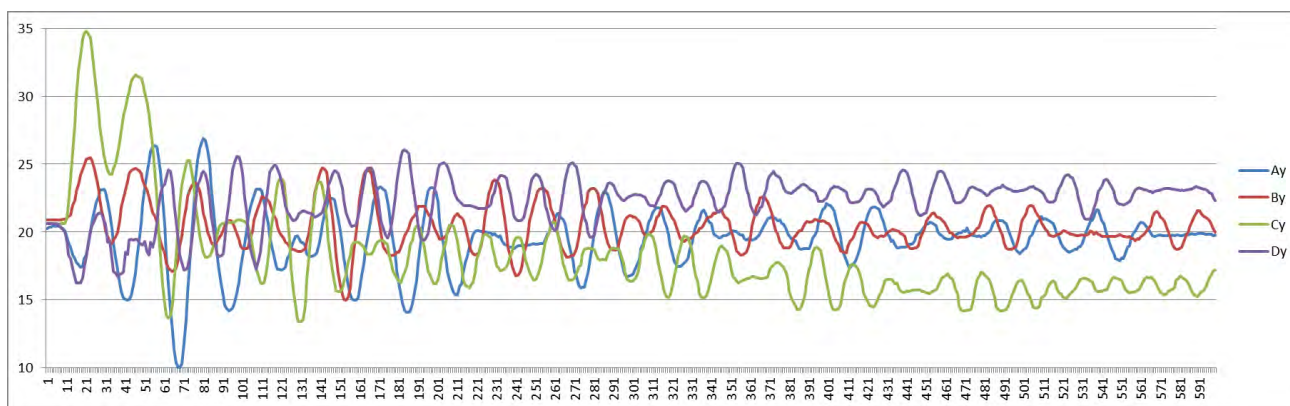
5.同樣的動能相互消長的變化也出現在，主震源的 A 磁鐵與接收端 C 磁鐵上。

6.比較 B、C 兩顆接收端磁鐵的動能變化，呈現大致同步一致，可看出 A 磁體的動能有平均分布傳遞到 B、C 兩顆磁鐵上。

7.三顆磁鐵間的動能差距，明顯比兩顆要小，可看出三顆磁鐵的動能傳遞效果比兩顆要好，推測三顆的距離(夾角 120 度)比兩顆(180 度)靠近，

(三)四顆外圍磁鐵間磁力震盪的交互作用

1.A 磁鐵與 B、D 磁鐵相鄰，而與 C 磁鐵相對，而 A 磁鐵是主震源，B、C、D 磁鐵則為接收端。當 A 磁鐵開始擺盪時，同時與 B、D 磁鐵相互呈現正、反向的擺盪，過程中擺盪的方向也會交替互換。



四顆外圍磁鐵間磁力震盪的交互作用

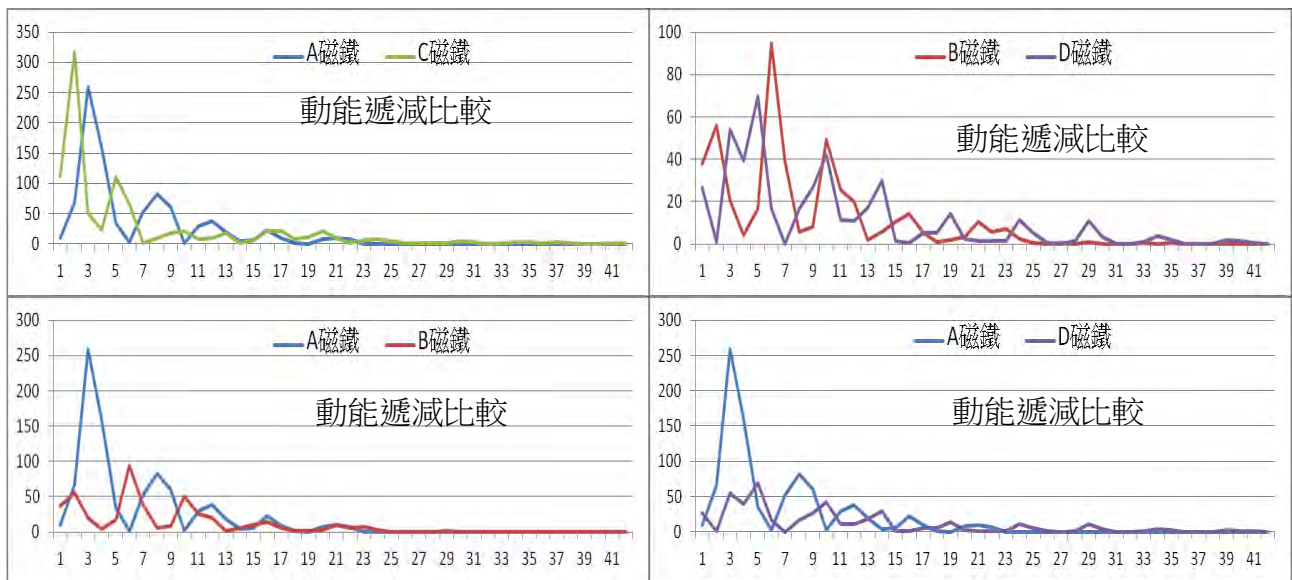
- 2.B、D 兩顆相鄰的磁鐵相互呈現同步擺盪方向，少部分的時候會出現相互反向擺盪的情形。
- 3.由四顆磁鐵擺盪方向不斷交替互換可看出，此一磁力震盪系統能量的傳遞不容易產生穩定的平衡結果，雖然如此，四顆磁鐵相互擺盪的方向，在不斷在的變動與平衡中，依舊可以看出有一定的循環週期，所以也可視為是一種型態的平衡方式。

四顆外圍磁鐵間擺盪方向的循環

磁鐵	位置	擺盪方向											
A	主震源	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↑
B	相鄰端	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑
D	相鄰端	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓
C	相對端	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↑

Ps:位置是以主震源為參考點來定義

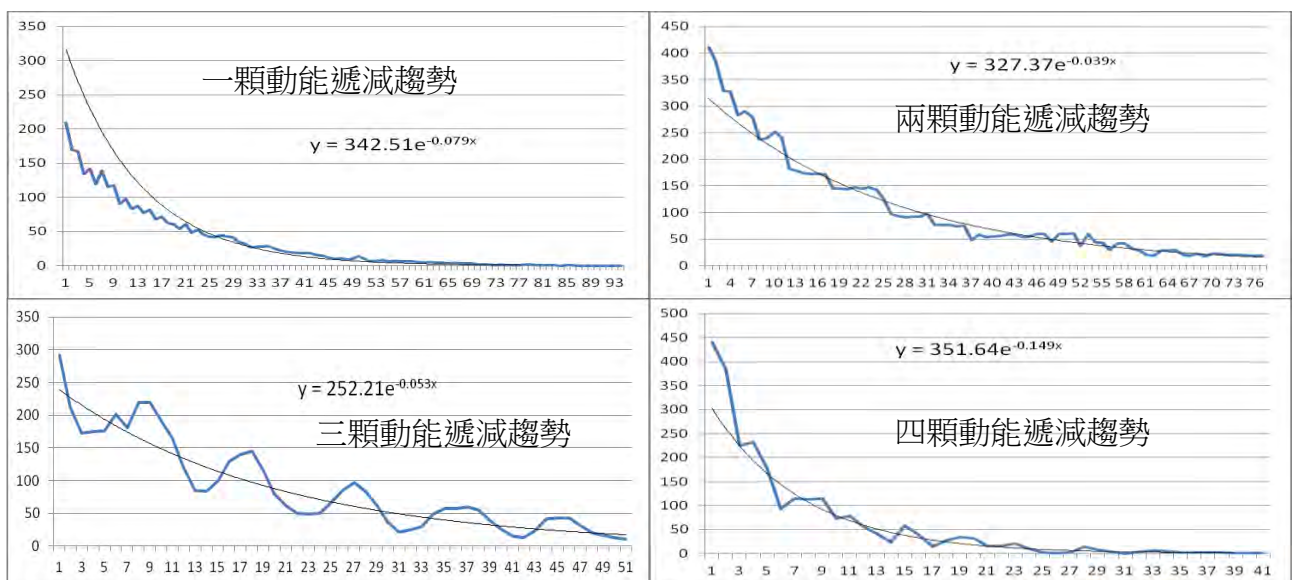
- 4.由四顆磁鐵擺盪的幅度可看出是兩組磁鐵 A(主震)+B(相鄰)和 C(相對)+D(相鄰)，擺幅不斷在進行相互消長的擺盪結果。
- 5.再相互比較四顆磁鐵間的動能變化看出，主震源 A 磁鐵與對邊 C 磁鐵的動能傳遞效果，比兩個相鄰的兩顆 B 磁鐵與 D 磁鐵要好。
- 6.由震動源 A 磁鐵對邊的接收端 C 磁鐵，動能有消長的現象看出，動能有透過相鄰端 B、D 磁鐵進行中繼的傳遞。
- 7.但由與震動源 A 磁鐵相鄰的兩顆 B、D 磁鐵動能變化並非一致，推測可能是(1)兩顆磁鐵與桌面的摩擦力不同，或(2)磁鐵本身磁力不同及(3)距離也可能也不同所致。



(四)外圍磁鐵數量與動能傳遞及系統摩擦力的關係

1.由不同數量外圍磁鐵總動能的遞減趨勢線比較：一顆 $y = 342.51 \cdot e^{-0.079x}$ 、

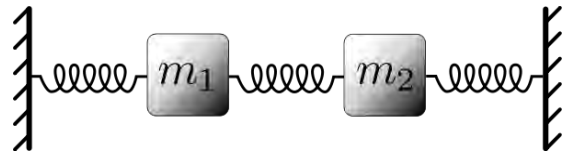
兩顆 $y = 327.37 \cdot e^{-0.039x}$ 、三顆 $y = 252.21 \cdot e^{-0.053x}$ 、四顆 $y = 351.64 \cdot e^{-0.149x}$ 。可看出(1)外圍磁鐵數量越多，動能遞減趨勢越明顯，這和(2)外圍磁鐵數量越多，造成系統的摩擦力越大有關，但此一來(3)外圍磁鐵越多，磁鐵間的動能傳遞效果就會越好。



四、定義磁力震盪的物理意義：

磁鐵在平衡時受到的磁力(吸、斥)，如同固定在物體兩邊的彈簧般，當磁鐵震盪時，就像是拉扯兩邊的彈簧擺盪般。至於磁鐵擺盪時應該在受到吸力與斥力同時作用下的合力結果，而吸、斥力(對稱或不對稱)所形成的合力，便會使吸、斥力產生同步或不同步擺盪的結果。

由「耦合諧振子系統 two coupled harmonic oscillators」(右圖)可解釋磁力震盪中力的作用情形。



設想 N 個相同質量的質點，以彈簧連結為一條一維的線形鏈條。標記每一個質點的離開其平衡點位置為 $x_1, x_2, \dots, x_N$ (若一個質點 k 位於其平衡點，則 $x_k = 0$)。

整個系統的哈密頓量是

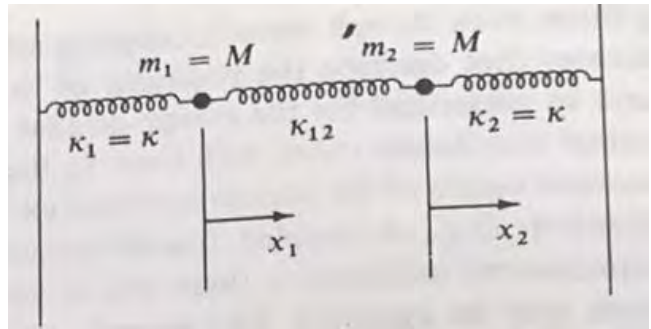
$$H = \sum_{i=1}^N \frac{p_i^2}{2m} + \frac{1}{2} m \omega^2 \sum_{1 \leq i \leq N} (x_i - x_{i-1})^2$$

