

冷次定律的直觀教學與研究

國中組物理科第二名

高雄市立壽山國民中學

作者：鄭汶瑜、成庭甄

指導教師：邱俊義、林聖書

一、研究動機

- (一)理化法拉第定律告訴我們磁場發生變化時，有感應電流產生，冷次歸納結論：線圈內的磁場發生變化時，感應產生電流，其方向為：感應電流所產生的磁場，恆反抗原磁場發生變化的方向，可是在物理教材裡，我們卻找不到如何驗證冷次定律的實驗資料。
- (二)課本上的實驗：將磁棒N極（或S極）迅速地插入線圈內，在插入的過程中，同時觀察檢流計的指針是否發生偏轉？就指針的偏轉方向，判斷出所生電流方向，並未直街顯示出冷次所言的「產生反抗磁場」現象，實在難以說服學生。
- (三)在此我們研究並設計出一種演示冷次定律的新方法，可以讓學生直接觀察感應電流所產生的磁場，恆反抗原磁場發生變化的方向。

二、研究目的

- (一)冷次定律的直觀教學「產生反抗磁場」。
- (二)藉此實驗設計進一步探討產生感應電流和感應電動勢的各種變因。

三、研究設備器材（例出主要器材）

- 1. 條形磁鐵二根 2. 支架二組 3. 細線及漆包線
- 4. 銅片、鋁片、鋅片若干厚度 0.1mm 0.2mm 0.25mm 0.3mm 0.45mm
- 5. 毫安培計 6. 電阻測定計 7. 馬達一個 8. 測頻器一個。

四、儀器設計及過程（進一步研究時使用）

- (一)組合條形磁鐵來回振動器。
 - 1. 製作壓縮彈簧，連同條形磁鐵一併裝入壓克力管內。
 - 2. 組合馬達和轉盤和壓克力管，使條形磁鐵能來回地振動。
 - 3. 轉盤上的接點可以改變條形磁鐵振動的振幅。

(二)組合電源供應器：(改變磁鐵來回振動速度)

五、實驗步驟及過程

(一)實驗步驟：

1. 以手控制條形磁鐵來回運動，直觀冷次定律。

(1)閉合銅環(或鋁環、鋅環)的製作：

↷將厚度0.1mm的銅片、0.2mm鋁片、0.45mm鋅片做成外徑4cm，內徑分別為2cm、2.5cm、3cm、3.5cm的閉合環各兩組，且鑽上兩個小孔。

↸將厚度0.1mm的銅片做成內徑2.5cm，外徑分別為3.5cm、4cm、4.5cm、5cm、5.5cm的閉合銅環且鑽上兩個小孔。

(2)裂口銅環(或鋁環、鋅環)的製作：

將其中一組閉合銅環(或鋁環、鋅環)外徑4cm，內徑3cm用剪刀剪成裂口(裂縫)，再於裂口處用膠紙黏貼。

(3)將閉合環在兩小孔上繫上細線，用二組支架懸掛起線調整閉合環在鉛直面上靜止不動。

(4)以手控制條形磁鐵的N極或S極在環圈面內進或出(來回運動)觀察閉合環的運動情形。

(5)承(3)(4)步驟改懸掛裂口環於支架上，再觀察裂口環運動情形。

(6)再製作3個外徑4cm內徑3cm的閉合環疊起來，重覆操作。

2. 以手擺動閉合環或裂口環直觀冷次定律。

(1)條形磁鐵靜止不動，以手擺動閉合環向條形磁鐵N極或S極作運動(閉合環圈面必須進入磁鐵才可)。

(2)承(1)，改以裂口環操作，觀察運動情形。

(二)實驗二：直觀冷次定律及交流感應電流

→更改實驗設計，自組閉合環、裂口環體支架，自組條形磁鐵來回運動器和簡易電源供應器來改變條形磁鐵的運動速度，直觀冷次定律及作一連串的探討感應電流和感應電動勢的各種變因。

