

陸、美國高中物理

沈青嵩

一、出版

- 1.書名：物理的方法與精要（Physics：Its Methods and Meaning）
- 2.作者：Alexander Taffel，Abraham Baumel and Louis Landecker
- 3.出版年份：教科書1992年第六版
教師手冊1986年第五版
- 4.出版者：Allyn and Bacon INC., Newton Massachusetts, U.S.A.

二、內容簡介

本教師版實驗教學指引主要內容為實驗手冊及評量補充試題。計分

- 1.給教師的話。
- 2.給學生的話。
- 3.如何使用電腦。
- 4.實驗室安全守則。
- 5.60個配合教材內容的實驗：每個實驗分成：
(A)實驗名稱，(B)題目（Problem），(C)儀器（Apparatus）
(D)所需資料與技能（ Needed Information and Skills）
(E)數據的讀取（Gathering the Data）
(F)問題的解決（Solving the Problem）
(G)問題及輔助活動（Questions and Supplementary Activities）
- 6.實驗用儀器及材料清單。

7.供應實驗室儀器及裝置的廠家名稱、住址。

8.評量補充試題：除每章20題的選擇題外，每大單元又附40題的綜合性選擇題，全書計分七大單元三十四章，所有選擇題均為四選一的單選題，附有答案。題目係配合教材，而非以評量實驗教學為目的。

本文將擇較具參觀性質的部分加以介紹，如“給教師的話”中的物理實驗教學目標，實驗室安全規則及全部實驗名稱；並選數則具代表性之實驗內容加以評介，以為有興趣者之參考。

三、物理實驗的教學目標

- 1.使學生了解並簡化問題。
- 2.使學生了解物理原理並嘗試以實驗方法解決問題。
- 3.使學生認識實驗器材並了解實驗技能。
- 4.使學生知道如何評估及解釋實驗結果。

為達成上述實驗教學目標，本書建議學生應完全熟悉：

- (1)所有測量的近似本質。
- (2)數據分析的方法。
- (3)設計新實驗時理論與實驗的相互影響，並檢視、評估理論的預測。

四、實驗室安全守則

- 1.實驗室最優先的考慮為安全，如能注意一些常識性的安全規則，大部分的意外是可以避免的。以下是學生應嚴格遵守的：
 - (1)學生在實驗過程中應特別注意教師的提示，宜安靜實驗以便隨時可聽見教師的宣佈。
 - (2)學生應事先預習教師指定的實驗手冊。問清自己不了解的部分，特別是有關安全事項。
 - (3)切勿單獨，或教師不在時從事實驗。
 - (4)清除非實驗用的其它物品，將非實驗用書本及衣服放在指定的地方。
 - (5)穿著適當，實驗衣最佳，避穿易飛揚或寬大的外衣，長髮應綁緊於後腦

- ，以免被實驗儀器纏住或著火燒傷。
 - (6)自己或同學發生意外，立即報告教師。
 - (7)儀器、電源或瓦斯有任何不正常現象立即向教師報告。
 - (8)只使用教師提供，為實驗手冊所規定的器材，不可使用未經教師允許的器材做實驗。
 - (9)熟悉滅火器、滅火沙包及其它防火裝置的使用，熟識緊急疏散程序及出口。
 - (10)保持工作區域的清潔與乾燥，實驗完畢後，須清潔及擦乾實驗裝置桌椅及雙手。
- 2.另外實驗時使用下列器材時須特別注意如下的事項：
- (1)處理酸時，一定要戴護目鏡，並避免酸濺及衣服或皮膚，若不慎濺及皮膚宜用大量冷水沖洗並立即報告教師。
 - (2)若水銀不慎傾倒，不要試著揀回，應通知教師處理。
 - (3)避免直接接觸放射性物質，須穿戴橡膠手套並用夾子夾。受污染之物須充分沖洗，雙手亦然。
 - (4)不要強力將玻璃管或溫度計强行塞入乾燥的橡膠塞內。塞入前宜用肥皂水或潤滑油將兩者弄濕，手儘量靠近塞入端緩緩的旋轉推進。
- 3.從事與火焰或加熱的事實驗時
- (1)讓你的雙手、頭髮、衣服及易燃物遠離本生燈或酒精燈，鬆散的長髮務緊縛於腦後。
 - (2)不要立即碰觸加熱後的物體，例如燈、三角架、燒杯、環架等，一定要等冷卻後。若非立即處理不可時，須用火鉗等其他適可器具，以防燙傷。
 - (3)當將液體、燒杯或試管加熱時須戴護目鏡。
 - (4)當本生燈熄火時，須立即關住瓦斯等氣體，須等它冷卻後方可調整及再點燃。
 - (5)發現瓦斯漏氣立即報告。
- 4.從事與光有關實驗時
- (1)不要直接注視雷射光束。
 - (2)使用紫外光源時須戴可濾去紫外光的護目鏡。