若 m_1, m_2 是由原本平衡的位置分別受到

x_1, x_2 的兩個力而產生位移

$$M \ddot{x}_1 + (k + k_{12})x_1 - k_{12}x_2 = 0$$

$$M \ddot{x}_2 + (k + k_{12})x_2 - k_{12}x_1 = 0$$



此時再受到兩個振幅 B_1, B_2 與頻率 ω 的作用，在相對於單位時間所施的力

$x_1(t), x_2(t)$ ，可整理成

$$x_1(t) = B_1^+ e^{i\omega_1 t} + B_1^- e^{-i\omega_1 t} + B_2^+ e^{i\omega_2 t} + B_2^- e^{-i\omega_2 t} \quad \text{與} \quad x_2(t) = -B_1^+ e^{i\omega_1 t} - B_1^- e^{-i\omega_1 t} + B_2^+ e^{i\omega_2 t} + B_2^- e^{-i\omega_2 t}$$

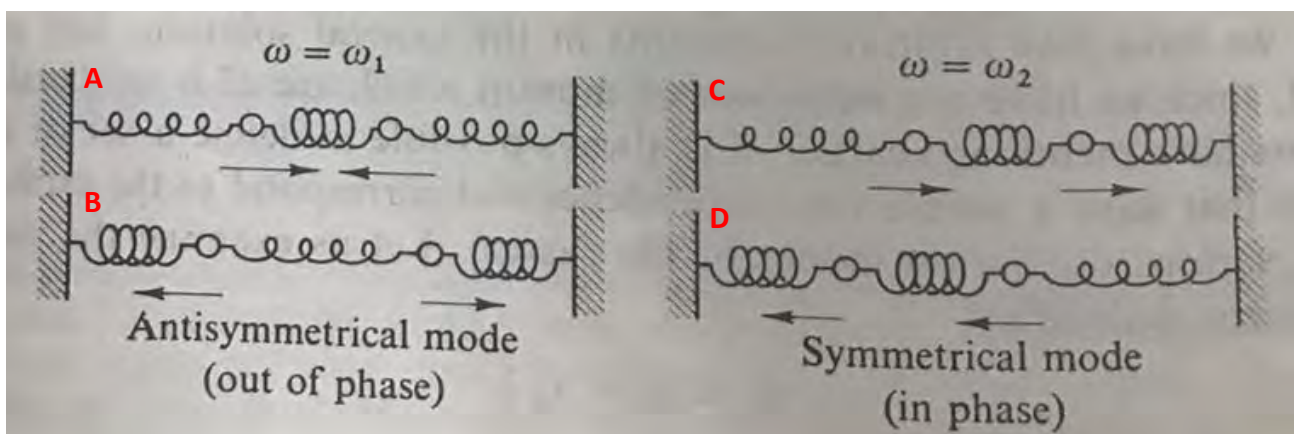
根據此關係式可得出兩個獨立的擺盪座標

$$\eta_1(t) = C_1^+ e^{i\omega_1 t} - C_1^- e^{-i\omega_1 t} \quad \text{與} \quad \eta_2(t) = C_2^+ e^{i\omega_2 t} - C_2^- e^{-i\omega_2 t}$$

$$\text{其中 } \omega_1 = \sqrt{\frac{k + 2k_{12}}{M}} \quad ; \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{k}{M}}$$

帶入 η_1 與 η_2 後，便會有以下四種

A、B-->反對稱不同相位；C、D-->對稱同相位的擺盪型態



討論四：利用磁力震盪的原理的發展應用

一、利用感應震動與光槓桿特性設計測震儀器

構想：利用實驗發現，設計**光感磁力式**的測震儀

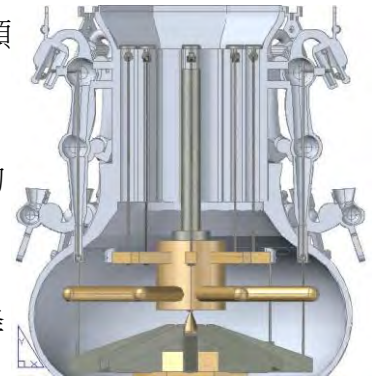
理由：1.磁力震盪變項間的相互影響發現，只要一點小震動，磁鐵就會開始擺盪

2.磁鐵擺盪的幅度雖不明顯，但可透過**雷射光反射**的**光槓桿放大**作用看到些微變化

3.利用**錄影**及 **Tracker** 軟體影像分析的方式，可比對出每顆磁鐵間，震盪**頻率與週期**、**擺幅與時間差**

4.由實驗發現震盪頻率平衡過程中的**時間差**，可推算**力**的來源**方向與強度**

5.由實驗操作發現增加磁鐵**數量**、縮短外圍磁鐵**間距**與降低中央磁**厚度**，可延長磁力傳遞的效果



磁鐵擺盪感應震動和侯風地動儀有異曲同工之妙

二、利用磁鐵擺盪時感應底下的線圈設計震動式發電裝置

構想：利用實驗發現，設計**磁震式發電**的發電機

理由：1.設計記錄磁力震盪儀器時，曾利用桌面下的線圈**感應電流**，利用所產生的感應電流**強度**與交流**頻率**來測量磁鐵擺盪的**震幅與頻率**

2.為增加感應電流強度，可在感應線圈的中央擺放**鐵棒**，為避免磁鐵被吸引向下吸住無法擺盪，因此靠近桌面的鐵棒須**磨尖**

3.再將所有線圈所發的電串連起來，如此一來只要有些微的震動造成磁鐵擺盪，便能讓底下的線圈產生感應電流來**發電**



透過磁鐵在線圈上方擺盪可產生感應電流，透過量測電流的強度與頻率可得知磁鐵擺盪的幅度與頻率，剛好也可藉由此裝置來作為發電的用途。

柒、結 論

一、利用歸納各種影響磁力震盪的變項，推論出調控磁鐵擺盪的可行方法，加上利用簡單簡單材料，加上一些巧思與不斷嘗試，成功設計出磁力震盪測量器，還看到意外的驚喜與發現。透過實驗證明：磁鐵的直徑、厚度、離中心點距離、外圍排列磁鐵數量與相應夾角等，各變項間都有會相互影響。

(一)磁鐵形狀對磁力震盪頻率的影響

- 1.磁鐵寬度固定，厚度越厚越難平衡
- 2.磁鐵厚度固定，寬度越寬越易平衡

(二)外圍磁鐵距離對磁力震盪頻率的影響

- 1.磁鐵寬度固定，厚度與距離成反比
- 2.當磁鐵厚度固定，寬度與距離成正比

(三)外圍磁鐵數量對磁力震盪頻率的影響

- 1.磁鐵形狀固定，數量與擺幅成反比
- 2.形狀對震盪頻率的影響要比數量明顯

(四)外圍磁鐵夾角對磁力震盪頻率的影響

- 1.震盪頻率與磁鐵夾角平均分布成正比
- 2.磁鐵偏斜角度越大，震盪頻率差異越大

(五)比較形狀、距離、數量與夾角之間的相互影響

- 1.改變夾角的不對稱偏斜，可以調整磁鐵擺盪的頻率
- 2.增加磁鐵數量、縮短外圍磁鐵間距與降低中央磁厚度，可延長磁力傳遞的效果
- 3.從震盪頻率平衡過程中的時間差，可推算力的來源方向與強度

二、外圍磁鐵數量越多，磁力(動能)的傳遞效果就越好，但系統的摩擦力也會因而增加，反而加速能量遞減的幅度。

三、磁力震盪成因是磁鐵在平衡時受到的兩種磁力(吸、斥)的作用，如同固定在物體兩邊的彈簧般，當磁鐵震盪時，就像是拉扯兩邊的彈簧擺盪，因此可用「耦合諧振子系統 two coupled harmonic oscillators」的現象來解釋，它就像是 N 個相同質量的質點，以彈簧連

結為一條一維的線形鏈條。

四、至於磁鐵擺盪時應該在受到吸力與斥力同時作用下的合力結果，而吸、斥力(對稱或不對稱)所形成的合力，便會使吸、斥力產生同步或不同步擺盪的結果，加上整個系統還可能受到擺盪磁鐵與桌面間的摩擦力、空氣阻力、擺放位置的幾何誤差、磁鐵的磁力不同等因素影響，最後便會產生「反對稱不同相位 **Antisymmetrical mode/out of phase**(相對 vs 相離)」與「對稱同相位 **Symmetrical mode/in phase** (同上 vs 同下)」等四種擺盪的型態。

五、研究的重要性

- (一)利用磁鐵的排列組合，以簡單的材料，突破器材、技術限制，進行磁力震盪的實驗
- (二)利用手邊的材料與工具，自製簡單又準確的磁力震盪的實驗測量儀器
- (三)根據實驗發現，歸納變項的相互影響，並能推算外力來源方向與強度
- (四)結合並延伸原理的應用，可設計出實用的測震儀與發電機

捌、參考資料

白允禔、羅乙珊、吳亞如、孔令宇、胡博仁(2008)：磁中乾坤--探討磁力的特性及其應用。中華民國第 48 屆中小學科學展覽會

倪呈旭、倪呈豪(2016)：磁鐵在變動磁場中的舞動。中華民國第 56 屆中小學科學展覽會。

科學玩具柑仔店(Darling の 優) (2009)：科學玩具-磁學-金屬史萊姆。

網址：http://kingdarling.blogspot.tw/2013/01/blog-post_9904.html

Stephen T. Thornton, Jerry B. Marion(2004)：Classical Dynamics of Particles and Systems。
Brooks/Cole，5th Edition。

量子諧振子：維基百科。網址：

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%87%8F%E5%AD%90%E8%AB%A7%E6%8C%AF%E5%AD%90>

【評語】 051809

本件作品以自製儀器討論磁力震盪相關現象。已發展 4 代實驗組，並且進行發展過程說明，敘述清楚。經由實驗分析討論關於磁鐵的直徑、厚度、離中心點距、外圍排列磁鐵數量與相應夾角等變項，且發現各變項間會相互影響。結論能呼應目的，能說明磁力震盪原理，並以耦合諧振子系統解釋，是不錯的作品。唯數據的整理及分析可以再加強，且新的研究內容略顯不足。

作品海報

摘要

最早從看到網路上有人利用磁鐵間的磁浮力量同顆磁鐵間的**磁浮擺盪**開始，為了探討此現象於是進行器材改良，調控各種操控各種變項：

- 1.磁力震盪傳遞的效果會受到磁鐵本身磁力與形狀雙重的交互影響
- 2.外圍磁鐵數量越多磁力震盪傳遞的效果越好
- 3.改變兩顆外圍磁鐵夾角對**磁力震盪**影響不是呈線性比例關係

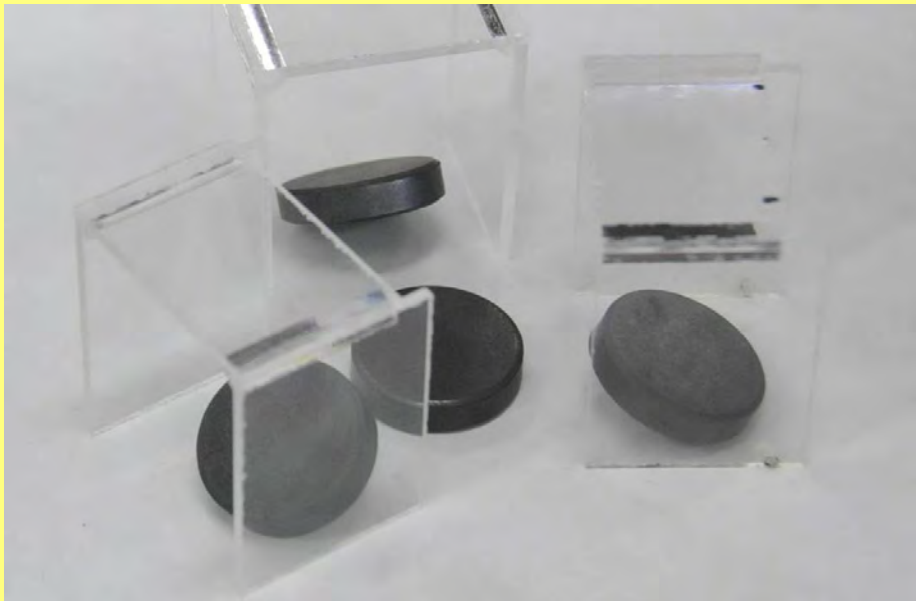
過程中利用磁力震盪的特性，設計並製做出實驗所需的測量器具，再由磁力震盪變項的相互影響，歸納傳遞磁力效能的最佳組合，最後還設計出光感式磁力震盪的測震儀，可說是從小東西玩出大道理來！



