

# 臺灣二〇〇八年國際科學展覽會

科 別：物理與太空科學

作品名稱：磁剎車系統探討

學校 / 作者：臺北市立麗山高級中學  
臺北市立麗山高級中學

蔡宜芳  
蔡嘉羚

## 作者簡介



### 蔡宜芳

從小，我對於許多的自然現象都感到很好奇「為什麼為什麼」這大概是我小時候最愛說的話吧，等到上了國中、高中之後，漸漸的有接觸到物理，後來開始和同學一起研究一起做實驗，開始了解角速度、磁力、渦電流…等，並且在競賽期間，累積到經驗和報告的能力，還有面對壓力時該如何處理，未來我希望可以在物理的領域中學到更多的知識，最後我要深深的感謝指導我們的老師，謝謝他們的教導與支持。



### 蔡嘉羚

國中時就對物理的課程相當感興趣，升上高中以後，得知有物理方面的研究課程，開始接觸物理的研究，在這之中學到了很多物理的相關知識、物理實驗的方法、寫報告的方式，也累積了許多上台報告的經驗，這些都是很難得的經驗，很高興我有這個機會能參與研究，很感謝老師的指導。

## 摘要

本研究探討運用磁場來達到非接觸煞車的功能，本實驗採用兩種方式來探討磁煞車力，分別為馬達有外加電流及沒有外加電流的情況。首先本實驗提供一穩定的電源使鋁盤轉動，觀察加上磁場及把電源切掉後鋁盤轉速的變化。實驗發現，當馬達沒有外加電流時，磁煞車力與轉速及磁場平方皆成正比；馬達有外加電流時，電流差會與轉速平方差成正比。探討磁煞車力與厚度及介質的關係，實驗結果發現，渦電流常數與厚度成正相關，且當兩片鋁片中夾有介質時，渦電流常數較小。

## Abstract

This experiment is based on the magnetic brake's practical uses and braking forces. We want to calculate the braking force, and also examine the factors that cause the braking force to differ. We attached a metal disk to a motor to make the disk rotate, then we control the distance between the magnet and the metal disk, therefore measuring the relativity of the distance and the rotational speed. We discovered that when the metal disk received a large quantity of the magnetic field (close distance), the breaking force and the rotational speed increased. On the other hand, when the metal disk received a small amount of the magnetic field (far distance), the breaking force and the rotational speed decreased. The magnetic braking force will convert into kinetic energy, thus, by using this connection and also by increasing the electric current to measure the resistance, we calculated the magnitude of the magnetic braking force. Hence we perceived an inverse ratio between distance and the braking force, that is to say, the closer the distance, the stronger the magnetic braking force; the further the distance, the weaker the magnetic braking force.

# 壹、前言

## 一、研究動機

看到捷運的煞車，心裡就存著疑惑：到底龐大的列車是如何停止的？因此想探討其煞車系統，經由資料查詢得知在車輪上加裝電磁鐵，當電磁鐵接通電流時，可產生減速效果。我們想要了解磁煞車究竟是如何運用磁來做到煞車的功能，到底磁力可以做到多大的力量？我們想研究它的原理和其實用性。我們想要用有負載及無負載兩種方式探討磁煞車力，

## 二、研究目的及研究問題

- (一) 探討無電流負載時影響磁煞車力的因素
- (二) 探討有電流負載時磁煞車力產生的角速度變化
- (三) 探討厚度與介質對常數的影響

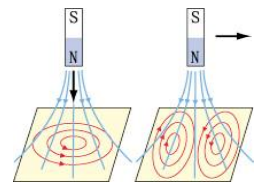
## 三、文獻探討

### (一) 電磁感應

當磁棒通過線圈時會使線圈的磁通量( $\Phi$ )發生變化並在線圈上產生感應電動勢(emf,  $\varepsilon$ )。這也就是法拉第所提出的法拉第電磁感應定律，