→因為磁鐵N極或S極在環體圈面作進入及離開的來回運動，所以感應電流應為交流電流(A.C)。

1. 承實驗一的實驗步驟，改用自行設計的條形磁鐵來回運動器，直觀冷次定律。

(1)承實驗一的閉合環銅，鋁，鋅環外徑4cm內徑3cm分別以兩條細線及鱷魚夾夾住環體置於環體支架上。

(2)調整條形磁鐵來回運動器的運動速度進出環體圈面，直至閉合環和條形磁鐵同步運動時，記錄轉盤頻率。

(3)閉合環銅環外徑4cm內徑2cm三片，二片，一片分別以兩條細線夾住環體，操作同上，同步運動時記錄轉盤頻率。

2. 感應電流和感應電動勢的各種變因探討：

(1)以下實驗條形磁鐵的運動速度，均以轉盤的轉動頻率代表之

(2)以下均將閉合銅環或鋁環剪成寬1mm~2mm的裂口環，再於裂口處用膠紙黏貼。在裂口兩側，改用兩條鱷魚夾線一端分別夾住環體，鱷魚夾另一端再接於環支架兩接線柱上作為兩極（預作迴路），分別接上毫安培計和電阻測定器，以便測定感應電流 I 及電阻 R ，再利用 $V = IR$ ，計算出感應電動勢 V 。

