

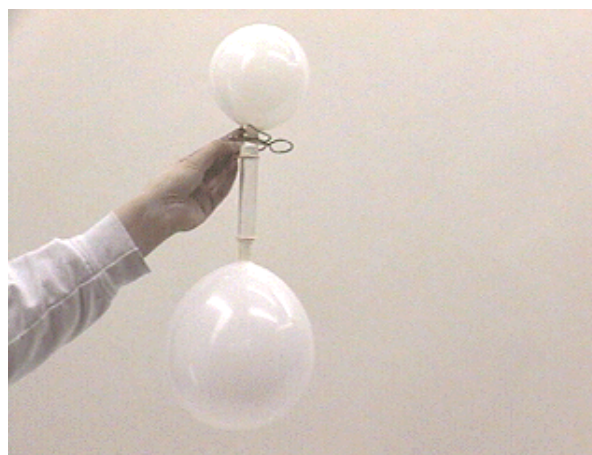
透過物理教學示範實驗教室網站 與全球網友交流的經驗分享

文 / 黃福坤

一、源起/緣起:

回憶當我在美國馬里蘭大學求學時，最另人印象深刻的事是每學期開學前，全系的教師與研究生共聚一堂，觀賞系上教授 Dr. Berg 所演示的物理教學示範實驗。由於曾擔任教學助教有幸參觀其內部陳列，發現有千種以上的教學示範實驗。最讓我印象深刻的是初次見到兩個大小原來一樣的氣球，吹一大一小後套於暫時封閉的管子兩端，如圖一。他會先讓觀眾預測 (Predict)：當打開開關讓氣體可流通時，兩氣球會發生怎樣的變化呢？這樣的問題似乎不像是研究所學生通常遭遇的問題，但是給我相當大的震撼。曾經研讀多年的物理，當場卻被這樣看似簡單日常生活中的現象所困惑。接著所觀察 (Observe) 到的結果往往是出乎意料之外，接著主持人會引導觀眾去詮釋 (Explain) 所觀察到的結果，以上 POE [1] 的過程是很有效的物理示範實驗演示方式。當初便下定決心回國後必定要好好推廣

如此有趣且深具教學效果的演示方式。



圖一：一大一小的氣球當相通後，結果會如何？

二、物理教學示範實驗演示

回國後在台灣師範大學物理系任教，便隨時留意坊間與物理原理相關能應用於教學的禮品、玩具或生活用品等，探索其可能的教學用途。養成習慣後就容易從日常生活現象或用品中去品嘗體會其中物理的奧妙，也同時思考如何運用於教學之中。尤其取材於日常生活用品的示範實驗，因為學生可以很容易事後或當場親自嘗試，甚至展示給其他人看，不僅達到較好的推廣效果，也通常是學生與中學老師歡迎的項目，學生所產生的成就感，更是學習物理的良好動力。例如自己小學時所玩的『抓錢幣』遊戲(圖二) [2]，透過「自由落體」與「慣性」的物理觀點，便可和中學生討論如何將錢幣順利抓入掌中的道理。開場白是「相信物理就可抓住錢幣，相信直覺錢幣就會落地」。通常當場演示此項目繼續討論的過程中，便可聽到錢幣落地的聲音，因為學生已經開始破不及待的想親自嘗試。通常我會先請聽眾從一個硬幣開始練習，比較一下錢幣愈靠近手肘處比較容易抓到還是靠近手掌處容易抓到，引導觀眾從物理的角度去說明其原因？也可



黃福坤 教授

現任職於國立台灣師範大學物理系。

Email : hwang@phy.ntnu.edu.tw

以將數個不同大小的硬幣，疊在靠近手肘處同一個位置，然後去抓整疊硬幣。學生很容易說出因為自由落體下落速度和質量無關，因此抓一個和抓多個差別在於手掌是否可同時握住那麼多硬幣而不滑落。



