

美國高中物理課程之檢討

——我們是否已學習到以往的教訓

林柏川 譯

國立高雄師範學院物理系

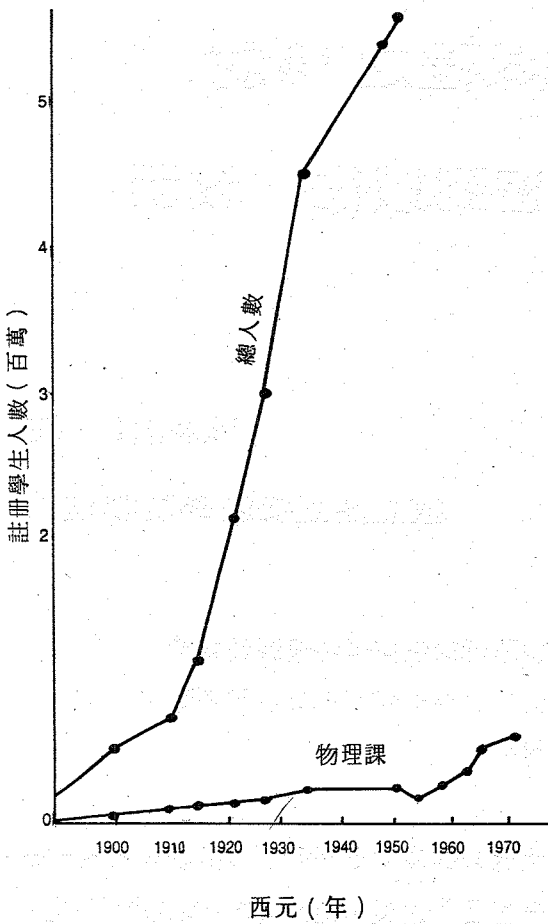
在 1950 及 1960 年代所發展的高中物理新課程使得物理課較有趣，但也較抽象、艱深。如今於 Rutgers 大學發展出的新課程為較廣泛背景的学生提供了進入物理世界的新途徑。

物理學一向被學生視為困難的科目，同時大部分的高中畢業生所有的物理知識十分有限。學物理有若登山，雖然登頂後可享“窮千里目”之樂，但卻僅有少數人得而享之。

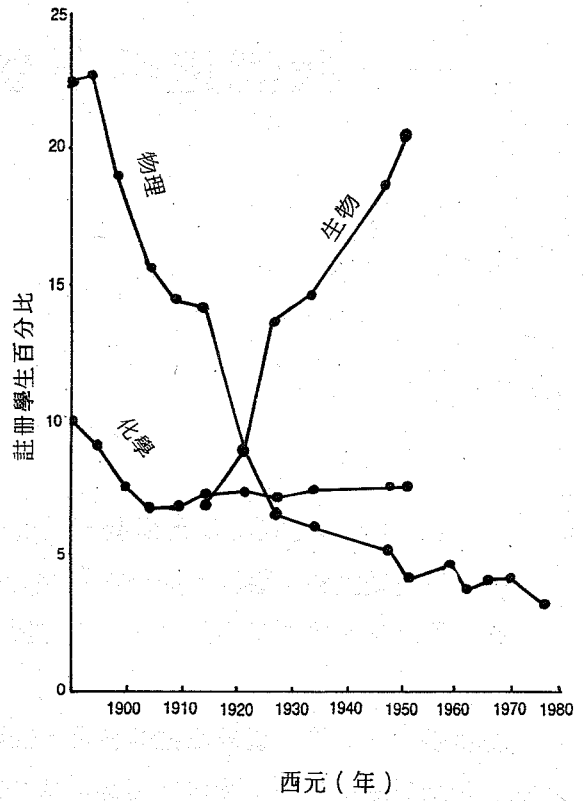
修課學生漸減

Willian C. Kelly 氏於 1955 年三月的 Physics Today 所寫的“公立高中之物理課程”文中，有二個圖示，顯示在 1890 年至 1952 年之間高中學生增加了 28 倍，而修讀物理學的學生比例卻降至五分之一。圖一、二即 kelly 氏的圖示，但其數據已加以擴展至目前的情形。此圖正顯示了 Gerald Holton 於 1967 年所說的“修讀物理學的學生減少是國家的危機”，我們仍處於嚴重的危機之中。與 1955 年的 5 % 相較，目前僅餘 3 % 的學生修讀物理學。

