

# 感應電動機與渦流之實驗設計探討

## 國中組物理科第二名

高雄市立壽山國民中學

作者：陳君豪、劉揚帆、吳昌啟

指導教師：邱俊義、林聖書

### 一、研究動機

- (一)其中一個實驗是：由交流電110V產生的磁場效應，若將金屬板置於該磁場中，該金屬板即能產生旋轉，老師敘明這是感應電動機，也是目前我們電錶內有一個金屬轉盤（阿拉哥盤）即使用這個原理，由於金屬盤內產生的感應電流（渦流）而導致轉動。
- (二)物理老師談到「渦流」和「渦流力」這物理名詞太抽象，老師也介紹了幾本書讓我們參閱，但書上所談的實在很有限，最多只談到金屬盤內產生「渦流」，所說明也僅限於金屬盤會轉動，於是自行實驗設計，展開了一連串「渦流力」的研究探討。

### 二、研究目的

自行設計一個電動轉盤，並設計了一系列的自由轉子，從鋁金屬盤→鋁箔盤→……→鋁粉粒→鋁片，來推理驗證渦流力的效應和其他效應的產生（楞次定律）。

### 三、設計儀器裝置過程：（主要儀器設備）

- (一)組合電動轉盤。
- (二)組合簡易電源供應器。
- (三)製作可自由轉動轉子。
- (四)強力磁鐵。
- (五)圓型鋁槽一個，圓型壓克力槽一個，壓克力若干。

### 四、實驗過程及討論

(一)實驗一：自由轉子為圓形金屬鋁盤，及正方形、三角形金屬鋁盤。

- 1.實驗目的：由參考資料中得知將鋁金屬板置於轉動磁場中即能產生旋轉，此表示於金屬板中產生渦電流（感應電流）。

## 2. 實驗設計及操作手續：

(1) 裝置：將兩塊長方形強力磁鐵，一塊N極朝上，另一塊S極朝上，置於U型架兩端之轉台上，兩塊磁鐵磁極相距5cm。

\* (2) 改變U型架上一端置一塊N極朝上，另一端無磁鐵。

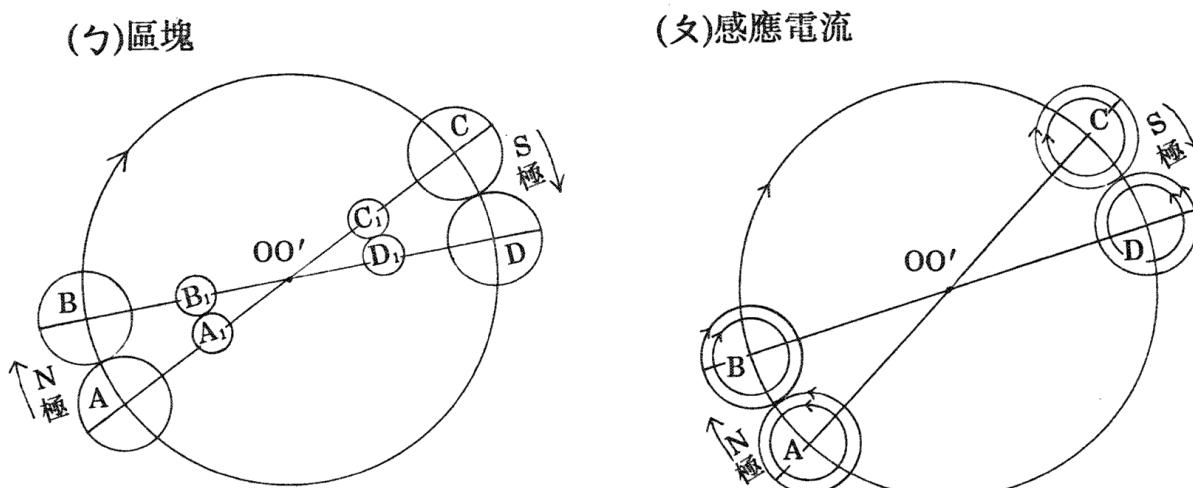
3. 實驗結果：(略)