圖二：數個錢幣放在手臂上，快速全數抓入掌中

我通常會先問學生，錢幣從靜止自由落下，一秒鐘會落下多少距離？此時會感受到學生在代公式嘗試算出答案。我會請學生先回答物體從靜止落下 1 秒鐘當時速度會是多少？學生通常可很快回答出 9.8m/s 。接著問：因此一秒內平均速度是多少？所以一秒內會落下多少的距離？以上引導的目的是讓學生透過物理的思維方式思考問題，而不是都憑藉所記憶的公式解題。之後會繼續引導：因為是等加速度運動，因此若時間加倍，末速也會加倍，平均速度也會加倍。既然時間加倍的同時平均速度也加倍，因此落下距離會變成幾倍？所以物體從靜止開始落下的距離會和時間的幾次方成比例？透過基本定義與邏輯推理的方式，帶領學生體會所曾經記憶的物理公式，同時鼓勵學生用類似的方式去思考所學習的物理知識或對未知的現象進行推理。接著就可用搶答的方式讓學生估計 0.1 秒會落下多少距離？然後讓學生比較落下距離和手掌握拳的大小，有時學生就可當場說出抓住錢幣最好的方式與其原因（留給讀者親自拿出錢幣出來嘗試）。因為經常的練習，我已經可以將錢幣放好後，眼睛朝向觀眾不看錢幣，一樣可以抓到錢幣，或者同時左右兩手同時抓住硬幣。經過練習後可同時抓住五六個硬幣，聽到

錢幣依序相碰觸的聲音時，很容易產生一種滿足的快感。進行以上活動時還需要提醒觀眾，練習的過程不要朝著人，以免錢幣沒抓住卻從手掌彈出時傷到對方，實驗安全永遠是首要的注意事項。

我會和學生說接下去要討論的物理知識和一生的生命安全都有關係，是所有學生都應該具備的基本科學知識。例如前後兩車以時速 72 公里同方向行駛，若你為後面車輛的駕駛，則應該和前車保持怎樣的安全距離？假設看到前車突然踩剎車，後方駕駛看到後也會跟著動作，可是從眼睛看到現象到腦海中開始形成反應動作，需要生理的反應時間。接著從生理動作開始到原本靜止的腳踩下剎車還需要物理的反應時間，踩下剎車後到剎車系統開始運作，也需要機械的反應時間。在這整體的反應時間內，後方的車仍以相同速度繼續前進。即使兩車車速相同，剎車距離相同，兩車至少要保持反應時間內該車速所繼續行走的距離

（安全跟車距離）才不至於追撞前車。學生會很容易理解並說出跟車距離和速度成正比的關係，我也會提醒高速公路有些路段會看到路邊每十公尺畫一橫線，其實就可讓駕駛者心理默數一段時間，估計出相同時間該車所前進的距離。假設以上反應時間的總和是 1 秒鐘，則默數 1 秒鐘當時車速所走的距離就是和前車所應該保持的最短跟車距離。當車輛停於紅燈路口，燈號轉綠燈時，每部車都會等前車行駛一段距離後才會前進，就是為了保持適當的跟車距離。

問題是如何估計以上的反應時間以維持適當的跟車距離呢？我會請同學兩人一組，拿出一支筆讓其直立後放在另一個人姆指和食指之間，如圖三。一人在不告知狀況下放開筆，讓另一人試圖抓住筆，除非事先預測對方何時放開，否則通常都會落空。綜藝節目也會有兩人額頭相靠近，拿出百元紙鈔直立，放開後夾住就可獲得賞金，往往是額頭相撞而賞金落空的爆笑場景。因為之前已經讓學生估計過 0.1 秒物體落下所需距離約 5 公分，一支筆的長度同學會很快估計約 15 公分。此時我會先提醒同學之前已經歸納出落下距離和時間平方成正比，因此先用「認知負荷」較少的問

題：讓同學先估計 0.2 秒物體落下的距離。之後再度問到：15 公分會需要多久時間。同學們大多覺得這樣的引導與思考方式是很好的經驗。



圖三：透過抓筆，運用自由落體討論反應時間

接著我會拿出事先準備 30 公分長的尺，請一位同學上台。然後尺的底端放在學生姆指與食指之間，放開後請學生抓住尺後，讀出握住尺的位置。通常學生所抓的位置都稍微超過 20 公分，因此學生很快可說出姆指與食指張開約 2 公分時，從靜止到握住所需的反應時間至少約 0.2 秒。若是姆指與食指之間的距離增加，反應時間是否也會增加？以上的總反應時間包含生理的反應時間與手指之間從靜止到接觸過程中所需的物理反應時間，可輕易藉由所握住尺的位置估計出來。若我們可藉由簡單實驗估計出手指頭運動的物理反應時間，兩者相減是否就可估計出從腦中發出訊號到手指頭接受訊號過程神經傳導等的生理反應時間。我會提醒學生一張紙的厚度較不易精確測量，可以藉由很多張紙的厚度減少其誤差。用碼錶去估計手指頭運動的時間固然還包含按下碼錶所需的反應時間，但是測量手指多次來回的平均時間則可降低誤差（當然用光電計時器也可能精確測量可是失去以上更多教育功能）。接著可我會讓學生分組，要求事後進行實際的測量，隔周讓同學上台報告並分享結果。

