

2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 160006
參展科別 物理與天文學
作品名稱 變動磁場下磁浮振盪的運動分析
得獎獎項 大會獎 四等獎

就讀學校 臺北市立麗山高級中學
指導教師 徐志成、張良肇
作者姓名 邱子宸

關鍵詞 磁振盪(magnetic oscillation)、
鐵磁磁化(magnetization)、渦電流(eddy current)

作者簡介



我是邱子宸，目前就讀於臺北市立麗山高級中學數理資優班二年級。我在學校的專題初探特色課程中，啟發了我對物理探究實作的興趣，在一次又一次的實驗過程中，也真正體會到手腦並用解決問題的成就感。我非常開心能幸運通過 2021 年臺灣國際科學展覽會的初審，相信透過這次的競賽和觀摩，我能從中獲取到課本學不到的珍貴知識和經驗。

摘要

此研究期望找到穩定磁浮的方法及探討產生磁浮振盪的變因。首先利用吸附上鐵材的磁浮體，觀察其造成的磁浮減震。實驗過程藉由變動磁場，發現週期性變動的磁通量對鐵磁體的磁化及渦電流產生影響，進而改變磁振盪振幅。本實驗也利用了磁場的橫向位移帶動轉動中的磁浮體，藉此觀察磁浮體轉動對磁浮穩定的影響。研究結果得知磁場的交流頻率越大，會導致磁浮體所受斥力增加且鐵磁體形成的減振效果減緩。而磁浮體的轉速越快，周圍磁路分布越平均，越容易穩定隨載具移動。

ABSTRACT

This research expects to find a method of stabilizing maglev and discuss the variable causes of maglev oscillation. By attaching maglev obstacle with ferromagnetic material to observe the maglev oscillation absorption it produced. During the experiment, it was found that the periodically changing magnetic flux has an effect on the magnetization and eddy current of the ferromagnet by changing the magnetic field, and then increases the amplitude of the magnetic oscillation. This experiment also uses the lateral displacement of the magnetic field to drive the rotating maglev obstacle and observe the influence of the rotating maglev magnet. The research results show that the higher the alternating frequency of the magnetic field, the greater the repulsive force of the maglev obstacle, the lower the damping effect formed by the ferromagnet. The faster the rotating speed of the maglev obstacle, the more even the distribution of the surrounding magnetic circuit, and the easier it is to be driven by the displacing magnetic field.

壹、研究動機

在許多科幻電影中常出現利用凌空飄移、隔空移動的畫面，另人對這股無形的力量感到好奇。由於磁浮系統的幾項特性，諸如低噪音、低功率消耗（無摩擦）、高速、潤滑問題的減少等，所以常常被認為是增加能源轉換率的最佳做法之一。不過由於磁浮裝置不穩定與難以控制，許多能量轉換與隔空控制移動的科技仍尚未成熟或實際運用，本研究觀察轉動、強迫震盪、橫向移動等不同狀態下的磁浮體運動，進行運動分析，有助於未來儲能、避震、磁鉗等科技的發展。為找出能減緩磁振盪的方法，在實驗過程中發現吸附鐵磁性物質成效佳，且得到不均勻磁場轉動造成減阻效果下降的特殊結果，因而特別針對不均勻變動磁場的實驗結果進行探討。

貳、研究目的

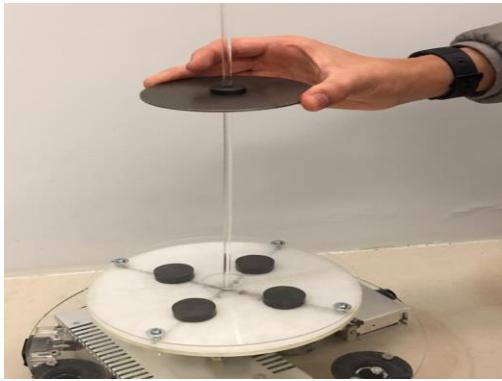
- 一、觀察吸上鐵磁材料磁浮體後的磁浮減震
 - (一) 吸附鐵片影響振盪振幅
 - (二) 吸附鐵片後的振盪達平衡時間
- 二、變動磁場對鐵磁體磁化及渦電流的影響
 - (一) 鐵磁體磁化強度與磁場變動頻率之關係
 - (二) 頻率增加產生渦電流進而增加向上斥力
- 三、研究磁場位移下磁浮體穩定磁浮的條件
 - (一) 磁浮體的轉速及磁通量對磁浮穩定程度(磁場最大位移量)的影響
 - (二) 磁場位移改變轉動中磁浮體的轉速

