

## 讓學生明瞭物理之美

本文譯自Physics World 2009年八月號。作者[David Griffiths](#)在奧瑞岡州波特蘭市的瑞德學院服務了三十年，最近剛退休。他也是電動力學、量子力學、及基本粒子等教科書的作者。

物理老師扮演的角色，應該是闡明物理內在的趣味性、美感、及威力，以花招、不實的廣告、或將它簡化來對物理做行銷只會適得其反

我的父母都是教授（教歷史和動物學），他們堅決認為，教育的目的是教學生“怎樣想問題”。當我剛開始教書時很快就發現，很多學生的腦筋都比我好，至少是比我動得快。我跟他們的區別是，我知道他們所不知道的東西，而他們認為這些東西是他們得學的。我的目標比較沒那麼崇高：我認為教育的目的是將人類所累積的智慧傳給下一代，而我作為一個老師，是要讓這個過程儘可能的有效率和好吸收。

物理老師很幸運（我們都是自己人，所以我可以很坦白這樣說）：這個科目的關連性和重要性都是毋庸置疑的，而且任何人的心靈，只要還沒被三流的教學或被教條與迷信荼毒，都可以發自內心感覺到它的奇妙。我從來不覺得有需要去“兜售”物理，高掛“物理好好玩”的旗幟，對我來說是種貶低尊嚴的辦法。只要在觀念的市場上排出我們可以吸引人的東西，有心的買方就會聚集過來。

我們能提供的，不只是解釋物質在最基本的層次的行為。這是個波瀾壯闊的故事（由於運氣或老天的好心腸），而且前後一致（至少這是我們的目標）、可信（但絕非顯而易見）、而且真實（這是最棒的一點）。它雖然不完美，也還未完成（當然），但總是不斷在改進。除此之外，它的威力強大而且極端有用。我們的樂趣就來自把這個故事講出來—甚至好運的話，自己還可以加上一句或一段。如果是這樣，為什麼不有型又優雅地來述說呢？

## 教學的省思

如果我們教的是現代詩或法國哲學，則明晰不必然是美德：樂趣之一就在找出作者那種隱避而曲折的說法，到底是想要說什麼；一旦解出實際的內涵，就會發現它其實沒什麼。對每個微笑及隱喻都加以解釋的國文老師，已經剝奪掉文學的趣味。

但是在物理教學裡，無法如晶體般明晰來表達，是說不過去的（除非主題實在太新，仍沒能完全加以理解）。一個程度還不錯、有在專心聽講、腦袋清醒的學生，如果沒法理解一個論證，那就是老師的錯。我認識一些人，因為太聰明而講不清楚；他們不記得當初自己是怎麼不懂的，因為，我猜他們從沒這些經驗。他們或許是傑出的物理學家，但是他們不應該站在教室裡。這也有例外：我所遇過的最

聰明的物理學家，已逝的寇曼（Sidney Coleman）教授，他同時也是個最棒、表達最清晰的老師。

受物理教學研究會（PER）的影響，美國推行實施在課堂裡”主動參與”。我支持這項活動—雖然我很難想像，自蘇格拉底以來的許多好老師們，有誰不曾做到這件事的。不過，太過極端的話它其實是有害的。例如，當有人說學生從課堂演講學不到東西時（因為，很顯然學生並沒”主動參與”），我並不同意。當然，糟糕的課堂演講是有，但是也有非常好，能讓學生完全融入參與的。寇曼演講時，可沒有人在那兒胡思亂想。一些 PER 的人，對傳統方法的無效率及不受歡迎感到絕望，進而擁護在實驗室裡”從發現來學習”。這雖是個好主意，但是頗為遲緩而無效率—我們要如何在一學期裡重新發現過去五百年的物理？我解釋動量守恆只要十五分鐘，但是三小時的實驗操作，只會讓一個誠實的學生認為該定律是錯的。

哈佛大學物理學家馬祖爾（Eric Mazur）和其他人曾引入教學用的閃視卡片（現在無可避免地換成電子式的）來加強學生的課堂參與。在馬祖爾這種熱切的專家手裡，它可以非常有效，但我也看過，在沒那麼厲害的教師手裡，會讓它變成令人分心的把戲。我更擔心的是，靠這種裝置教學，會隱然傳達出下列訊息：（1）這科目很乏味；（2）我沒法仰賴學生自發專注的學習。第二點或許是對的，但是第一點則是大錯特錯，我認為我們應該盡量避免引發這類的錯誤印象。