兩手指頭之間的反應時間都需要至少約 0.2 秒的時間，因此整個質量更大的腳要踩下剎車起動剎車系統的過程需要更長的時間。精神飽滿的狀況下，一般

人約需 0.7-0.8 秒的時間，精神狀況不好時，往往超過一秒鐘。對時速 72 公里（相當於每秒 20 公尺）的汽車，則需要 14-20 公尺的安全跟車距離（可讓學生換算相當於幾部車的長度）。對已經學過摩擦力的高中生還可以探討，如何估計汽車輪胎與地面之間的摩擦力，然後計算汽車從高速行駛到完全停下，和速度平方成正比的剎車距離。對於國中生，我會用速度若加倍，則汽車從該速度到停止所需時間會加倍，因為速度與時間都加倍，因此剎車距離和速度平方成正比。所以時速 120 公里所需的剎車距離至少是時速 100 公里的 1.44 倍，且因為剎車過程汽車所有的動能大多數轉為剎車系統的熱能，輪胎與地面摩擦產生的高熱會讓兩者之間的摩擦係數降低，因此滑行距離還會更長。一般駕駛為了安全，當車速增加時會不自覺的以等比例方式增加跟車距離，這對於都是相同方向行駛的汽車或許還可以，但是若從側方進入車道或者前方因為車禍而發生接近完全非彈性碰撞的狀況，則兩車之間除了跟車距離外，還要加上剎車距離才能避免車禍的發生。在物理定律所需讓汽車停下距離內的所有車輛都會撞成一團，也因此高速公路經常出現連環車禍，就是因為剎車距離加上跟車距離內的所有車輛，都無法避免追撞在一起。對於開車的朋友，也要注意汽車轉彎時，所需要的向心力也是和速度平方成正比，更何況貨車重心高時，還會因為力矩過大造成貨車翻車的狀況。這些和速度平方有關與直覺往往不盡相同的物理機制，可能造成因為一次車禍而家破人亡的狀況，不管貧富貴賤，一生功過就此畫上句點。若能讓學生都理解這類的知識，或許可減少類似事件的發生。因此這類的知識（還有如家庭用電安全等）是我覺得所有學生都應該具備的基本物理知識。有些物理知識或許專家學者認為不可或缺，但是不同背景的專家學者都無法割捨的狀況下，往往結果只是加深學生求學過程的額外負擔，甚至讓物理成為學生避之唯恐不及的科目，反而得不償失。最佳的學習動力應該是來自於自己內心的驅動力，若能讓學生透過有趣又可探究物理概念的活動，領略基本物理觀念後，不僅可讓學生養成對物理的興趣，更重要的是讓學生對物理的學習

有信心，當學生離開學校後，也會想繼續閱覽物理相關的知識才是物理教育的成功。

三、對國內物理教學的觀察

雖然我們的小孩從小學便開始學習自然，進入國中繼而學習理化。科學相關課程的上課時數和全球相比名列前茅！固然在全球性的測驗如國際數學與科學教育成就趨勢調查 TIMSS 或國際評量計畫 PISA 中數理科的成績成績表現優異！我們的教育體系確實訓練了一批很會考試的學生，可是對於知識的活用與自行建構、組織知識與批判思考的能力相對缺乏。個人認為的原因是我們的學生聽得太多的科學課程，考了太多的科學測驗卷。課堂上缺少提供學生針對物理問題進行討論的機會，老師因為很少有機會聽學生描述所學習的物理知識，就很難了解學生學習的困難或腦海中對物理產生的誤解。尤其目前中學對於學生的評量幾乎僅採用選擇題，加上因為測驗次數太多，教師只好大量使用坊間水準良莠不齊的測驗卷，結果是一般學生不僅自信心低落，教師也沒有進一步藉由評量去了解學生有哪些學習上的困擾。目前中學的測驗卷最大的隱憂是書商請大學工讀生蒐集整理測驗題目後集結成測驗卷，測驗卷並非都是由具有教學專業素養的教師所命題的，因此出現不少題目連中學教師看了後都要查閱提供的解答才知道答案，原因並非是老師不會作答，而是題目本身敘述不完整，看過解答後才知道完整的情境。這樣的題目提供給學生進行教學評量對學生傷害最大，因為學生只好用背的方式去處理。物理知識的學習，需要的是綜合與歸納的思考方式，卻轉變成物理知識的記憶與解題競賽！學生的工作主要是將物理測驗題的內容，轉換成物理公式後，轉變成數學的解題工作。即使解出題目，也往往腦海中從未浮現問題與解答所對應的情境。所得到的只是最後的一個數字或答案，也因此多數人無法將所應學習的物理概念應用於周遭生活之中，幫忙解決問題或更有效率的解決實際問題，只是將物理當成學校中需要應付的一個科目。更不用談藉由物理教學，訓練個人思考與解決問題的能力。因此一般學生對於數理的信心