參、研究方法

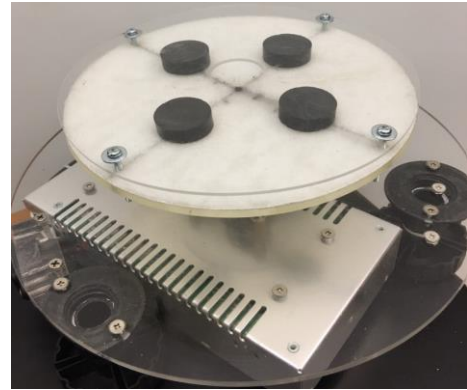
一、 實驗器材:

(一)磁振盪:

四顆磁鐵排列於馬達驅動的載具:



磁振盪實驗:



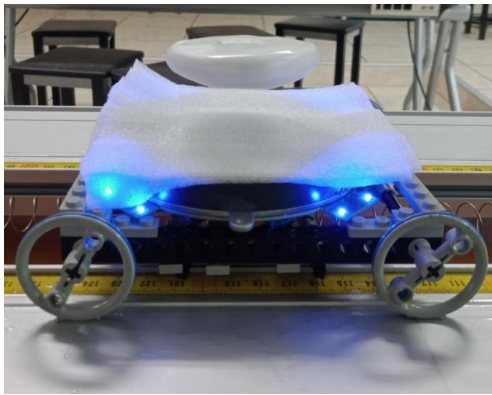
(二)磁浮磁鐵:

鐵片:

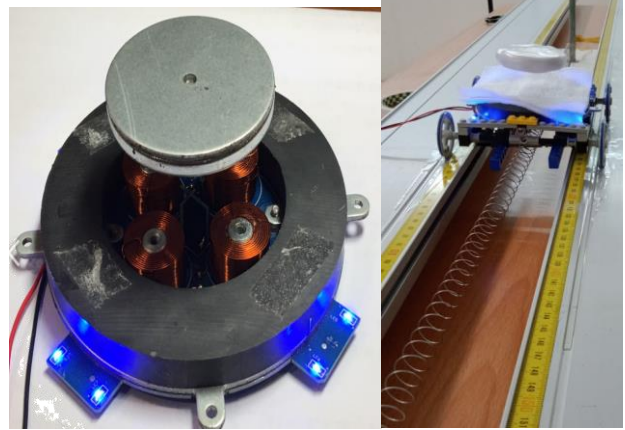


(二)轉動磁浮:

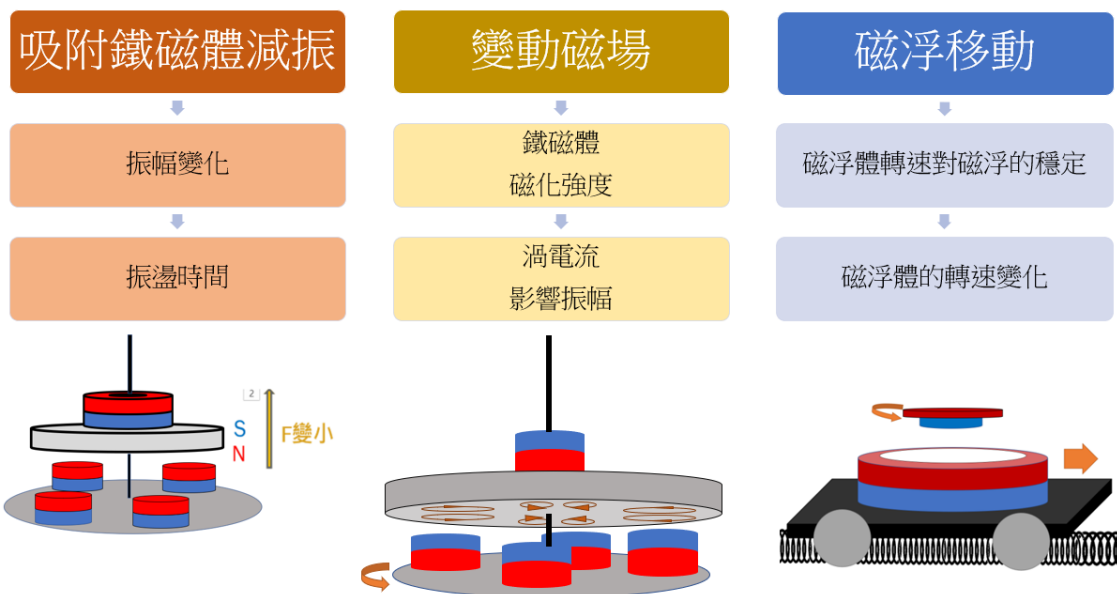
磁浮移動實驗:



電子控制磁浮裝置:



二、實驗流程



為尋求磁浮體在同樣高度落下能達到更低的振幅，利用鐵磁體的磁化減緩了垂直方向的振盪。但在第一階段實驗中仍發現鐵片容易受吸力傾斜，因而嘗試轉動載具。在轉動載具的實驗過程中意外發現磁浮高度增加故針對產生磁浮高度變化的變因進行研究。在各種實驗方法中，磁浮體的轉動最容易達到磁浮，故針對磁場變動對轉動磁浮體的影響進一步探討。

