

中學物理教師培養的改進

——每一位物理教師必須知道的事項

L.C. McDermott 作 — 蘇賢錫譯 —

Lilliam Christie McDermott 在 Vassar 學院獲得文學士，並在哥倫比亞大學獲得文學碩士與博士學位，她曾在紐約市立大學及西雅圖大學任教。自從 1972 年以來，她一直是華盛頓大學物理系副教授。過去五年，她積極參加小學理化教師與中學物理教師的訓練工作。——譯者注——

由於中學物理教師必須滿足許多需要，大多數獨立學院與大學物理系所提供的職前訓練，已經發生嚴重的缺點⁽¹⁾。領到物理教師證書的學生，往往只受過專業教育，僅完成物理系主修或輔修的必修課程而已。有時甚至沒有修滿輔修課程的學生也被認為適合於頒發證書。

大學職前訓練計劃，通常包括兩年到四年的物理與數學課程，以及一些化學課程。曾經修過高等課程的新任物理教師，對於某些主題，可能比較少修高等課程的教師，有更深一層而且更正確的眼光，但是對於教授更基礎方面的物理學，卻不一定能夠比較勝任。二年級以上的許多課程，對於中學教學沒有直接關係。師範學生需要更具體的幫助，他們的物理訓練始能適應教學。這種幫助在通常的標準物理課程中是無法獲得的。

中學物理教師培養的改進之需要，已經導致許多特殊計劃的開發。這些計劃的種類很多，包括要求蒐集資料的四年廣泛各種學科的計劃，以及主要在物理系內舉辦的適度改革。

在設計師資訓練改進計劃時，首先應該決定，除了在大學主修或輔修的課程而外，中學教師必須知道那些事項？下面建議是根據筆者與師範學生數年來一起工作的經驗，同時也是根據筆者與在職教師討論的結果。這些項目特別限制在未來中學教師的需要，也是目前獨立作業的各校物理系最容易滿足的需要。

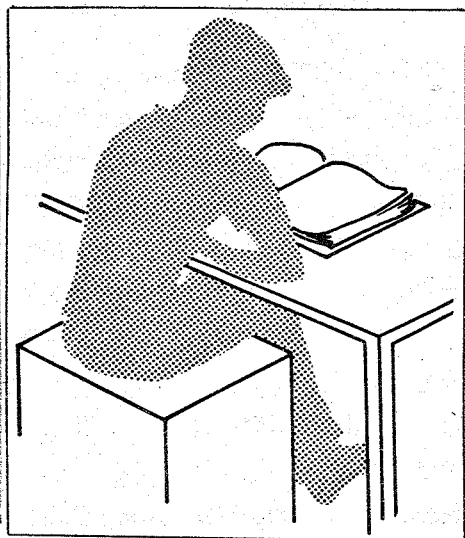
一、物理教師必須徹底理解基本物理學

基本物理學的徹底理解，顯然很重要。這種知識必須透過遠較大學初步課程程度為深的課程而得。大多數大學初步課程教材過於豐富，幾乎無法提供時間使學生徹底掌握基本概念。此後同樣課程的內容往往將學生努力方向，由基本概念導向數學演算。難怪存在著一種趨勢，誤認為公式就是知識，並且誤認為數學方面的熟練就是理解，對於未來的中學教師而言，這種情況特別不幸，因為他們要教的是基本物理學，而對他們的學生有最大價值的教學法是，要用說明現象而不是利用數學的方法。