不足或興趣缺缺。不僅未能體會學習物理的樂趣，往往考試完畢便趕緊將頭疼的內容交還給老師了！高中物理老師抱怨學生將國中所學的物理忘光光，大學教授抱怨學生忘記高中所學的物理內容似乎是屢見不顯的狀況！

對於很多物理關係式，如果能夠理解關係式中每個物理量的基本定義或意義，其實就很容易理解關係式的由來，也應該可以隨時運用關係式思考，而不是遇到問題就開始思索開始用哪一個公式！即使是小學生，如果知道跑步時每秒跑幾步 f 、每一步跨出的距離 λ ，應該可回答出每秒可以跑多遠，也就是知道 $v = f\lambda$ 的關係式。而不是用硬記的方式，考試時才在腦海中回想到到底是哪個量和哪個量相乘除等。同樣的若理解波長、頻率與波速的意義，也知道三者之間的關係為何？還記得開學時本系新聘助教，我詢問了國內某知名物理研究所畢業來應徵的碩士畢業生一個問題：“當波從一介質進入另一介質時，波長、頻率與波速三個物理量哪一個不會改變？”原本想等回覆後，讓他說明理由！可是他的回答是“波速”不會改變。於是我改問“光在介質中的折射率是如何定義的？”原本擔心對方是否因為太緊張而回答錯誤，想藉此問題提醒他，只是他很誠實的回答說忘記了！若是大學理工相關科系畢業生，我或許可接受學生忘記了折射率的定義。可是對於物理系的畢業生，這應該是很基本的定義才對，更何況還是物理研究所畢業的學生，讓我感到非常的訝異！

物理有它趣味、有意思的一面，只可惜大多數人選擇了較沒有效率學習物理的方法——完全只顧著吸收資料如上課聽講、補習、看參考書等，除了記憶外還是記憶。大多數忽略了消化、吸收並轉化建構完整知識的過程。學生們聽或看了太多而缺少思考整理的過程。腦海中記憶的是書本片的資料，而不是完整的知識。熟記『十萬個為什麼』或『科學百科全書』並不是學習科學的正確方法，這類書籍所提供的是思考問題的片段背景資料，是繼續思索學習的起點，而不是終點。但是這樣的學習方式卻通常符合當前學校一

般學習測驗答案的需求，養成學生遇到問題便只想馬上知道標準答案，而不尋求為什麼該是如此的答案或別人是如何思索解決出問題的方式。例如初次要學生估計汽車輪胎與地面之間的摩擦係數時，一般學生都會茫茫然不知所措。可是提到一物體放置於一斜面上，逐漸增加斜面的水平傾角，當物體開始下滑時，可知該物體與斜面的摩擦係數為何？幾乎大多數學生都會脫口說出 $\tan \theta$ 。學生不見得還記得如何推導，但是幾乎都知道答案，因為考過太多次！可是如果將問題反過來問：將板擦倒放於講桌上，請學生估計板擦與講桌之間的摩擦係數，大多數學生卻會茫然，不知如何開始思考。但是經過以上提示後就會有部分同學想到可以將講桌逐漸傾斜，看何時開始下滑，從傾斜時的長度比值 $\tan \theta$ 就可估計出兩者之間的摩擦係數。其實學生並非能力不足，而是很少被引導進行這類型的思考方式與實際應用的機會。