三、相關原理及公式

(一) 磁力:

1. 兩個條形磁鐵之間的力:

兩個排斥圓柱條形磁鐵的磁場，端對端放置的兩個相同的圓柱形棒狀磁體之

間的力大約為:

$$F \simeq \left[\frac{B_0^2 A^2 (L^2 + R^2)}{\pi \mu_0 L^2} \right] \left[\frac{1}{x^2} + \frac{1}{(x+2L)^2} - \frac{2}{(x+L)^2} \right]$$

B_0 是非常接近每個極的磁通密度，單位為 T

A 是每個極的面積，以 m^2 為單位

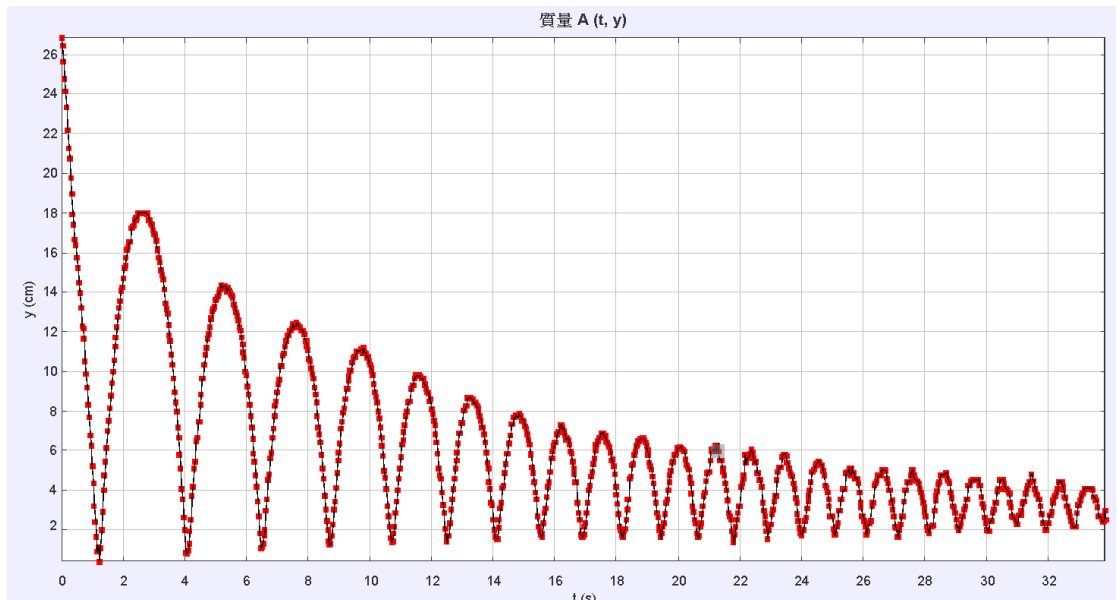
L 是每個磁鐵的長度，以 m 為單位

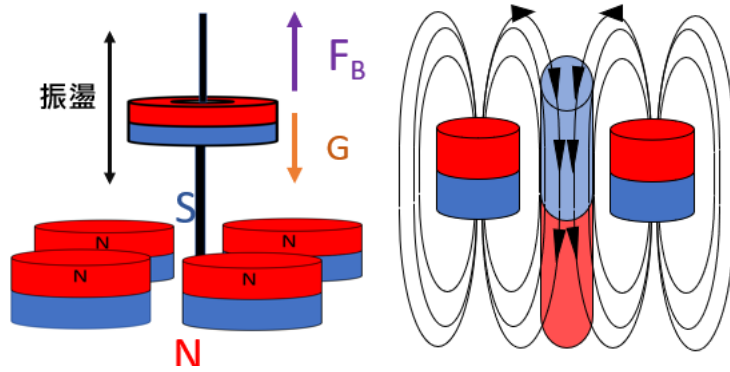
R 是每個磁體的半徑，以 m 為單位

x 是兩個磁體之間間隔，以 m 為單位

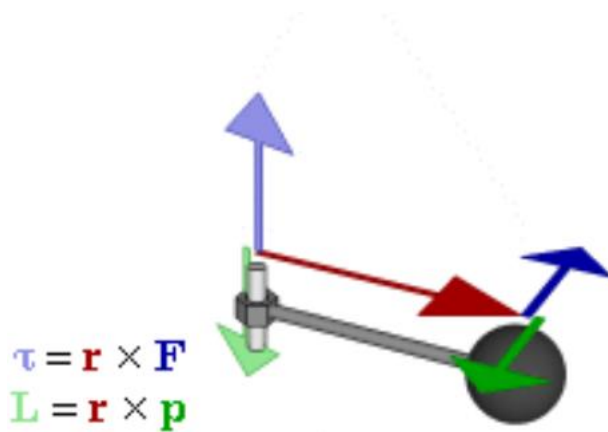
(二) 磁振盪:

由於磁力會隨距離而改變(反比於距離平方)，在當磁力與外力平衡時，磁鐵受力或產生位移，會產生如同彈簧受力般的振盪。但由於同向磁力隨著振盪的距離減小，磁鐵的振盪並非簡諧運動，重力與磁力交互作用下的磁振盪 x-t 圖的曲線如下:(初步實驗結果)





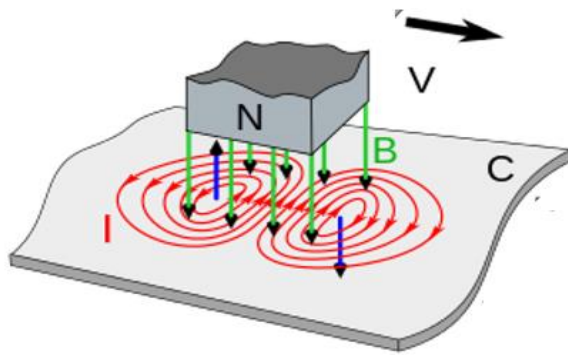
(三) 角動量:



一個自轉的裝置中，若為逆時針，會產生向上的力矩，若為順時針，會產生向下的力矩。應用於磁浮陀螺裝置上時，旋轉角動量能穩定磁鐵而不翻面。

(四) 渦電流:

為金屬材料內電子環狀移動的現象。由於一個移動的磁場與金屬導體相交，或是由移動的金屬導體與磁場垂直交會所產生，但在理想勻強磁場中不會產生渦流。本研究利用轉動中的磁場影響固定的鐵材，讓鐵材上渦電流產生面積更大，且磁場變動頻率更高。



$$P = \frac{\pi^2 B_p^2 d^2 f^2}{6k\rho D}$$

P: 每單位質量的功率損耗 (W / kg),

B_p : 峰值磁場 (T)

D: 薄片的厚度或線的直徑 (m),

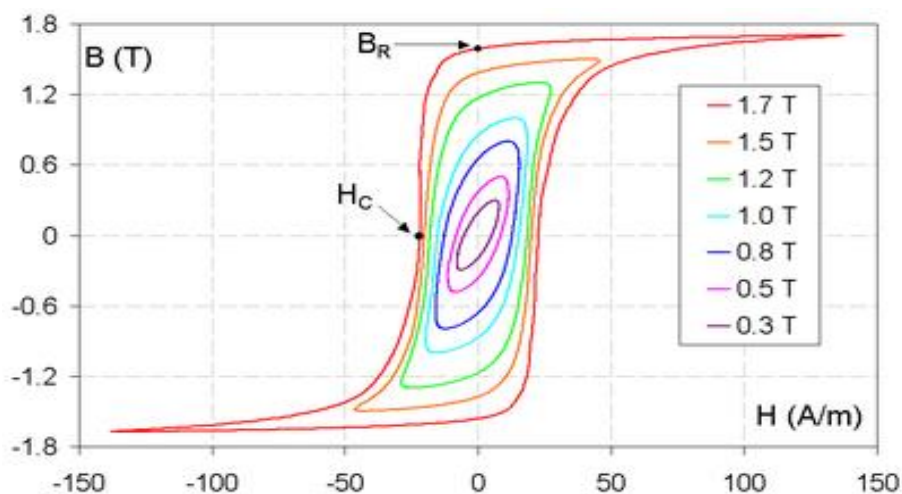
F: 頻率 (Hz),

K: 一個常數, 對於薄板等於 $1/\rho$ 是材料的電阻率 (Ωm)

D: 材料的密度 (kg/m^3)

(五)、磁滯曲線:

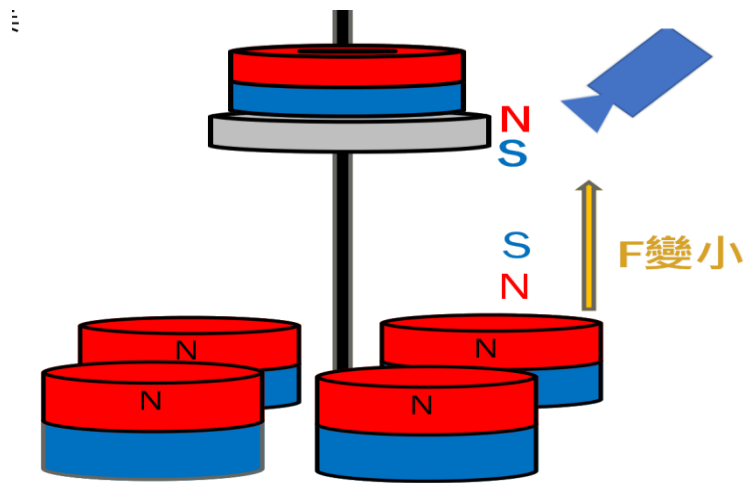
磁滯現象是指鐵磁性物理材料 (例如: 鐵) 在磁化和去磁過程中, 即使當外加場被撤離, 部分排列仍保持, 該材料被磁化。磁性材料的矯頑力一般是用量測磁滯曲線 (也稱為磁化曲線) 來求得有些材料的矯頑力會隨頻率而增加。下圖為標準磁滯曲線。本研究利用磁浮體上的鐵磁在接近載具時受到磁化產生的吸力減緩振盪。



