

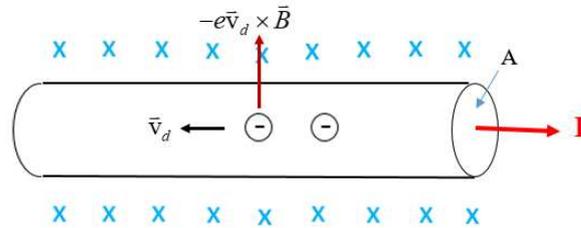
勞倫茲力實驗

目的：

觀察磁場導致載流導線產生勞倫茲力(Lorentz force)的現象，並探究載流導線的電流(I)、長度(L)及外加磁場(B)對其勞倫茲力大小的影響。

原理：

勞倫茲力即所謂的電磁力，源自於電場或磁場作用而形成的力。為了瞭解勞倫茲力，我們將載流導線置於磁場，而載流導線可視為沿導線大量流動漂移的電子，當載流導線與磁場方向垂直，這些電子就會受到磁力作用，如示意圖(1)所示。



圖(1)

由於電子質量太小，大量電子所受的淨磁力不能代表載流導線的勞倫茲力。然而，磁力卻會造成電子偏向聚集在導線內形成電場，該電場可作用於導線內的離子產生靜電力，因離子質量大，故離子所受的靜電力才是載流導線主要的勞倫茲力。不過，根據霍耳效應(Hall effect)可知該靜電力相當於大量電子所受的淨磁力，因此，載流導線所受的勞倫茲力仍可由大量電子所受的淨磁力表示。

根據電子在磁場中運動所受的磁力方程式，即：

$$\vec{F} = e\vec{v}_d \times \vec{B} \quad (1)$$

其中 e 為電子電量、 v_d 為電子漂移速度、 B 為磁場強度。

，可推導出載流導線內大量電子所受的淨磁力如下：

$$\vec{F} = I\vec{\ell} \times \vec{B} \quad (2)$$

其中 I 為電流、 ℓ 為導線長度、 B 為磁場強度。

因此，本實驗將驗證(2)式，即分別探究載流導線的電流 I 、長度 ℓ 與外加磁場 B 對勞倫茲力的影響關係。至於載流導線勞倫茲力的量測，主要根據載流導線與磁鐵座間的作用力與反作用力，導致電子天平上的磁鐵座受力，由電子天平量測出受力大小，進而推估出載流導線的勞倫茲力(因作用力與反作用力大小相等)。

載流導線的勞倫茲電磁力現象可進一步延伸運用至電動馬達(Electric motor)製作原理，而電動馬達的相關應用更是廣泛，譬如：電動車、機械手臂及各種馬達傳動裝置等等。

儀器：

電流迴路板(×4)、磁鐵座×3(包含8、6、4個馬蹄形磁鐵)、三腳底座、迴路板支架、電子天平、直流電源供應器、高斯計、連接線(×2)。

注意事項：

- 1.磁鐵座內馬蹄形磁鐵的同磁極皆已吸附於磁鐵座同一側鐵板上，取用磁鐵座進行實驗，請勿任意拆解磁鐵座內的馬蹄形磁鐵。
- 2.利用高斯計量測磁鐵座磁場強度，必須將高斯計探針頭伸入磁鐵座凹槽中央附近，磁場讀數可能會跳動，取大約數值登記即可。若暫時不用高斯計，需將探棒頭插入防護罩，避免折斷！
- 3.電流迴路板放入磁鐵座凹槽愈靠近底部馬蹄形磁鐵，磁場會愈大，勞侖茲力也會愈顯著，但切勿碰觸到磁鐵座。
- 4.電子天平讀數需等待穩定，再讀取紀錄之。若讀數出現負值，應是勞侖茲力方向不同，只要將磁鐵座的紅、白長條鐵板位置調換或將迴路板支架上的紅、黑連接線互換，即可改變勞侖茲力方向，讀數可轉為正值。
- 5.檢收儀器時，迴路板支架與電源供應器的連接線不需拆掉，避免接頭損壞。

步驟：

(A) 載流導線電流 I 與勞侖茲力 F 之關係

- 1.取內含8個馬蹄形磁鐵的磁鐵座(注意：請勿拆解馬蹄形磁鐵，若不小心拆解，請確認同磁極是否吸附於磁鐵座同一側鐵板上，同極相斥！)，利用高斯計量測磁鐵座凹槽近底部的磁場，其中高斯計探棒標示長度刻度的面請朝向側面(即平行紅白色長條鐵板)，量測方式如圖(2a)，填入表(1)的磁場量測值 B' 。(注意：高斯計量測單位有“G”與“T”兩種，其中 $1\text{T}=10^4\text{G}$)
- 2.將磁鐵座輕輕置放到電子天平的秤盤上，而迴路板支架套在腳架上，選擇標示導線長度 l 為4cm的電流迴路板，拉起迴路板支架，將電流迴路板插入迴路板支架前端，如圖(2b)，然後，再將迴路板支架平放復原。
- 3.利用迴路板支架，調整電流迴路板的高度和位置，使迴路板的導線儘量深入磁鐵座凹槽底部，但不可碰觸底部。(注意：電流迴路板必須盡量與磁鐵座上的紅白色長條鐵板平行，並且不可接觸到磁鐵座。)然後，再以兩條連接線將迴路板支架與電源供應器相連。



