

## 載流導線在磁場中的受力與牛頓第三運動定律

國中組 第一名

縣市：台北市

校名：景興國中

作者：高啓軒、劉廷楷

詹焜、陳冠廷

指導教師：方培松、蔡佩芸



我是劉廷楷，家中有父母兩人和一對兄弟；小學時期，我就讀於國立北師實小，在校時五育均優且與同學相處融洽。

小學畢業後，我就讀景興國中；在景興國中由於讀書環境良好，因此使我的學業更上一層樓。

自從國二開始上理化課之後，我就業理化這個學科特別有興趣；因此升上國三時因為學校舉辦科展比賽，我就和其他三位同學在老師細心的指導下一起作科展，科展的成功，奠定了未來高中生活對科學多方面研究的興趣。了我對這方面的興趣，也奠定了我以後想朝這方面更上一層樓的目標。

我是陳冠廷，目前就讀於台北立景興國中三年級。父親在土地銀行上班，母親則在郵局工作，哥哥就讀於台北立大同高中。因為在理化上有濃厚興趣，所以在國三時與另外三位同學報名參加科展，原本只想努力將作品做到最好，沒想到居然先後得到台北市特優及全國第一名，而科展的成功更加深

詹焜，我小學就讀於台北市立萬福國小，國中就讀於台北市立景興國中三年級，家中有四個家人，父親和母親都在上班，姊姊則還在上學，而爺爺每天則待在家中，升上國三後因對理化產生了興趣，而老師所指導科展剛好缺少一個人，因此我便自願加入了科展的行列，在全國第四十四屆中小學學展覽競賽中榮獲物理科國中組第一名，我希望自己在往後高中日子能多多參與這類項目的活動，替學校爭光。

高啓軒，家中有父母兩人和三男一女，小學時就讀於溪口國民小學，在校時，五育均優且和同學相處融洽，國中時，家人為了給我一個好的學習環境，為我遷戶籍至景興國中的學區，於校中，我曾參與多項

比賽諸如：美勞、科展、國語文競賽、書法、設計、電腦等，都有優良的表現，對各方面都有濃厚的興趣。

其實我自己非常喜愛電腦和數理方面的東西，我認為知識不能記，而是要融會貫通，這樣的學習方式，使我數理的基礎打的不錯。

未來我會堅定志向，時時改進缺點，吸收新知，讓自己一天比一天更進步，以期將來有一番作為，關心他人，服務大眾。

關鍵詞：載流導線、磁場、牛頓第三運動定律

### 一、研究動機

在二年級理化課，當老師在介紹力時，曾經提到當一個作用力存在時，一定要存在一個受力體，也就是不可以有一物體施了力，但卻沒有物體受力。另外老師也提到，當甲對乙有作用力時，乙同時也會對甲施一作用力，此力可稱為甲對乙作用力的反作用力。而且這兩力的大小會相等，作用方向相反，但在同一直線上。老師說：這稱為牛頓第三運動定律。但在三年級理化課時，當老師介紹到將載流導線置於磁場中，若導線的電流方向與磁場方向不平行，則導線會受到一與磁場方向垂直之作用力。其方向可由右手開掌定則判斷。因此我們對這定律有了一些疑問。我們的疑問在：磁場並非一具體物質或物體，磁場的存在只對磁性物質與載流導線有作用。如此，當一載流導線在磁場中受力時，是否也會產生一反作用力？如果是，它是施力於何物呢？是磁場所存在的空間嗎？不可能，因為空間不是物質，不能受力。還是施力於產生磁場的物體呢？反作用力的作用是否仍像一般反作用力的產生一樣，直接由受力體對施力體作用？力量的大小又是如何的呢？牛頓第三運動定律是否仍適用於電流與磁場的交互作用力呢？

### 二、研究目的

(一)證明當一載流導線在一磁場中受力作用時，產生磁場的物體會受大小相等但方向相反的反作用力。

(二)並研究兩力的產生是否仍在同一直線上。

### 三、研究器材

漆包線 9 V 鹼性電池

單刀開關 微量電子天秤

鐵粉 圓片型磁鐵

膠帶 焊接工具

雙面膠 熱熔膠

木板 砝碼

指南針 照相機

攝影機 珍珠板

塑膠名片盒 9 V 電池套

### 四、研究過程

製造磁場

(一)在塑膠名片盒置入 1 4 5 g 鐵粉，並以漆包線纏繞 3 5 圈，再焊接上單刀開關，9 V 電池套，並以熱熔膠將上述電磁鐵固定於木板上（如附圖一之裝置）。