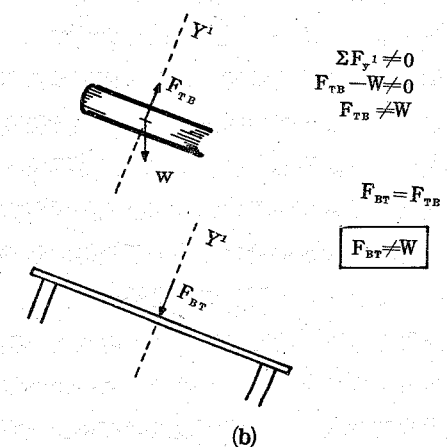
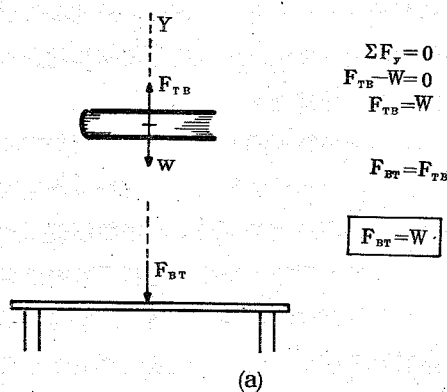
未來的教師對於自己心裏尚未清楚的概念，必須加深理解。想要確定物理系三、四年級學生，甚至物理研究所研究生的知識深度的任何人，立刻發覺他們的理解之中有一片大空白。許多物理學家認為因為太微妙而不關心的基本要點，學生對於這種要點的迷惑，可能會替教師帶來難題。基本力學中的兩個有關例子，可以說明這種情形。

物理系高年級學生，就光滑桌面上的一本書所受的力而被詢問時，往往誤認為書的重量與桌面對書所作用的向上正交力，就是一對作用反作用力。（圖一）在靜力學的情況中，這種錯誤的觀念並沒有重大的影響。然而，現在假如將桌子傾斜，使桌面不在水平面上，則書的重量與正交

力（剛才認為一對作用反作用力），顯然不再相等與反方向（圖二）。如此，這種情形顯然與牛頓第三定律不符。



圖一



圖二

另外一件普遍的錯誤是不會辨別書的重量與書對桌面所作用的力。當桌面保持水平時，可能不會引起太大的困難。然而，假如桌子傾斜，因而書被加速，則書的重量與書對桌面所作用的力，既不相等又不在同一方向（圖二）。不但如此，誤認為書的重量就是書所作用的力，結果會導致牛頓第二定律的矛盾，因為書顯然自己在加速。如此，在一種情況之下顯得不重要的錯誤，在稍微不同的情況之下，可能導致嚴重的矛盾。讓教師不能使別人清楚地理解牛頓力學的，就是這種迷惑。

這種概念上的問題，幾乎所有初學的學生都要遇到，未來的教師必須認真地處理這種問題。某些普遍的錯誤概念，包括主題發展上非常基本的概念，除非消除這種錯誤概念，否則無法進行學習過程。教師必須設法追蹤自己想法的發展過程，以便正確地指出別人容易發生困難的地方。

例如，對於初學的學生而言，要認識沿著曲線的等速率運動是一種加速運動，這是非常困難的。雖然他們能夠背誦第一定律，但是他們却不十分清楚，假如慣性坐標中的物體不沿一直線運動，則其速度在改變，而由某種工具所產生的真力必須存在。在設法解決圓周運動的問題時，學生雖然可能因強記而知道，這是與向心力有關，但是他們不一定把這種力的存在與一般力、重力、或電力連在一起。即使他們會，假如問題包括一個以上的力，則他們往往不能辨別向心力與作用在物體上的總力的經向分力。例如，設一球在鉛直圓周上旋轉，則學生很容易認為，使球產生加速度的的是線的拉力，而不是這拉力與重力的合力。為了最有效地幫助學生，教師必須知道由經驗再三提示出來的這種智力上的障礙。

二、物理教師必須研究物理知識的來源

為了能夠真正欣賞物理學，以及預先考慮學習的困難，物理教師必須知道我們的知識是如何獲得的？我們用以敘述及解釋物理世界的模型是

怎樣產生的？爲了理解這個過程，教師需要直接經驗，由其自己的觀察中，形成概念以及建立模型。在大多數的大學物理課程中，只要記憶概念的定義與模型的特徵就足夠。這樣作法會導致「向後科學」，亦即一個現象的原因就是模型所需要的（圖三）。例如，請比較下列兩種敘述：



圖三

- 1 因爲光由波動而成，故它顯示繞射與干涉。
- 2 因爲光顯示繞射與干涉，故波動模型是有用的描寫。

學生常常忘記，模型是起源於現象，而不是現象起源於模型。他們並不十分了解，組織我們知識而使它在心理上令人滿意且有用的，不是自然界而是人類的智力。根據那些觀察與那些干涉，我們終於接受某些智力模型以便描寫事實？雖然電子因爲太小而我們無法利用感官來探查，然而，我們爲什麼相信電子的存在？雖然一般的觀察暗示不同的情況，我們爲什麼相信地球是繞太陽而運行？要追蹤我們認知的過程，這可能是有價值的學習經驗。假如未來的教師，至少在幾個例子中，從現象開始學習一個主題並以模型的建立來結束，則他們將更加覺得他們交給學生的教材有障礙。