關鍵詞：磁力震盪、磁鐵、震盪頻率

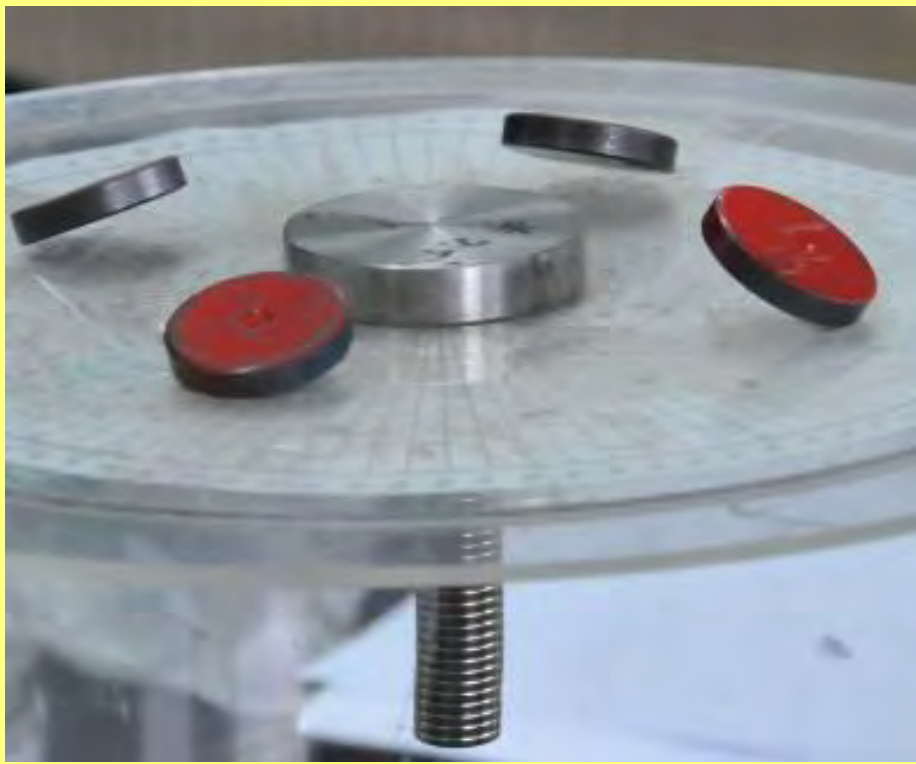
壹、研究動機

從國一接觸磁鐵磁力傳遞時的現象開始，每年都能看到有趣的新發現，原本只是三顆磁排列，以中間磁鐵為中心，兩旁斜放兩顆磁鐵，輕碰兩旁其中一顆磁鐵，另一顆就跟著擺動的磁力震盪現象。投入研究後發現，目前找不到任何相關研究可參考，為了實驗只能不斷自行摸索，在改進器材過程竟也找出更多可操控的變項，就這樣持續了幾年，每年都有意外新發現和創意用途，而這次又有新構想，希望從改進實驗器材中探索出更有趣的新發現來。



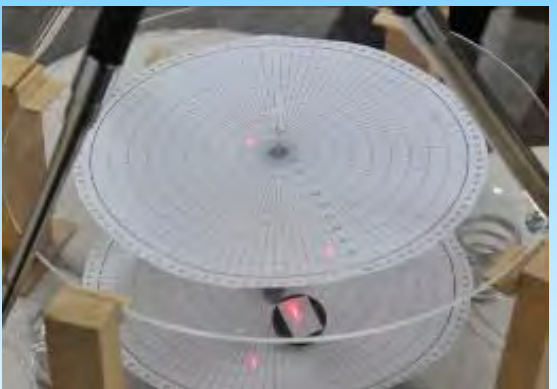
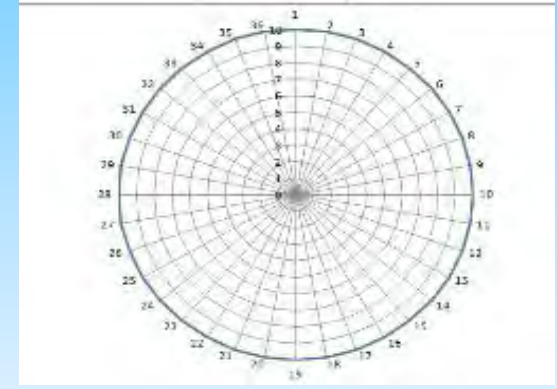
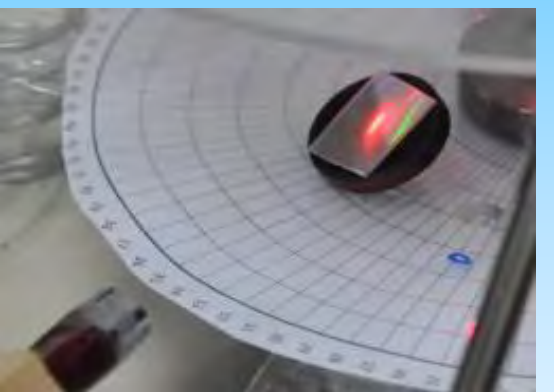
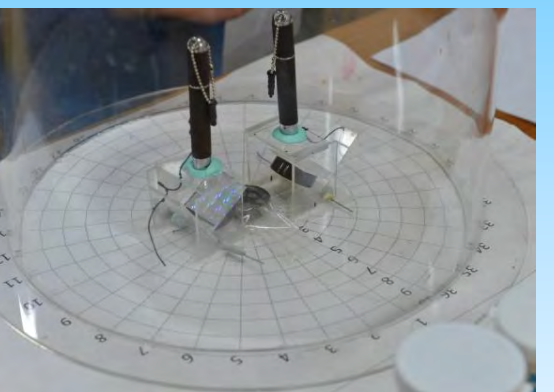
貳、研究目的

- 一、利用磁力震盪原理製作簡單精確的研究工具。
- 二、探討影響磁力震盪的因素。
- 三、探討磁力震盪變項間的交互作用。
- 四、建立磁力震盪的能量傳遞模式。

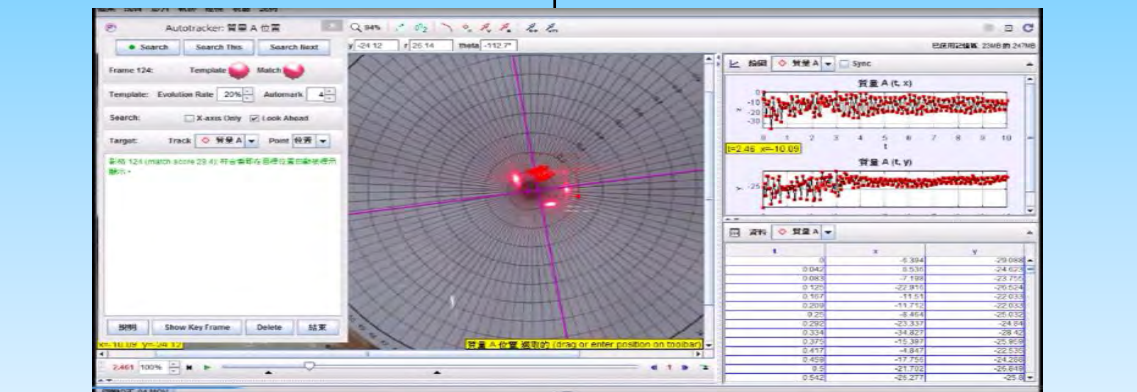


參、研究設備及器材

一、磁力震盪實驗組

				
測試板	雷射投影板	定位投影底紙	雷射固定架	投影板固定架
				
CD反光貼紙	雷射筆	鐵塊	強力磁鐵	鐵氧磁鐵(薄)
				
測試槽	方格紙	雷射固定架	磁鐵測試架	圓形磁鐵(厚)

二、實驗儀器：

	
相機/三腳架	錄影機
	
雷射光點投影	筆記型電腦
	
Tracker 4.84 影像分析	

肆、研究過程與方法

一、文獻分析：

當一個磁鐵受壓迫，外力介入改變原本平衡，磁鐵晃動也使**磁力線**的空間分佈呈動態變化，進而影響另外兩個原先未受力的磁鐵，也產生不同幅度與頻律的晃動。

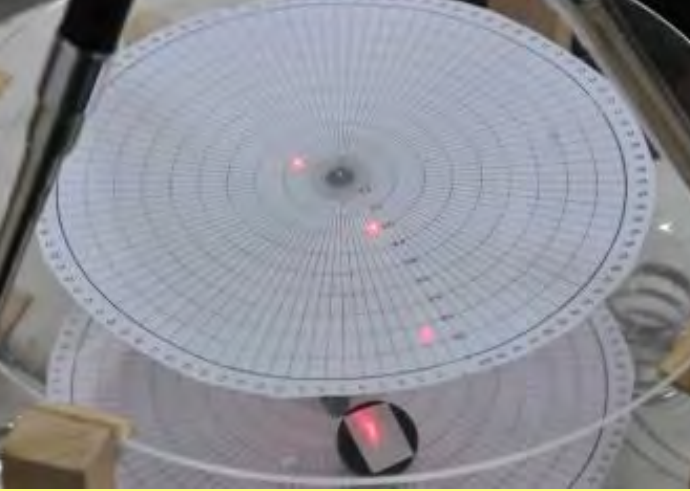
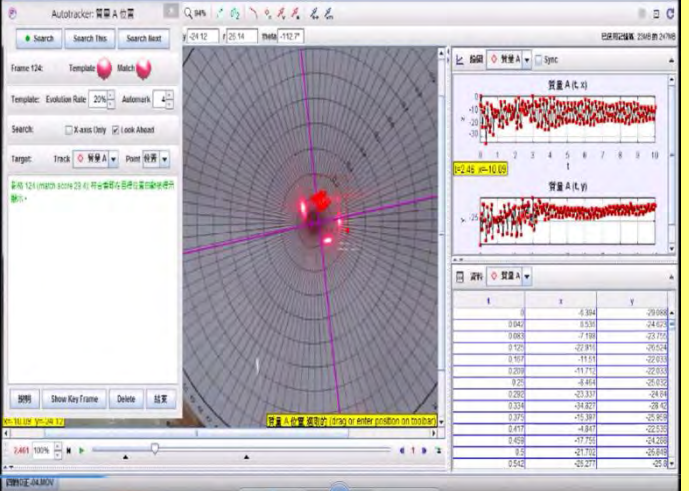
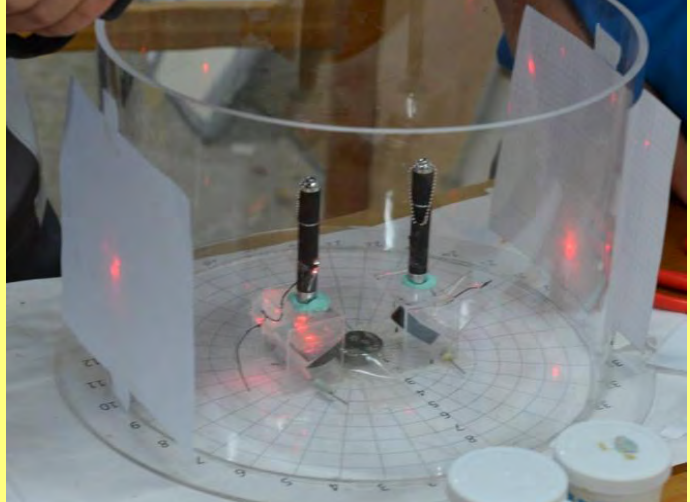
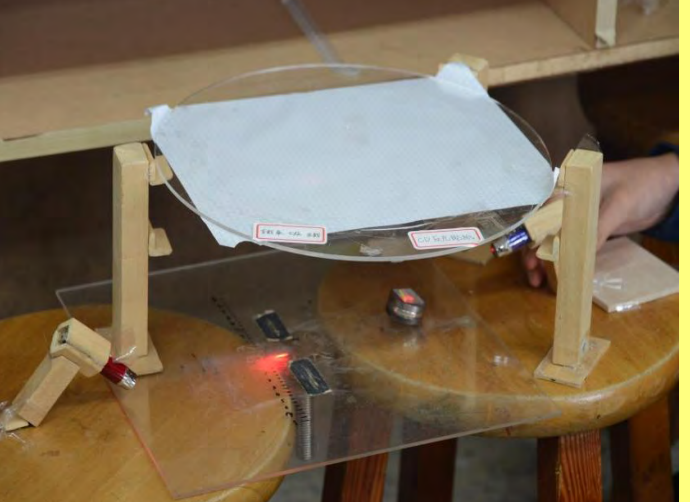