## 4. 實驗結果推論：

U型架上兩端各置一塊N極朝上，另一塊S極朝上。

(1) 對金屬鋁盤面而言，於磁鐵N極上方有向上，S極上方有向下磁場在旋轉，此時金屬鋁盤上切割磁力線而產生感應電動勢，並產生感應電流，此感應電流於該磁場中而受到力的作用，產生力矩致使金屬鋁盤產生和磁鐵同方向之旋轉。

(2) 示意圖如下：(從金屬鋁盤上方看感應電流，感應力)



(磁鐵電動轉盤為順時針方向)

(3) 推理說明：→產生感應電流情形：磁鐵電動轉盤順時針迴轉

① 於金屬鋁盤上方各取AB (N極處) 及CD (S極處) 四個小區塊。

② 當磁鐵N極由A區塊瞬間移至B區塊時，AB兩區塊會同時出現磁力線數的變化，A區塊磁力線數漸減，B區塊磁力線數漸增，依楞次定律及安培右手定則，於是A區塊產生逆時針方向之感應電流，B區塊產生順時針方向之感應電流。

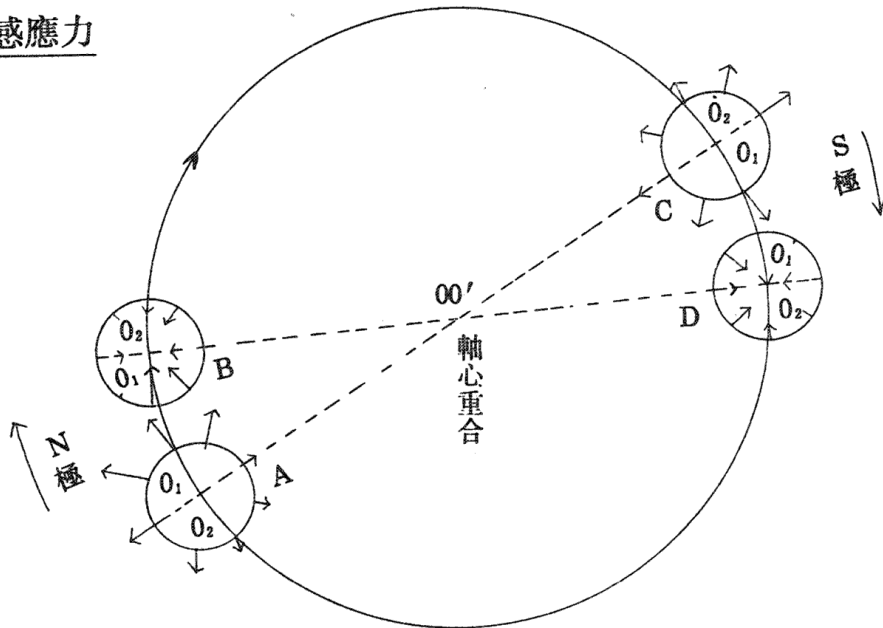
③ 當磁鐵S極由C區塊瞬間移至D區塊時(同上)。

推理說明：→產生運動情形(感應電流在磁場中受力情形)

>>>> 於AB區塊產生之感應電流受力情形，該位置磁場H方向往上

，依據右手開掌定則推知如示意圖  
 (□)因要圖示出感應力，所以將ABCD區塊間距拉開

感應力



- 請參閱：1.虛線為金屬鋁盤軸心和A（或BCD）區塊中心點之連線  
 2.實線為磁鐵電動轉盤和A（或BCD）區塊中心點之連線  
 3.兩軸心重合，以致實虛線重合

推理說明：A區塊感應電流受力均向外（產生逆時針方向感應電流，磁場H方向往上）

①線段長短代表受力大小，因為磁鐵N極由A區塊移至B區塊時，A、B兩區塊各點的磁場H大小均不相同，所以受力情形也均不相同，若以實線為磁鐵電動轉盤和A（或B）區塊中心點之連線，實線上半部磁場H均較實線下半部磁場H為大，所以感應電流在該磁場中產生之力，實線上半部受力也均較實線下半部為大，且左右兩側所受之力應有對稱關係，以AB兩區塊最鄰近位置因磁場H最大，受力情形最大，力線段示意較長（因為該處磁力線最密。