三、物理教師必須有“以實驗室爲中心”的教學經驗

因爲師範學生所修的大多數物理課程，不是演講方式就是演講兼實驗方式，所以他們已經有充分的機會來熟悉，演講就是教學的一種方式。假如這是他們唯一的學習經驗，他們可能也用這種方法去教。然而，演講對青年男女的效果，甚至比大學生爲小。未來的教師必須有機會直接地發現，由參與活動中的學習比較被動的吸收爲佳。只有他們在實驗室兼教室內至少受過一段教育後，他們始能欣賞，以發問爲中心的教學法，對未來課堂上的貢獻。

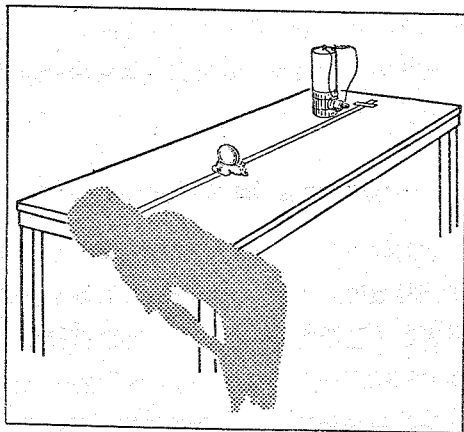
除此而外，含有參與活動的學習，能使師範學生培養信心，以便處理意想不到的問題。要得到公式或明瞭書上解答問題的方法，這種趨勢已因大學物理課程強調最終結果與獲得結論的過程相反而得以堅固地確立。

未來的教師必須理解，實驗室佈置對於初步物理學的重要性。他們必須知道，初學的學生需要與實際世界的現象直接經驗，然後始能使用數學術語來處理它。例如，學生不應利用歐姆定律來發現，對同一個電池而言，兩個相同燈泡並聯時，其亮度比串聯時爲大。學生應該從直接觀察中了解所發生的事，並且應該能夠利用諸如此類的經驗去形成「電流」與「電阻」的初步原始概念。

實驗必須用來發現所發生的事，而不是只用來證明主張。例如，單擺的運動，必須在實驗室開始研究。在實驗過程中發現決定週期的要素，這是一種教育經驗，並不能以誘導公式的學習方法所替代。當實驗在理論之前時，所獲得的知識對學生不但更有意義，而且更容易保留。

只要可能辦到，實驗必須利用到處能夠找到的簡單器材。例如，做透鏡實驗時，由一個小燈泡，用米尺刻度的一張紙條，以及裝在黏土上面的透鏡所組成的 PSSC⁽⁵⁾ 裝置，其優點比光具座

為大(圖四)。包括簡單器材的實驗，其教育價值可能較高。除了這件事實以外，假如教師始終依靠昂貴的儀器，則許多中學購置器材的微小經費，很容易成為減少實驗與示範表演的藉口。



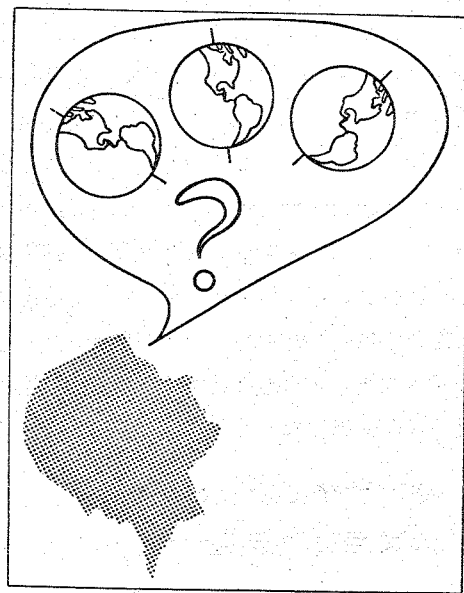
圖四

雖然如此，對於理解重要概念有用的許多實驗，需要比較特殊的器材。例如，為了建立電荷的不連續性，則需要中學物理學生能利用的一種經過修改的密立根實驗。其他的例子包括，用陰極射線示波器所做的，有關含時現象的許多示範表演。由於器材難免需要調整與修護，教師必須具備實際實驗經驗。玻璃細工、機械工廠實習、以及電子儀器修理的一些能力，可能很有幫助。