(3)改變磁鐵進入環體圈面的長度

↘分別為3cm，2.5cm，2cm，1.5cm，1.0cm，0.5cm。

↘取厚度0.1mm，外徑5cm，內徑2cm之銅環接於環體支架。

□測定電阻 R ，及感應電流 I 。

※以下實驗均使條形磁鐵進入圈環體圈面長度3cm。

(4)改變銅環的內徑大小（厚度0.1mm，外徑均為5mm）。

↘製作銅環不同內徑。

↘將銅環（裂口）依次接於環體支架上。

□固定磁鐵的來回運動速度。

□測定電阻 R ，及感應電流 I 。

(5)改變銅環外徑大小（厚度0.15mm，內徑2cm）

↘銅環外徑分別為3cm、3.5cm、4cm、4.5cm、5cm、6cm。

↘操作記錄同上

(6)改變銅環厚度大小（外徑5cm，內徑2cm）

↘銅環厚度分別為0.5mm、0.75mm、0.1mm、0.15mm、0.3mm

↘操作記錄同上

(7)改變不同材料銅環，鋁環，鋅環

↘銅環，鋁環，鋅環內徑1.5cm，外徑5cm

↘操作記錄同上

(8)改變條形磁鐵來回運動速度

↘選取厚度0.2mm鋁環，外徑5cm、內徑2cm

↘調整電壓改變轉盤頻率，即改變磁鐵的來回運動速度

(三)實驗三：直流感應電流

→更改實驗設計，取一塑膠管內徑略大於條形磁鐵直徑，將塑膠管鉛直固定於一木架上，使條形磁鐵能在塑膠管內鉛直落下。

→因為條形磁鐵的N極（或S極）在環體圈面上並未作來回運動，所以感應電流應為直流電流（D.C）。

1. 選取厚度0.1mm，外徑5cm及不同內徑之銅環置於塑膠管的上方，環體已接通迴路。

2. 磁鐵置於環體圈面上方，用夾子夾住磁鐵，然後鬆開夾子使磁鐵鉛直落下通過環體圈面長度3cm。

※其餘變因已在實驗二研究過，不再重覆。

六、研究結果

(一)實驗一：直觀冷次定律

1. 條形磁鐵運動、閉合環、裂口環不動

表一 外徑 4cm 閉合環

質料 內徑	銅環擺動	鋁環擺動	鋅環擺動
2cm	佳	佳	佳
2.5cm	佳	佳	佳
3cm	佳	佳	佳
3.5cm	較不佳	較不佳	較不佳

（手控磁鐵運動，環體內徑不宜太小）

表二 內徑2.5cm閉合環

質料 外徑	銅環擺動	鋁環擺動
3.5cm	佳	佳
4cm	佳	佳
4.5cm	佳	佳
5cm	較不佳	佳
5.5cm	較不佳	較不佳

表三 銅環外徑4cm，內徑2cm

質料	片數	目	鋁環擺動
銅	一	片	佳
	二	片	較佳
	三	片	最佳

表四 外徑4cm裂口環

質料 內徑	銅環擺動	鋁環擺動	鋅環擺動
2.5cm	靜止	靜止	靜止
3cm	靜止	靜止	靜止
3.5cm	靜止	靜止	靜止

（手控磁鐵運動，環體內徑不宜太小）

2. 條形磁鐵靜止，閉合環或裂口環向磁鐵運動

表五 外徑4cm，內徑3cm

質料	閉合環	裂口環
銅	擺動幾下便靜止	繼續擺動
鋁	擺動幾下便靜止	繼續擺動
鋅	擺動幾下便靜止	繼續擺動

(二)實驗二：自製條形磁鐵來回運動器

1. 直觀冷次定律：

改用調整條形磁鐵的來回振動頻率，直至和環體做同步運動。

表六 外徑 4cm，內徑 3cm

質料	同步運動 轉盤頻率F(1/min) 以細繩夾環體	同步運動 轉盤頻率F(1/min) 以鱷魚夾夾環體
銅	63~64	79~80
鋁	62~63	79~80
鋅	64~65	81~82

表七 銅環外徑 4cm，內徑 2cm

質料	片數目 以細繩夾環體	同步運動 轉盤頻率F(1/min)
銅	一片	67~68
	二片	62~63
	三片	60~61

2. (1)因為條形磁鐵為來回運動運動進出圈面，所以產生的感應電流應為交流AC電流，及交流AC感應電動勢。

(2)條形磁鐵來回運動並不是等速運動，所以毫安培計上所指示的電流讀數，僅供參考來瞭解各種變因。

表八 內徑2cm，轉盤頻率F=134 (rpm / min)，電阻R=0.083 (Ω)

材 料	條形磁鐵 進入圈面的長度	A.C感應電流 (MA)		A.C電動勢 (MV) V(10)
		讀數範圍10	平均值	
銅 厚度 0.1mm	3.0cm	0.33~0.34	0.335	0.027805
	2.5cm	0.30~0.31	0.305	0.025315
	2.0cm	0.28~0.29	0.285	0.023655
	1.5cm	0.25~0.26	0.255	0.021165

(3)電阻R為環體和兩條漆包線的總電阻。

※以下實驗均使條形磁鐵進圈環體圈面長度3cm(部份圖略)

表九 外徑5cm，轉盤頻率F=134 (rpm / min)

材 料	內徑 (cm)	A.C感應電流 (MA)		電阻(Ω) R	A.C電動勢 (MV) V (10^{-1})
		讀數範圍 10^{-1}	平均值		
銅 厚度 0.1mm	1.5	0.35~0.36	0.355	0.081	0.028755
	2.0	0.33~0.34	0.335	0.083	0.027805
	2.5	0.31~0.32	0.315	0.084	0.026460
	3.0	0.29~0.30	0.295	0.087	0.025665
	3.5	0.28~0.29	0.285	0.089	0.25365
	4.0	0.26~0.27	0.265	0.093	0.024645
	4.5	0.24~0.25	0.245	0.096	0.023520

表十 內徑2cm，轉盤頻率F=134 (rpm / min)