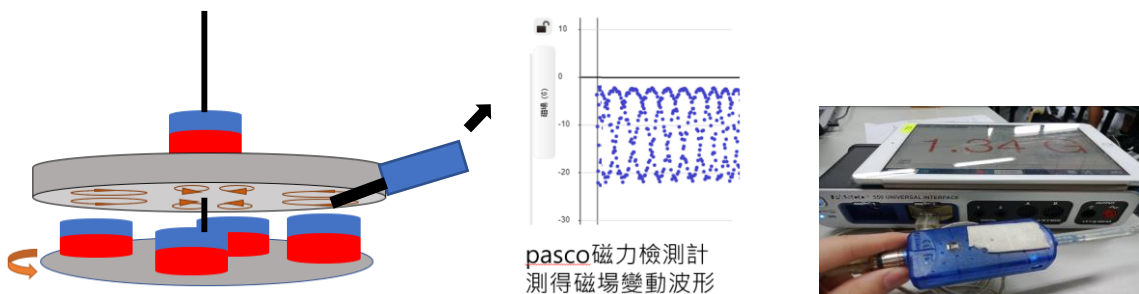
四、實驗設計與方法:

(一)實驗一添加軟磁性物質:以下圖之設計, 觀察磁浮體從距離環形磁鐵固定高度放

手時，利用攝影機及 tracker 軟體觀察下方載具磁鐵斥力引發的磁振盪週期與頻率。



(二)實驗二**變動磁場**: 在控制馬達轉動磁浮載具的轉盤轉速，產生週期性的變動磁場觀察磁浮體震盪的變化。



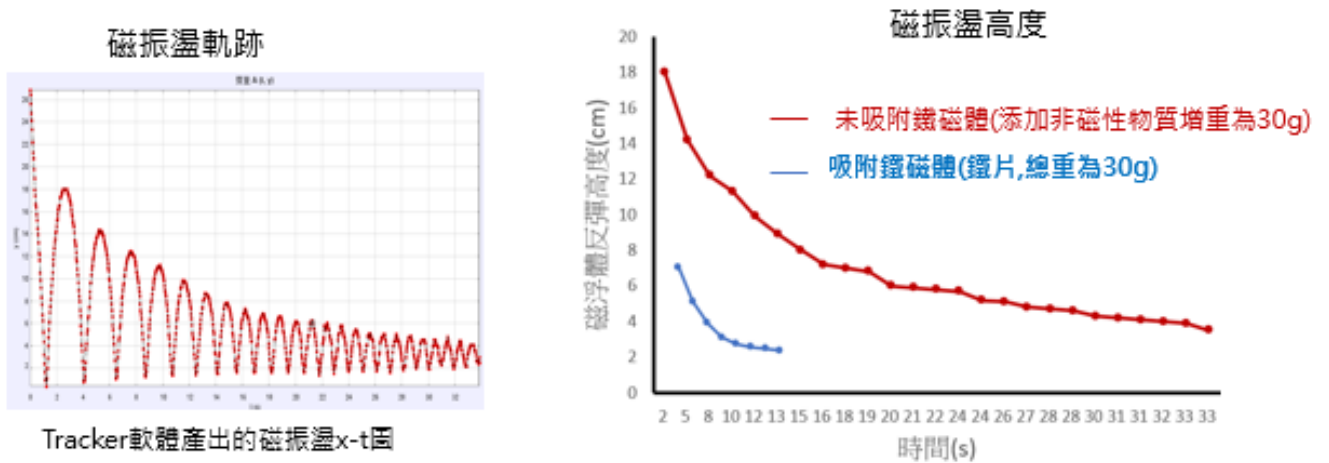
(三)實驗三: 依下圖所示，將環形載具至於彈簧連接的滑車上，將彈簧拉至一定位置後釋放進行簡諧運動，觀察磁浮體的運動。

1. 將滑車拉到不同位移量釋放，觀察不同磁場強度及轉速的磁浮體在多大的位移量之下被環形磁鐵吸附而無法穩定磁浮。
2. 將同一轉速的磁浮體拉至不同位移量釋放，研究磁浮體回到平衡點瞬間的轉速變化

