

物理 的 新生命

林美智



「為配合這變化的時代，物理系勢需增設一些中間科目的主修課程，以及鼓勵更多的應用研究。」

物理學家們現正尋找一些有利他們職業發展的新途徑，以應付一九七〇年代的諸多問題。過去二十年，可謂物理的黃金時代，我們儘可靠物理吃飯而無所憂慮。但是日趨嚴重的經費減縮問題及工作機會減少，使我們不得不重估我們的目標，我們對廣大社會的責任，以及我們與政府、工業界、教育界的關係。我們再也不能僅靠教物理來維持我們的物理研究工作了。為解決這問題，搞理論的物理學家們就需把他們的才能提供給一箇更廣大的市場，進入與物理有關的工作領域，以解決現行社會、經濟及科學等問題，並需提供訓練課程，讓物理系的學生們也能參與物理有關的工作。

在這篇文章裏，我將指出在這項物理課程的擴展中，我們整箇的學校系統，大學部課程以及研究所課程所將遭遇的障礙。其後，我會提出解決的方案；主要的，我會就大學部對居間課程的參與這點作討論。另外，我也列出了一些表，給予實例，證明這些計劃的可行性。

大學部教育的問題

在所有獲得物理學學士學位的學生中，約有一半的人，在他們的學校都設有物理研究所。理組的科系有物理學、化學、生物學、地質學等，有些學校甚至把生物學和物理學作更細的劃分。而這些科系幾全部

各自成一系統，兩不相干。

目前，其他方面的科際整合已漸有眉目，但還是局限在很少數的機構裏頭。一般常見的科際整合有“地球科學系”及“太空科學系”，但是物理學家似乎很少涉足於此。以我個人的學校（SUNY-Stony Brook）來說，就設有地球及太空科學系，但是物理系與它的關係却幾乎為零。雖然物理系的學生們對於和物理有關的研究領域愈來愈有興趣，且在找尋參予機會，但是他們往往不能從這些新的機會中獲得半點好處。生物物理總是設在生物系，難得見到物理系開這門課，如果有，也都是開在研究所。地球物理往往設在地質系，而化學物理或物理化學則被化學家們當作一門化學來教。海洋學和氣象學，這兩門與物理有相當大關係的課程，却被地球及太空科學系的教授們搶走了。材料科學及都市科學，這些需要做點數據收集、變數的量化關係及模型的建立等研究的，也往往附屬在工學院，與物理系不相關。

現在，不論在學校或公家的研究機構，都設立了不少特殊的研究部門，這些研究自然需要各種自然學科及社會學科的從業人員的參與。例如設在石溪（Stony Brook）的“都市與政策科學”以及NASA的“月球科學部門”，提供了研究生們很多科際整合方面的研究機會，但是大學部的學生們却一點參與的機會也沒有。

物理研究所方面已開始擴展物理的教學範圍，加利福尼亞的 Santa Barbara 大學物理系的 Virgil

Elings 及 David Phillips 合開了一個有關科儀的科際整合課程。在這計劃裏，（他們因這個計劃獲得一個碩士學位）學生們參與各種不同的實驗室工作，進行生物學、化學、工程學、生理學及物理學等的研究。圖一為其中一箇大學部的學生為耳聾的小孩設計了一架語言展示器。

對一箇受過物理訓練的人，當他想轉行至一箇與他所學有相當差異的領域時，讓我們看看他的機會如何。Ronald Lee 指導了一箇關於這方面的調查，圖二就是調查的結果。由此圖，我們可看出，對一個大學物理系的學生來講，轉行還是很可考慮的。此外，大學時代所受的物理訓練往往在處理現行社會、經濟、環境等問題時，亦不失為一箇很好的幫助。無可置疑的，假如物理系同學能高瞻遠矚的話，念物理而想轉行的，還是很有希望的。