kelly 氏的圖形包含所有高中學生，但高中生大都僅於高年級時修讀一年物理學。故考慮高年級學生的修讀比例似較恰當。圖三顯示 1955 年有接近 25 % 而 1975 年只有不到 20 % 的學生修讀物理學。狀況顯然正惡化之中。

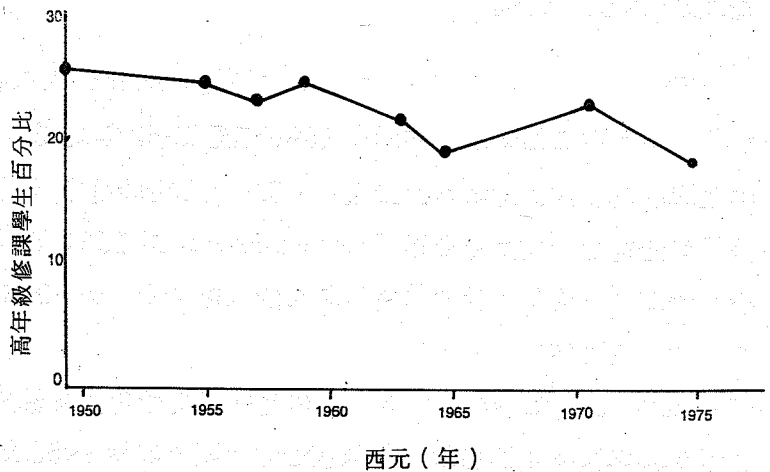


圖一



圖二

我們認為物理課學生的日漸減少，部分導源於早期的學校教育引起了學生對科學的負面性向。國家科學院（National Academy of Sciences）的報告指出，在三年級以前半數的學生已不願再修讀物理，到了八年級時只剩五分之一的學生對科學仍



圖三

有興趣。

過去三十年來使物理課更吸引人的努力顯然未能起作用。可能是我們把所有高中學生都當作未來的科學家所致。

Sputnik 震撼

1957 年蘇聯的第一枚人造衛星 Sputnik 升空，此事震驚了美國朝野。深恐其代表美國科技優勢的喪失，因此導致科學教育的重大變革。著名學府的教授們首次參與一項工作——在高中課程中注入新的精神與材料。在國家科學基金會（National Science Foundation）的支持下物理科學課程委員會（Physical Sciences Study Committee；PSSC）的一群人們，進行了一項內容及規模皆史無前例的行動。

他們十分訝異的發現，高中科學課程的學習僅靠背誦，而內容則偏重應用。他們注重求知精神的培養，強調作實驗，以水波槽探討波動現象是一個著名的例子。他們重視理論及抽象概念的發展，例如：波動一粒子的雙重性，慣性質量及重力質量的分別等。

他們明瞭新課程的成功與否，端賴教師體會此精神並將之傳授與學生。因此，大學致力於訓練教師新課程的教材及方法，大學教授與高中教師首次在學校、會議及研討會中為同一目的而共同努力。教授們發現參與此項極有意義的工作甚受尊敬。高中教師也由於終被承認為物理社會的一重要成員而建立其自尊。