肆、結果

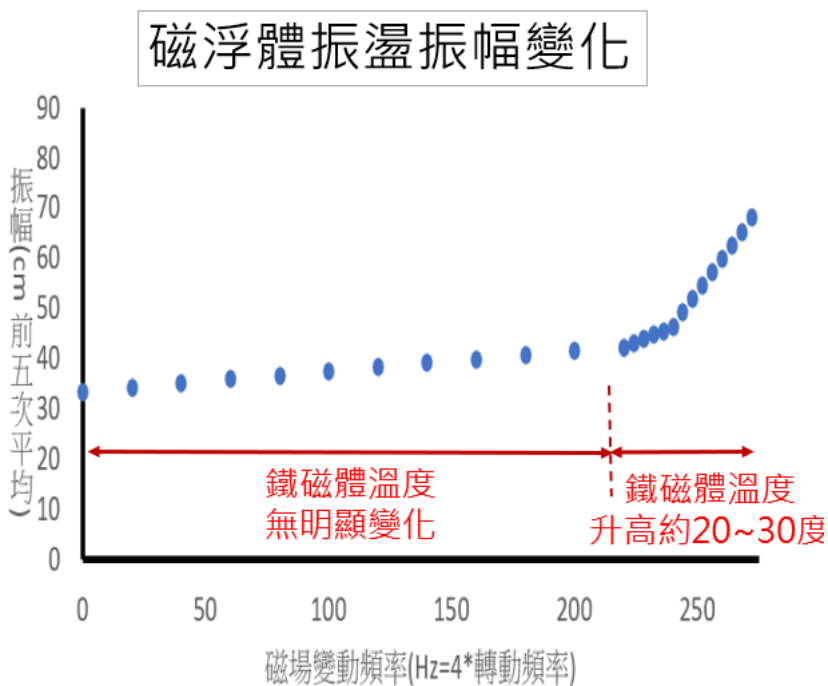
一、吸附鐵磁體對磁振盪高度的影響:

1. 最大振盪高度降低 59% (由 18.4cm 降低至 7.4cm)
2. 振盪時間減少 67% (33.2 秒降低至 11.2 秒)



二、磁場變動頻率對磁浮體振盪振幅的影響:

1. 變動頻率由 0 增至 240Hz 時，振幅接近線性增加，由 33.6cm 增至 46.5cm
→ 約 0.053cm/Hz
2. 變動頻率增至 244~284Hz，振幅增加速率明顯上升(二次函數)→約 0.6675cm/Hz

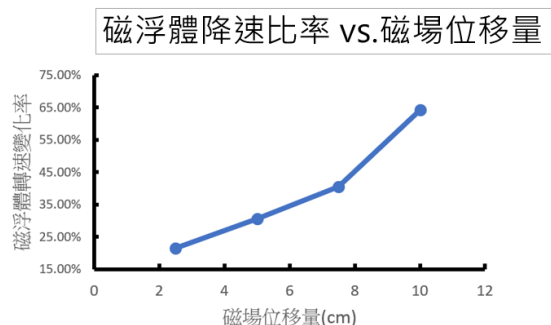
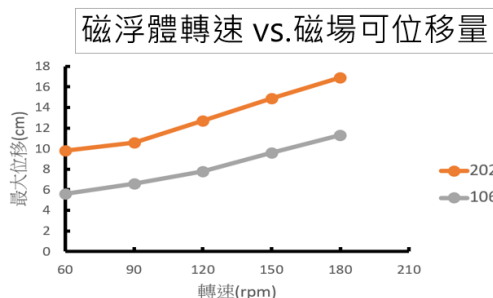


推測磁場高頻變動時，因渦電流效應使振幅快速增加，故於磁場變動作用 5 分鐘後測量鐵磁體溫度，發現於磁場變動頻率超過 248Hz 時，鐵磁溫度亦明顯升高

磁場變動 頻率	100	200	248	280
溫度上升 (K)	0	0.7	20.8	29.6

三、維持磁浮體穩定下，磁浮體轉速與磁場可位移量之關係:

1. 磁浮體轉速達 60rpm 以上時，移動磁場仍可維持磁浮體穩定，且磁浮體轉速由 60rpm 增加至 180rpm，磁場可位移量由 5.8cm 增至 10.2cm。
2. 磁浮體磁通量加倍(1066gauss→2028gauss)，磁場可位移量增加 1.6~1.7 倍。
3. 磁場位移將使磁浮體轉速降低，且磁場位移量 2.5cm 增至 10cm 時，磁浮體轉速降低以率由 18%增至 64%。