二、器材設計：

1.震盪實驗磁鐵設計：

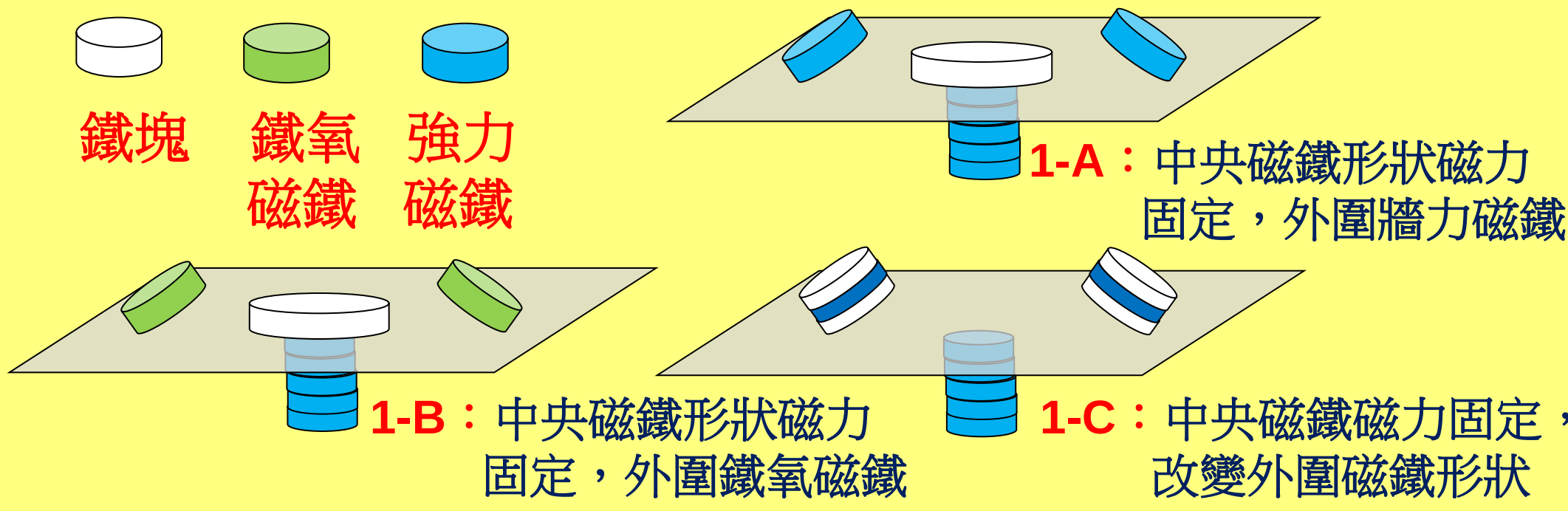
	形狀磁 力固定		形狀固 定磁 力可調		磁力固 定形 狀可調
---	------------	---	------------------	---	------------------

2. 記錄分析流程

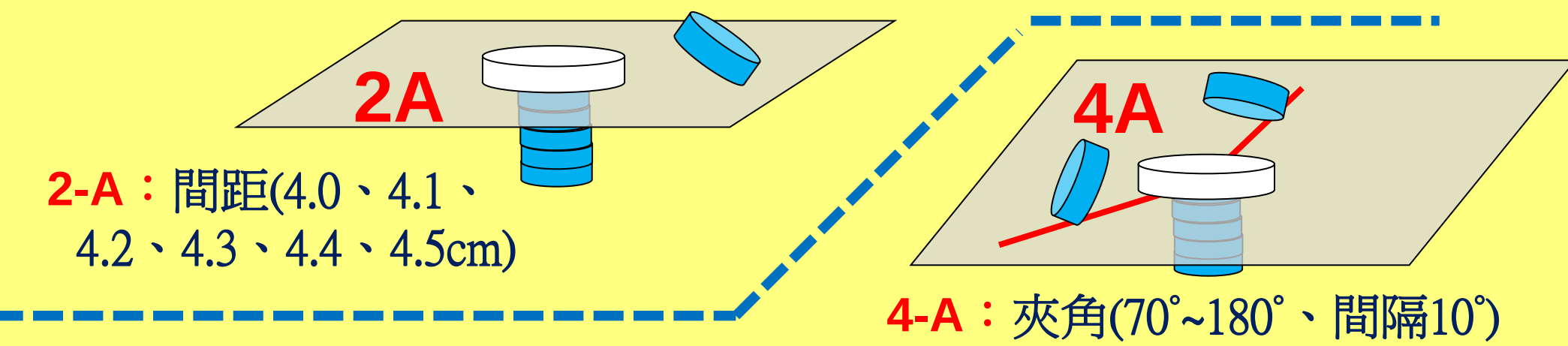
		
震盪軌跡投影	影像數據分析	光感式測震儀
		
第一代投影設計	第二代投影設計	第三/四代投影設計
		

三、實驗變項設計發展過程

(一)比較中央與外圍磁鐵**形狀**對磁力震盪的影響

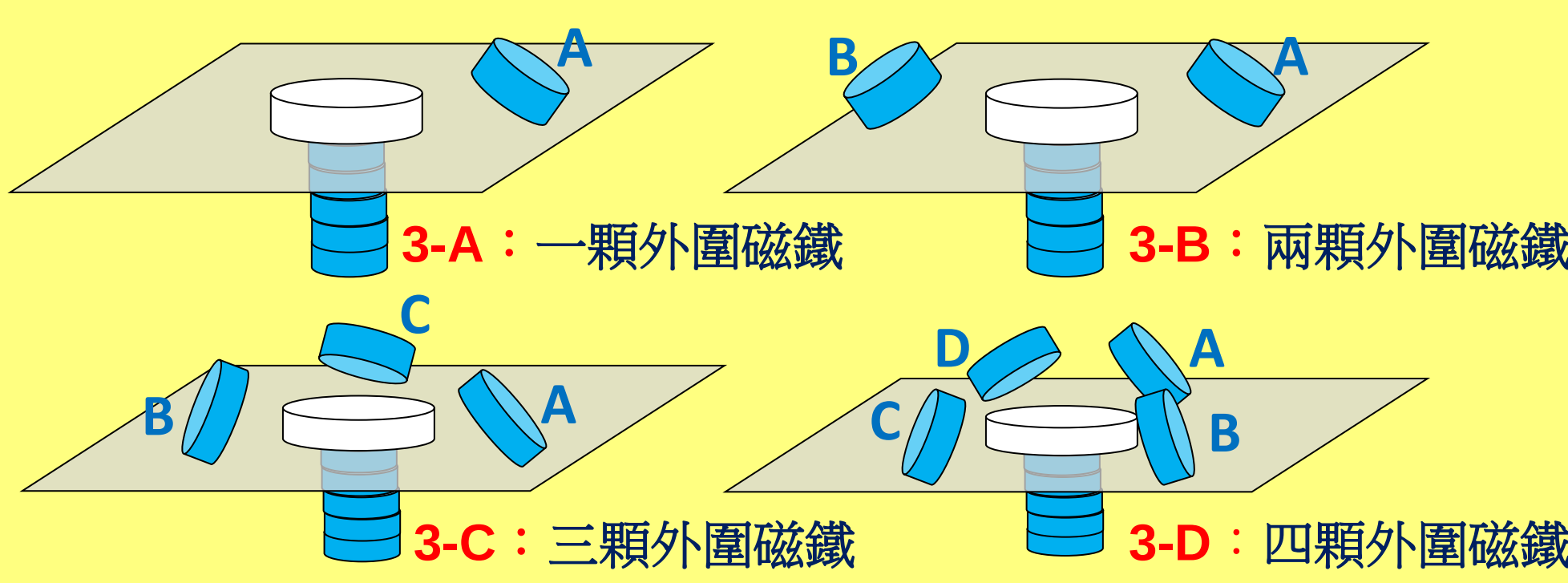


(二)比較中央與外圍磁鐵不同**距離**的震盪影響(2A)



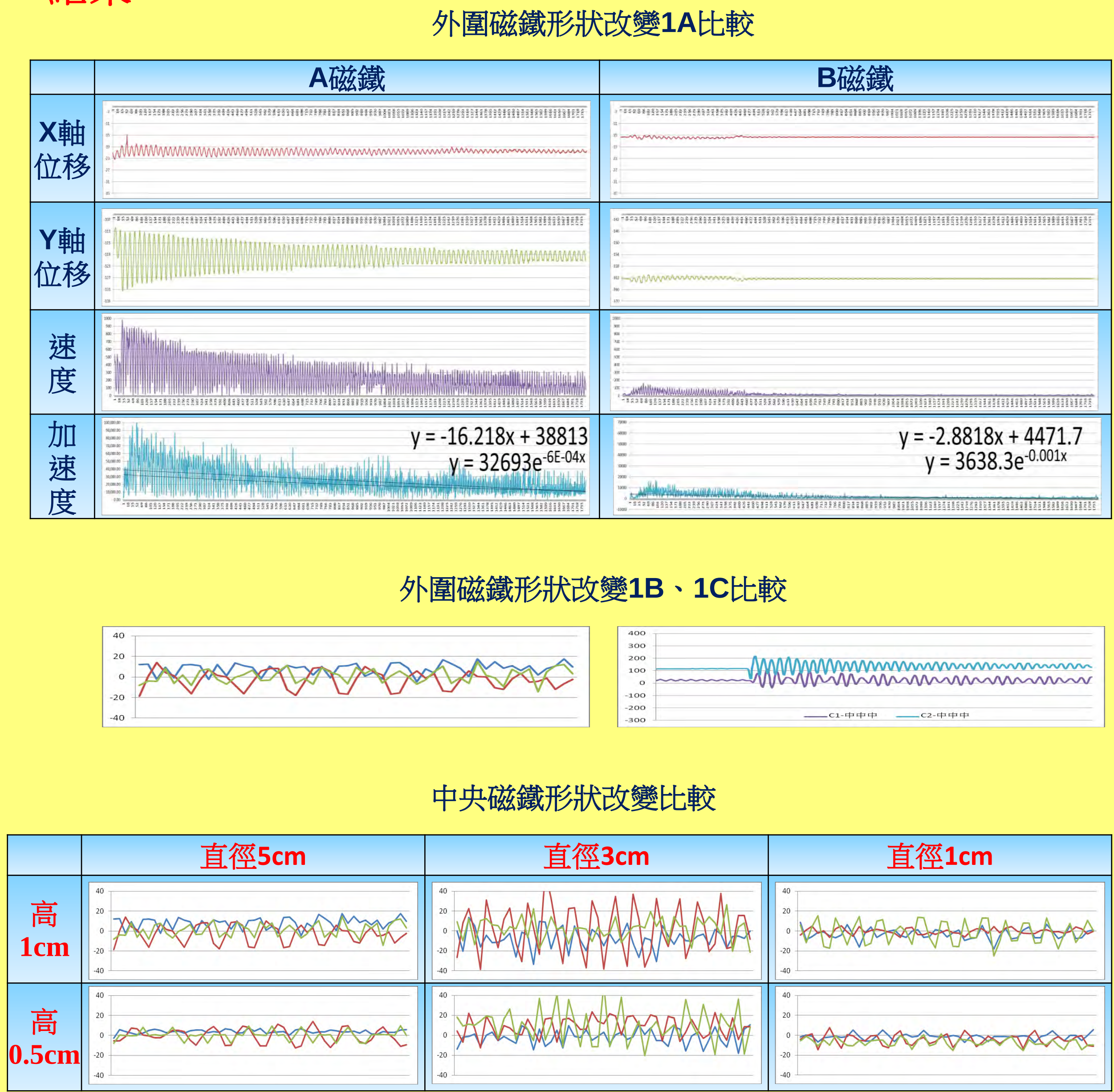
(四)比較外圍磁鐵間**夾角**對磁力震盪的影響(4A)