(二)照步驟一之方法，但繞成兩磁場方向相同之電磁鐵，也將之固定在木板上（如附圖一）。

(三)裁取與步驟一，二相同形狀之木板，在固定線圈之位置釘上小木條，以固定圓片型磁鐵（如附圖一）。



製造受力導線

(四)取兩個塑膠名片盒，將其黏在一起，以同方向纏繞漆包線共五十圈並焊上開關與9 V電池套，將其固定在一珍珠板上，使其能穩定站立。

### 架設裝置

(五)將步驟一所製造之器材（單側電磁鐵線圈）接上電池（不打開開關），在重心位置處下放置一名片盒，再置於第一架微量電子天秤上（所秤得重量為 $W_1$ ）。並將步驟四所製造之器材也裝上電池（不打開開關），放置於第二架微量電子天秤（所秤得重量為 $W_2$ ）。放置角度為電磁鐵所產生磁場方向與受力線圈電流方向垂直。（如附圖二）



附圖二

### 記錄重量變化

(六)打開電磁鐵與受力導線開關，因為天秤數字跳動速度很快（因此用數位攝影機拍攝 $W_1$ 與 $W_2$ 之重量變化（如附圖三），再重新播放，持續觀察，每5秒記錄一次數字，時間維持一分鐘。（數字記錄於表一）



附圖三

### 改變受力方向

(七)將受力導線擺放角度旋轉180度，使其電流方向反向，更換 $W_1$ 與 $W_2$ 之電池，重複步驟五，六。（數字

記錄於表二)

## 改變磁場

(八)將步驟五所用之單側電磁鐵裝置改為步驟二所做兩側電磁鐵裝置，重複步驟五，六，七。(裝置如附圖四，數字記錄於表三，表四)



附圖四

(九)將步驟五所用單側電磁鐵，改為步驟三所設計之單側磁鐵裝置(如附圖五)，並重複步驟五，六，七。(數字記錄於表五，表六)



附圖五

(十)將步驟五所用單側電磁鐵，改為步驟三所設計之兩側磁鐵裝置(如附圖六)，並重複步驟五，六。(數字記錄於表格七)



附圖六

## 五、研究結果

表一

時間 (秒)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
W 1 (gw)	686	684.2	684.7	684.6	684.6	684.8	685	685.1	685.3	685.6	685.9	686	685.9
W 2 (gw)	368.1	369.9	369.5	369.6	369.5	369.4	369.2	369.1	368.9	368.5	368.3	368.2	368.3
W1 + W 2(gw)	1054.1	1054.1	1054.2	1054.2	1054.1	1054.2	1054.2	1054.2	1054.2	1054.1	1054.2	1054.2	1054.2

表二

時間 (秒)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
W 1 (gw)	796.4	797.8	797.6	797.4	797.4	797.2	797	796.6	796.4	796.4	796.4	796.4	796.4
W 2 (gw)	366.1	364.7	364.9	364.9	365.2	365.3	365.6	365.9	366.1	366.1	366.1	366.1	366.1
W1 + W 2 (gw)	1162.5	1162.5	1162.5	1162.3	1162.6	1162.5	1162.6	1162.5	1162.5	1162.5	1162.5	1162.5	1162.5