(a)



(b)

圖(2)



圖(3)

4. 開啟電子天平電源，一般讀數會自動歸零。若未歸零，則請再按歸零鍵。
整個實驗裝置架設如圖(3)所示。
5. 開啟電源供應器，設定電流從 1.0 A 開始，每次增加 0.5 A，一直增加至 3.0 A 為止，並記錄電子天平每次量測的讀數，填入表(1)。
6. 將電子天平克重(gw)換算成力單位(N)，即 $1 \text{ gw} = 0.0098 \text{ N}$ ，填入表(1)。
7. 將每次的 I, l, F 等實驗數據代入(2)式，注意單位需統一為 MKS 制，估算每次的磁場 B ，填入表(1)的磁場估算值 B 。

(B) 載流導線長度 l 與勞倫茲力 F 之關係

1. 將電源供應器的電流固定為 2.0 A，然後，取用不同導線長度的電流迴路板，實驗裝置仍如圖(3)所示，記錄導線長度 l 與電子天平讀數，填入表(2)。(注意：開啟電源供應器前，電子天平是否讀數為零？若否，請按歸零鍵！)
2. 將電子天平克重(gw)換算成力單位(N)，填入表(2)。
3. 將每次的 I, l, F 等實驗數據代入(2)式，估算每次的磁場 B ，填入表(2)。

(C) 外加磁場強度 B 與勞倫茲力 F 之關係

1. 固定導線長度 0.04m 電流迴路板且電源供應器的電流 I 設為 2.0 A，實驗裝置仍如圖(3)所示，記錄電子天平讀數，並轉換為力單位(N)，填入表(3)。
2. 將 I, l, F 等實驗數據代入(2)式，估算磁場 B ，同時，使用高斯計量取磁鐵座凹槽內磁場 B' ，將 B, B' 數據填入表(3)。
3. 根據表(3)取用內含不同數目馬蹄型磁鐵的磁鐵座，改變磁場大小，重複步驟 1、2，將數據填入表(3)。

記錄與問題：

表(1) 載流導線電流 I 與勞倫茲力 F 之關係

磁鐵數目	電流 I	磁場量測值 B' (T)= ; 導線長度 $l = 0.04 \text{ m}$		
		天平讀數(gw)	F (N)	磁場估算值 B (T)
8	1.0 A			
8	1.5 A			
8	2.0 A			
8	2.5 A			
8	3.0 A			

表(2) 載流導線長度 l 與勞倫茲力 F 之關係

磁鐵數目	電流 I	天平讀數 (gw)	$F(N)$	導線長度 l	磁場估算值 $B(T)$
8	2.0 A			0.04 m	
8	2.0 A			0.03 m	
8	2.0 A			0.02 m	
8	2.0 A			0.01 m	

表(3) 外加磁場強度 B 與勞倫茲力 F 之關係

磁鐵數目	電流 I	導線長度 $l=0.04\text{ m}$			
		天平讀數 (gw)	$F(N)$	磁場估算值 $B(T)$	磁場量測值 $B'(T)$
8	2.0 A				
6	2.0 A				
4	2.0 A				

- 1.請根據表(1)~(3)的實驗數據，分別繪出勞倫茲力 F 與電流 I 、導線長度 l 及磁場 B' (量測值)的關係圖，這些關係圖是否符合原理(2)式的理論預測？
- 2.請分析表(1)~(3)的磁場估算值與量測值的誤差，並說明誤差原因。
- 3.電流迴路板若未與磁鐵座上的紅、白長條鐵板平行，則對實驗會有何影響？
- 4.電子天平顯示讀數可能會出現負值，請問原因為何？
- 5.磁鐵座凹槽內的磁場是否均勻？請加以說明之。
- 6.請利用原理(1)式推導原理(2)式，即推導 $\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$ 。
- 7.何謂霍爾效應(Hall effect)？

討論：

參考文獻：

- 1.戴明鳳，普通物理實驗開放式課程，國立清華大學物理系製作，2011。
(<https://ocw.nthu.edu.tw/ocw/index.php?page=course&cid=40>)
- 2.博揚儀器公司，實驗操作說明書。
3. Harris Benson, University Physics, 3rd Revised, Ting Lung Book Co., 2019。