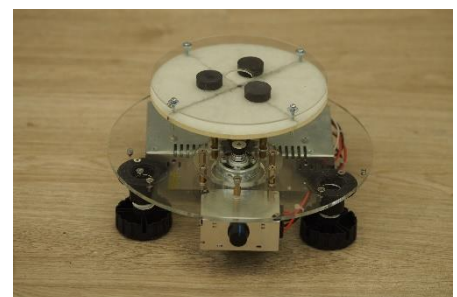
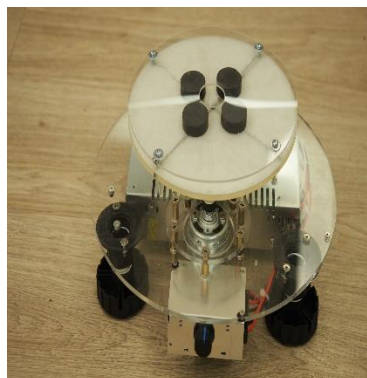
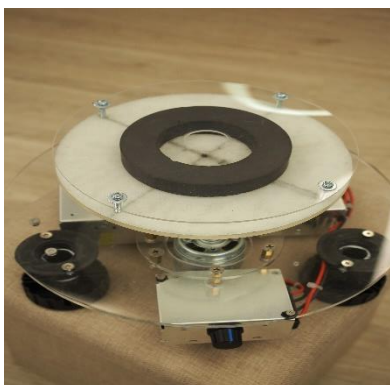
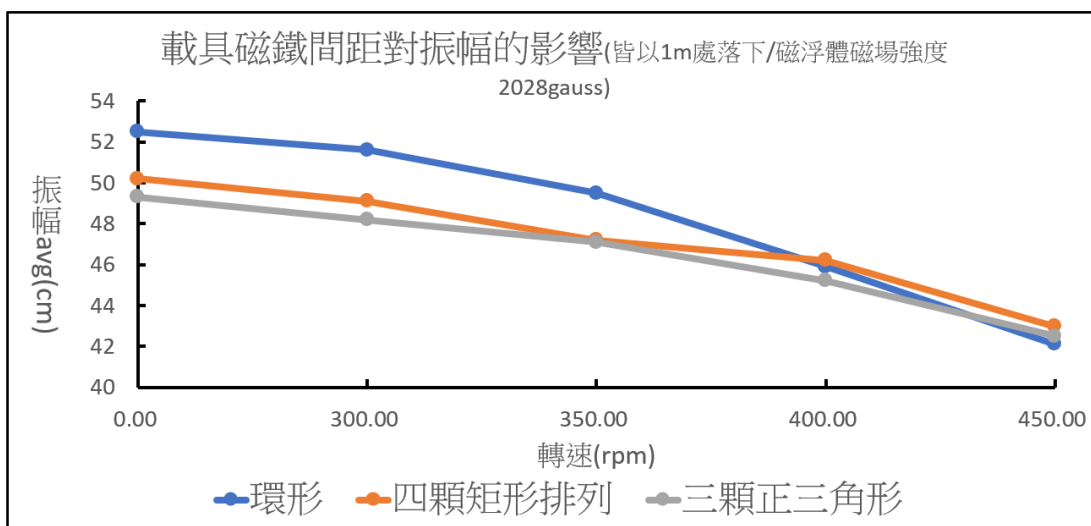
- 磁場位移係以5.71kg/cm的彈簧連接240g的設備進行簡諧運動

四、數據總整理&其他

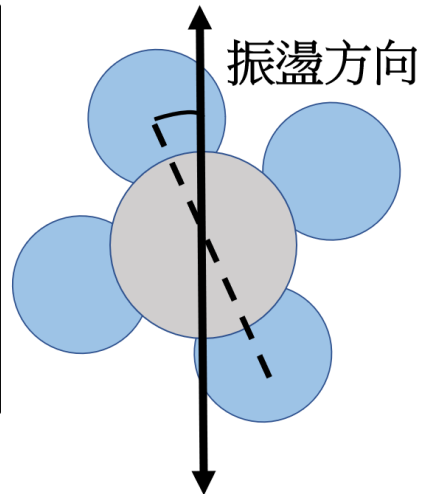
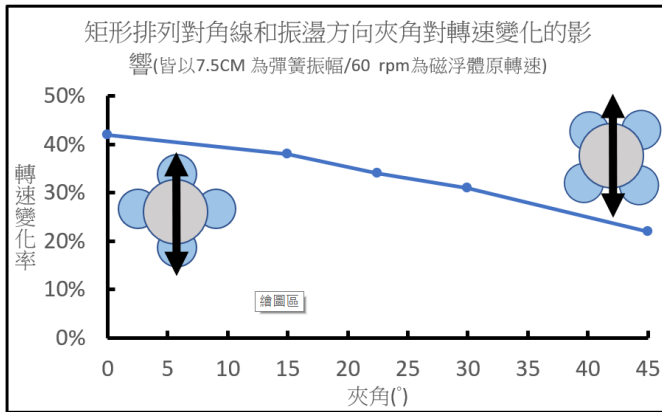
規格:外徑*內徑*高-磁場 (mm/高斯)	磁鐵溫度(c)	載具型態	載具轉動轉速 (rpm)	最大振幅(cm)	達平衡之時間 (s)	震盪平均頻率 (次/s)
-----------------------	---------	------	--------------	----------	------------	--------------