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt}$$

N 是線圈上的圈數， $d\phi/dt$  是線圈的磁通量改變速率。



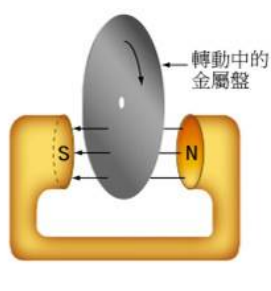
### (二) 冷次定律

當線圈與磁鐵之間有相對運動時，感應電流的方向是使線圈所生的磁場阻止其相對運動，稱為冷次定律。

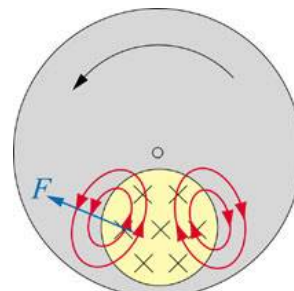
### (三) 渦電流

當通過導體板的磁通量改變時，會產生一感應電流來抵抗磁通量改變，由於在導體板上所產生的感應電流類似漩渦狀，故稱為渦電流。

根據下圖（二），在磁場區域中的線圈部分會受到一向左的磁力作用。因此渦電流的存在會對金屬盤的運動產生阻尼作用。



圖一 一金屬盤在一對磁極之間轉動



圖二 圖二為圖一的前試圖

#### (四) 馬達無外加電流時的磁煞車力

感應電動勢： $\varepsilon = v B l$                       推得轉動時 $\rightarrow \varepsilon = \omega B r$