傳統的物理系已落伍了，科際整合大大的增加了物理系學生的機會。但想好好利用它們，這些學生却似乎必得轉系，或等他（或她）成為一名研究生。

現在的大學部狀況

到目前為止所提到的情況，多數物理學家大概會覺得無啥驚人之處。他們想：「科際整合的學科是難以了解的，除非我們對傳統的訓練課程已具備相當的基礎。我同意，每一箇態度嚴謹的科學從業人員都應從一些強調基本原則的科目開始。但是，「我不覺得對以後的科學家，有要求他們先修過比基本物理學與生物學還早的“環境科學”的必要，這有甚麼意思？」我更看不出有甚麼好理由讓我們說，一箇勤奮的學生，當他已讀了兩年大學物理、化學、生物學後，他不能在大三、大四的時候，從一些介間課程—諸如生物物理、大氣科學、材料科學等—得到益處。很顯然的，一箇對海洋學有興趣的學生，並不需要修過整箇力學、熱力學、植物學及有機化學等課程，為的祇是獲得其中有關海洋方面的知識！

並非所有學科際整合有關的科系都能從這方面的課程擴展中獲得好處。因此，在多數的大學中，我們不可能希望他們會把一些大計劃的必需課程設得很齊全。另外，各系本身原有的成見往往也使得他們失去了很多在科際整合中的研究機會。大部分的科學家都能分辨如何把他們的特長運用在各種不同的工作，例如教書、寫作、醫療、法律、企管等等。然而，很少有人願意分點心思想想，如何使那些想轉行的人，在

經由某種課程訓練後，有較大的工作機會。物理系本身強大的固結力更鼓勵了他們這種不管外事的態度。但是最近幾年的變化，多少削弱了這種態度。多數物理系都逐漸設立一些課程給非主修科學的人。但是，從這些課程中獲得較多利益的，倒不是那些有心從事那門行業的學生，而是一些主修物理的人！無論我們多重視一箇强有力的院系結構的價值，擺在眼前的事實則是，精深科學的研究工作機會已逐漸在減少了，除非各系能致力於訓練學生，使他們能從事較具服務性的工作，否則，他們將難再立足於學校了。表二為從 850 箇抽樣機構的物理部門所開與物理有關的課程之註冊人數得到的統計結果。這 850 箇機構中祇有 218 箇設有與物理有關的課程。

可能的解決途徑

到目前為止，很明顯的，我把這問題推到政治上去，我是想，假如各科系願意合作，我們的大學教授們應能設計一套很好的課程以配合與物理有關的工作需要。讓我舉幾箇例子：Preston Forbes 開了一門介間核科學課程，很適合 Heidelberg College 的文理學院；Delaware 大學的 David Orr 以醫院的實際經驗作基礎，開了一門醫療物理學，Dickenson-College 物理系的 Priscilla Lows 亦做了一項嘗試，說明一個醫學研究人員對介間課程所能提供的服務。此外，我們在一些大學的物理學目錄下，亦可看到如下的一些介間課程：

地球物理學原理：Arizona 大學

星球物理：Oregon 州立大學

材料科學入門：Pennsylvania 大學

天體物理學入門：Texas A. and M 大學

醫療物理學：Wisconsin 大學

我不想就任一特殊例子多所描述，祇想做點組織結構的建議，俾便於某些非傳統的科目之設立。那些沒有研究所課程的機構，應可考慮廢除這些科系，代之以一群群教授團體，在共同的利益之下，從事特定的大學部課程，（當然在這計劃裏，我們不會把物理課程給刪了！）這將不祇是把教授團體分成幾箇不同的行政單位而已，此計劃的主要目的乃在把注意力放在我們能給大學部提供怎樣的教學課程，而非把教授團體的研究各自獨立。一箇教授可以同時在兩三箇單位工作，這就要看他當時的衝勁如何了。這些結合亦非一成不變的。計劃預算必須安排好，薪水也得算在

預算中。教授們可以連續進行任何他們有興趣的研究計劃。至於研究經費的維持則由研究預算基金支出，並由中央機構主任統籌負責。如此，整箇學校所受這些研究工作的衝擊將較易估計，而且，所有有關的事務亦較易相互影響這類的結構已有一些新興的大學在作嘗試，效果似乎不壞。譬如 Rensselaer Polytechnic Institute 的工程學校，就在實行與上述頗為相似的“欄柵結構”（“grid structure”）。

