

發揮大學物理演示實驗的探究教育功能 對安培定律演示實驗現象的探究

朱鋹雄、劉金梅、於潔

華東師範大學物理系
上海 200062

電郵：zhuphysics@yahoo.com.cn

收稿日期：二零零五年九月二十四日(於十二月二十四日再修定)

內容

- [摘要](#)
 - [一．觀察實驗結果，引出探究問題](#)
 - [二．提出探究問題，實施探究過程](#)
 - [三．體現探究要素，提高探究能力](#)
 - [四．小結](#)
 - [參考文獻](#)
-

摘要

本文概述了電磁學中關於安培定律的一個演示實驗設計思路和實驗現象並用探究性的學習方式——從提出假設開始——進行實驗驗證——修改假設——再觀察實驗結果 - 歸納實驗現象——作出理論分析——得出結論——著重對實驗的條件和誤差產生的原因進行了分析。學生通過演示實驗經歷探究的過程，產生探究的體驗，學習探究的方法，把被動的學習方式轉變為主動的學習方式，體現了演示實驗本身具有的探究教育功能。

關鍵字：演示實驗、探究要素、探究教育功能



壹、觀察實驗結果，引出探究問題

(1) 實驗設計的思路和結果

電磁學中關於驗證安培定律的一個演示實驗的設計目標是：觀察兩平行放置的長直導線在通以同向及反向兩種情況電流時，由於磁場力的作用所產生的相互靠近及相互遠離的現象。

由於在裝置上及其它條件上的限制，兩平行電流間間距很難重現，而且兩平行導線中通過的電流很小，產生的磁場很弱，導線受力後產生的微小位移，很難被肉眼直接觀察到。因此，從這個演示實驗中學生不僅難以定性地觀察磁場力的作用，而且更無法得出定量的結果。

為了能夠明顯地觀察到磁場力的作用，可以設計這樣的實驗思路：把互相靠得很近的兩根平行導線之間間距看作單縫，把導線通以電流後發生互相吸引或排斥看成是單縫寬度的減少或增加，通過光學中的衍射技術定量地測得間距發生的微小變化，從而計算出通電長直導線受到的磁場力大小。

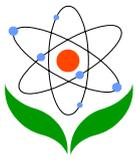
實驗的基本裝置是這樣的：將兩根直徑為 0.14mm、長為 250mm、表面光滑的磷銅絲，平行固定在導線架上，磷銅絲的長度是 $2.5 \times 10^{-1} \text{m}$ ，與兩根磷銅絲的間距相比，磷銅絲的長度可以看成是“無限長”。實驗研究的是距離一根通電直導線為 r_0 處的另一根平行導線所受到的磁場力的大小。為使其滿足理想條件， r_0 的數量級應該在 10^{-4}m 數量級範圍之內，同時 r_0 還必須滿足作為光學衍射實驗中單縫的要求。當兩長直導線上通過一定的、方向相同或相反電流時，由於電流與磁場的作用，兩導線之間可產生相互吸引或相互排斥的現象，即單縫的寬度發生變化。如果將一鐳射光束射在此單縫上，在長直導線較遠處放一光屏，可通過觀察光屏上的衍射條紋變化的情況，並根據衍射圖樣中強度極小的一般公式：

$$d \sin\theta = K\lambda, K = 1, 2, 3, \dots \text{ (極小)}$$

來精確地計算出兩導線的微小間距變化 d 值。式中， λ 為氦氖鐳射波長(6,328 埃)； K 為暗條紋的級數。

由於實驗中，電流 I_1 、 I_2 和兩長直導線間距 d 都可以精確地測得，而且重複性很好，所以由此計算得到的磁場力，可以達到較高的精確程度。

(2) 實驗現象與理論結果不符



在兩根長直導線中通以平行的相同方向的電流，在光屏上可以觀察到衍射條紋外移的現象。根據衍射公式 $d \sin\theta = K\lambda$ ，條紋外移即意味著 $\sin\theta$ 值變大，從而可知兩導線間距 d 變小，於是得出兩根導線所受的到的磁場力方向相向，即兩導線互相吸引，與理論的結果相符。然後，改變接線的方法，使長直導線中通過的電流方向相反。出乎意料的是，依然觀察到衍射條紋外移的現象，即兩導線仍然互相吸引，從現象上看，其結果與理論的結果不符。

對於這樣的演示實驗結果，我們沒有採用把實驗現象與理論的不符歸結於誤差的簡單做法，而是把出現這樣的結果看成恰好是啟發學生進行探究學習的好機會，把從分析誤差著手，改進演示實驗看作是從發揮演示實驗主要是驗證結論的功能走向發揮驗證與探究相結合功能的有益途徑。

貳、提出探究問題，實施探究過程

我們要求學生以探究性的學習方式從發現問題提出假設開始 - 進行實驗驗證 - 修改假設 - 再觀察實驗結果 - 歸納實驗現象 - 作出理論分析 - 最後得出結論的方式，著重對實驗的條件和誤差產生的原因進行分析。