在經常與中學生接觸的經驗中，發覺學生考試時即使答對問題，並不代表學生已經理解了該問題的概念，經常只是將記憶的結果填在答案卷上，甚至學生心中根本不認為所選的答案是正確的，但是多次測驗的經驗讓他知道需要選怎樣的答案才會得分。也因此相同的概念但題目的呈現方式改變，不是學生曾經見過的題型或描述方式，往往學生就不知如何回答，感覺無從下手，這也是一般學生學習物理最感頭疼的問題。由於僵化的學校教育，我們已經很有效率的將許多學生訓練成不想自己思考，只想知道標準答案以便能有效率應付考試的學習模式。因此我面對學生從事示範實驗演示時，並不會直接告訴學生為什麼會有所看到的結果。我的開場白通常是：『今天各位同學會看到很多有趣的現象，有些很像魔術的表演。但是所有活動都是運用簡單的物理概念便可以理解。如果同學們肯自己思考所看到的現象，並且嘗試提出自己的想法或觀點，我會繼續和各位探討，並嘗試引導同學能自己思索出合理的詮釋。但是如果沒有人回應，則各位將只會看到表演，我不會詳細的說出為什麼，以便留待各位繼續回味思考』。因為我相信只有當自己嘗試思索問題的答案時，才是學習的開始。於是同學

們會開始主動思考，雖然由於缺乏練習，有時候思考方向不太對，我會以更簡化的問題提示他們思考的方向，企圖將自己想表達的物理觀念或想法透過同學的口中說出來。同學們發現思考問題不再是那樣的困難，甚至也會遇到讓我都覺得很驚訝的見解。可見我們的學生其實並不是不夠聰明，也不是不會思考。小孩子其實是最會問問題的，但是學校所謂的「（對考試）有效率的學習方式」將學生問問題的習慣給「有效率的」大幅降低了！學生遇到不會處理的問題時，所想要知道的往往是「題目的標準答案」，而不是如何得到答案的思考模式與解決問題的方法。這是我們目前評量方式所導致學生的應對方式，很多學生誤以為能夠將課程資料整理得很詳細，上課時講述得很完整清楚的才是好的老師，甚至部分教師也如此認為。因此物理的課堂變成老師唱獨腳戲，學生只能單方面聽講的學習方式。教師們忽略了在課堂上透過問題的回答，引導學生思考問題或學習思考物理問題方式的練習機會，卻又往往覺得學生缺乏主動思考問題的習慣或甚至認為學生能力不夠，個人覺得是很不公平的觀點。若老師上課時能夠多留時間讓學生發表對於所探討物理現象的觀點，而不是一味的講述課程的內容，不僅有機會多了解學生對物理的了解層次，經過一段時間的養成後，其實會逐漸發現學生偶而也有獨到的見解與觀點。相信學生的能力，多提供學生練習的機會，但是老師初期進行這樣的改變時，心理要有準備，學生或許表現的不熱烈或反應效果不好，這是很正常的現象。好比家長初次讓小孩到廚房練習洗碗筷，可能洗不乾淨、方法不對或甚至廚房搞得一團糟，不如自己清洗還來得有效率又快速。可是如果父母因此自己接手處理，小孩就沒有機會練習如何洗碗筷，也沒有機會有好的表現。讓學生學習自行思考問題或回答問題，也是需要練習的。當學生自己可以養成物理的思考方式與習慣時，自然對自己就更有信心。這樣的教學過程一定比完全由教師講解耗費時間，上課內容會講授的比較少，可是一旦學生養成可以自己思考的習慣時，其實有些課本的內容是可以讓學生自己閱讀理解的，老師可透過上課時請同學分享

的機會，了解學生自學部分的狀況，長久下來應該會有較好的教學效果！畢竟藉由問題解決的過程，教師提供適當的引導協助學生自己想通問題的關鍵，培養處理問題與思考並解決問題的能力才是學習的重點。

四、網站建立的歷程

只靠個人的演講與示範演示影響的對象有限，為了更有效推廣示範實驗活動，於是想到運用當時國內正萌芽的學術網路。希望藉由網站的設置，將示範實驗的演示活動拍攝成影片或圖片，放置於網站上提供教師教學時的輔助教學資源，也可提供學生或一般社會大眾學習物理的另一種管道，因此網站定名為『物理教學示範實驗室』。當時已經確立網站建立的目的不是提供非常完備的學習參考資料庫，而是希望能藉由適當資料的引導，協助或引發學生對物理問題的進一步思考，期待能開拓學生思維想像的空間，以別於傳統追求完整灌輸的教學傳授方式。所謂好的教師不應該是只能將資料做完整的整理，然後提供給學生的媒介，而應該是能依據學習對象的不同提供適度的資料，引導學生整理後建構自我的知識體系，達成學習的目的。這是網站內容建構時所依循的精神，也是本網站所希望具有的特色。因此設計的方向是以提供教師作為輔助教學工具為主，定位為輔助教學網站。然而建構網站的初期(1996年)，由於當時國內網路頻寬問題加上影像多媒體的傳輸技術仍不夠成熟，影像檔案往往相當龐大，一般網友瀏覽影片時須耗費相當多的傳輸時間，效果大打折扣。示範實驗演示活動若僅靠文字說明不易領會其內涵，也因此僅將當初演講曾經拍攝的影片，切割成很多一分鐘內的片段，呈現於網站上，暫緩拍攝錄製新的物理演示實驗影片。