(三)比較外圍磁鐵不同**數量**磁力震盪的影響

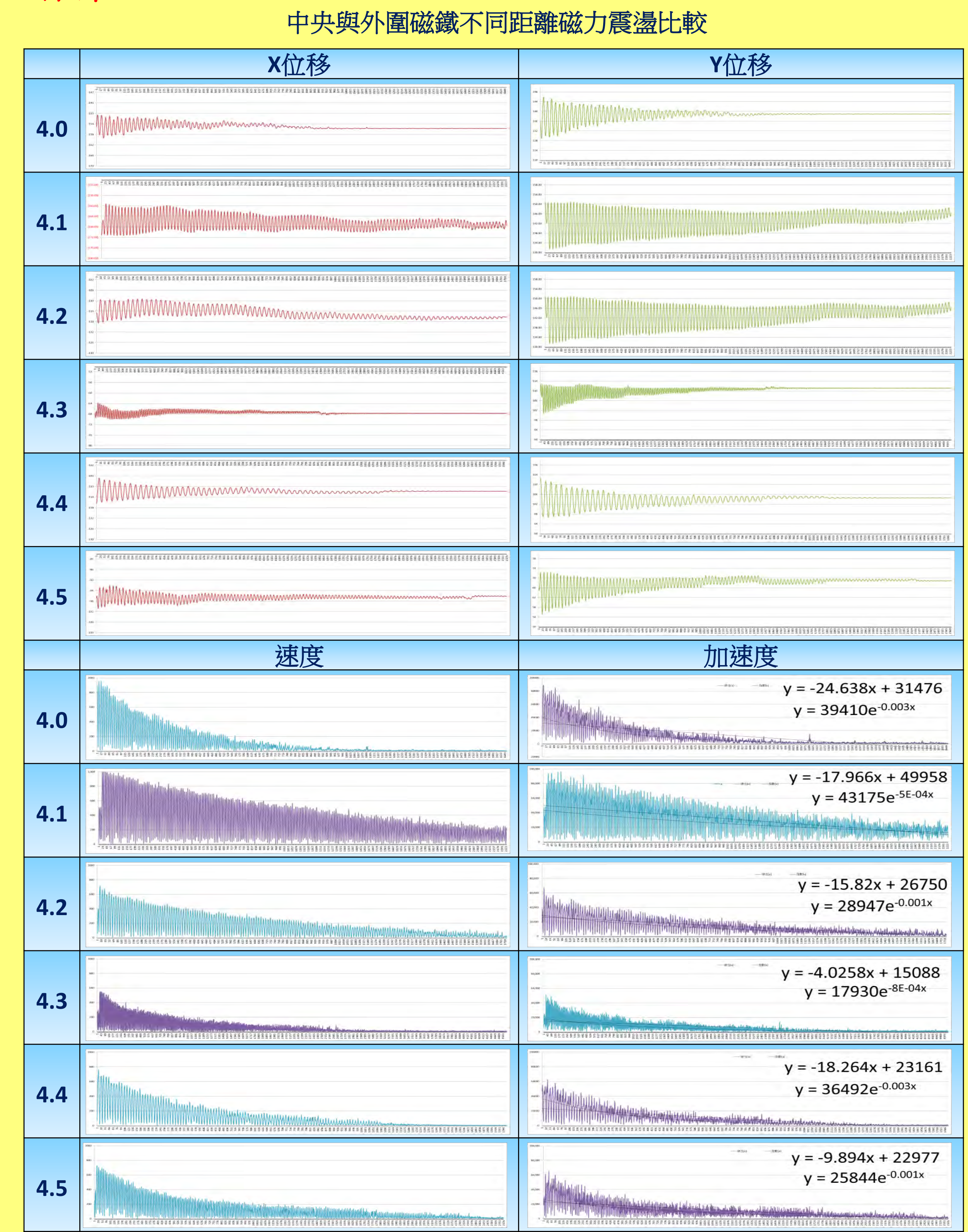


伍、研究結果

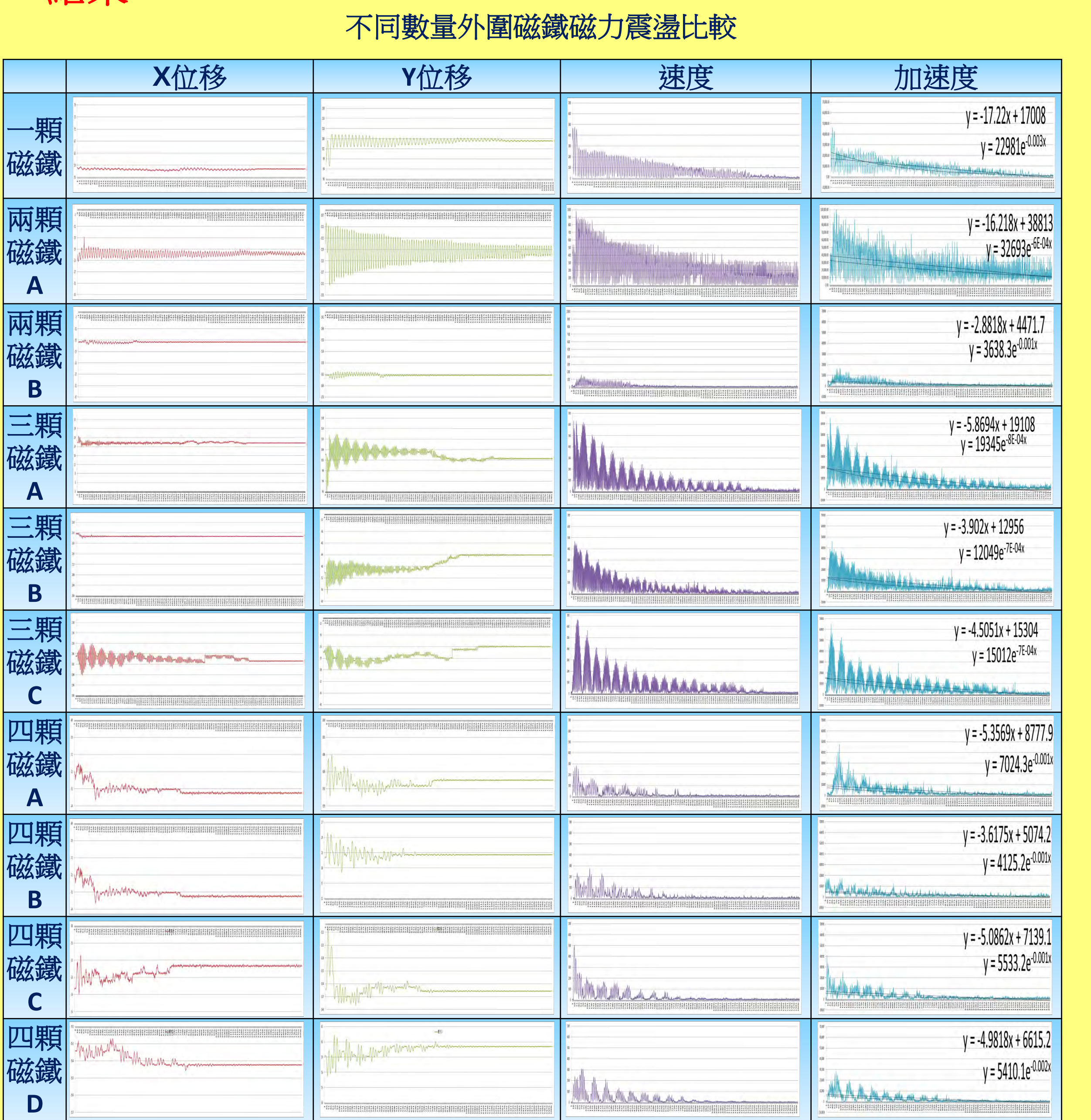
實驗一：比較中央磁鐵與外圍磁鐵形狀對磁力震盪頻率影響
結果：



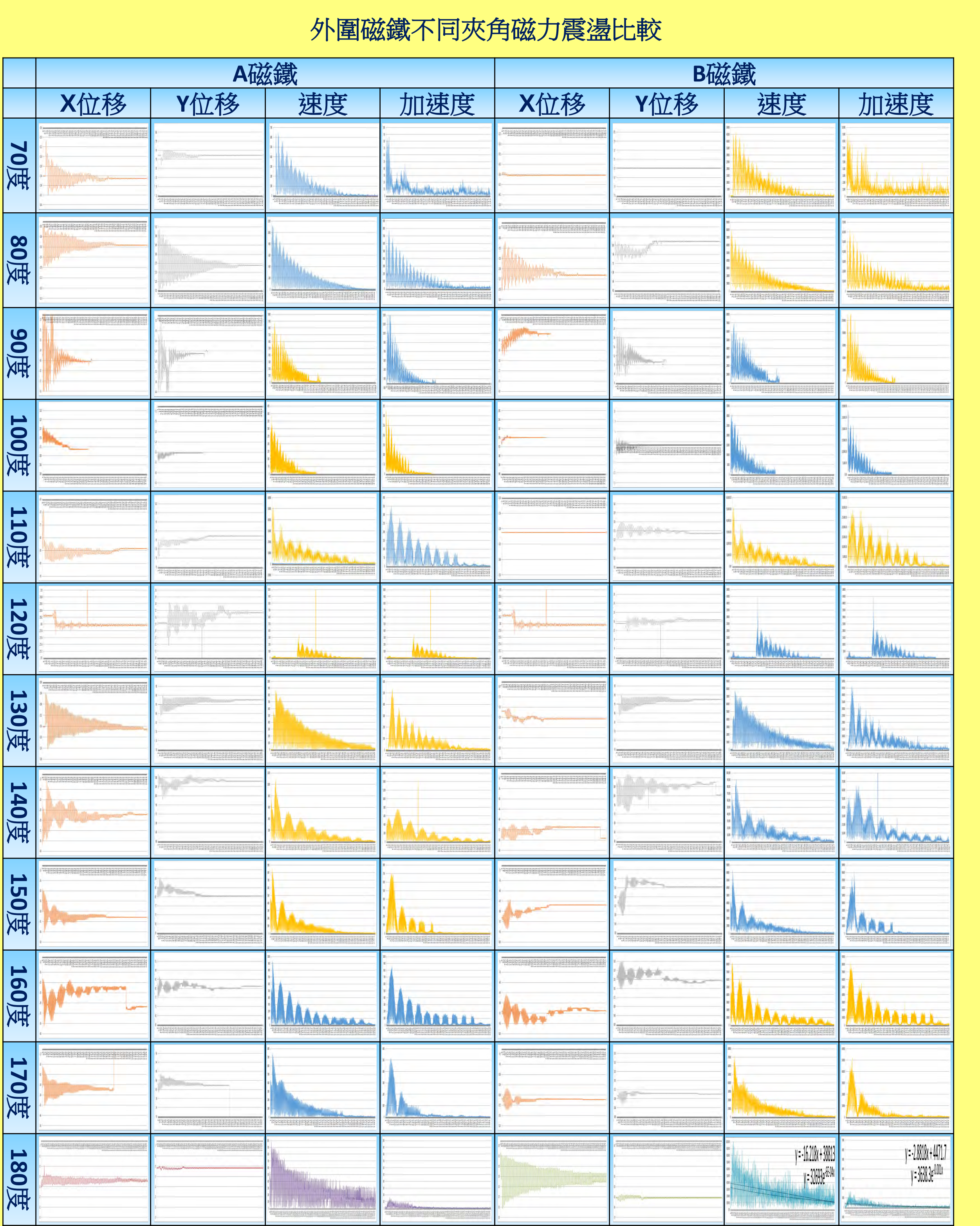
實驗二：比較不同距離中央與外圍對磁力震盪頻率的影響
結果：



實驗三：比較外圍磁鐵在不同數量下對磁力震盪頻率的影響
結果：

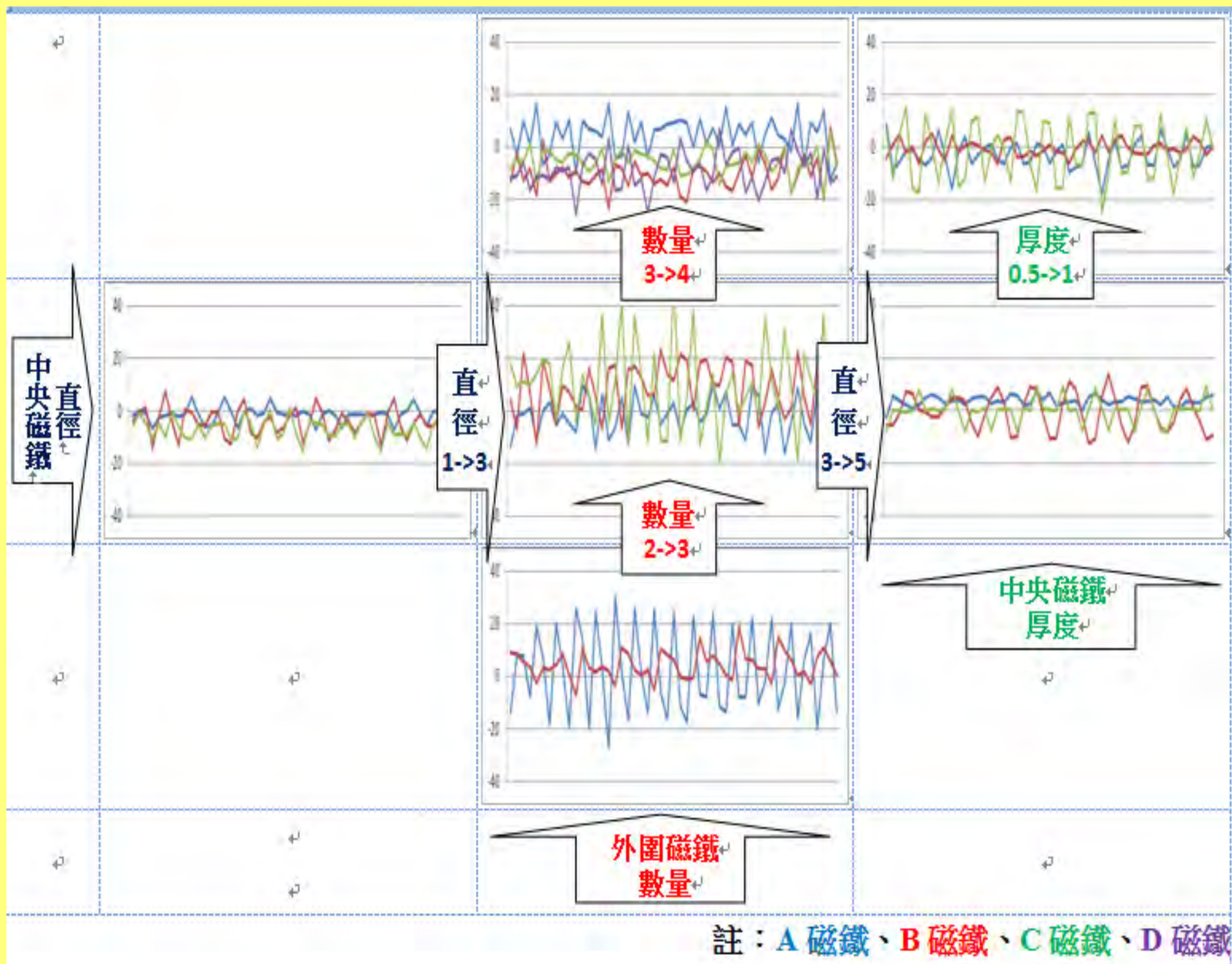


實驗四：比較兩顆外圍磁鐵間的夾角對磁力震盪頻率的影響
結果：



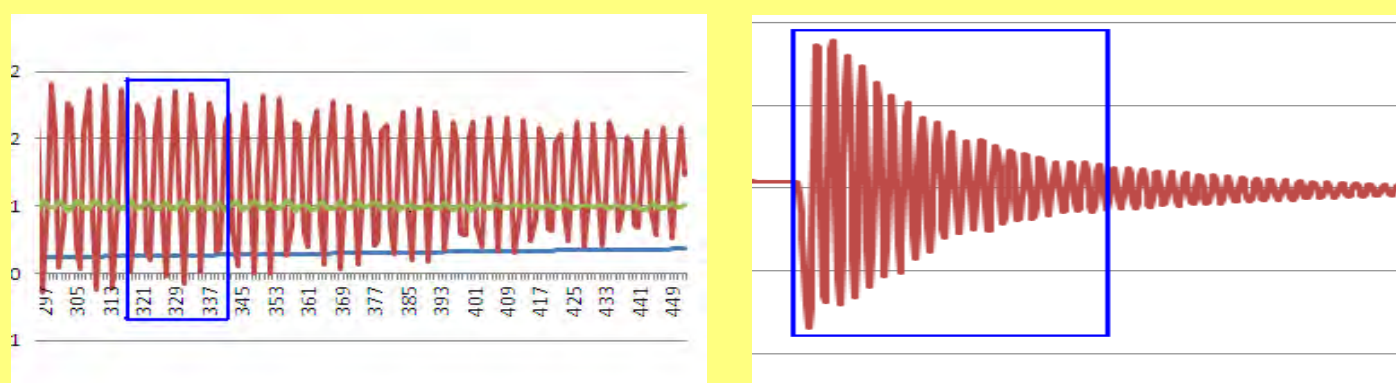
陸、討 論

討論一：磁鐵形狀與數量對磁力震盪的相互影響

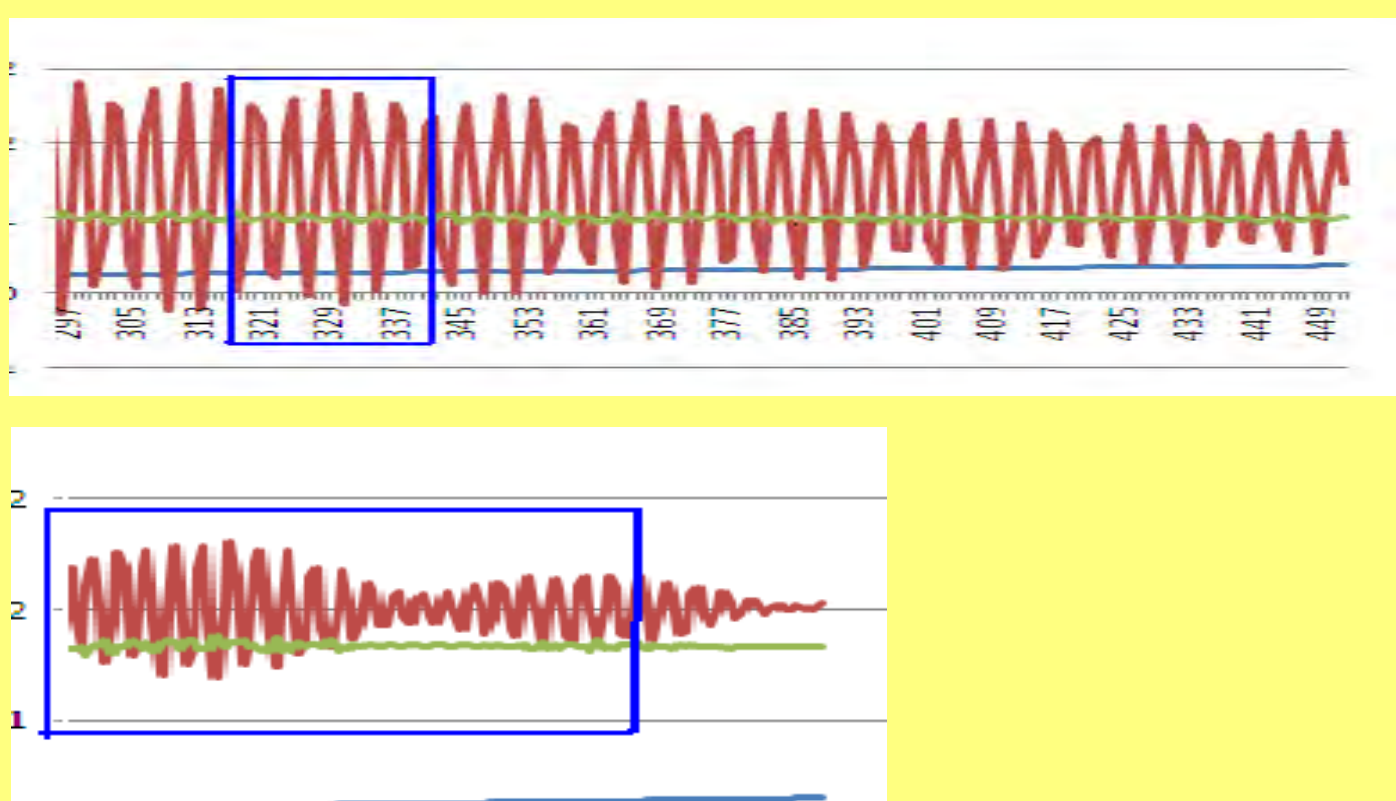