這些年來化學及生物與物理課程的另一計畫哈佛計畫物理（Harvard Project Physics）也在相同的模式下推展全國性的工作。

革命的影響

PSSC 及 Project Physics 對高中教育有深遠的影響，但卻從未能推廣至全部高中，它們對大學物理系學生的影響似乎較大。American Institute of Physics 最近的調查顯示 1983～1984 年的大學畢業生，有 25% 於高中時修讀 PSSC，12% 修讀 Project Physics。對全部高中生而言比例則低得多。在 1969 至 1980 年間參加“College Board Achievement Test”的學生修讀 PSSC 或 Project Physics 的比例在 43% 至 31% 之間成漸減的趨勢。另一方面 Educational Testing Service 的全國性抽樣調查顯示，9% 的高中使用 PSSC，8% 使用 Project Physics，使用 Williams，Trink-

lein 及 Metcalte 所編的標準教材——Modern Physics 的則有 54%。

Modern Physics，自 1922 年初版發行以來是使用最廣的教材，內容自表面張力、光旋、電晶體至地震包羅萬象，還列滿了令人望而生畏的現象和公式。PSSC 及 Project Physics 則在內容的選擇及觀點上各具其特色。

新課程的編者清楚的表示他們的目的：“PSSC 不僅希望訓練未來的科學家，還希望啓發一般學生的科學觀。傳統教材的大量內容學生無法吸收，它只告訴學生科學家所知的事實。新教材則由觀察實驗結果啓發概念。我們盡一切努力將教材與觀察所得的經驗結合在一起。”

但約在此時，新教材經初步使用後，Arnold Arons 說“僅有極少數班級上完全部教材”，教材不僅內容太多，同時“它所欲提示的觀念對學生而言太艱難。”七年之後，Uri Haber-Schaim 評道“此教材對教師及學生而言都是一種挑戰。”

Project Physics 取材較廣，適合不同興趣及能力的學生。兩者皆期望減少對教科書的依賴。PSSC 是以實驗為導引的課程，內含許多影片及輔助材料，如 Science Study Series 的系列小冊。Project Physics 則發展影片及許多閱讀材料，期望教師自行選擇使用，但卻未達期望的目的。一般認為教科書在課堂上仍佔主導的地位。

PSSC 不以增加修讀物理課的學生為其目的，Project Physics 則有此目的。但“人文科學、文學、歷史、音樂、藝術、語言等學生”却多未被吸引過來。

第一代的新課程教師由大學及教授有系統的支援，並被鼓勵參與實驗性教材的發展。如今這些教師僅餘少數尚任教職。PSSC 及 Project Physics 已成為孤兒，也只是“另一種”教科書罷了，經常被如傳統教材一般的使用。

現 況

新教材問世 25 年後，雖然它的影響十分深遠，但也漸漸衰微了。同時近年許多報告均指出物理學及其他科學在課堂上未被良好的展示出來，報告中接著悲嘆教師專業知識的缺乏，以及好教師的難為。

也許我們應換個角度來看。PSSC 及 Project Physics 強調求知精神及開放式的學習，它們較有趣但也較難教，它們較有創造性，同時對教師及學生的要求也較高。

學校的環境很不適合創造性的教學，在注重“成效”的集權管理制度裏，課程標準由行政管理階層制度，測驗也如是建立，教授時數受限制。這些都僵化了有效地教授

PSSC 及 Project Physics 所需的特質。問題又回到水波槽之前的時代了。

抽象的理念與具體的比喻

科學經常以高度抽象的形式表現出來，從一個人的早期教育即是如此。然而抽象的理念較不易理解，學生們無法了解概念，只得退而求其次，尋找規則及公式。只希望把考卷上的問題代入，求得解答，如是一來就僅學到了解題的程序。

教師們往往以為他們教的是觀念、思考方法、概念及分析問題的方法等。可是幾次考試後，學生很快就知道他們的成績靠的是他們所記憶的解題規則及公式。

課堂上我們花太多的時間講解抽象的理念，遠較圖形、類比等為多。我們忘了在抽象的觀念形成之前，總有一些具體的“比喻”等映象在腦海中，之後才形成抽象的理念。許多偉大的科學家如 Einstein, Maxwell 及 Faraday 等都說他們的理念形成之前，腦海中總先有視覺映象的存在。