②由示意圖得知：虛線上半部感應力產生順時針方向之力矩（O1），虛線下半部產生逆時針方向之力矩（O2）。

\* ③因為金屬鋁盤軸心和磁鐵電動轉盤軸心相重合，所以實線和虛線重合。很明顯的： $O1 > O2$ 。  
 虛線上半部感應電流產生順時針方向之力矩  $>$  虛線下半部產生逆時針方向之力矩。

推理說明：B區塊感應電流受力均向內（產生順時針方向感應電流，磁場H方

向往上)……略。

於CD區塊產生之感應電流受力情形，該位置磁場H方向往下，承上之示意圖：

推理說明：C區塊感應電流受力均向外（產生順時針方向感應電流，磁場H方向往下，S極處）（略）

推理說明：D區塊感應電流受力均向內（產生逆時針方向感應電流，磁場H方向往下，S極處）（略）

(4)綜合以上ABCD四個區塊產生感應電流在磁場中受力及力矩情形，金屬鋁盤總力矩該為：順時針總力矩 $>$ 逆時針總力矩，所以金屬鋁盤旋轉方向會和磁鐵旋轉方向相同。

(5)鋁盤上若有缺口者，因電阻較大產生感應電流較小，力矩效應也較小轉速較慢。

(二)實驗二：自由轉子為金屬鋁盤（直徑9.2cm）

1.實驗目的：瞭解U型架上，兩端所置放的磁鐵都是N極朝上，是否金屬鋁盤也會轉動。

2.實驗結果：

(1)觀察得知：金屬鋁盤會和磁鐵電動轉盤同方向旋轉，和實驗結果相同。

(2)電動轉盤轉速愈快，金屬鋁盤轉速也愈快。

3.實驗結果推論：（略）

實驗一和實驗二之設計產生的力矩感應應該是相同的。

(三)實驗三：自由轉子為金屬鋁盤（直徑9.2cm）

1.實驗目的：當金屬鋁盤軸心和磁鐵電動轉盤軸心若不相重合時？

2.實驗結果：

(1)由實驗中觀察得知：若兩軸心不相重合時，金屬鋁盤轉動速度逐漸減慢，但是金屬鋁盤依然和電動轉盤方向相同。

(2)由實驗中得知：可以找到一個位置，金屬鋁盤並不轉動。

(3)由實驗中得知：金屬鋁盤又開始轉動，但是金屬鋁盤轉動方向和電動轉盤方向開始相反，也就是說電動轉盤若為順時針方向，金屬鋁盤則為逆時針方向，（此時我們切換電動轉盤為逆時針方向，發現金屬鋁盤則為順時針方向），若再將金屬鋁盤繼續向外移動，轉速又逐漸加快。

3.實驗結果推論：

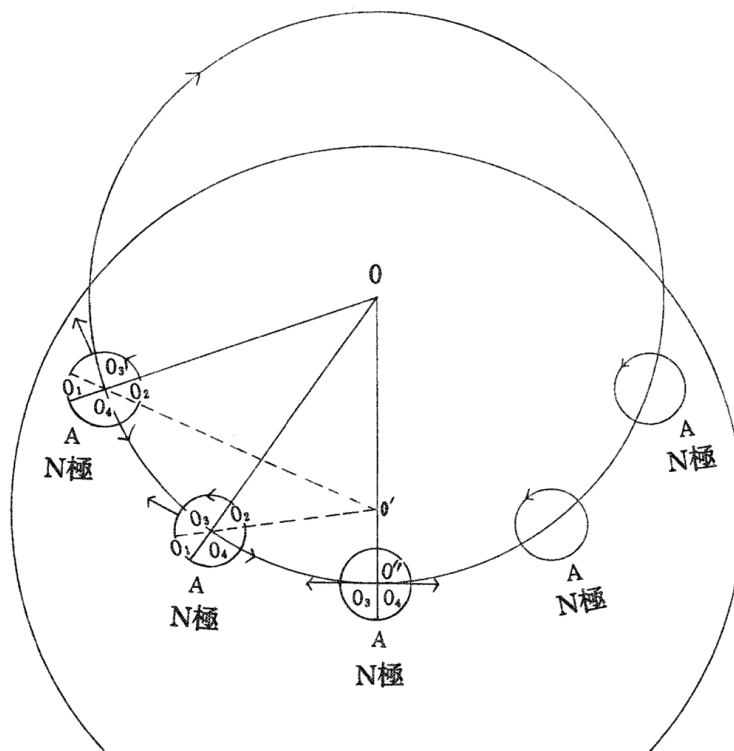
下面的實驗我們就只要分析：旋轉磁場磁極N極感應一個A區塊產生之力矩效應變化情形即可。