討論二：推論磁力震盪變項間的相互影響

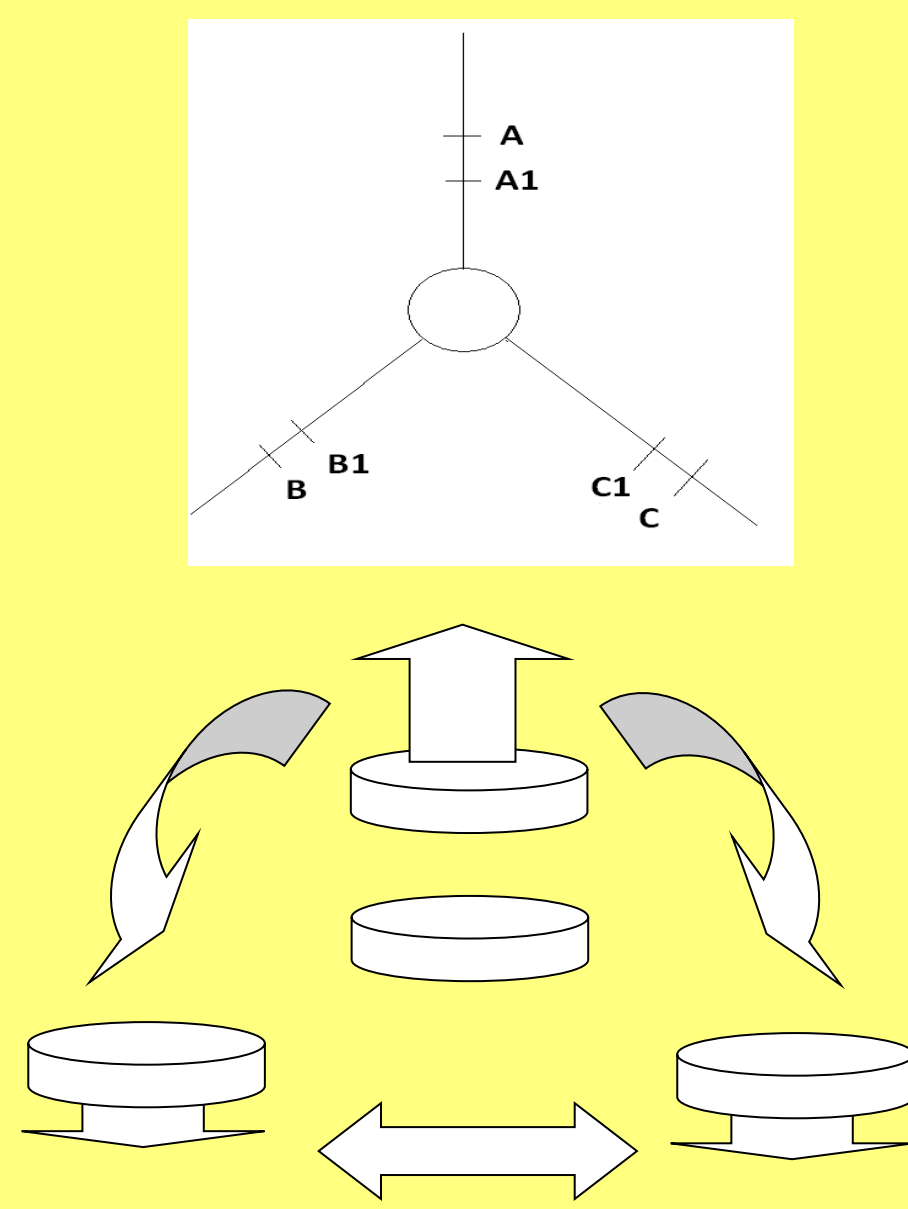
一、外圍磁鐵距離(4 vs 5cm)的影響



二、外圍磁鐵數量(1 vs 2 顆)的影響



三、距離與數量之間的關係

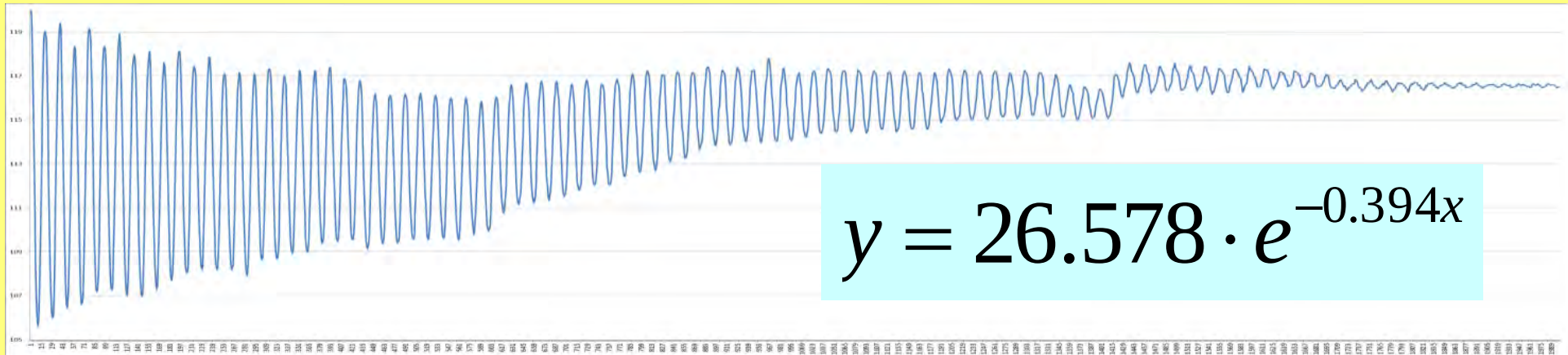


討論三：探討磁力震盪與能量轉換之間的關係

一、簡諧運動與磁力震盪的關係：磁力震盪是以磁鐵磁力作為動能傳遞的導體，在平衡過程以簡諧運動形式，將動能在磁鐵間來回的傳遞。

$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \times \sqrt{\frac{m}{k}}$

二、由實驗發現分析磁力震盪的運動模式：

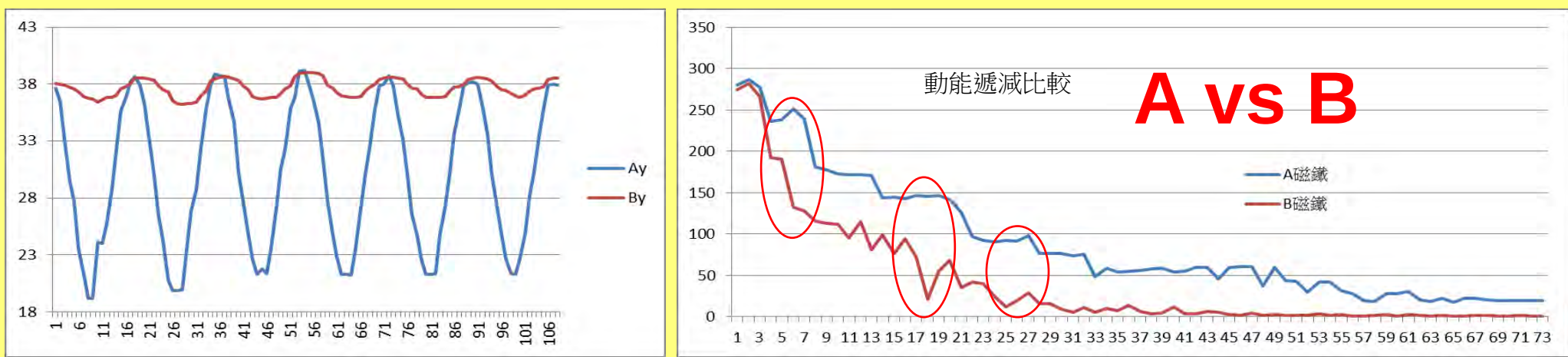


與具阻尼簡諧運動公式 $x = A \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sin(\omega' t + \delta)$