專制的先修

基礎課程與高級課程的差異往往只在於所使用的數學及分析方法較複雜。高級課程的教師往往嘲弄定性的、近似的解法，他們以為精確的物理觀是最重要的。

大學內的風氣由上至下對高中造成很大的影響。在大學，修讀入門課程的學生有許多，進入研究所的學生則較少。高級課程對學生的要求標準較高，無法達到標準的學生只得改變修課方向。

換句話說，這是一個過濾系統，先過濾至主修學生，再到使研究生留下為止。對於訓練專業人員或科學家來說，這也許是一個良好的方法，但對於高中生來說就未必了。高中學生的智慧與大學生相較仍相差甚遠。此時的科學教育功能與大學並不相同，它必需傳授與大多數人，以培養其廣泛的興趣。

當 PSSC 正發展之時，曾發生課程組織及訓練方式的辯論，有人認為物理學除了其發展過程之外，其自身有一結構，故許多教科書看來十分相似，涵有：力學、功、能量、電、磁等，最大的差異只在於它所使用的數學之難易不同而已。可以說內容順序只是依傳統方式及編者興趣而定。

如此形式的教科書變成一個無止盡的先修課程，修讀的每一課只是為了了解下一課

，成爲一場無盡的追逐，課程安排學生準備了解“修讀的真正目的”所需的知識，但修讀的目的何在？遠在較吸引人或較具挑戰性的課程內容出現以前，大多數學生早已失去學習興趣和動機了。我們以爲“了解”所需的基礎應審慎考慮。“了解”本身的意義更應詳查，一位研究行星運行的物理學家所需的背景自然與一位高中生不同，而我們經常混淆兩者所需的知識與技巧。

無謂的限制

約二十年前 American Institute of Physics 的一項研究認爲“大學並未期望大一新生成記得許多高中物理”，但在我們印象中教材編者及教師並不接受如是說法，而且，我們以爲教授們對學生的評價往往靠其對學科的知識來決定。

即使在最好的大學，新生的背景差異也甚大，使得普通物理課的教授並不假設學生具有任何先修知識。

雖然高中課程是爲了學生參加全國性的會考而安排。ETS 統計 1981 年 College Board Physics Achievement 的成績顯示使用不同教材的學生成績並無差異。使用 PSSC 的學生平均成績略高，但無法證明這是由於教材或其他因素所產生的。

考試成績及大學裏的表現均說明，教授物理學的方法並不是唯一的，我們相信教師應享有自行決定課程內容及教法的自由。

新的進展

試驗新課程的大門已敞開，我們以爲學生的興趣應予擴展，鼓勵高中學生更廣泛的修習物理。身爲物理學家，我們希望物理課成爲高中課程的重要一環，但我們需要什麼樣的物理課呢？摘要式的物理學顯然只適合少數學生。我們需要找尋一種不同性質的課程，一種不同於現今標準的物理學。

我們希望有志者能發展出新課程與教材，我們更相信，教學的環境與教材的內容同等重要。

作爲一名改革者不應如“生”、“養”孩童而不“教”般，給予支持的努力應持續下去。過去所欠缺的是物理、社會與課堂間維持不斷的連繫。

在這方面 Rutgers 大學行動結合了本地中學、工業界及大學裏的科學家共同來努力

。Merck and Co.製藥公司及 Rutgers 附近的五個學區的初中、高中去年夏季組成了一些小組，每個小組製作一個以實驗為基礎的獨立教材模組，約可作為一至二週的教材。學校方面同意教師參加這些工作，並每年在課堂上使用兩個模組。Merck 公司提供教師津貼、工作地點及設備、材料，它並鼓勵員工在工作時間參與此項計畫。