$$I_m = \varepsilon / R = \omega B r / R$$

載流導線在磁場中所受的力： $F = I_m l B$

推得轉動時 $\rightarrow \tau = I_m r B = I \alpha$

$$\rightarrow \tau = k_0 I_m r B = k_0 \omega B^2$$

依文獻推導出 $\rightarrow \alpha = k_0 \omega B^2$

$k_0$ —為一常數，和磁距、導體的電導率以及導體和磁鐵的幾何形狀有關

$\varepsilon$ —感應電動勢

$I_m$ —感應電流

$R$ —電阻

$\omega$ —鋁圓盤的角速度

$B$ —磁場

$r$ —鋁圓盤半徑

$\tau$ —力矩

$I$ —轉動慣量，圓盤的轉動慣量為  $1/2 * mR^2$ ， $R$  是圓盤半徑

$\alpha$ —角加速度

#### (五) 磁煞車力作功轉換成轉動動能加電能

我們推算磁煞車力作功可以轉換成轉動動能加電能，推測其關係式為：

$$P_{\text{磁煞車}} = P_{\text{電能}} + P_{\text{動能}}$$

$$P_{\text{磁煞車}} = \tau \omega = k_0 \omega B^2 \omega = \omega^2 B^2$$

$$P_{\text{動能}} = 1/2 I \omega^2$$

因此由實驗猜測  $\rightarrow \Delta I = k_2 \Delta \omega^n$

$\tau$ —力矩

$\omega$ —鋁圓盤的角速度

$B$ —磁場

$I$ —轉動慣量，圓盤的轉動慣量為  $1/2 * mR^2$ ， $R$  是圓盤半徑

$\Delta I$ —馬達的外加電流

$\Delta \omega$ —鋁圓盤的角速度差

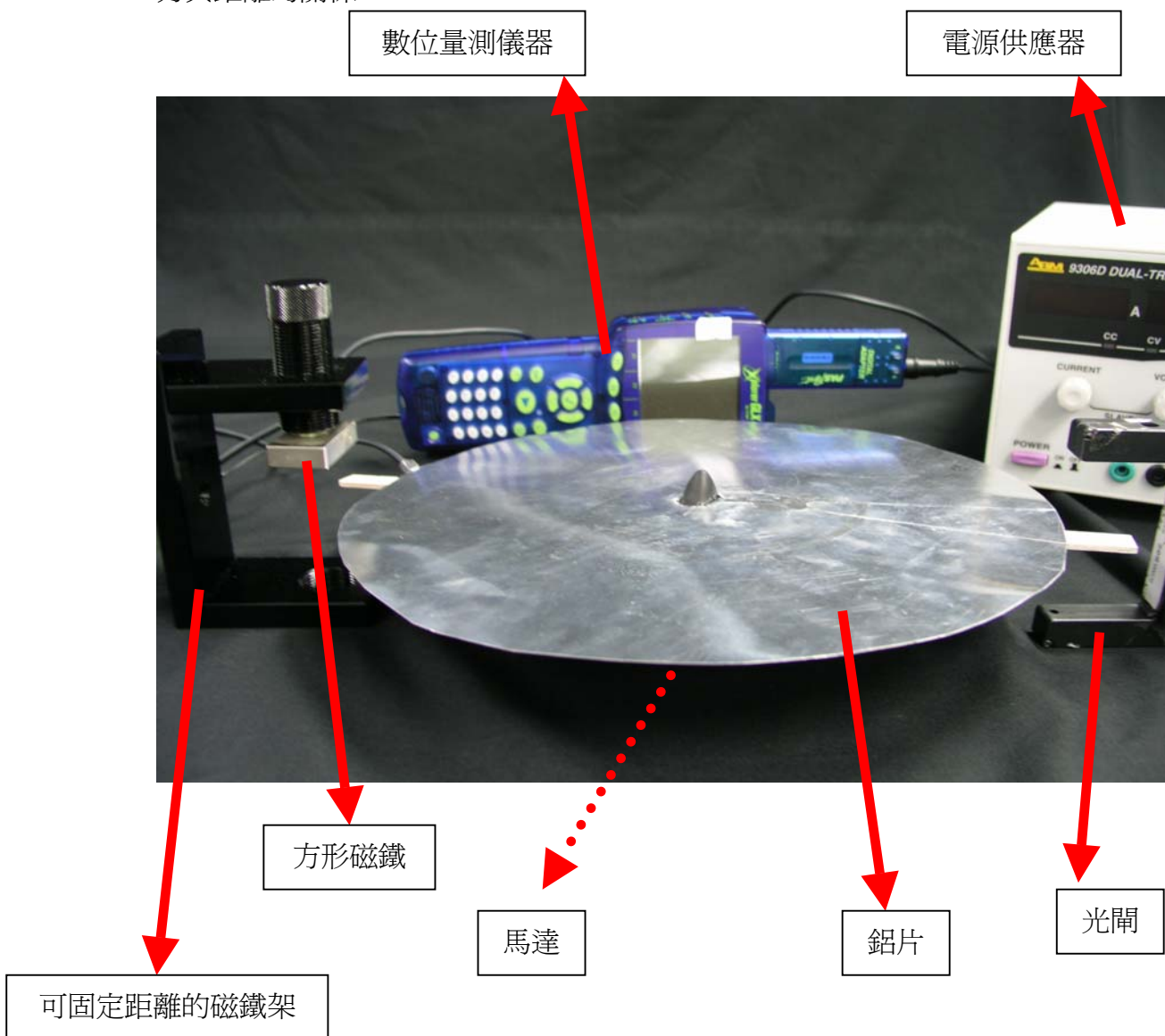
## 貳、研究過程與方法

### 一、實驗器材

- (一) 可固定距離的磁鐵架
- (二) 方形磁場固定的磁鐵
- (三) 鋁片
- (四) 馬達
- (五) 電源供應器
- (六) 數位量測儀器
- (七) 光閘

## 二、實驗裝置圖

使一鋁圓盤接上馬達，用電源供應器使之轉動，放上磁鐵，改變磁鐵與鋁圓盤的距離，用數位量測儀器的光閘感應器測量時間的變化，藉此計算角速度的變化，想探討磁煞車力與距離的關係。