四、物理教師必須學好辨別命名與說明

教師必須學好辨別「命名」與「說明」。使用字詞與知道該字所代表的意義。這二者之間有區別，例如，要求學生說明季節時，學生通常低語著有關地球傾斜的情形(圖五)。如果更進一步的發問，則常常顯示他們不但不知道利用傾斜情形如何能夠說明所觀察的變化，而且更嚴重的是，他們不知道地球對何物傾斜？甚至不知道傾斜的是什麼？雖然如此，除非被問到，否則他們往往相信他們「知道」答案，並且似乎不會進一步追究這個問題。

教師必須知道油腔滑調的語言之危險性。他們必須學習堅持，一個概念要用簡單操作型術語



圖五

下定義後，始對它指派一個短片語。就專門用語而言，這是特別重要。在教育學的觀點上，諸如「加速度」、「駐波」、「電場」、或「能量」等術語，在它們尚未經過經驗來引起動機以前，最好避免使用。

上述所意味的是教師的一件重要特質——辨別「知道」與「理解」的能力。就個人而言，師範學生似乎不會比一般大學生善於分析思想。然而，假如他們將來要指導別人的學習，則他們必須做這種分析。

五、物理教師必須領略物理學的聯貫性

物理教師必須覺察，遍及整個物理學的聯貫性。他們必須認識物理學是如何運用普通概念結構來解釋不同的現象。例如：力、加速度、以及場等概念，已經超出這些主題傳統分野的界線。雖然大多數物理學家認為，初學的學生當然不容易領會這些概念，但是未來的教師必須表現出來，在一連串遇到地球力學、重力、電學、磁學、以及原子物理學中，利用螺旋形探討方式與前後關係，他們是如何地能夠幫助學生加深理解這些概念。

還有許多其他方法，未來的教師可以利用它

們，將物理學看成一項有聯貫性的智力組織。某些概念的發展——由起始的形成到後來的改良——對基本物理學大部分的學習，能夠提供骨架。例如，要對「電子」一辭下操作型定義時，可以同時研究陰極射線管內電子注的軌道。這項分析將涉及基本靜電學、靜磁學、電磁學、拋體運動、力、及能量的綜合知識⁽⁶⁾。用來把一個主題的不同部分連在一起的另外一種題目可能是，一些兩不相容的概念之間的特殊關係，例如超距作用與場，或粒子與波動。

六、物理教師必須使物理學 與實際世界發生關聯

未來的教師必須考慮，在物理學習中所獲得的知識是如何與實際世界發生關聯。對於某些重要物理量與效應的數量級之熟悉——地球的半徑、地磁場的大小、聲與光的速度、原子的大小、以及可視光的波長——能夠增加教師的能力，使學生覺得物理學有意義。教師若能計算概略數量級，並且能夠查看答案是否合理，以便檢查問題的結果，則對上述目的亦有幫助。

物理學與實際世界之間的關係，可以在有關部門中找到許多例子。師範院校的教育必須包括一些課程，而這些課程應該能夠提供，人們容易認識出來的基本物理概念的應用。例如，利用肉眼的天文觀察之經驗（包括太陽、月球、星星的每日運行；太陽的每年運行；月球循環），倘若只在本地能夠做到，則必須包括在未來教師的物理課程中。

七、物理教師必須把物理學 視作一般文化的一部份

未來的教師必須理解，物理學的進步與我們的其餘文化的發展是如何地關聯。然而，主修與輔修物理學的學生，往往被這種企圖發生如此關聯的初步課程所排除。結果，他們常常令人驚訝地不知道，科學的進步與其他部門（例如哲學、

政治學、以及藝術）的思想演變之間的關係。

物理教師必須知道，太陽系的地球中心觀的變遷，以及物質原子論的接受，這種革命的發生，不是與其餘的人類歷史沒有關係。為了極其有效利用 Project physics⁽⁷⁾等，那些討論物理學的人文學方面的課程，教師在大學求學期間需要一部分適當的背景。