註 1：即使同一廠商所生產同一規格電池仍有可能有少許重量差異，故各表格之W 2均有少許差異。

註 2：在進行改變電流方向時，因不慎加了一個平衡重量用的砝碼，所以表二比表一的W 2 多了約100g。

表三

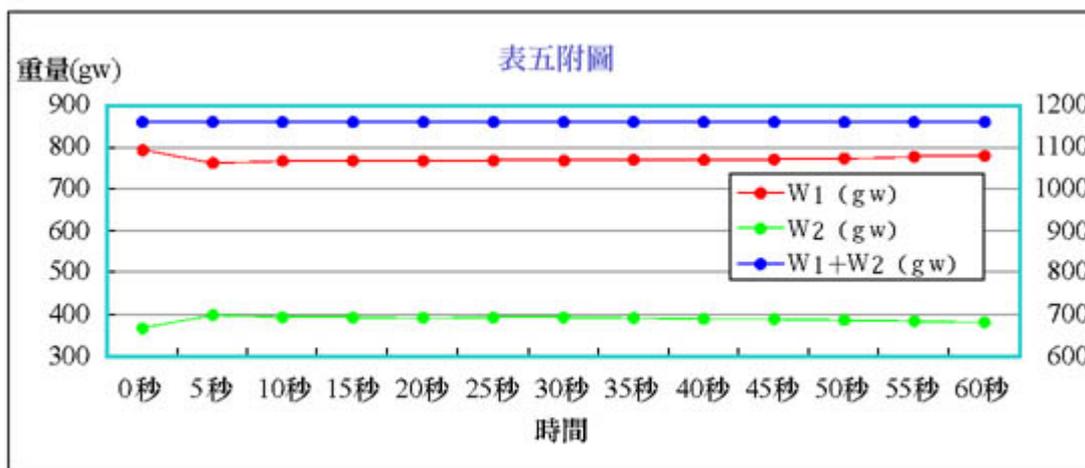
時間 (秒)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
W1 (gw)	875.4	871.4	872	873.3	873.4	873.7	874.1	874.5	874.7	874.6	875.2	874.9	875.1
W2 (gw)	368.9	372.9	371.4	370.9	370.8	370.5	370.2	369.8	369.6	369.7	369.1	369.3	339.2
W1 + W2 (gw)	1244.3	1244.3	1243.4	1244.2	1244.2	1244.2	1244.3	1244.3	1244.3	1244.3	1244.3	1244.2	1214.3

表四

時間 (秒)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
W1 (gw)	876.1	879.7	878.5	878.6	878.4	878.8	877.6	877.3	876.8	876.4	876.1	876.1	876.1
W2 (gw)	368.9	365.6	366.5	366.4	366.6	367	367.4	367.7	368.2	368.5	368.8	368.8	368.7
W1 + W2 (gw)	1245	1245.3	1245	1245	1245	1245.8	1245	1245	1245	1244.9	1244.9	1244.9	1244.8

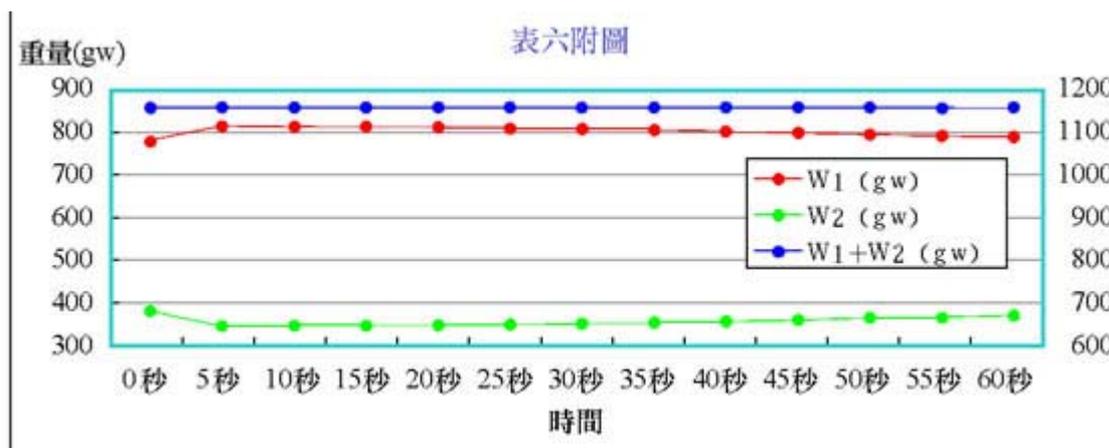
表五

時間 (秒)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
W1 (gw)	794	763.3	767.9	768.7	768.8	769.2	769.7	770.3	771.2	772.6	775	778.3	780.4
W2 (gw)	367.6	397.9	393.3	392.6	392.4	392.1	391.7	391.1	390.2	388	386.6	383.1	380.9
W1 + W2 (gw)	1161.6	1161.2	1161.2	1161.3	1161.2	1161.3	1161.4	1161.4	1161.4	1160.6	1161.6	1161.4	1161.3



表六

時間 (秒)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
W1 (gw)	793.9	825	824.1	823.5	822.5	821.2	819.2	817.1	814.8	811.8	808.3	805	802.5
W2 (gw)	368	337.4	338.7	338.7	339.8	340.9	342.7	345.1	347.3	350.3	354	355	359.6
W1 + W2 (gw)	1161.9	1162.4	1162.8	1162.2	1162.3	1162.1	1161.9	1162.2	1162.1	1162.1	1162.3	1160	1162.1