當時瀏覽國外的輔助教學網站時，恰好觀賞到美國奧瑞岡大學 (<http://jersey.uoregon.edu/vlab/>) 利用 java 所寫成的物理動畫程式：有一個燈泡、電阻及電源串接的線路，使用者可以憑藉滑鼠的操作移動上述元件，模擬實驗的情景。尤其可以透過網路將設計的動畫分享給上網的使用者，學生學習時不受「空間」與「時間」的限制。在全球各地的學生都可以透過網路學習，

沒有上下課的區別。即使學習時有問題，也可透過電子郵件很快與設計者相互溝通。於是便開始學習 java 的程式寫作，一個月後完成了第一個自己設計的 java 物理動畫程式：透鏡成像的虛擬操作[3]。使用者可以學習當物體放在透鏡前時，光線如何經透鏡的作用形成實像或虛像。藉由滑鼠的操作可以選擇凹透鏡或凸透鏡，也可以改變透鏡的焦距、物體的位置與大小...等，所有實驗室內實際操作的過程，藉由滑鼠更輕易的模擬。而且藉由動畫的顯示，更能清楚提示學習的重點。當時也撰寫了英文的網頁，並在全球放置物理相關 java 動畫的網站 TIP/TOP VLAB 向站長登記註冊，隨即收到站長很高的評價。他也同時以電子郵件通知世界各地對物理動畫有興趣的人士。很快的我的信箱充滿很多的讚許以及對程式的改進意見，也根據建議將動畫修改後具有更好的學習功能。全球陸續有教師來信告之，當他們上完透鏡成像單元時，都會請他們的學生上網站玩一玩透鏡成像動畫程式。來自網路上的回饋讓我開始不斷的設計新的物理教學動畫，教學動畫的設計構想來自於和學生的接觸，一旦發現學生有學習困難之處，可透過動畫幫助學習的情境時，便著手設計相關的動畫並同時放在網路上供教師或學生參考。當時發現幾乎絕大多數的回饋來自國外，因此每當設計好新的動畫，都會同時撰寫英文網頁，三年內所設計動畫累積了將近百個，因此除了公布於 VLAB 外也建立了 NTNUJAVA (Virtual Physics Laboratory) 的網站。當時也有一些國外教師對於設計動畫有興趣，我也將 java 程式的原始碼提供給有興趣的教師，對於程式有疑問之處，我也盡量透過電子郵件回覆。因為當時所設計的物理動畫數量是全球最多的網站，因此很快的吸引很多的網友來閱覽，也收到全球很多物理系、高中或博物館來函要求建立複製鏡射網站。當時最多有 86 個複製鏡射網站，也同意翻譯成超過十個國家的不同語言版本。連奧瑞岡大學物理系的一位教授都來信，希望將我的動畫用於他的課堂教學。也因此 2001 年接受美國物理教師學會的邀請，出席年會並發表演講。演講後好幾十位聽眾都上前來向我道謝，說他們都經常使用我的物理動畫於課堂教學或提供學生

做為課後 worksheet 的活動內容。當年邀請我前往的 Wolfgang Christian 教授，也同時邀請來自西班牙的 Francisco Esquembre 演講 Easy Java Simulation (EJS) 的動畫程式設計工具。之後我所有的物理動畫都改用 EJS 設計，因為使用該工具，透過完整的繪圖元件程式庫與數值分析程式庫，讓我可以一天或數小時之內，完成一個複雜的物理動畫設計。我也在他們兩位推薦下參加了歐洲 Conceptual Learning of Science (CoLoS <http://colos.org/>) 組織成為會員。也將該組織所發展的多項科學學習工具，翻譯成中文後放置於網站中。例如 Circuit builder 可以模擬所有電阻、電容、電感等線性元件所組成的任意線路，用滑鼠拖拉以上被動元件或添加交直流電源、伏特計、安培計與示波器等，可動態顯示線路的模擬結果。另外如 Solvenia 一位已過逝好友所發展的 JaCoB 程式，更是可模擬金屬導體內電荷分布、電磁感應、磁學等相關情境的好工具。透過彼此的交流與資源分享，使得 CoLoS 參與成員的網站資源都更加豐碩。