帶入數值整併 $8 = C_4 \cdot 11 \cdot e^{-C_2}$ (C_2 、 C_4 為常數)
由擺幅遞減圖形證明，本實驗中磁力震盪的現象，應屬於「弱阻尼式簡諧運動」的一種型態。

三、由不同數量磁鐵來看磁力震盪間的交互影響

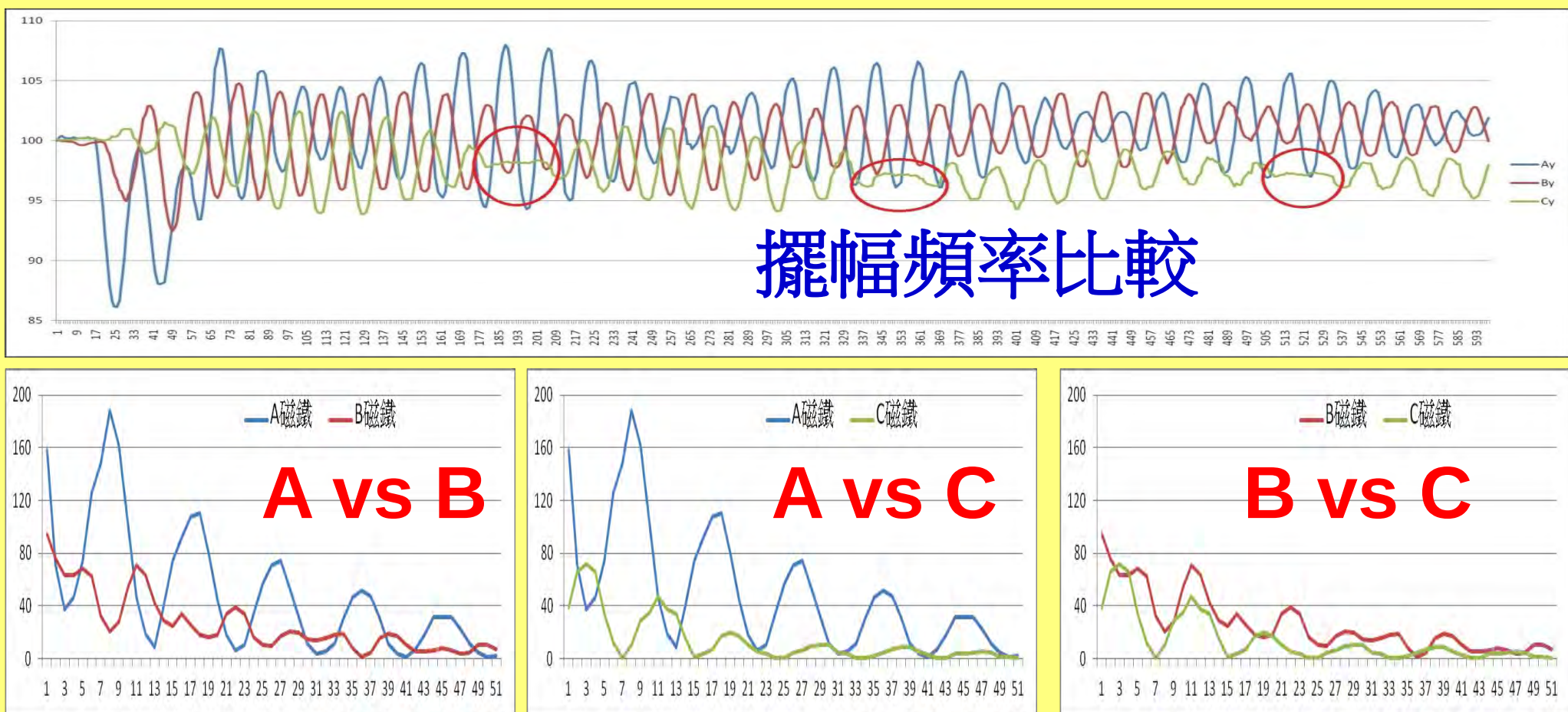
(一)兩顆外圍磁鐵間磁力震盪的交互作用



擺幅頻率比較

動能遞減趨勢

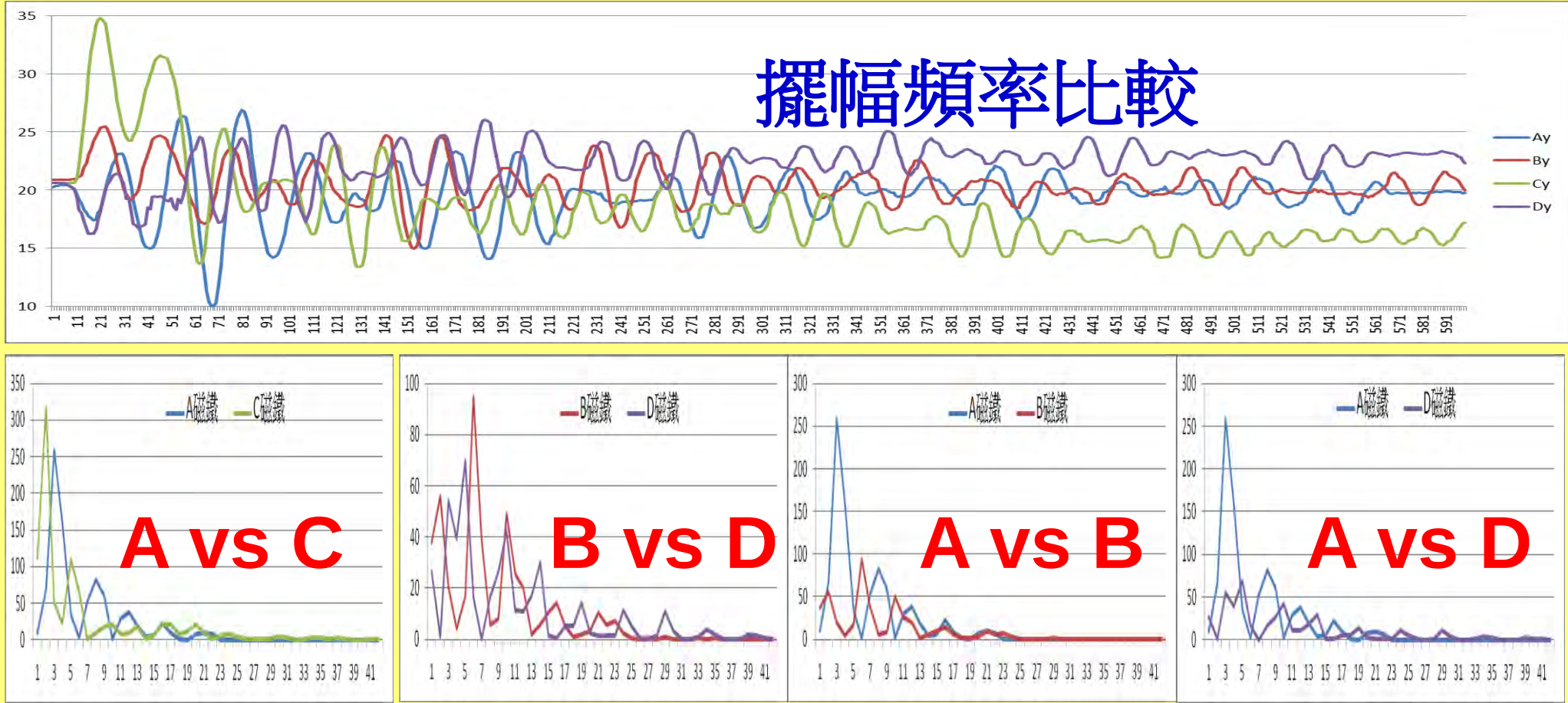
(二)三顆外圍磁鐵間磁力震盪的交互作用



擺幅頻率比較

動能遞減趨勢

(三)四顆外圍磁鐵間磁力震盪的交互作用



擺幅頻率比較

動能遞減趨勢

討論四：利用磁力震盪的原理的發展應用

構想一：設計光感磁力式測震儀：1.震動磁鐵就開始擺盪/2.透過雷射光的光槓桿放大震動幅度/3.頻率時間差可推算力的來源方向強度/4.透過數量、間距與厚度 可提高靈敏度