鈷鐵硼								
環形磁鐵	20*8*15-4900(細長)	80	環形	150	45.2	13	4	
	20*8*15-4901(細長)	80	四顆矩形 排列	150	38.3	13	5	
	20*8*15-4902(細長)	5	環形	300	75.4	14	7	
	20*8*15-4903(細長)	5	環形	150	69.8	14	6	
	20*8*15-4904(細長)	22	環形	150	60.5	12	3	
	28*12*6.5-4500(寬扁)	22	環形	150	73.4	14	6	
	28*12*6.5-4501(寬扁)	22	四顆矩形 排列	150	65.6	15	6	
	28*12*6.5-2800(磁場 弱)	22	環形	150	39.2	10	4	
	28*12*6.5-2801(磁場 弱)	22	四顆矩形 排列	150	34.6	10	5	
環形磁鐵+鐵片	20*8*15-4900(細長)/ 50*0*3.2(寬扁)	22	環形	150	59.3	8.9	4	
	20*8*15-4901(細 長)/30*0*6.3(細長)	22	環形	150	62.1	9	3	
	28*12*6.5-4500(寬 扁)/30*0*6.3(細長)	80	環形	150	50.2	8.9	3	
	28*12*6.5-4500(寬 扁)/30*0*6.3(細長)	22	環形	150	64.3	9.1	4	

28*12*6.5-4500(寬扁)/30*0*6.3(細長)	5	環形	150	63.8	9	3
28*12*6.5-4500(寬扁)/30*0*6.3(細長)	5	環形	300	69.8	9	4
28*12*6.5-2801(磁場弱)/30*0*6.3(細長)	22	環形	150	34	7.4	2
28*12*6.5-2801(磁場弱)/30*0*6.3(細長)	22	四顆矩形排列	150	41.5	8.5	3



浮體磁場強度(高斯)	振幅(cm)	原轉速 (rpm)	最大振幅(cm)	轉速變化 (rpm)
3000		0	15.5	
1486		120	10.1	
1486		0	6.5	
3000	2.5	120		41.7
3000	5	120		75.8
3000	7.5	120		105.9
3000	5	240		47.4
3000	7.5	240		67.3
1486	2.5	120		71.8
1486	5	120		80.2



伍、結論

一、磁振盪:

- (一)磁浮體吸附鐵磁體(鐵片)能藉由磁化效應大幅降低磁振盪振幅。
- (二)快速變動的磁場下，變動頻率越大，鐵磁性物質受磁場磁化的現象會明顯減弱，故減振效果較差。
- (三)磁場變動頻率達一定數值時，渦電流效應明顯增強，降低減振效果。

二、偏移磁浮&轉動磁浮體:

- (一)旋轉磁浮體可於磁場水平移動時維持磁浮體穩定，且磁浮體轉速愈高磁場可移動範圍越大。
- (二)磁浮體的轉速會因為下方磁場的水平振盪而減少，且磁場移動距離愈大，磁浮體轉速降低愈明顯。

陸、討論

一、待深入探討:

(一)磁場變動頻率增加使鐵磁體的磁化強度降低的原因

推測:矯頑力會隨頻率越大而增加，故頻率越大，鐵片越不易受與原本磁化磁極(受磁浮體磁化)相反的磁場磁化

(二)磁浮體轉速因磁場移動而降低的原因

推測:實驗過程中發現磁浮體自轉軸改變

(三)渦電流效應於磁場變動達一定頻率後特別明顯之原因

推測:鐵片在本身已被磁化的條件下需要更高的磁場變動頻率才能產生渦電流

二、創新應用:

(一)在渦電流增加振幅的過程中可從磁浮體的運動行為得知渦電流造成

的總能量變化，應能推算出鐵片的電導率(已知鐵片密度、磁場峰值和頻率))

(二)本實驗探討之影響磁振盪因素，可能運用於磁浮避震之控制。

柒、參考資料

- (一) 邱嵩庭、廖卉馨、梁晉維。反轉式風力發電之磁浮轉子研究之探討。2014 年臺灣國際科學展覽會。臺北市立麗山高級中學。
- (二) 黃品函;阮羿寧;陳彥洋。「煞」費苦心-探討渦電流在磁煞車上的應用。臺灣國際科展。
- (三) Magnetic games。Magnetic levitation experiment。YouTube。網路
- (四) Physics fun。Magnetic flywheel storage。YouTube。網路

【評語】 160006

作者藉由分析磁浮體在不同狀態下磁路的變化，利用溫度、材質、磁化等方式影響磁振盪，並找出改變磁浮體轉動及偏轉狀態的方法，進而研究磁斥力下磁鐵振盪、磁浮體轉動的飛輪儲能裝置效率以及作用。參數內容豐富，實驗物理內涵豐富，觀察紀錄完整，結果顯示轉動中不均勻的磁場可強化磁浮的穩定性。可再多往應用層次思考。說明清晰，表達良好。