(3)發現有裂痕或尖銳邊緣的透鏡、三稜鏡或平面鏡等，即要求教師更換，或加上防護邊，以防意外。

5.從事電學實驗時

(1)在接電路前，須確定電源未接上，須經教師檢驗後方准接上電源。

(2)要換下任一組件或改變條件前，電源一定要先切斷。

(3)絕對避免兩手同碰上火線或已成通路的電源，務必謹記電工人員的守則：一手插在口袋裡，謹用一手調整線路。

(4)不可使乾電池或電池短路，導線短路後流過大量電流而產生危險性極高的高熱。

(5)在電流切斷後，不要立即碰觸電熱器、燈泡及其它電路零件或電器，須等冷卻後方可。

五、實 驗

- 實驗一** 長度的測量：利用直尺測量②長方體體積⑤一張紙的平均厚度。
- 實驗二** 時間的測量：利用打點計時器，或頻閃儀測量短時間。
- 實驗三** 彈性：比較橡皮筋與彈簧的彈性是否遵守虎克定律。
- 實驗四** 質量的測量：運用平均值，以天平測量微小質量。
- 實驗五** 密度的測量：運用天平、量筒、測量液體及不規則形狀固體的密度。
- 實驗六** 合力：驗證合力的效應等於分力的總效應。
- 實驗七** 力的分解：利用力平衡時合力為 0，測出纜繩上張力的水平分力及垂直分力。
- 實驗八** 運動的圖析法：利用打點計時器記錄下落物體的運動，並轉換成速度對時間的關係圖。
- 實驗九** 單擺運動的分析：將打點計時器的紙帶繫於擺錘，測得單擺在兩端點間的運動。
- 實驗十** 拋體的重力加速度：運用斜板減緩重力的效應，以便研究重力對拋體運動的影響。
- 實驗十一** 重力加速度（電腦）：以電腦程式分析自由落體第一秒內的運動