圖三 實驗裝置圖

圓盤磁煞車實驗：  
1. 量測方法

我們在鋁圓盤上半圓的兩邊作一個外凸的標記，用數位量測儀器的光閘測量每經過半圈的時間，藉以計算圓盤的角速度。

## 2. 改變的變因

### (1) 改變磁鐵與鋁圓盤的距離

維持一定的電壓，改變磁鐵與鋁圓盤的距離，觀察角速度的變化及電流的變化，藉此以轉速動能變化及電能變化探討磁煞車力的大小。

### (2) 改變鋁圓盤的厚度

將鋁片分成一片、兩片及兩片中夾有介質的三種鋁片，觀察角速度的變化，藉此探討渦電流的常數。

## 3. 實驗步驟

### (1) 架設器具

### (2) 打開電源供應器

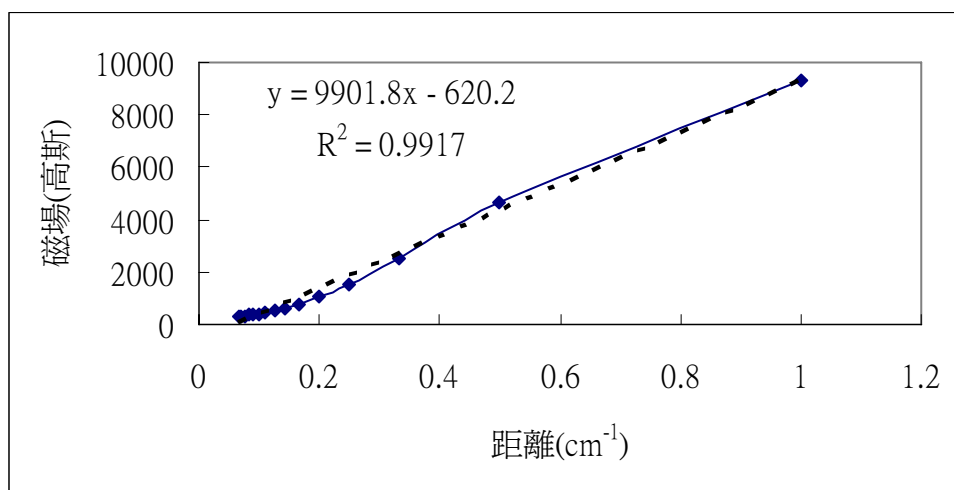
(3) 使鋁圓盤轉動到一定值，在使用數位量測儀器開始測量

(4) 加上磁鐵，在有外加電流的情況下觀察角速度變化