八、物理教師必須熟悉好的教材

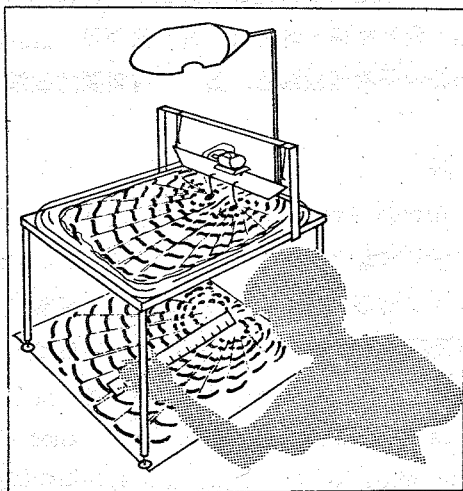
對於好而即時可用的中學課程之熟悉，可能對未來的教師非常有用。為求最大利益，職前訓練計劃必須包括對這種教材的一些直接經驗。真正做 PSSC⁽⁸⁾或 Project physics⁽⁷⁾的一部分活動，遠較只閱讀這些教材為有價值。不同教材的優點之利用，全視教師對該教材的直接操作之熟悉程度而定。

九、物理教師必須把學習理論 應用在教學上

雖然修過教學法課程，但是未來的中學教師對於他們未來學生的智力發展程度，往往缺乏判斷力。他們或許能夠對「具體操作型」與「正式操作型」下定義，但是他們似乎不知道皮亞傑的發展模式對物理教學的意義^(8,9)。

大多數中學生尚未充分達到皮亞傑所說的正式操作觀念，這種證據愈來愈多⁽¹⁰⁾。因此，他們需要具體的經驗，以便組織並且發展抽象的概念。速度與加速度，將光視為波動，像這樣的抽象概念，假如起初是用代數方法而不是從現象的情況來處理，則對他們毫無意義。未來的教師必須找機會，從反覆再三例子中去學習，究竟尚未介紹抽象概念之前，應該如何提供適當的經驗給他們的學生。

例如，類似的光學實驗所包括的比較抽象情況尚未處理之前，學生必須測量水波槽中因干涉而產生的水波波長（圖六）。在研究由兩個同相點波源而產生在下面白紙上的條紋時，學生能夠



圖六

真正數一數從每一個波源到重疊波峯或重疊波谷之間的波數，並且能夠知道其差數是一個整數。在紙上，學生由每一個波源的像到離遠波源的最大值處劃幾條線，他們就能夠知道距離較大時的近似情況。對許多學生而言，這種具體的經驗就是能使學生理解光是波動的關鍵。

未來的教師必須具有明確的實例，來顯示基本物理學的學習是如何地與他們學生的智力發展發生關聯⁽¹²⁾。同時，他們必須認真地把家庭作業習題視為助長推論能力的成長之機會。

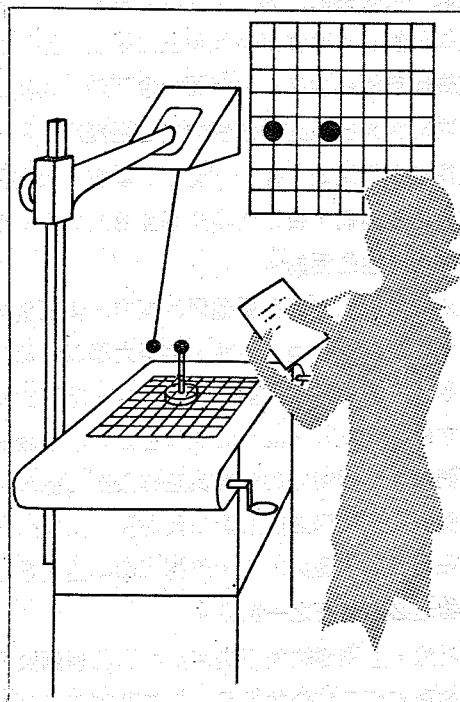
十、物理教師必須發展科學的探討技巧

雖然物理學家通常認為，科學研究過程中所用的智力技巧的發展，就是物理教學的主要目標，但是幾乎沒有一門大學課程，真正幫助學生這樣發展。結果，教師往往只修普通一般大學物理課程，而以探討過程來教科學所需的技巧，卻是沒有。這方面的能力，必須特別努力去確實使其成長。筆者與師範學生共同工作的直接經驗中所獲得的一些例子，可以當做實例。