材 料	外徑 (cm)	A.C感應電流 (MA)		電阻(Ω) R	A.C電動勢 (MV) V (10^{-1})
		讀數範圍 10^{-1}	平均值		
銅 厚度 0.1mm	3.5	0.31~0.32	0.315	0.083	0.026145
	4.0	0.31~0.32	0.315	0.083	0.026145
	4.5	0.31~0.32	0.315	0.082	0.025830
	5.0	0.31~0.32	0.315	0.082	0.025830
	5.5	0.32~0.33	0.325	0.081	0.026325
	6.0	0.32~0.33	0.325	0.081	0.026325

表十一 內徑2cm，外徑5cm，轉盤頻率F=134 (rpm / min)

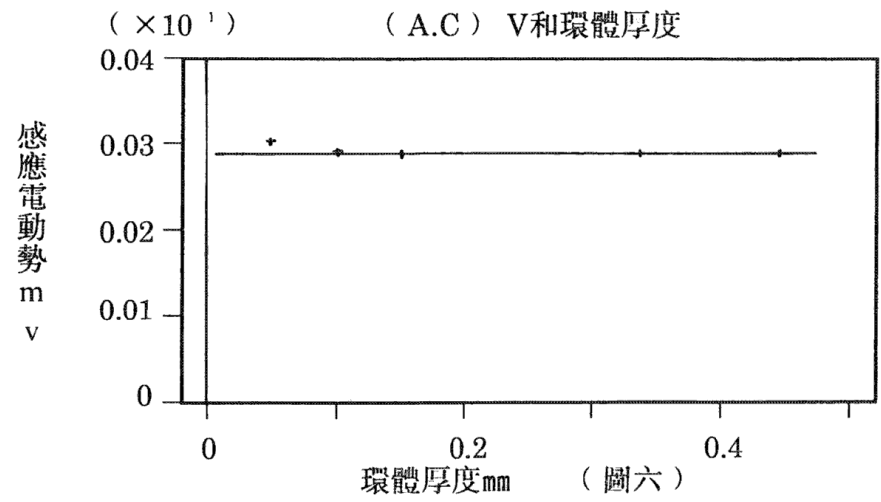