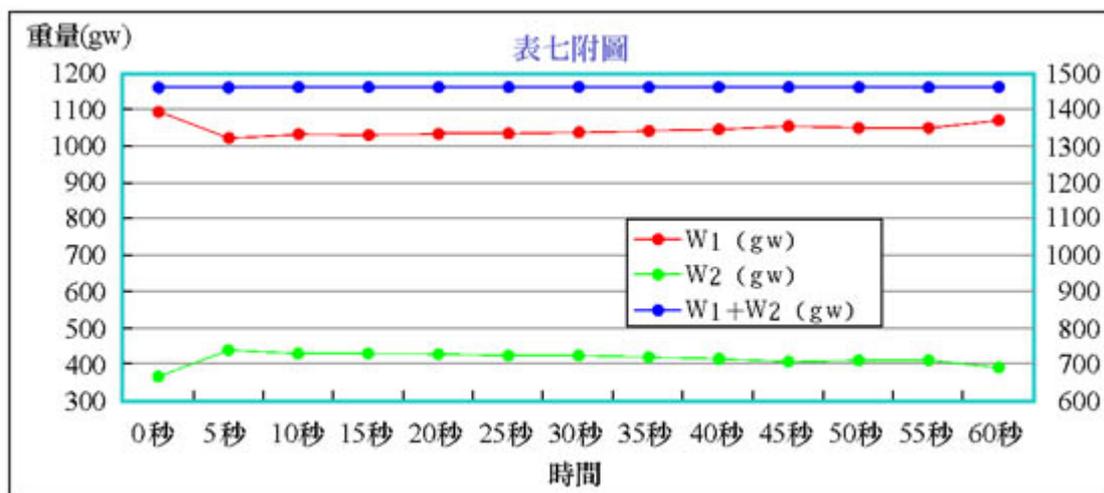
表七

時間 (秒)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
W1 (gw)	1096.4	1023.9	1033.6	1033.4	1035.3	1037.5	1039.8	1043.6	1047.5	1056.5	1051.8	1052.5	1073
W2 (gw)	368.2	439.9	430.3	430.4	428.6	426.4	424.1	420.4	416.6	407.5	412.5	411.7	391.3
W1 + W2 (gw)	1464.6	1463.8	1463.9	1463.8	1463.9	1463.9	1463.9	1464	1464.1	1464	1464.3	1464.2	1464.3

註 3：表一至表四因電磁鐵磁場強度較弱，故產生之作用力較小，所以重量變化曲線並不明顯，故不附上重量變化圖形。

註 4：由於表七中W 2 之重量已接近天秤測量極限，若在使其受力向下，將超過測量範圍，所以沒有表八。

註 5：表五至表七之附圖為雙軸折線圖，W 1 與W 2 之Y 軸為左側Y 軸，(W 1 + W 2 ) 之Y 軸為右側Y 軸。



## 六、討論

老師說對的：

(一)步驟六所紀錄之  $W_1$  與  $W_2$  之重量變化中可以發現，當載流導線在磁場中受力向下時 ( $W_1$  增加)，同一時間電磁鐵會受到向上作用力 ( $W_2$  減少)。但從  $W_1 + W_2$  之大小幾乎為定值看出，此二力的大小是相等的，而且方向相反。從步驟七所得之結果可以發現，當電流方向反向時，使得  $W_1$  與  $W_2$  增減重量相反，所得之結果亦不變，即為載流導線在磁場中受力時，產生磁場的物體會受一大小相等之反作用力，而且此二力方向相反。且磁場的來源（電磁鐵或磁鐵）對結果並無影響。

老師口誤的？

(二)在步驟六，七之導線受力與電磁鐵受力關係，受力線圈與電磁鐵的相對位置為在同一水平面上，但受力卻是一個向上，一個向下，明顯不在一直線上，與老師所說反作用力與作用力會在同一直線上並不相同。

為何不在同一直線上？

(三)依我們所查到的資料：高中物理第一冊所述“凡有一作用力  $F$  的產生，必有一反作用力  $-F$ ，二者量值相等，而方向相反。這個關係稱為牛頓第三運動定律。”（高中物理第一冊 102頁 國立編譯館八十八年出版）並沒有提到反作用力的產生須在同一直線上。但一般物體間的碰撞所產生的作用力與反作用力，確實會在同一直線上。因為兩物在接觸時，力的作用點必在接觸點上，而且又必須方向相反，那麼作用力和反作用力一定在同一直線上。即使是超距力如兩物體間的萬有引力，兩帶電體間的靜電力，兩磁極間的磁力，均會在同一直線上。