因為網站資源愈來愈豐富，每天都收到很多網友來徵詢動畫使用的同意權、詢問相關物理問題或動畫程式設計的問題。因為來信實在愈來愈多，因此中文網站開始建立物理問題討論區，英文網站則整個改版以討論區的形式呈現。只要是註冊的網友，閱覽相關動畫時，都會見到動畫下載的按鈕，所有利用 EJS 所設計的動畫，也都可以下載原始檔，啟動 EJS 後在該環境下修改程式後，產生新的動畫。Java 物理動畫不至於因為缺乏儀器或儀器故障而無法作實驗。當然它無法完全取真正實驗的功能，但確是很好的輔助教學功能。這也正是電腦輔助教學的功能——不是嗎？電腦不可能完全取代教學，但輔助教學是它最大的特點。正如現代的飛行員仍然需要實際飛行經驗，但電腦模擬飛行可增加他的經驗，模擬時意外犯得錯誤可以重來，那些練習過程的經驗可幫助實際飛行時的熟練程度。



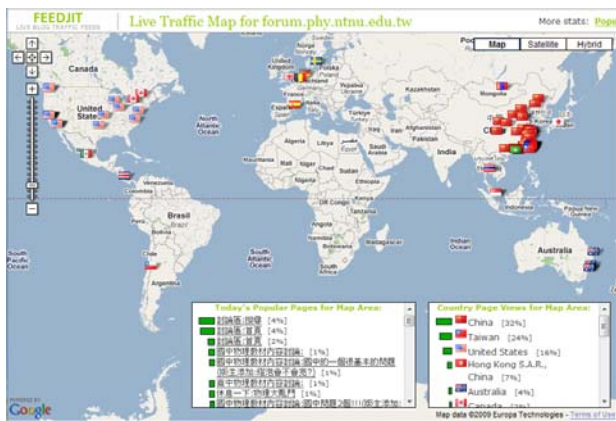
圖四: google 搜尋物理第一個出現的網址

經過十多年來的持續經營，本網站最引以為豪的就是歷年來所建立過的網頁資源都一直存在。這好像是一個很簡單的要求，然而若點選本網站網頁所對外連結的物理教學資源，很多網頁經過三五年後幾乎就消失不見，有的網址即使還存在，內容卻已經變更。這對於物理教師蒐集教學資源應用於課堂上教學時，是教師最擔心的事情，也可能是本網站廣受全球物理教師喜好的主要原因之一。於 google 搜尋時輸入『物理』，第一個出現的連結便是 Demolab 「物理教學示範實驗室」網站，而且 Demolab 的網頁級別(google page rank)和亞卓市首頁或無名小站的首頁都屬相同等級。可見本網站所受到網友歡迎的程度，也可說是小兵立大功。

表一: 閱覽物理問題討論區網友的地區分布(以下是 2009/06/15 19:55 分的資料，下方網址可看到即時資料)

中國	台灣	美國	香港	澳洲	加拿大
39%	24%	16%	7%	4%	3%

<http://feedjit.com/stats/forum.phy.ntnu.edu.tw/map/>



圖五：物理問題討論區網友全球的分布區域

物理問題討論區成立已經超過十年，有的參與者從國中時期加入現在已經是研究生。註冊者已超過 3.2 萬，留言超過 10 萬篇，因為網友來自全球，討論區隨時均有數十人上線瀏覽或討論，各主要蒐尋引擎更是每天來蒐錄資料。討論區內更有聞名全球超過千個物理動畫，涵蓋物理各相關章節概念。最近三年來提供註冊者透過宅配動畫服務，已經送出約 7.5 萬個動畫到使用者電子郵件信箱。使用本網站的網友除了包含國內小學生到研究生外，也常見到業界或其他一般民眾的參與。尤其台商分佈全球，因此中文網站的閱覽者包含來自全球懂得中文的網友。表一是僅針對物理問題討論區的統計資料，可發現閱覽數最多的是來自中國大陸，台灣的網友次之，很讓我驚訝的是來自美國的網友也佔相當比例。表下方網址會提供即時更新資訊，數值會因為時差而稍有變動，但是趨勢大致不變。甚至連蒙古與南美洲都有網友閱覽中文的物理問題討論區，可見本網站的物理問題討論區使用網友，其實已經遍及歐美，澳洲等全球。討論區網頁呈現以中文繁體為預設值，為了方便中國大陸網友，也添加自動轉換成中文簡體的功能。若統計討論區的留言數，則以台灣的網友佔最大比例，來自香港網友的留言量最近幾乎佔 1/3 的比例，中國大陸的網友，可能因為不方便輸入中文繁體字的關係，大多數僅閱覽討論區內容偶而才出現留言。