觀察與推論的辨別能力，必須特別強調，令人震驚的是，許多學生修完兩、三年物理以後，對於這種區別仍然感到困難。例如，他們往往說，他們「觀察」電子在導線中流動，或說，「觀察

」光波形成干涉條紋。操作型定義的說明也成問題。例如，對他們要求下「磁場」的操作型定義時，可能僅僅得到關於磁力線的模糊回答。

變因的分離與控制的重要性，必須透過實際實驗經驗而予以強調，雖然大多數物理學生似乎知道，在一個情況中，要研究一個變因之改變所帶來的效果時，其他的獨立變因必須保持不變，但是他們很少能夠應用這觀念來設計實驗。在庫侖定律實驗中，我們所得到的經驗便是一個實例。學生研究帶電量相同的兩個輕質球狀導體之間的靜電力（圖七）。一球在透明小座上，另外一



圖七

球則從上面的投影機用線懸掛，並且在桌面上放置透明方格紙。當學生被要求從投影上決定靜電力隨不同電量的變化時，至少修完兩年大學物理的學生，不知道該怎麼分析。他們常常不明白，當一個電量作規則性的改變時，不但兩球之間的距離必須保持不變，而且另外一球的電量也必須保持不變。

根據觀察來建立模型，這項活動能夠幫助未來的教師去改進他們演繹性與歸納性推論的技巧

。下面建立模型的練習，不過是許多可能性之一而已。學生獲得條形磁鐵與其他簡單器材，並被要求去做可以廣泛解釋的普通磁學現象活動。經過一段自由探討時間以後，他們蒐集許多似乎互相無關的事實。然後他們在一些指導之下，開始建立原始模型，以便說明他們的觀察事項，進而培養預卜的能力。

這項工作包括學生的「設…，則…，故…」這種正式操作觀念特有的推論。例如，他們往往一開始就假設，有兩種可以分開的磁量，與靜電學相似。當簡單的試驗（例如打斷磁鐵）顯示這種假設不能說明磁鐵具有兩端的事實時，他們就放棄這種假設，而嘗試涉及偶極的假設。除了提供演繹性與歸納性邏輯的練習機會而外，模型的建立同時能夠提出歸納過程的創造性態度。許多學生往往覺得這是一件令人驚訝的事實，因為除非有人告訴他們，否則大多數學生易於認為科學是純粹演繹性的活動。

未來的教師必須發展他們的能力，俾能清晰地用口頭或書面傳達。然而，甚至大學四年級的師範學生，在這方面的能力顯然不夠。除了文法與拼字的問題以外，他們的文章往往無意中暴露，他們缺乏科學術語的意義與正確用法的認識。他們與教師及同學之間的對白與討論，以及經過教師細心評閱的書面報告，須為師範學生求學期間的物理必修課程之一部分。

當然，上列建議並不是培養中學物理師資所需要的理想而且完全的項目。整個計劃必須包括其他各系，例如教育系、數學系、以及理學院其他各系，因為物理課不是大多數物理教師被指派去授課的主要科目^(1,3)，所以職前訓練必須能夠培養學生，至少能以相同能力教授其他一種科學。

本文建議的任一項目，大學及獨立學院的物理系都能夠辦得到，而且都能由該系單獨編入未來教師的物理訓練計劃中。我們特殊的目標表，主要來自筆者與未來教師在特別情況之下的廣泛

接觸⁽³⁾，但是利用其他各種方法亦能獲得相同的目標。我們相信，針對著上列目標而設計的計劃，對於中學物理教師的培養，將有重要的改進。

謝辭

Arnold Arons 對這項工作的濃厚興趣，引起筆者撰寫本文。同時，曾蒙他，Richard Davisson，以及 James Gerhart 評閱原稿。謹此深致謝意，並謝 Peggy Douglass 繪畫插圖。

筆者也願感謝中學教師專案小組各委員（James Red, Maria Penny, Harry Manos, 及 Merle Wood）。他們與筆者曾經參加在安納漢姆舉辦的 1975 年美國物理教師協會大會的物理教師培養研討會。他們的一些意見已在本文中反映。

參考資料

1 "Preparing High School Physics Teachers II," Commission on College Physics, Information Pool—Education Division, American Institute of Physics, Graduate Physics Building, SUNY—Stony Brook, Stony Brook, NY 11794, (Limit of two copies available without charge.)