問題一：

將鐳射管、導線架、光屏按照實驗原理圖在導軌上固定好之後，使鐳射光束垂直入射到兩根磷銅絲的單縫平面上。在觀察光屏上所成的像的同時調節導線架上的調節間距螺絲，使光屏上出現衍射條紋。但是，光屏上呈現的衍射條紋卻不是理想的單縫衍射條紋。原因何在？

探究過程：

氦氖雷射器的波長 $\lambda = 6328$ 埃，狹縫或者障礙物的線寬只要在 10^{-4}m 的範圍內就可以實現衍射。而導線架中的磷銅直徑為 $1.4 \times 10^{-4}\text{m}$ 。所以條紋可能是兩根磷銅絲和它們之間的狹縫分別發生的衍射在光屏上疊加的結果。因此，要想得到單純是由狹縫引起的衍射，必須增加磷銅絲的線寬。

解決措施：

在已經固定好的磷銅絲狹縫的週邊仔細塗上不透光的物質（例如指甲油），用來增加磷銅絲的線寬。

結果：



再次將鐳射光束打到加工過的狹縫上，光屏上出現理想的單縫衍射圖樣。

問題二：

在兩平行電流的方向相同時，在光屏上觀察到衍射條紋外移的現象。根據公式 $d \sin\theta = K\lambda$ ，外移即 $\sin\theta$ 值變大，可知兩導線間距 d 變小。與安培定律相符合。改變接線方法，接通長直導線的電流後，理論結果是衍射條紋向中心收縮，但是結果仍在光屏上觀察到衍射條紋外移的現象。這又是什麼原因造成的？

探究過程：

對光屏條紋發生外移的原因我們假設有：光路問題、電路問題、干擾因素、磷銅絲通電導致形變、磷銅絲不直、實驗儀器設計不當等。對這些假設我們逐一進行了驗證

光路問題：

如果在光路中存在誤差因素，那麼我們直接用放大鏡觀察導線的移動情況應該能夠觀察預料中的結果。觀察發現，不管線路如何接法使電流同向還是反向，兩導線都是相互靠近。於是，排除了光路問題導致圖樣變化的可能。

電路問題：

為找出電路中可能存在的問題，最直接的方法就是用電流計來檢測電路中電流的方向。我們將直流靈敏電流計串聯入電路中，從電流計的指標偏轉方向可以看出，電流的確是先同向後反向。於是，電路可能存在問題的假設也排除了。

干擾因素：

為了找出回路中空間任意分佈的連線(例如，與電源相連的導線)可能對通電長直導線的磁場產生的干擾影響，我們調整了其他連線的位置，使磷銅絲產生的磁場不受其他外磁場的影響。結果發現，原有的現象仍然存在，因此，干擾的因素也可以排除。

通電導致磷銅絲形變：

在設想過多種原因最後還是不能得到理想結果後，我們猜想，可能是磷銅絲通電加熱後伸長而造成了導線移動。我們先改用單根磷銅絲進行較大電流的實驗，明顯地觀察到在通以較大電流時磷銅絲的確發生了彎曲，由此，我們推斷



兩平行直導線通以反向電流時發生相互吸引的現象實際上可能是導線通電後發生的形變所造成的。儘管磁場力會引起排斥，但是如果形變力比磁場力大得多，後者產生的效應就被掩蓋了。但是，如果形變是導線變熱引起的，那麼彎曲的方向應是隨機的。但經過反復多次實驗，導線的形變都發生在同一個方向，因此，我們猜想可能還存在其他原因。

磷銅絲不直：

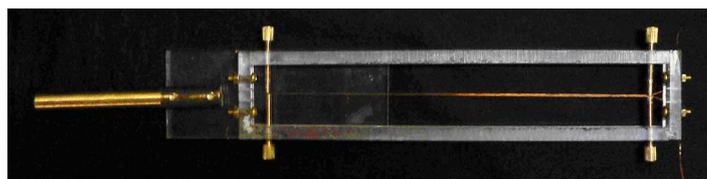
我們又假定出現實驗結果的原因可能是由於磷銅絲一旦彎曲後沒有完全保持平直而造成的。要想獲得沒有發生過任何彎曲的磷銅絲是不太可能的，於是，我們採用了幾乎沒有彈性的細銅絲代替，只要觀察到兩導線受磁場力作用符合理論結果的現象就能證明上述假設成立。我們將直徑 0.1mm 的銅絲連入導線框，接通電源，結果再次發現並沒有出現我們預料的現象，這個假設又被否定。

實驗儀器設計不當：

在分析儀器裝置時，發現原來固定在導線框上的兩根磷銅絲，其間距是由兩側螺絲頂住並調節的，導線受力後分別呈現“) [”的形狀。我們假設可能在通以電流之後由於磷銅絲變熱伸長，但又受到四個調節螺絲的擠壓，從而導致了磷銅絲產生相向的形變。