(5) 切掉外加電源，再無外加電流下觀察角速度變化

## 參、研究結果

### 一、前置實驗：測量加上的磁鐵的磁場與距離的關係

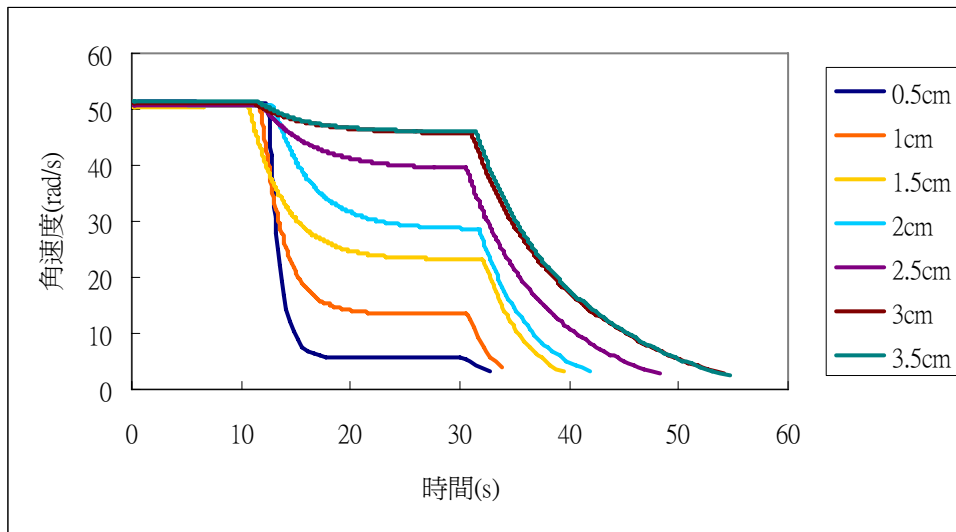


圖四 前置實驗圖—磁場與距離的關係

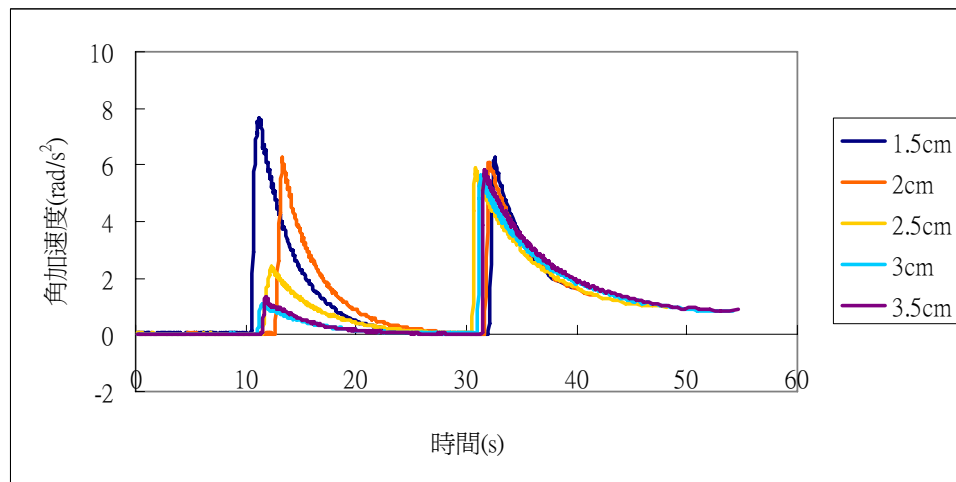
### 二、鋁圓盤與距離之間的關係

我們用電源供應器提供 6V 的電壓給馬達，使鋁圓盤轉動，用 PASCO 紀錄轉動的圈數，由轉動的時間與圈數計算出有磁場接近時的角速度變化。

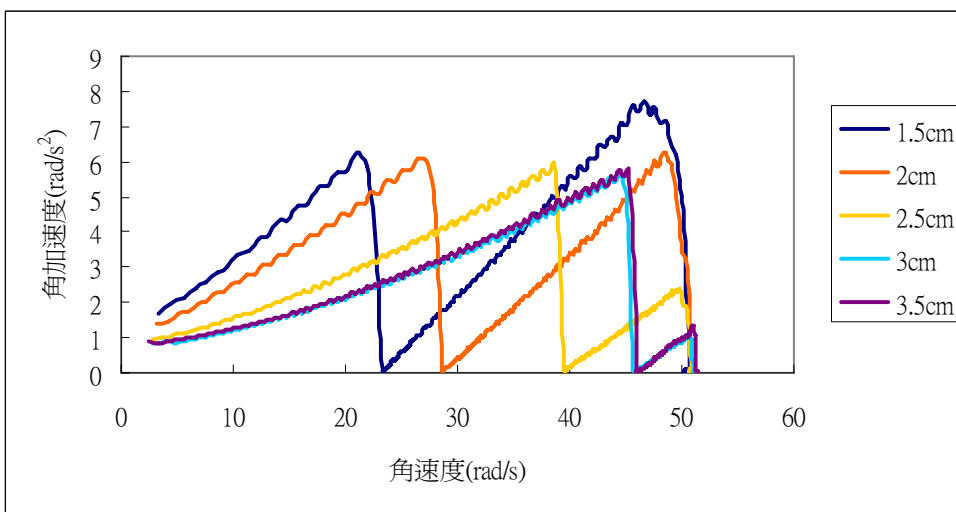
疊圖整理如下：



圖五 一片鋁片電壓 6V 的角速度與時間的關係圖



圖六 一片鋁片電壓 6V 的角加速度與時間的關係圖