欄柵結構有多種建立方式，但總有一箇方陣設計為基礎，一方面劃分教授工作，一方面把大學資源作廣泛的設計使用。另外，也可以研究能力的範圍為一軸，可能的學生職業為另一軸，建立起一箇欄柵結構。例如，傳統的理論物理學家的活動力就落在“核結構”這樣的研究範圍與“理論研究”這樣的工作目的的交點上，由此欄柵結構，我們就可知道某一叢點是屬何種研究範疇，諸如“應用物理”、“應用數學”、“工程步驟”、及“工業管理”等，其研究目的則分別為“系統分析”、“程式設計”及“工業管理”等。而屬於這一叢點的教授也可與其研究計劃、研究課程相結合。另外，預算的發展在幾年之後，將反映這些計劃的目的。維繫時間的長短則端視計劃的活力及原先使這一群成其一群的共通利益之固結力了。

上文所提的欄柵結構對那些擁有較龐大研究教學的學校可能就不太合適了。對此，我們可使用一種折衷的辦法，即是採行登記方式，這樣一來，參與的人能得其應有的報償，對科際整合的發展將會很有幫助。依我看，有很多科學研究人員，如果他們能得到系裏的支持與鼓勵，通常都很願意參加一項新的教育嘗試。由於系裏的經費有其一定來源，愈多的註冊人數將是對愈多的教授飯碗的保證而系裏也纔能負擔新課程的設立。這可由兩箇步驟實施：首先，給每一箇願意合作的系，相當的註冊人數，參與一項新課程。其次，從預算中心拿出足夠維持三年新課程的費用（這其中不包括教授的薪水），三年後，如這門課仍不能吸引學生，則將其廢除，如果有學生註冊，系裏自然願意撥下這筆費用，否則如何維持教授們的信譽？

研究所課程

在研究所方面，我們又當如何改進呢？最急所當急的，大概祇有多提供學生們應用研究的機會了。A I P Manpower Division 的 Susanne Ellis 指導的一項研究“Work Complex Study”，報導說，很

多工業實驗室，寧要一箇工科的研究生，也不要一箇物理學家。這是因為前者對實際問題比較有處理經驗，也較歡喜動手去做。物理系能否對這項挑戰做箇有意義的答覆？相信他們能的。問題就出在一箇基本的態度上。在物理的黃金時代，應用研究實不如基礎研究來得有威望。這使得很多本來具有研究應用問題才能與興趣的大學教授，也都走上了理論的路子。所以我們必須認清，任何用精力與才能去追求的，祇要是正當的，就值得被尊重，祇要能造福人群，就應被支持！

但是，光是想法改了，並不能馬上在物理研究所裏增開很多課。我想得到的，有兩種結構，可以增加研究生的工作機會。第一，學校裏常有一些應用研究。以往許多明明與物理很有關係的研究，卻沒物理學家參與其中；如材料科學研究往往為一些學工的所把持，就是一箇很明顯的例子。我建議，讓物理研究所的學生們，當他們修完研究所的課程，準備開始寫論文時，必須要他的指導教授為一工程師、化學家、地質學家或某箇特殊研究機構的某位教授。

第二箇建議如能被採納，工業界與公家的科學實驗室將比目前合作得更密切。我認為，一箇物理研究所的學生，如果他已經接受某箇授予博（碩）士學位的機構中某位教授的論文指導，他應能把這箇論文研究帶至任何一箇物理實驗室去做，在那兒他所需的人力、物力都齊全的話。這項設施的好處不僅超過現行制度許多，且其利益會擴展至所有參與這類計劃的學生。

我想，一箇物理研究所的學生把他的論文拿離學校去做，應不是一件甚麼大不了的事。好幾年來，紐約與芝加哥的物理研究生已能利用 Brookhaven 或 Argonne 的實驗設備了。很多國家科學實驗室，例如 Oak Ridge，就已組織起大學聯盟，鼓勵校際互換教授，及他種合作形式。這樣的計劃，方向上是對了，但做得還不夠。

我們不僅要讓研究生們知道，在非大學的實驗室裏做研究是合法的，且需使他們有機會參與應用研究，並讓他們知道，這些工作是值得他們拿出所有最好的創造能力的。但是，這計劃的實施必需工業界的完全合作。由我私下收集的一點資料，顯示工業界是很願意合作的。祇是物理系必須先行採取行動。很不幸的，這却構成了一項障礙！我曾問過一箇物理系，他們已開設了一門科際物理的課程；但始終未展開下一

步，原因出在哪？原來他們雖處於一重工業區，却没有與任何一箇工業物理學家有半點工作上的關係！（或許九月要開的AIP Corporate Associates與前瞻大學聯盟團體的聯會將有新的發展，俾便於達成我所希望的設施。）