我們有多常聽到同事們歎著氣、翻著眼珠說道：「我今天得教斜面上的球；還有什麼比這個更枯燥無聊的？」當然，這種態度會大聲而清楚地傳給學生，老師為了補償，則承諾「明年你們就會學到有趣的東西」。但是讓球從斜面上滾下來絕對不會枯燥而乏味。我相信有些東西是真的很枯燥—例如會計—但不會是物理。

細究古典的滾動理論：為什麼球會滾得比呼拉圈快，準確地說是快多少？我覺得這個分析絕對是人類心靈的偉大成就之一，以其簡潔性來說，甚至遠比玻恩近似法或希格斯機制來得偉大，我當老師，就是要讓學生注意到這中間的美，而不是教他輕視。

自一世紀前創立以來，瑞德學院（Reed College）的大四生都得寫論文。我們很高興（老實說，是自負地覺得有趣）最近其他的大學很熱心地在推這件事，好像是了不得的新發明一樣。讓我們老實地看看到底什麼是”研究”。它只是在實驗室或圖書館裡的活動，還是是一種學習的方法，一種發現的規約？如果一個學生走進一個建立好的實驗室，被告知如何操作儀器，然後紀錄數據，輸入現成的程式裡，這能算真的”研究”嗎？

我們在瑞德學院會試著讓學生能全程參與：選定問題；設計解題的模型；熟悉背景文獻；做出實驗（或計算）；在研討會上發表成果；然後（有時）寫成論文發

表。當然，這種些主題較專業的研究來得淺，但學生獲得擁有感，也真的學到東西。

抽象是學習之敵，它是理解的結尾，而不是起頭。數學家無法了解這點，我猜他們腦袋裡的接線和我們的不太一樣。大多數物理學生的學習方式是由具體而抽象，而不是倒過來。新教師總會犯的大錯就是直接秀出最複雜的數學—那些他們剛在研究所學到、而且還受其桎梏的東西。他們希望每個問題都先以拉氏函數起頭，即使只要以簡單得多的牛頓定律來做就行了。這就像訓練兩歲的幼兒使用成人馬桶：父母雖然很興奮，孩子卻嚇得要死，而且還很危險。我們的任務是讓學生變得很厲害，而不是去震懾他們；讓他們有信心（“我應該也能做！”），而不是充滿敬畏（“他們怎麼做出來的？”）。最簡單的工具幾乎總是最佳的工具。

### 教育物理學者

我一直很幸運。大半生都是在學生程度還不錯、而且學習動機超強的一所學校裡工作，那裡有心激勵並欣賞有效的教學方式，我也有追求任何我覺得有趣而重要的東西的自由。我從來不曾被沒腦袋而只關心經費及發表的院長橫加干涉，結果讓我比在限制重重的一般學術環境裡更有生產力。除了一些明顯的東西：對科目的絕對熟悉；組織教材；準備（教學前一晚，我總會逐字寫下演講內容，雖然我從沒帶這些筆記到教室過）；清晰；熱情；說故事的人對結構的直覺；步調及戲劇性之外，我不知道什麼東西可以造就優質的教學。我個人從不曾使用投影片或PowerPoint，這些東西對科學演講來說是很好，但並不適用於教室。我希望讓學生知道有一些事情正在發生：我秀出論證時也同時在思考，而不只是唸出他們自己在課本裡就能讀到的內容。

學習物理很難，也可能很挫折；我們沒有必要隱瞞這點，或（更糟的）徒勞無益的加以灌水，讓東西更好賣出去。認真的學生會渴望真正的挑戰；他們不喜歡被溺愛、當成小孩、或當成笨蛋，他們也討厭無用的難題—做些乏味的實驗、直接套式可解的問題、有陷阱的問題、不公正的考試、令人紊亂的解釋。物理學習常被認為是殘酷而嚴苛的登高過程，主要的獎勵就在於可以優越地睥睨那些還在下面爬的人。我認為，這種文化最糟的一面是，它會選出那些惡劣而有小孩子氣的人，也會讓女性不想靠近。

這真是令人丟臉。我認為所有受教育的人都應該學物理。為什麼？因為它很有趣—自然界神奇而迷人；因為它可以解放思想—宇宙並非難以預料，它是合理而可理解的；還因為物理毫無疑義是人類的思考體系裡，最具威力、最深奧的。也許，我終究還是認同我父母的講法。教學的目的是教學生如何思考，方法就是讓他們接觸人類思想裡最傑出而成功的例子：物理。

張明哲 譯