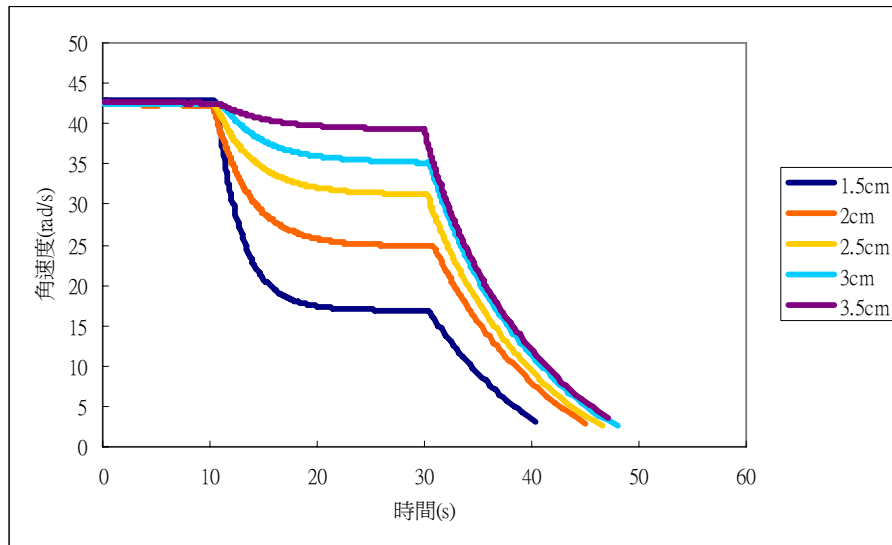
圖七 一片鋁片電壓 6V 的角加速度與角速度的關係圖

### 三、摩擦力與角速度之間的關係

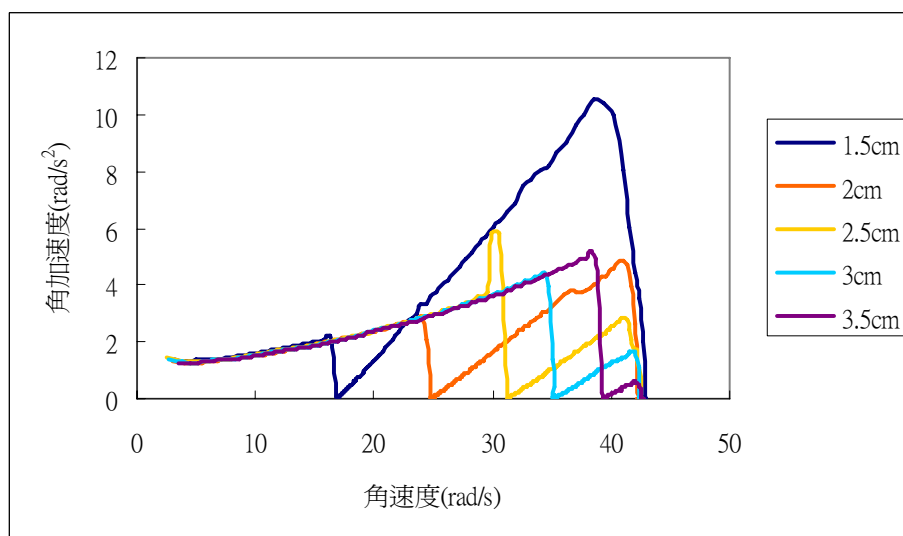


我們將鋁片供給一個穩定的電壓，加上磁場穩定後，同時切掉電源及拿掉磁場，觀察摩擦力與角速度的關係。

疊圖如下：



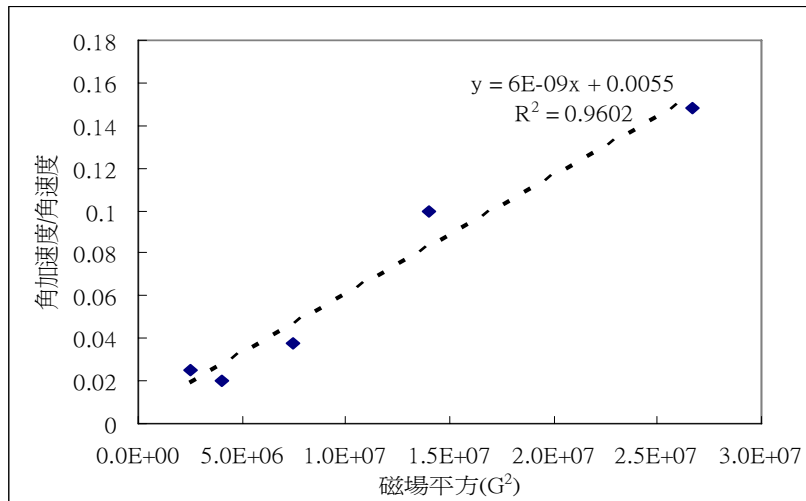
圖八 摩擦力的角速度與時間關係圖



圖九 摩擦力的角加速度與角速度關係圖

#### 四、磁煞車力與磁場平方的關係

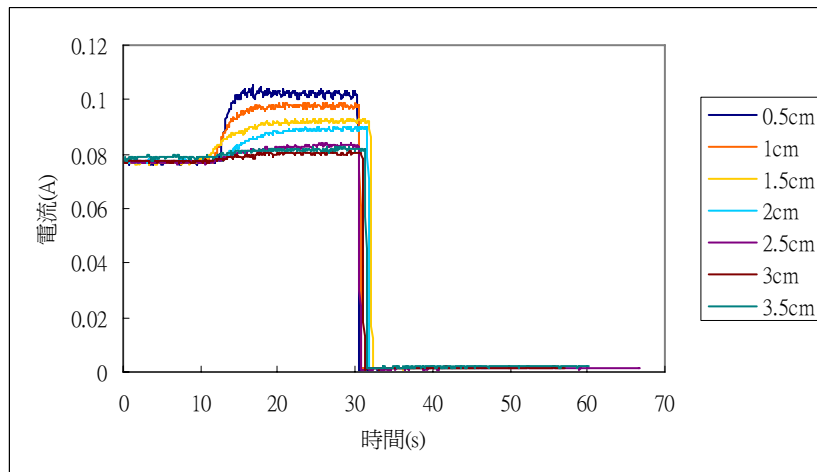
由推論可知磁煞車力與角速度及磁場平方皆成正比，觀察當無電流負載時磁煞車力對磁場平方的關係