(視同在真空運動)，而算出重力加速度。

- 實驗十二** 簡諧運動：利用彈簧振動週期平方正比於下掛重物的質量，來測定未知質量。
- 實驗十三** 單擺的週期：找出單擺週期正比於擺長的平方根。
- 實驗十四** 力和加速度：由滑車實驗探討力和加速度的關係。
- 實驗十五** 動量和質量：在運動中的滑車上忽然加入一質量，檢驗動量守恆定律。
- 實驗十六** 動量守恆：釋放兩滑車間的壓縮彈簧，而測量兩反向滑車的動量大小是否相等。
- 實驗十七** 向心力：以釣線繫一物做圓周運動，找出向心力與物體旋轉頻率的平方成正比。
- 實驗十八** 斜面上功的相互關係：沿斜面對一滑車做功，檢驗能量是否守恆。
- 實驗十九** 滑輪的效率：測滑輪組合（動滑輪、定滑輪各二個）的機械效率。
- 實驗二十** 位能轉換成動能：驗證滑車沿斜面下滑時，位能轉換成動能及摩擦力消耗的功。
- 實驗二十一** 位能守恆：由一下掛重物彈簧的振動，檢驗彈力位能的增加來自重物損失的重力位能。
- 實驗二十二** 加熱效率：以本生燈加熱燒杯中的水，來比較黃色火焰及藍色火焰的加熱速率。
- 實驗二十三** 熱量守恆：在絕熱杯中混合冷、熱水，檢驗熱量是否守恆。
- 實驗二十四** 估計高溫：將高溫鐵棒投入已知溫度的冷水中，由熱量守恆估計鐵棒的高溫。
- 實驗二十五** 冰的熔化熱：將 0°C 的冰投入絕熱杯中已知溫度的溫水，由熱量守恆，計算冰的熔化熱。
- 實驗二十六** 分子的大小：利用油酸在水面上形成一層分子厚度的薄膜，來估計油酸分子的厚度。
- 實驗二十七** 波以耳定律：使用水銀把空氣封在玻璃管中，驗證封閉氣體的體積與壓力成反比。

- 實驗二十八** 絕對零度的估算：在定壓下測量氣體體積對溫度的關係圖，並由圖推算最低的可能溫度（體積為 0 的溫度）。
- 實驗二十九** 波的性質：利用水波槽觀察波形及波的反射，並使用頻閃儀測量波長、頻率，而算得波速。
- 實驗三十** 光的強度與吸收（電腦）：以光度計並與電腦連線驗證(A)光強度與距光源距離的關係，(B)濾光片對光的吸收效果。
- 實驗三十一** 波的折射：以水波槽觀察水波因水深不同所產生的折射現象，並驗證折射定律。
- 實驗三十二** 波的繞射：以水波槽觀察水波通過狹縫時，產生的繞射現象，並探討狹縫寬度與波長對繞射程度的影響。
- 實驗三十三** 聲速：調整玻璃管中空氣柱的長度，使聲波形成駐波，來測量一已知頻率音叉的波長，而定出波速。
- 實驗三十四** 電燈的效率：使用光度計，藉著與一已知發光強度的燈泡比較照度，定出未知燈泡的發光強度，再除以耗電功率，即得燈泡的效率。
- 實驗三十五** 光的偏振：光經玻璃反射後，會產生偏振的現象，實驗找出偏振程度最大的入射角。
- 實驗三十六** 光在玻璃中的速度：測量光從空氣入射玻璃時的入射角與折射角，定出玻璃的折射率，從而推得光在玻璃中的速度。
- 實驗三十七** 由線光譜鑑別元素：使用光柵分光儀，由譜線的位置、強度判定元素的種類、含量。
- 實驗三十八** 光的反射：由平面鏡的成像，找出折射定律，進而能預測成像的位置。
- 實驗三十九** 會聚透鏡的成像：檢驗透鏡公式預測成像位置的準確度。
- 實驗四十** 波的干涉條紋：在水波槽中，以兩個波長、振幅相等的圓形波所產生的干涉條紋，來推算波長。
- 實驗四十一** 測量光的波長：由光柵繞射圖形的第一級譜線的位置，求得入射光的波長。
- 實驗四十二** 靜電效應：利用摩擦生電，探討帶電與未帶電物之間的作用力，以試驗靜電的電子理論之正確性。