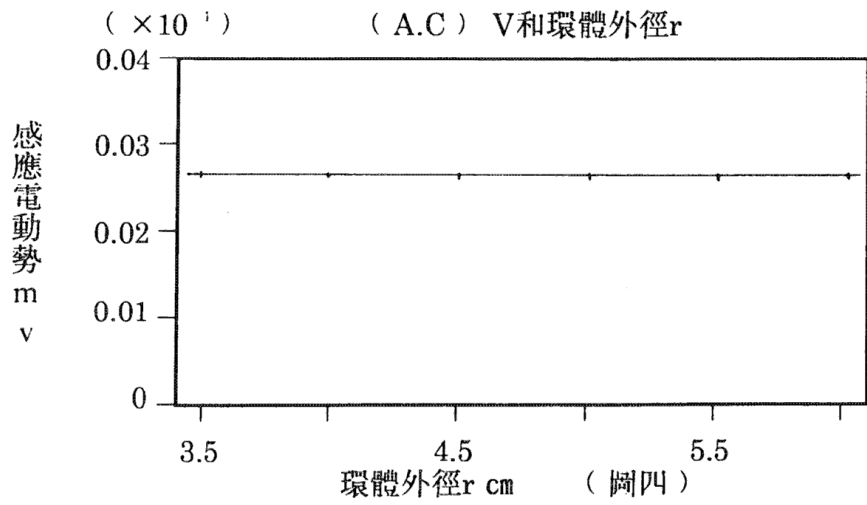
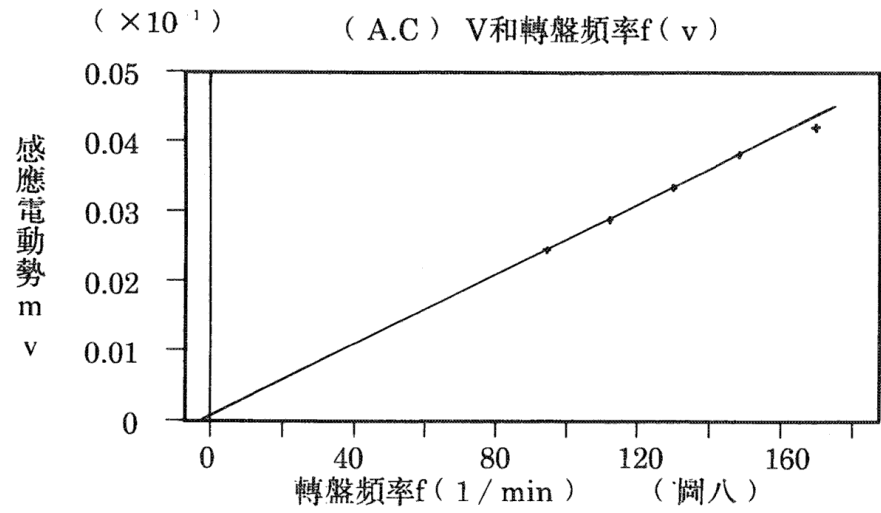
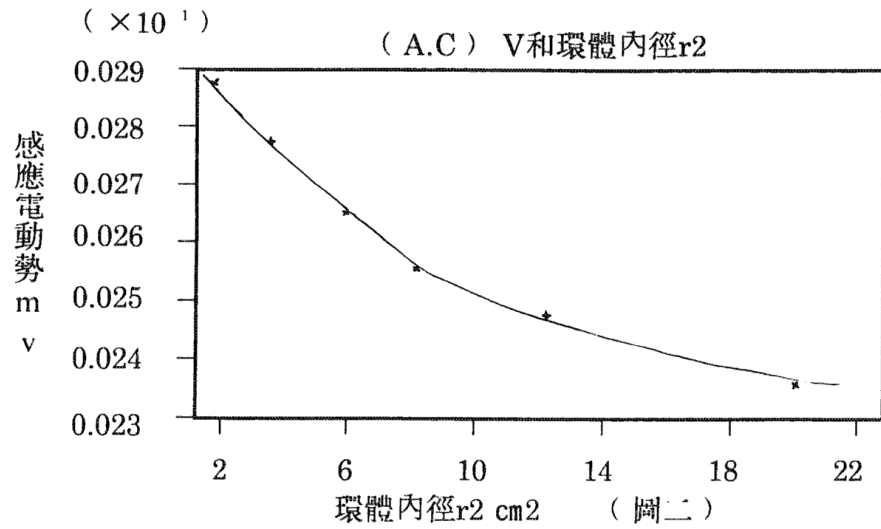
材 料	厚度 (cm)	A.C感應電流 (MA)		電阻(Ω) R	A.C電動勢 (MV) V (10 ⁻¹)
		讀數範圍10 ⁻¹	平均值		
銅	0.05	0.34~0.35	0.345	0.087	0.030015
	0.10	0.33~0.35	0.335	0.086	0.028810
	0.15	0.33~0.34	0.335	0.085	0.028475
	0.35	0.33~0.34	0.335	0.084	0.028140
	0.45	0.33~0.34	0.335	0.084	0.028140