\*實驗三之兩軸心不互相重合時：(從金屬鋁盤上方看感應電流，感應力)  
金屬鋁盤軸心的移動我們分為三部份來討論：

- (1)金屬鋁盤軸心移動至介於磁鐵旋轉中心和磁極N或S處(該位置不隨磁極旋轉而更動)之間。
- (2)金屬鋁盤軸心移動至磁極N或S(該位置不隨磁極旋轉而更動)
- (3)金屬鋁盤軸心移動至磁鐵旋轉中心和磁極N或S處(該位置不隨磁極旋轉而更動)之外

>>>>>>

- (1)金屬鋁盤軸心移動至介於磁鐵旋轉中心和磁極N或S處之間示意圖：磁鐵電動轉盤順時針方向迴轉時



說明：O點為磁鐵旋轉中心

O'點為金屬鋁盤旋轉中心

O''點為磁極N或S處(該位置不隨磁極旋轉而更動)

虛線為金屬鋁盤軸心和A區塊中心點之連線

實線為磁鐵電動轉盤和A區塊中心點之連線

推理說明：①由示意圖得知：當兩軸心不互相重合，由於OO''連線左側和右側呈對稱關係，所以我們討論OO''連線左側磁極處旋轉時三處渦流力產生之力矩效應變化情形即可。

力矩效應： $O_3 > O_4$  順時針  $>$  逆時針（由虛線和實線判斷）

$O_1 > O_2$  逆時針  $>$  順時針 因為  $O_3 > O_1$

總力矩效應：順時針  $>$  逆時針 金屬鋁盤順轉

②承①磁鐵在旋轉時，各點位置之 $O_1O_2O_3O_4$ 力矩效應均不相同（由面積可看出）

例：當磁極轉至 $O''$ 點時力矩效應就只有 $O_3O_4$ 。

③由示意圖得知：當旋轉磁鐵逐漸進入鋁盤後至離開鋁盤，順時針力矩和逆時針力矩效應同時出現減少現象，另外在旋轉磁極外圍的鋁盤又逐漸增多，但是順時針總力矩一樣大於逆時針總力矩，這也是鋁盤轉速變慢之原因。