教材的主題在 Merck 與 Rutgers 的集會中討論，並於全體參加的會議中作成決定。教材主題包括“水淨化”、“重金屬”、“地球環境與能源”、“食品添加物”及“抗生素”等，顯然的題材的選定受 Merck 在化學及生物方面工作領域的影響。今年由於 AT & T 及 Bell Communciations Research 的加入，可望將題材擴展。

每提及此，許多人希望能看看我們作成的教材模組，雖然我們以自己的工作為榮，但這些模組恐怕尚未成熟。上個學年第一個模組已經試用並予修訂。我們對組員的問卷發現，無疑的它給課堂帶來一番新氣象。

我們以教材模組為單位，因其較易於修改並進行試驗。

模組的效果

美國目前所使用的教材已不能有效的“推銷”科學。獨立的模組化教材可用以加入現有教材之中，而無需修改其他部分，它尤其適合用以教授目前科學研究的重心及工業技術的基礎，同時它可適用於各階段的課程，包含初中及高中。

在 New Jersey 進行的此項計畫，其規模自然較全國性的工作小，也因此它具有其優點，因為大計畫太花錢且缺乏彈性，且上層的決策往往不適合實際執行。我們由教師共同決定課程的材料，共同發展教材並共同評估其效果。

模組化較少的內容較教科書易於修改，研究員及工業人士的參與使得我們可依學生的反應立即作出修正。

與教授及工業界人士共同工作，對教師而言也是一種進修的過程，並使科學家面對課堂上的問題。教材完成之後，工作小組依然維持支援工作，如討論、研討會等的舉辦就是，大家在共同努力的過程中建立的互信、互敬的基礎上，我們更期待更多非正式的接觸。

此種接觸將可蛻變學校的文化，使其更開放、更尊敬科學的傳統，而共同發展與使用模組教材促使不同背景與興趣的教師與科學家建立連繫，教師們較了解現今科學的研究領域，科學界也較了解教師們的工作，因而可提高教師的社會地位。

未來的展望

我們急需認清在大學與中學教授物理是不同的。在大學，學生與教授傾向專門科目，而中學教師面對的是廣濶的科學世界及不同興趣的學生們——自然有一部分將成為科學家，而其他只將之用以充實他們的知識、人生

教師介於科學與社會之間，將科學知識、科學精神與科學方法傳授與新生代，但同時也漸與科學界隔離了。在大學與工業界工作的科學家們有責任努力彌補他們的疏離，而不幸的是現今社會的價值觀並未鼓勵此項工作。

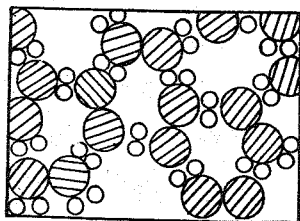
我們以為這是個由 PSSC 所開創的革命，而未來的路途仍甚遙遠，可是許多工作卻已停頓下來了，為了科學的前途，我們期待科學界的支持與直接參與。

譯自：George Palland and Peter Lindenfeld, "The Physics Classroom revisited : Have We Learned Our Lesson ?" Physics Today, November 1985。

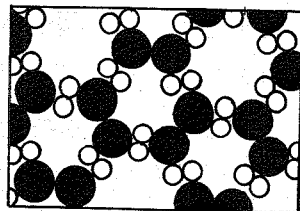
勘 誤

科教月刊 89 期：「國中物理疑難問題淺解」

① 第 24 頁中間圖，原

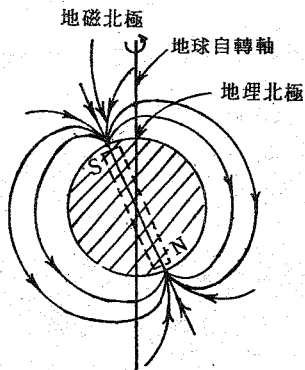


改為



② 第 27 頁第 3 行第 11 字，原 Σ 改為 δ 。

③ 第 29 頁下圖，原



改為