構想二：設計磁震式發電的發電機：1.利用桌面下線圈感應電流，可測量磁鐵擺盪震幅與頻率/2.將線圈發電串連，只要有震動擺盪便能讓線圈產生感應電流來發電

(四)外圍磁鐵數量與動能傳遞及系統摩擦力關係：

(1)磁鐵數量越多，動能遞減趨勢越明顯(2)磁鐵數量越多，系統摩擦力越大(3)外圍磁鐵越多，動能傳遞效果越好。



單顆動能遞減趨勢

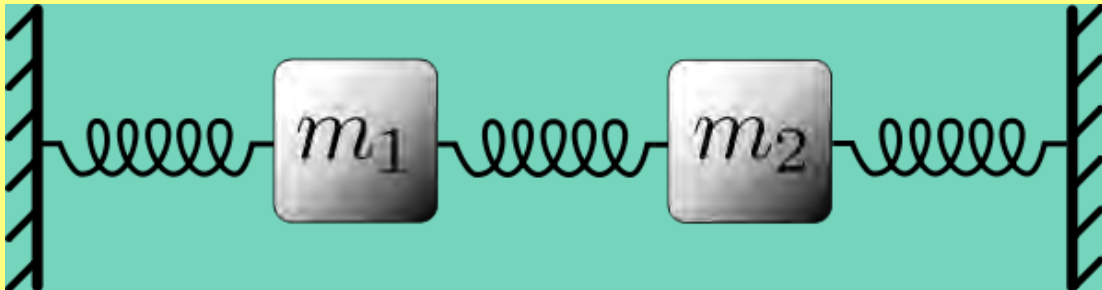
兩顆動能遞減趨勢

三顆動能遞減趨勢

四顆動能遞減趨勢

四、定義磁力震盪的物理意義：由耦合諧振子系統 two coupled harmonic oscillators(下圖)可解釋磁力震盪中力的作用情形。

N個相同質量的質點，以彈簧連結為一條一維的線形鏈條。



整個系統的哈密頓量是

$$H = \sum_{i=1}^N \frac{p_i^2}{2m} + \frac{1}{2} m \omega^2 \sum_{1 \leq i \leq N} (x_i - x_{i-1})^2$$

若 m_1 、 m_2 是由原本平衡的位置分別受到 x_1 、 x_2 的兩個力而產生位移

此時再受到兩個

$$M \ddot{x}_1 + (k + k_{12})x_1 - k_{12}x_2 = 0$$

振幅 B_1 、 B_2 與頻率

$$M \ddot{x}_2 + (k + k_{12})x_2 - k_{12}x_1 = 0$$

ω 的作用，在相對於

單位時間所施的力 $x_1(t)$ 、 $x_2(t)$ ，可整理成

$$x_1(t) = B_1^+ e^{i\omega_1 t} + B_1^- e^{-i\omega_1 t} + B_2^+ e^{i\omega_2 t} + B_2^- e^{-i\omega_2 t}$$

$$x_2(t) = -B_1^+ e^{i\omega_1 t} - B_1^- e^{-i\omega_1 t} + B_2^+ e^{i\omega_2 t} + B_2^- e^{-i\omega_2 t}$$

根據此關係式可得出兩個獨立的擺盪座標

$$\eta_1(t) = C_1^+ e^{i\omega_1 t} - C_1^- e^{-i\omega_1 t}$$

$$\eta_2(t) = C_2^+ e^{i\omega_2 t} - C_2^- e^{-i\omega_2 t}$$

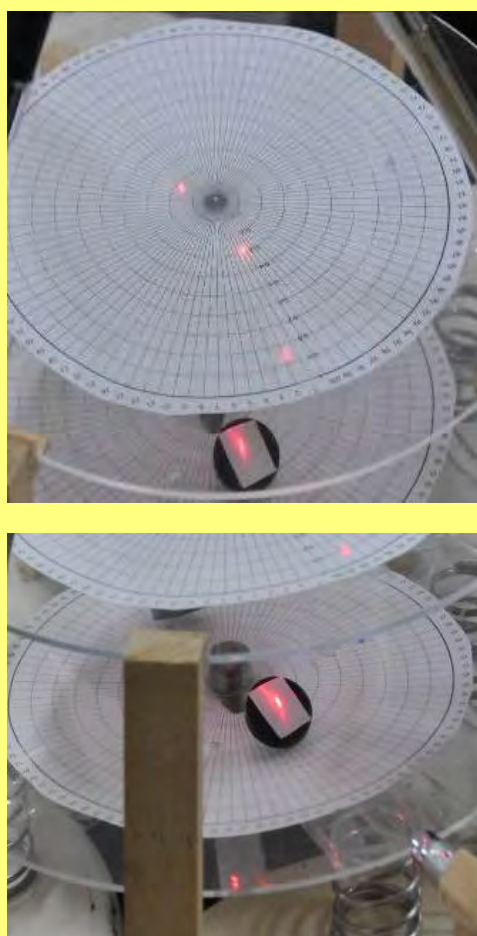
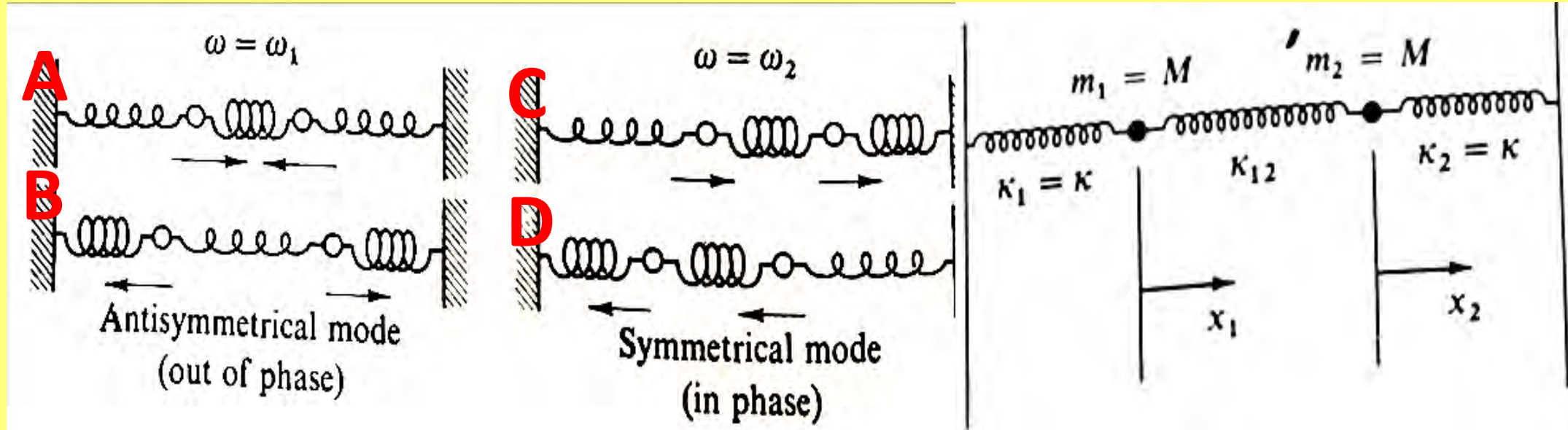
其中

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{k + 2k_{12}}{M}}$$

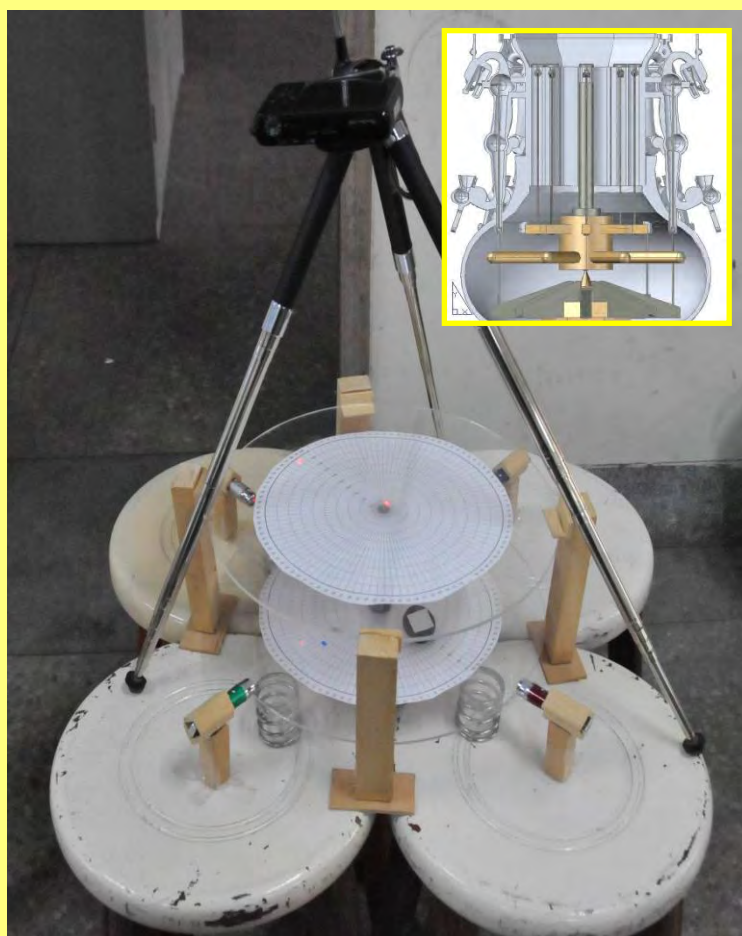
$$\omega_2 = \sqrt{\frac{k}{M}}$$

帶入 η_1 與 η_2 後，便有四種擺盪型態

A、B->反對稱不同相位 C、D->對稱同相位的



光感磁力式測震儀



磁震式發電機

柒、結 論

一、利用歸納影響磁力震盪變項，推論調控擺盪可行方法，加上利用簡單簡單材料，加上一些巧思與不斷嘗試，成功設計出磁力震盪測量器，還看到意外的驚喜與發現。透過實驗證明：磁鐵的直徑、厚度、離中心點距離、外圍排列磁鐵數量與相應夾角等，各變項間都有會相互影響。

二、比較形狀、距離、數量與夾角之間的相互影響

- 1.改變夾角的不對稱偏斜，可以調整磁鐵擺盪的頻率。
- 2.增加磁鐵數量、縮短外圍磁鐵間距與降低中央磁厚度，可延長磁力傳遞的效果。
- 3.從震盪頻率平衡過程中的時間差，可推算力的來源方向與強度。

三、外圍磁鐵數量越多，磁力(動能)的傳遞效果就越好，但系統的摩擦力也會因而增加，反而加速能量遞減的幅度。

四、磁力震盪是磁鐵平衡時受吸、斥力作用，如同固定在物體兩邊的彈簧般，可用耦合諧振子系統 two coupled harmonic oscillators 來解釋，就像 N 個相同質量質點以彈簧連結為一條一維的線形鏈條。

五、磁鐵擺盪時應受吸、斥力同時作用的合力結果，而吸、斥力(對稱或不對稱)所形成的合力，便產生同步或不同步的擺盪結果，加上還可能受到擺盪磁鐵與桌面間的摩擦力、空氣阻力、擺放位置的幾何誤差、磁鐵的磁力不同等因素影響，最後便會產生反對稱不同相位 Antisymmetrical mode/out of phase(相對vs相離)與對稱同相位 Symmetrical mode/in phase(同上vs同下)等四種擺盪型態。

參考資料

白允禔、羅乙珊、吳亞如、孔令宇、胡博仁(2008)：磁中乾坤--探討磁力的特性及其應用。中華民國第48屆中小學科學展覽會
倪呈旭、倪呈豪(2016)：磁鐵在變動磁場中的舞動。中華民國第56屆中小學科學展覽會。
科學玩具柑仔店(Darling の 優) (2009)：科學玩具-磁學-金屬史萊姆。網址：http://kingdarling.blogspot.tw/2013/01/blog-post_9904.html