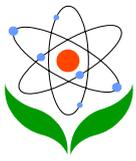
解決措施：

為了證實這個假設，我們卸掉四個調節螺絲讓 0.1mm 的銅絲完全保持直線固定於導線框內，我們設計了如圖所示的一個配件。圓柱體上刻有兩平行圓槽，用於安置銅絲。槽間距為固定的 0.3mm，在雙槽的兩側分別打兩個平行且通過直徑的小孔，整個圓柱體的一側與一個調節螺絲固定，另一側對稱的位置有一個比調節螺絲直徑稍大的圓洞，起到穩定圓柱體的作用。將兩根銅絲分別穿過圓柱上的小孔再繞圓槽一周後固定於原來的位置，這樣銅絲就通過圓柱的凹槽沿圓柱的切線方向被固定。保證銅絲未受到影響實驗結果的外力。



(安培定律演示導線架圖示)

結果：



再次接通電流，當兩平行導線電流方向相同和相反時，我們從衍射圖像中推斷出了磁場力的作用是相吸或相斥的現象。實驗終於演示成功了。

參、體現探究要素，提高探究能力

物理學是一門探求物質結構和物質運動形式的學科。大學物理課程的目標，除了要使學生掌握基礎的物理學知識和技能外，還要使學生認識物理學家的成功之道，體會開展科學研究的過程和方法。科學探究既是大學物理課程的目標，又是重要的教學方式之一。探究性教學是指在教師指導下學生運用探究性的學習方法進行學習，主動獲取知識，發展能力的實踐活動，其目的在於培養學生的創新精神和實踐能力。建構主義理論認為，學生的知識與能力主要不是依靠教師進行強制性灌輸與培養而獲得的，而是在教師的指導下由學生主動探索、主動思考、親身體驗並在原有知識的基礎上建構起來的。將科學探究列入教學過程，旨在將學習重心從過分強調知識的傳承和積累向知識的探究過程轉化，從學生被動接受知識向主動獲取知識轉化，從而培養學生的科學探究能力、實事求是的科學態度和敢於創新的探索精神。

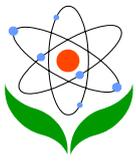
從這個實驗的探究過程中，我們可以歸納出探究性學習方式的幾大要素：

1、發現問題和提出問題。從日常生活、自然現象或實驗觀察中發現與物理學有關的問題，這是實施科學探究的第一步。

在本實驗中我們可以看到問題正是從觀察到的現象與理論預言不符合開始的。在這種情況下，簡單地否定具體實驗結果和籠統地懷疑理論的可靠性都不是科學的態度。面對著出現的出乎意料的問題，我們不回避，不排斥，而是承認問題，抓住出現問題的機遇，開始了探究性的學習。

2、作出猜想和提出假設。猜想與假設是科學探究的核心環節。在本實驗中，我們根據實驗中獲得的資訊提出一個又一個可能的可能答案，這就是猜想。在猜想的基礎上做出預測並闡述他們的因果關係，這就是假設。猜想是對問題中的事實尋求可能的解釋，儘管猜想不一定是最終的科學結論，但猜想不是主觀臆斷，不是毫無根據的胡思亂想，它是根據已有的經驗、知識和一定的科學事實經過一系列思維推理得出的，猜想的提出往往就是為探究提供的具體方向。

3、制定計劃和設計實驗。明確探究的方向以後，就需要制定計劃與設計實驗。制定計劃與設計實驗是科學探究活動的重要一環。在本實驗中，我們要求學生



自己制定實驗探究的計畫，相互交流，既預料可能實現的途徑，努力加以實現，又尋求計畫中的不當之處，並預料它在探究中可能產生不良後果。

4、實現實驗和收集資料。設想是否科學和合理，必須通過實驗來驗證。首先要能夠實現實驗，並能通過觀察和實驗收集需要的資料；能正確記錄和處理實驗資料。實現實驗與收集資料對於進行科學探究是十分重要的。

5、分析論證和形成結論。對實驗的結果進行分析比較既是科學方法，也是從物理現象和實驗中歸納科學規律的科學過程。比較分析和描述論證在科學探究中是必不可少的。

比較分析實驗顯示的結果，盡可能地用定量或半定量的方法描述物理現象的特徵，資料的描述可以採用文字表述的方法，也可以採用數學表示的方法。特別是需要判斷得到的資訊與已有現象的不同之處。

通過分析論證形成探究結論後，把分析論證前後的科學探究過程進行對比，能夠有助於學生正確認識分析論證在科學探究中所起的作用。

肆、小結

大學物理演示實驗在實現探究性過程和體現探究性要素方面具有比理論課程中更多的有利條件。從教學上講，演示實驗的驗證性功能和探索性功能都是演示實驗的重要功能，發揮演示實驗的驗證性功能有助於學生加深對理論知識的理解，而發揮演示實驗的探究性功能不僅有利於理論知識的學習，更有利於學生體驗理論知識的產生和發展，有利於感受知識形成的過程和方法。我們應該重視發揮物理演示的探究性教育功能，尤其當實驗現象與理論知識預期的結果之間出現誤差的時候，恰恰是引導學生實施探究性學習的有利時機。

參考文獻

1. 陸果(1997)：《基礎物理學》，高等教育出版社，上卷，332 - 333 頁。
2. 張三慧(2000)：《大學物理學(第四冊)》，清華大學出版社，167 - 169 頁。