- 實驗四十三** 基本電荷的測量：根據電解水時，氫氣體積與電解時間的關係，求出產生一個氫分子所需的電量，其 $\frac{1}{2}$ 即一個電子的電量。
- 實驗四十四** 測電子帶電量的密立根實驗：由密立根油滴實驗，測量油滴的帶電量，其最大公因數即為一個電子的電量。
- 實驗四十五** 繪製電場：利用兩極等電位時，電路電流為 0，畫出正負兩極間的等電位線，其垂線即為電力線。
- 實驗四十六** 電阻的變動：改變電壓、測量電流，以了解燈泡電阻因溫度變化而變動情形。
- 實驗四十七** 電能轉換成熱能：根據通入加熱線圈的電能等於水溫升高及絕熱杯所獲得的熱能，定出 1 焦耳相當於多少卡。
- 實驗四十八** 磁場的繪製：利用磁針偏轉的方向描繪出磁力線。
- 實驗四十九** 磁場強度：利用磁針偏轉的角度，並與地磁大小比較，求得磁鐵的磁場強度與距磁鐵 N 極遠近的關係。
- 實驗五十** 長直導線周圍的磁場：利用磁針的偏角，並與地磁大小比較，找出磁場強度與距導線的距離成反比。
- 實驗五十一** 磁場強度與電流的關係：藉著磁針的偏角，找出線圈中心的磁場強度與線圈電流約成正比。
- 實驗五十二** 質譜儀（電腦）：以電腦程式模擬質譜儀，測量一給定元素的同位素質量。
- 實驗五十三** 感應電動勢：實驗探討影響線圈上感應電動勢的變因。
- 實驗五十四** 由光電效應決定蒲朗克常數：以不同頻率的入射光進行光電效應實驗，測量截止電壓，根據量子理論，即可算得蒲朗克常數。
- 實驗五十五** 由氫的線光譜決定蒲朗克常數：以分光儀，測量氫原子光譜可見光部分（巴爾默系列）的波長，再根據波爾模型求出蒲朗克常數。
- 實驗五十六** 輻射強度與離源距離的關係：以蓋格計數器測量輻射強度與離輻射源距離成反比。
- 實驗五十七** β 射線的吸收：以蓋格計數器，測量不同物質（硬紙板、鋁板）、厚度對 β 射線吸收程度的差異。
- 實驗五十八** 二極體：由測量電壓、電流，分別算出二極體正向偏壓與逆向偏

壓時的電阻。

實驗五十九 電晶體：在共射極電路中，改變基極電流，測量集極電流，以了解電晶體放大電流的倍率。

實驗六十 彈性與非彈性碰撞：以同質量的硬幣碰撞一靜止硬幣，標示出碰撞前後的方向，根據動量守恆，計算能量是否守恆以確定是否為彈性碰撞。

六、實驗設計範例

為讓讀者一窺本教師手冊所設計之實驗手冊全貌與特點，茲以實驗51磁場強度與電流的關係為範本，全文翻譯。

1.目的：線圈中心磁場的強度如何隨電流大小而變呢？

本實驗你將利用與地磁比較的方法來測量線圈中心處之磁場強度。其測量方法與實驗49及50相似，你將變化流經線圈電流的大小，測量線圈中心的磁場，以探測兩者間的關係。

2.儀器：非磁性的鋁架或木架，大小約30cm×30cm，18號的絕緣銅導線，膠帶、羅盤針及附角度之支架，5-Ω的滑動可變電阻器，0-10安培的電流計，開關，兩個乾電池（若電池全新，一個即可，否則需兩個並聯以提供所需之穩定電流）。