(四)由於電流在磁場中的受力，必須發生在電流方向與磁場方向不平行，且導線受力方向必垂直於磁場方向。因此載流導線在磁場中的受力，與所產生的反作用力，似乎不可能在同一直線上。

不能在同一直線？

(五)若將步驟五的架設方法改為：受力線圈所放置之位置由電磁鐵側面移至電磁鐵正上方，使受力導線重心與電磁鐵重心在同一直線上，就能使作用力與反作用力在同一直線上。

偉大的牛頓

(六)牛頓所生之年代(1642-1727)，比發現電流磁效應的厄斯特(1777-1875)，與提出安培定律的安培(1775-1836)要早出約一百年，且牛頓提出第三運動定律時，並不是針對電流與磁場的交互作用所提出（當時也不知道有這作用力）。但牛頓並不以現有所見之事實來訂下結論，反而提出能將後世研究結論涵蓋的理論，實在令人敬佩。（或者是第三運動定律曾遭到修正？我們查不到牛頓的原始手稿，無法得知）

架高的電磁鐵木板

(七)原本的實驗設計，並未將電磁鐵固定於長木板上，而是固定於小木片上。而且兩側磁場是分開放置於

兩架微量電子天秤上（連同受力線圈則共有三架天秤）。但由於天秤盤面太大，在考慮受力導線離電磁鐵越近，受力效果越好情況下，便將電磁鐵放置於天秤盤面邊緣（如附圖七）。但因為左右兩架天秤規格與中間天秤規格並不相同（左右為 $1.1\text{ kg} * 0.1\text{ g}$ ，中間為 $300.00\text{ g} * 0.01\text{ g}$ ），而且最後仍須將左右兩天秤重量相加，反而增加誤差。因此決定將左右兩電磁鐵（或磁鐵）並置於同一天秤上，如此便可減少誤差來源。但相同重量加於天秤盤面上時，放置位置若不相同，天秤顯示相同重量數字所需時間並不相同，因此便將木板以名片盒架高，名片盒置於盤面正中央，盡量減少因受力位置不同，而使讀數跳動並不同步的誤差。



附圖七

### 短路的線圈

(八)因為電流強度在本實驗中佔很重要地位，如果電流太小，不但電磁鐵磁場也變小，導線與電磁鐵的受力也會減小很多。而且電阻值不相等兩條電阻，重量也不一樣。再者電池每使用過一次，電壓便減小一些，因此若串聯上電阻以得到穩定電流，反而使得每組數據間的線圈原始重量，電池電壓，電阻大小均在改變，造成數據分析的困擾。所以不在線圈上串聯電阻（雖然這樣電流比較不穩定），但也可因此觀察到即使磁場強度與導線電流不斷改變，作用力仍恆等於反作用力。

### 誤差的原因

(九)即使是數字型的微量天秤，呈現受測物的正確重量仍須一小段時間（一秒以內），若兩架天秤反應時間稍有差距，則呈現出來的重量變化就會有誤差，因為我們是以數位攝影機進行攝影後，再重新放影，以定格畫面進行記錄。因此若無法同時呈現正確數字，就會有誤差。而且在力量變化越快的情形下越嚴重。由表一至表四之誤差較小，但表五表六誤差較大，表七最嚴重可看出。

## 七、結論

(一)載流導線在磁場中的受力遵守牛頓第三運動定律，即當有一載流導線在磁場中受力時，必有一反作用力作用於產生磁場的物體（無論是電磁鐵或磁鐵）上。反作用力的大小與作用力相等，方向相反。

(二)載流導線在磁場中受力的反作用力，與作用力的關係不一定會在同一直線上。但在特殊情況下，會有同一直線情況發生。

## 八、參考資料

(一)高級中學物理第一冊 101頁103頁 國立編譯館八十八年出版

(二)高級中學基礎理化下冊 7頁 10頁 國立編譯館八十七年出版

## 評語

牛頓第三運動定律在電磁（超距）力現象方面的觀察是屬於高難度的，但作者能自行設計簡易的實驗不只觀察到電磁力的現象，並且以具體數據予以證明，該實驗設計很有創意，實驗結果有合理的解釋及容易瞭解。