科學的起始教育

像許許多多其他的問題一樣，我們一直在討論的這問題——“為學生們做點準備，以迎接與物理有關的工作”——往往可被追溯至很早的階段。科學，這箇在許多箇人工作、公共計劃中佔著極重要地位的，却很少為大學前（指中小學）的老師所重視。一些年青的學生與一般市民對它也是非常缺乏了解。因此，我們不難想像，科學課程對大多數人來講，還是相當困難的，除了少數幾箇特殊的學生以外。

要補救上面所提的弊病，除了盡力吸收優良學生至中小學校教書，同時給他們良好的教學準備課程外，似乎也別無他法了。好在，目前的教師薪水與工作條件已改善很多。這點，加上現在年青人對社會服務的熱誠，使我們有機會從一群深具資格的人中挑選合適的教師人選。祇是大學裏的教學準備課程尚有待改進。我相信，假如科學家願意與教育家攜手合作，共同負起設計、教授主題不錯的課程，指導大規模的觀摩教學，這樣，問題差不多也就解決了。

又假如我們能擁有受過良好訓練的小學老師，相信大學生及一般市民對科學的態度亦將大有改進。在他們遇到困難時，能運用點科學觀念及技術來處理。這箇想法乃因我相信，現在小學的科學教學材料已超過老師們的能力，使得他們不能做有效的教學。我想，小學程度的科學教育應注重觀察、事實的邏輯推導、各種結論的前提以及模型的建立，而這些課程都已為一群有能力的科學家們設計好了，祇等著我們去做有效的利用。

在中等學校，情形就沒這麼健全了，上面所提到發生在大學的諸種毛病，在這裏似乎也免不了。在中學，他們似乎過分重視主題的內容了。我覺得有點好笑的是，當學生們的科學閱讀、書寫能力低到無法分辨兩種不同科目的原理或技術時，我們何須吵吵嚷嚷的，爭執著不曉得應先教物理呢？還是先教化學或生物學？畢竟，最基本的原理原則對各科都是差不多的，學習技巧如有不同，也是在以後的事，現在還談不

到那些技巧。這種現象造成的結果是，中學生們根本就沒學到半點科學，因為課程的內容及進度大大的超越了他們的學習能力。

現在已在著手發展一些適合十幾歲青年所能理解的介間科學課程，其中之一即設在Florida 州立大學，計劃的名稱是“科學教育系統的特殊化”由Ernest Burkman 所指導。另一設在Ellinois Institute of Technology 的物理系，由Earl Zwicker 帶頭，這箇計劃是為內部城市的學校系統設計的。這箇組織的課程，由教師們自己設計他在教學時所需的儀器。

以上這些討論並非無關重要的，我相信，一箇人在入大學以前如有良好的科學經驗，往往能提高他以後對科學研究的興趣。而且，我們在設計大學科學教育課程時，也將感到容易多了。為支持我這論點，我引用了W.R. Snelling 及 R.F Boruch 的研究報告，顯示出對大多數的學生，他們在大學前就已決定了是否要從事科學研究生涯。假如我們想吸收他們加入科學的行列，我建議我們應及早告訴他們說，科學可以改善我們的生活，而不會帶來甚麼新的社交上或技術上的問題。

有什麼我們可以做的事？

我想，每箇人都會承認我們正處在一箇快速變化的時代。大學，這箇科學研究的基地，以往一直是新觀念、新技術的領導者，現在却比工業界及政府組織晚一步認清當前社會對技術人員的需要。為迎合這需要，不得不採行有效的訓練方案。很明顯的，大學（尤其是物理系）必得重新估計他們的目標及步驟。為保證能自保及做有用的生產，改變是勢所必行的了。

對於這箇改變，我建議由以下的步驟開始：

- 改進小學教師的師資準備，使現在的小學科學教學能獲得充分利用。科學家們必須負起設計及教授大學的科學課程，俾使他們能成為一箇優良的教師。
- 省去中學科學課程的分科教學，提供一箇適合多數中學生程度的科學課程。
- 對科際整合及其他與物理有關的範圍，應多設些課程。重新建立起行政或登記系統，引起教授們參與這些新嘗試的動機。
- 在研究所方面，增加應用研究機會的項目與數量，為達到這目的，讓我們准許他們在學校的研究機構或工業的科學實驗室做他們的論文研究吧！