表十二 內徑1.5cm，外徑5cm，轉盤頻率F=134 (rpm / min)

材 料	A.C感應電流 (MA)		電阻(Ω) R	A.C電動勢 (MV) V (10 ⁻¹)
	讀數範圍10 ⁻¹	平均值		
銅	0.34~0.35	0.345	0.086	0.029670
鋁	0.33~0.34	0.335	0.091	0.030485
鋅	0.34~0.35	0.345	0.088	0.030360

表十三 內徑2cm，電阻R=0.101Ω

材 料	改變轉 盤頻率 1 / min	A.C感應電流 (MA)		A.C電動勢 (mV) V (10 ⁻¹)
		讀數範圍10 ⁻¹	平均值	
鋁 厚度 0.2mm	94	0.23~0.24	0.235	0.023735
	114	0.28~0.29	0.285	0.028785
	134	0.33~0.34	0.335	0.033835
	154	0.37~0.38	0.375	0.037875
	174	0.40~0.41	0.405	0.040905



(三)實驗三：直流感應電流（數據略）

七、討論

(一)實驗一：直觀冷次定律

- (1)由表一數據得知當磁鐵N極進入閉合環內時，閉合環被推斥，即代表閉合環和磁鐵產生斥力，即閉合環內產生N極，當N極由閉合環內抽出離開時，閉合環確又朝磁鐵運動方向靠近，即代表閉合環和磁鐵產生吸力，即閉合環內產生S極，若條形磁鐵連續來回運動，我們發現閉合環隨同磁鐵來回擺動，反之條形磁鐵S極亦相同。
- (2)由表四數據得知：當磁鐵N極（或S極）進入裂口環內時，裂口環卻無動於衷，依然靜止懸掛著，代表著裂口環無感應電流及感應磁場產生。
- (3)由(1)(2)我們直接觀察出，閉合環中產生感應電流的感應磁場確實為「反抗原磁場發生變化的方向」。
- (4)由表五數據得知：向靜止條形磁鐵擺動的閉合環沒擺動幾下就靜止了，但裂口環依然擺動不止，這也說明了閉口環感應電流產生的感應磁場和原磁鐵的磁場產生了阻力效應。
- (5)實驗結果發現厚度0.1mm銅環、厚度0.2mm鋁環質料較輕環體，直觀教學較佳，尤其當內徑為2~3cm時外徑為3.5cm~4.5cm的閉合銅環、鋁環效果最好，鋅環太重，效果較不明顯。
- (6)銅環或鋁環質料較輕，若外徑選4cm，則內徑較小2cm的閉合環，因環內電阻較小，產生的感應電流較大，（由實驗二證實）即感應斥力和吸力就較大，所以效果更為明顯。

(二)實驗二：直觀冷次定律和交流感應電流和感應電動勢（部份略）

- (1)自製條形磁鐵來回運動器來直觀閉合環的運動，可以調整至和磁鐵做同步的運動效果非常良好，更強調了反抗磁場的存在。
- (3)表八：條形磁鐵的磁極進入環圈面的長度會影響感應電流大小。
- (4)表九及圖（一）圖（二）得知：環體圈內截面積愈大，產生的感應電流和感應電動勢較小，因為半徑較大的圈面，其所感受的為兩旁磁性較小的磁場，此和實驗一的直觀冷次定律結論同。
- (5)表十、表十一、表十二及圈（三）（四）（五）（六）得知：環體圈面的截面積若相同，產生的感應電動勢都相同，但產生的感應電流和環體電阻有關，即電阻較大的環體，感應電流就較小。（我們實驗的材料因為配合直觀冷次定律所以實驗時都使用一片環體，因為一片環體的外徑和厚度變化也不

大，由表九、表十看出環體電阻也較為接近。）

(6)表十二圖(七)圖(八)得知條形磁鐵進出環體圈面的速度愈大，產生的感應電流愈大。

(7)以上由於(ㄅ)條形磁鐵來回運動並非等速運動，而是一種變速運動(ㄆ)條形磁鐵也並非完全的均勻磁場(ㄇ)實驗材料環體本身電阻差距變化不大。基於以上三點，我們在感應電流和感應電動勢方面就不作更進一步深入的探討，但是我們經實驗後對於「磁能生電」的變因及基礎觀念更為清楚。

八、參考資料

1. 國中物理
2. 高中物理第四冊
3. 物理教學(中國物理學會編)
4. 基本物理學(李怡嚴)

評語

· 研製條形磁鐵來回振動器，驗證冷次定律，讓學生清楚看出感應電流所產生的磁場恆反抗原磁發生變化的方向。作品頗具巧思，對教學有助益。