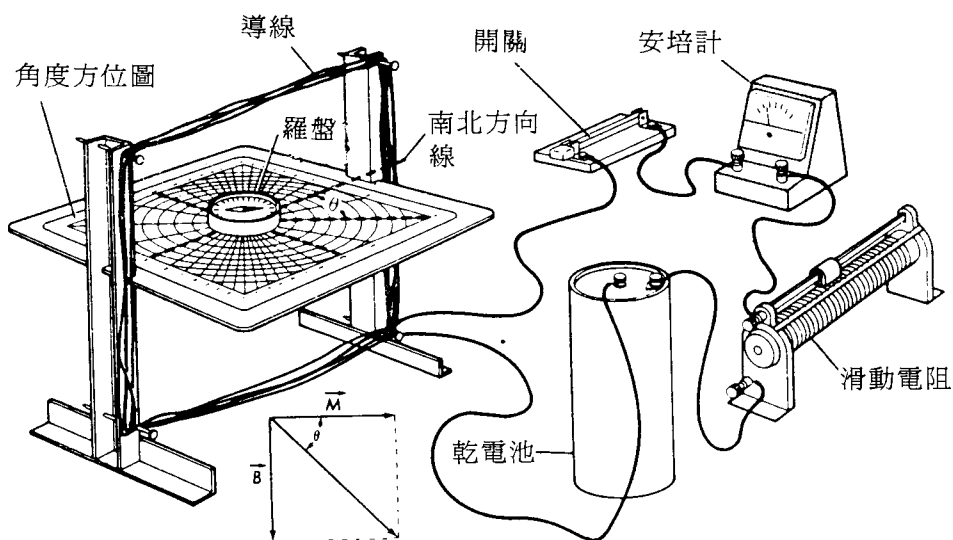


圖51-1 裝製圖

3.所需資訊與技術

裝置如圖51-1所示，繞五圈之線圈於台架上如圖所示，羅盤置於正中央，南北方向線代表地磁的方向，調整台架方向使線圈與地磁方向完全一致。調整滑動電阻至最高值，按下開關並調小滑動電阻，直至電流大到所產生之磁場可使羅盤之磁針轉 30° （對地磁方向而言）。

羅盤磁針受兩個磁場之力：地磁之水平分量 \vec{M} 及載電流線圈的磁場 \vec{B} 。由於線圈之磁場 \vec{B} 與地磁 \vec{M} 相互垂直，所以 $\tan \theta = \frac{B}{M}$ 。 θ 角正是磁針與地磁方向的夾角。因 \vec{M} 為定值，所以 $\tan \theta$ 正比於 B 。因此量出 θ 即可測知 B 。

注意在整個實驗中，電流通時間只宜在觀測時之短時間，每次實驗之前務必查証 B 的方向，確定它與線圈面垂直。並試著電流反向觀察磁針是否反向偏轉。

4.讀取數據

取極座標紙在平台上使座標原點與線圈中心契合，並讓 0° ， -180° 軸與線圈平面對齊後，利用膠紙將極座標紙固定，將羅盤置於極座標中心處。調整架子使羅盤針的磁針方向與線圈面完全重合。

按下開關，調整滑動電阻使磁針偏轉 10° ，記錄偏轉角度 θ 及電流 I 如表51-1。

姓名 _____ 班級 _____

表51-1

I (A)	θ ($^\circ$)	$\tan \theta$

現在繼續增加定量電流，記錄對應的偏轉角 θ ，直到 θ 增大約 70° 為止。

5.問題之解決：

觀察表5-1數據，算出各 $\tan \theta$ 值，利用方格紙，以電流 I 為 x 軸， $\tan \theta$ 為 y 軸作圖。圖中所示線圈所產生磁場 B 與線圈電流 I 的關係如何？

解答：圖中所示 B 與 I 大約成線性正比。因圖形為直線。

6.問題與輔助活動

(1)從你的數據圖決定電流多少時在線圈中心的磁場 B 恰好等於地磁 M 。你如何利用此事實決定磁針的位置，當線圈中心淨磁場為 0 呢？

解答：當 $\tan \theta = 1$ 時， B 恰等 M （即 $\theta = 45^\circ$ 時）。將線圈轉個 90° 使線圈面與地磁方向垂直，調整電流使 \vec{B} 與 \vec{M} 反方向，此時線圈中心的淨磁場為 0 。