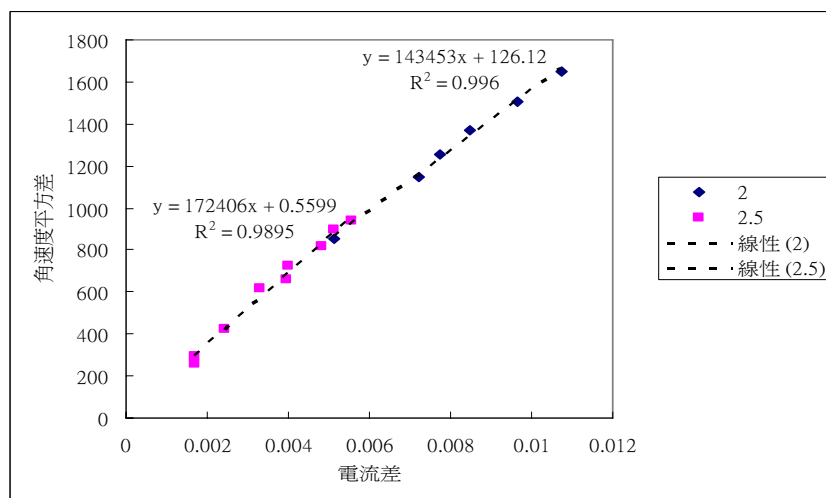
圖十 磁煞車力與磁場平方的關係圖

### 五、有馬達電流負載時磁煞車力的探討

當有馬達電流時磁煞車力與電流及角速度之間的關係。



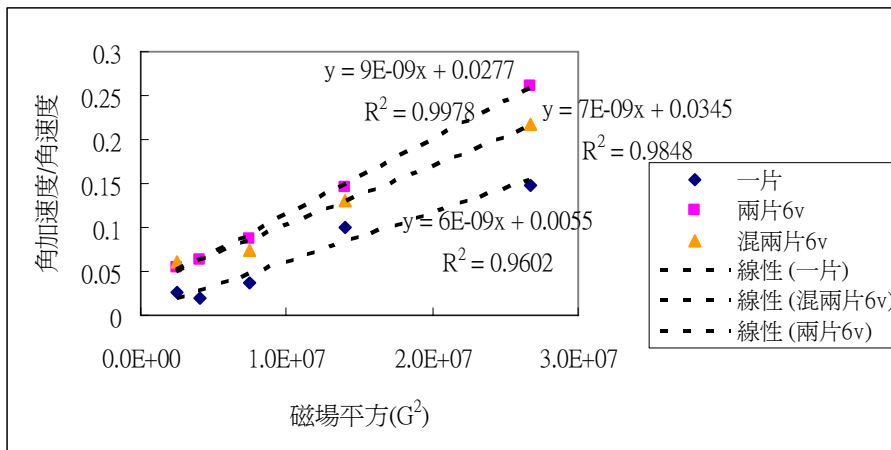
圖十一 有電流負載時馬達電流與時間的關係圖



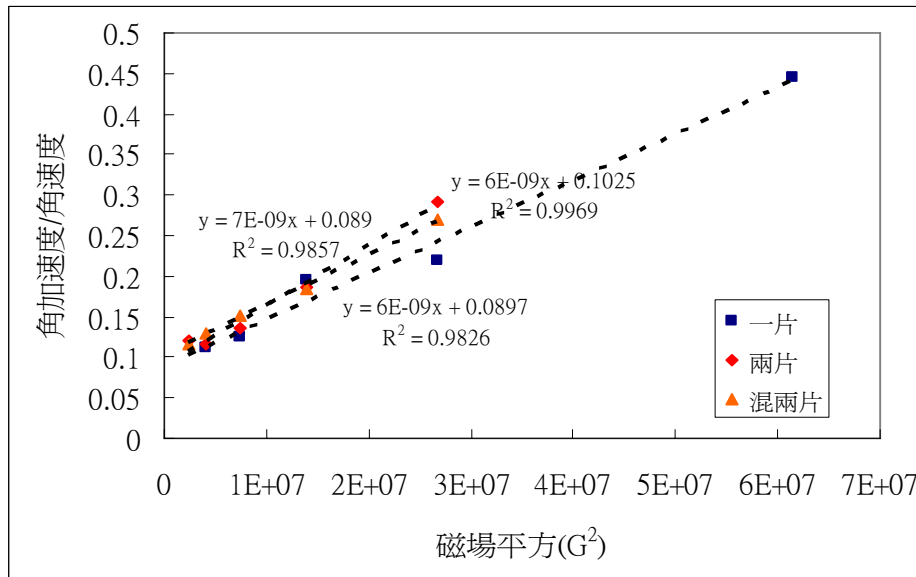
圖十二 有電流負載時角速度平方差與馬達電流差的關係圖

## 六、不同鋁片厚度及介質造成的影響

鋁片增加厚度及中間夾有介質的磁煞車力與磁場平方的疊圖。



圖十三 無負載時一片、兩片、兩片中夾有介質的鋁片磁煞車力與磁場平方疊圖



圖十四 有負載時一片、兩片、兩片中夾有介質的鋁片磁煞車力與磁場平方疊圖

## 肆、討論

- 一、前置實驗用數位量測儀器的磁場感應器測量，磁場與距離的關係，由圖四可得，磁場與距離倒數成正比。
- 二、實驗中調整磁鐵與鋁圓盤的距離，改變磁場大小，當距離越近所受磁煞車力越大，轉速變化量越大。
- 三、無馬達電流負載的條件下由圖七可得磁煞車力與角速度成正比。
- 四、在無負載的條件下探討磁煞車力時，考慮摩擦力的影響，使圓盤不受馬達電流負載及磁場的影響，僅受摩擦力而停止，由圖九可得摩擦力與角速度成正比。
- 五、扣掉摩擦力後由圖十可得，磁煞車力與磁場平方成正比，符合理論推導。
- 六、在有電流負載的條件下來討論磁煞車力，當圓盤加上磁場後電流會增加，轉速會變慢，

因此我們猜測當有馬達電流負載時  $P_{\text{磁煞車}} = P_{\text{電能}} + P_{\text{動能}}$ 。