2 For example, see Uri Haber-Schaim, Sci. Educ. 58(3), 357(1974).

3 For example, see Lillian C. McDermott, Amer. J. Phys. 42, 668(1974).

4 What is meant by "understanding" here is illustrated by the discussion in a number of articles from *The Physics Teacher*. A few, from among those concerned with basic ideas in elementary physics, are M. Phillips, Phys. Teach. 1, 155(1963), "Electromotive Force and the Law of Induction."

R. H. Lehrman, Phys. Teach. 11, 15(1973),

- "Energy Is Not the Ability to Do Work." Phys. Teach. 11, 273(1973).
- R. Livingston and G. Fox, Phys. Teach. 11, 288(1973), "Does Weight Have a Horizontal Component?" A. B. Arons, Rhys. Teach. 11, 453(1973), "Friction—There's the Rub."
- M. Iona. Phys. Teach. 13, 263(1975), "The Meaning of Weight."
5. PSSC Physics, 3rd ed. (Heath, Lexington, 1971).
6. For example, see Arnold B. Arons, *Development of Concepts of Physics* (Addison-Wesley, Reading, 1965) Chap. 31.
7. *The Project Physics Course*, 2nd ed. (Holt, Rinehart and Winston, New York, 1975).
8. John W. Renner and Anton E. Lawson, Phys. Teach. 11, 165(1973).
9. John W. Renner and Anton E. Lawson, 10. John W. Renner and Don G. Stafford, *Teaching Science in the Secondary School* (Harper and Row, New York, 1972), Chap. 3.
11. A Workshop on Physics Teaching and the Development of Reasoning was held at the AAPT meeting in Anaheim, California on February 1, 1975. Written materials developed for the workshop may be obtained at low cost from the AAPT Executive Office, Graduate Physics Building, SUNY—Stony Brook, Stony Brook, NY 11794.
12. Anton E. Lawson and Warren T. Wollman, Phys. Teach. 13, 470(1975).
13. National Academy of Sciences, *Physics in Perspective*, Vol. II, Part B, *The Interfaces* (NAS, Washington, 1973), p. 1170.
- [譯者現職：國立臺灣師範大學物理系教授]

(上接49頁，科學實驗室)

- (10)如此繼續，可於壓舌片上標出 0.3，0.4，0.5……安培之標度，並且應為線性，可繼續外延至較高標度。
- (11)如此已完成安培計，欲測某一電路之電流時，只須從螺管線圈之兩接頭與欲測電路串聯即可。
8. 問題之探討：
- (1)通電流時，安培計之指針為什麼會跳動？它受到何種力？
- (2)你能指出螺管線圈所生磁場之方向嗎？將電池兩極接線互換。注意觀察，指針跳動方向有什麼不同？
- (3)你能利用所製成之安培計，驗證螺管線圈所生磁場大小與圈數成正比的關係嗎？
- (4)你能指出安培計標度時電流之迴路嗎？
- (5)你能依據製作過程所獲之經驗，指出電流通之要件嗎？
- (6)欲測電流安培計需與欲測線路如何連接？
- (7)上述安培計如欲測較大之電流，常有被燒毀之危險，請問應如何改進？需重校標度嗎？
- (8)你能與標準的安培計比較，指出所製成安培計量度誤差之範圍嗎？
- (9)利用製作之安培計很容易改裝成伏特計，請問你應如何裝接及標度？
9. 所需費用：本裝置所需之大部分材料，都可就地取材，學生只須購買電阻、漆包線、電線、電池及開關等，估計每一具安培計所需材料費不超過20元。
10. 參考資料：
- (1) ISCS, *Probing the Natural World I*.
- (2) 吳友仁，高級中學物理學(下)，東華書局。