(2)金屬鋁盤軸心移動至磁極N或S處（該位置不隨磁極旋轉而更動）（示意圖略）……推理說明略

(3)金屬鋁盤軸心移動至磁鐵旋轉中心和磁極N或S處（示意圖略）……推理說明略

(四)實驗四：自由轉子為大小不同的鋁粉粒（也有線狀的）

1.實驗目的：鋁粉粒置於轉動磁場中能產生旋轉嗎？

2.實驗結果：

(1)由實驗中鋁粉粒在磁鐵磁極N、S旋轉磁場內轉動情形：

\*↷每個鋁粉粒旋轉方向都和磁鐵旋轉方向相同。

\*↶每個鋁粒除了會旋轉(稱自轉)，鋁粒又出現和磁鐵旋轉方向相反之移動(稱公轉)，也就是說磁鐵順時針轉動，鋁粉粒移動方向為逆時針。

(2)由實驗中鋁粉粒在磁鐵磁極N、S旋轉磁場外，且略靠近磁極處轉動情形：

\*↷鋁粒旋轉方向和磁鐵旋轉方向相反。

\*↶但是沒多久鋁粒會進入旋轉磁場內，又出現和磁鐵轉動方向相同。

3.實驗結果推理：（略）

(1)推理說明：鋁粉粒在磁鐵磁極N、S之旋轉磁場外，但略靠近磁極處之情形，（略）

(2)推理說明：鋁粉粒的移動（公轉）為什麼會和磁鐵方向相反呢？

①我們推理鋁粉粒的移動，乃是由於楞次定律現象造成的，即感應電流產生的磁場恆反抗原磁場之方向。

②但是實驗結果：鋁粒移動方向卻和楞次定律效應相反，我們先假設一個原因：那就是當磁鐵繼續前進而離開鋁粉粒時，鋁粒因截面積太小

的關係，磁通量來不及變化，鋁粉粒未出現S極（即產生相吸之力），鋁粒還是N極，所以磁鐵N極反而斥力作用，導致鋁粒移動變成和磁鐵旋轉方向相反（同理，磁鐵S極靠近鋁粒時同）

③承②之假設，並不影響鋁粒旋轉方向和磁鐵旋轉方向相同。

(五)實驗五：自由轉子為較大之鋁粉粒及圓形鋁片。

1.實驗結果：（磁鐵旋轉方向仍為順時針）

(1)較大鋁粒旋轉（自轉方向）同上，且鋁粒移動（公轉）逐漸出現和磁鐵方向相同，但是不甚明顯，移動很緩慢。

(2)沈入水底較小鋁粒同上，但鋁粒移動依然和磁鐵旋轉方向相反。

\* (3)直徑1cm之鋁片旋轉較不明顯，但直徑愈大之鋁片旋轉較明顯，且直徑1cm~4cm之鋁片移動方向明顯出現和磁鐵方向相同。

2.實驗結果討論：

(1)直徑較大之鋁片旋轉（自轉）較明顯，仍因力矩效應較大。

(2)直徑較小之鋁片旋轉（自轉）較不明顯，仍因力矩效應太小，且鋁片的旋轉中心較不固定。

(3)較大鋁粒公轉不明顯，仍是因為較大鋁粒截面積還是太小。

\* (4)鋁片的（公轉）實驗：

依楞次定律觀念，鋁片的移動（公轉）應該和磁鐵旋轉方向相同，當自由轉子為鋁片時，鋁片的移動（公轉）確實和磁鐵旋轉方向相同，也驗證我們對於較小鋁粒的移動（公轉）和磁鐵旋轉相反之假設是對的。

(六)實驗六：自由轉子被細線吊起的圓形鋁片，來驗證楞次直觀效應。

1.實驗設計及步驟：（略）

2.實驗結果及討論：

(1)被吊起的鋁片的移動方向(公轉)，和磁鐵旋轉方向相同，即磁鐵旋轉方向順時針，鋁片就順時針，反之磁鐵旋轉方向逆時針，鋁片就逆時針。

(2)切換使磁鐵逆時針旋轉，鋁片也是逆時針和磁鐵相同旋轉方向。

(3)承(1)之楞次定律效應也驗證了感應電流產生的磁場恆反抗原磁場之方向。

(4)鋁片直徑愈大截面積愈大，磁通量變化愈明顯，楞次直觀愈佳。

(七)實驗七：測量金屬鋁盤產生之感應電壓（略）

## 五、結 論

(一)鋁盤在旋轉磁場內，可以產生感應電流而產生感應力及力矩效應而產生旋轉，且會因鋁盤軸心的移動，和旋轉磁場方向運動相同以及相反兩種情形。

- (二)鋁盤在旋轉磁場內運動，應該也同時出現移動現象（楞次定律）。
- (三)自由轉子使用鋁粉粒，觀察渦流力效果極佳（將鋁粒置入水中）。
- (四)自由轉子其實除了渦流力矩效應外，同時還存在著楞次效應。

## 六、參考資料

- (一)科學圖書大庫（徐氏基金會）
- (二)物理學
- (三)費因曼物理學（四）國、高中物理課本

## 評 語

將自行設計製作之電動轉盤及一系列自由轉子組合成一簡單儀器，以鋁金屬盤、鋁箔盤、鋁粉粒以及鋁片等為實驗對象，研究渦電流的產生及其所產生的各種效應，分析相當完整。設計之儀器及實驗可作為教學輔助之用。