七、又因為  $P_{\text{磁煞車}}$  會正比於轉速平方； $P_{\text{動能}}$  也會正比於轉速平方，由圖十二得知電流差與角速度平方差成正比，因此推得， $P_{\text{磁煞車}}$  與  $P_{\text{電能}}$  成正比。

八、探討渦電流常數發現：

1. 同一鋁片有無電流負載的渦電流常數實驗結果皆相同。
2. 兩片的渦電流常數較一片高與厚度成正相關。
3. 兩片中是否含有介質實驗中發現，有介質的鋁片渦電流常數較低。

## 伍、結論與未來展望

一、本研究發現不管有無電流負載都可以探討磁煞車力，且得到的結果皆符合理論。

二、當無馬達電流負載時磁煞車力與角速度及磁場平方皆成正比。

三、有電流負載的實驗可得，電流差與角速度平方差成正比，又因與推測的原理相符，可得電流與磁煞車力成正比的關係。

四、由實驗得知，渦電流常數：兩片鋁片 > 兩片有介質的鋁片 > 一片鋁片

五、未來展望：接下來我們想要深入探討表面及厚度的渦電流常數，及對磁煞車力造成的影響，觀察渦電流在有介質的鋁片中相互產生的影響及變化。

## 陸、參考資料

一、林明瑞等編。物質科學物理篇，下冊，9-3 ~ 9-5。台南市：南一書局。

二、管傑雄等編。物理，上冊，第四章、第五章。台北市：三民書局。

三、林欣穎、李秋宜。民國 93 年。被吸住了??—電磁煞車機制探討。中華民國第四十四屆中小學科學展覽會物理科。p3 ~ p10。

## 評語

優：學員對 eddy current 現象明瞭，實驗清楚

缺：1) 爲一完全已知之問題。

2) 重覆已知之結果。