(2)若繞線圈時，一半之圈數恰與另一半之圈數方向相反（即反繞），則對 B 有何影響？

解答：由於兩者產生之磁場大小相等而方向相反，故線圈中心的淨磁場為 0 。

(3)如果線圈面未與地磁 $N-S$ 方向一致，或互成直角則對所測得在線圈中心之磁場 \vec{B} 有何影響？

解答：若未通電流，磁針仍將指地磁 $N-S$ 方向，但電流通入後，磁針將指 $\vec{B} + \vec{M}$ 向量和的方向如圖53-2所示。

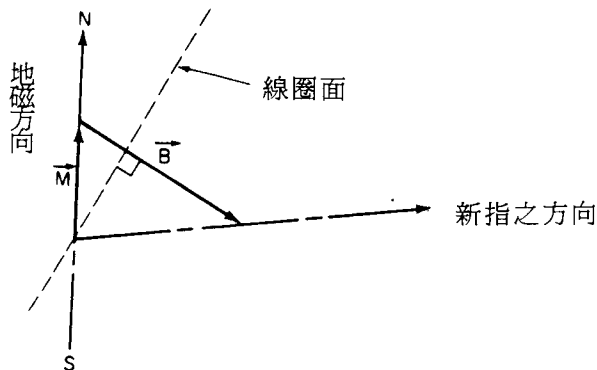


圖53-2

7. 挑戰性實驗

設計一實驗，以決定變化線圈數對線圈中心磁場 B 大小之影響。

解答：裝置仍如本實驗所示，但電流保持一定，從圈數 2 起，每次增加 1 圈，決定偏轉角度如上所述，畫出 B 與圈數的數據圖，將可發現 B 的大小與線圈圈數成正比。

七、評 析

本教師手冊主要為實驗指導手冊及評量兩大部分，在實驗手冊中含實驗室安全守則，實驗教材設計及指導，觀其設計之內容，範圍極廣幾乎涵蓋我國高中及大學之基本物理實驗，總共實驗數高達 60 個，包含基本測量 5，力學 16，熱學 7，波動 5，光學 8，電磁學 11，電子學 2，近代物理 6，涵蓋物理各學門。實驗設計極具參考價值，部分設備高昂非中學財力所能負擔者，改由電腦模擬實驗實不失為可行之道。各實驗除配合教材，培養學生解決問題之能力及基本科學技能外，尚於最後增設挑戰性實驗，利用原實驗設備要求學生思索更深入一層的觀測，尤值稱道。其他如探討原理後提出引導思考或實驗中學生容易犯錯之問題，以達成實驗教學之目的亦頗值參考，各問題及挑戰性實驗均附有詳細解答或說明，方便教師實驗教學。

在所需資訊與技術一節，以綜合性的敘述及問題使學生了解實驗之原理與步驟，以取代傳統的原理說明及條列式之步驟，固有可取之處如更具彈性，但對一般學生而言，恐怕效果不彰，尤其是對閱讀能力較差者尤然。

評量方面提供教師每章 20 題四選一的單選題，每大單元又附加 40 題綜合性選擇題，總計約 750 題佔本教師手冊的 $\frac{1}{3}$ 份量，對教師教學及評量助益頗大。

八、結 語

鑑於實驗教學的重要性，特別介紹實驗教學指引以供關心高中物理教育者之參考，物理是一門實驗科學，再完美的理論模型預測之結果未經實驗證實只能成為假設，先進的實驗結果往往引導理論的提昇，而有助人類對自然的認識，實驗教學不僅要引導學生探索自然的技能與興趣，尚具有訓練學生基本的實

驗能力，一本設計完善的實驗手冊正是實驗教學成功的首要條件。本實驗教學指引之實驗設計頗多值得我國借鏡之處，例如需利用昂貴儀器方能測量者改以電腦模擬；設計之實驗涵蓋所有物理各學門，實驗手冊將各實驗分目的、儀器、所需資訊與技術（而非傳統的原理與步驟）讀取數據，問題之解決，問題與輔助活動及挑戰性實驗，遠較傳統的設計更具彈性，更能刺激學生思考與設計能力，頗值深思與參考。

我國正值修訂高中新課程標準，本教科書之內容及實驗手冊指引頗具參考價值，其教科書已於八十二年七月台灣師範大學科學教育中心出版的「國際數理科高級中學教科書比較研究」一書中介紹分析，特對其實驗教學指引再加介紹，盼有助於我國物理基礎教育之奠基與發展。