還記得收到一封來自南非台商的電子郵件，表示在當地仿造其他廠商的規格製作日光燈座，結果日光燈座內的電感線圈座卻發生溫度過熱的問題，但是原

來的產品卻不會。詢問到底是怎樣的因素，是否可以克服。因為只看到相關圖片，討論出可能的原因但是卻無法定論，恰好他幾周後返台，親自帶來實際的樣品。終於發現原因來自線圈為了增加電感值，中間插入導磁係數高的矽鋼片。對學過物理的我們而言都知道會用矽鋼片，而不用整塊矽鋼是因為要減少渦電流的產生，故一片片的矽鋼排列方向恰好可阻止大迴路的渦電流產生，以減少渦電流產生的焦耳熱。但是該廠商製作時僅知道採購相同的矽鋼片，加工時卻讓矽鋼片彼此之間壓得非常緊密，以為可以製造出更高品質的產品，結果反而造成矽鋼片之間較好的導電狀況，因此產生更多的渦電流而導致整個線圈過熱，經過溝通後終於排除困難。另外也有到大陸生產 LED 燈具的台商，想設計聚焦效果好的 LED 燈，我也設計了動畫讓其自行調整 LED 外型達到最好的聚光效果。其實國內的中小企業很欠缺具有科學背景的專家，提供產品的改進意見，在此拋磚引玉，希望更多物理界專家先進有機會能多幫幫這些請不起研發團隊的中小企業！

若分析英文的動畫網站，可發現全球五大洲都有網友使用本網站的資源，來自美國的網友比例佔最大宗、歐洲國家位居第二。最近三年英文物理動畫的宅配數量已經超過 6.5 萬(國內將近一萬)。例如美國最大教學資源網站 Merlot (Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching)於推廣的 pdf 檔案: The Best of Merlot 中挑選十個全球最好的物理教學資源範例中有三個都是本人所開發的物理動畫。也因此 2006 年第二度受邀參加美國物理教師學會年會的邀請演講，同年也受邀荷蘭主辦 Modeling in Physics and Physics Education 近三百人參與的國際大型研討會 GIREP2006 並提供 plenary lecture，2007 年也赴波蘭 MPTL12 (Multimedia in Physics Teaching and Learning)提供邀請演講。中文網站包含日常生活中的物理、物理教學示範實驗、物理教學單源模組、物理問題討論區與物理動畫等單元，相對而言英文僅有動畫網頁，英文網頁的資源量約是中文網頁的 1/10，可是整個網站的記錄顯示英文網頁的閱覽與使用人數遠超過中文網

頁的閱覽記錄。當然英文網頁可供全球懂得英文的上網者閱覽，但是國外對於網路教學的運用比國內更積極與踴躍，可能是更好的註解。



圖六：英文動畫網站 網友全球分布圖 (2009/06/15 10:55)

我經常告訴學生，一個人一生最美好的是能從事自己喜歡的工作。我很高興我有這樣的機會，除了個人可以享受物理的樂趣外，也有機會在課堂上和同學分享我對於物理的觀點，更幸運的是當我從事教職後，恰好網路興起，於是我還可以透過網路和全球的網友分享我的心得，也透過網路認識了全球很多位的好友！藉由網路讓我獲得很多寶貴的經驗與意見，例如我曾經設計一個單擺的動畫，讓使用者可以調整單擺的長度或甚至變更重力場，以便比較單擺週期和擺長與重力場的關係。一位教師希望我增加可以改變擺槌質量的參數，於是我回覆說：『擺槌質量和單擺週期並沒有關係呀！』；該教師回覆說：『你我都知道是這樣沒錯，可是學生並不知道或理解呀！』真是一語驚醒夢中人，身為物理教師的我，往往從自己的角度看事情，卻忽略了學習的主體是學生，教學的設計與規劃需要從學生的角度去思考。設法了解學生學習的可能困難，根據學生的背景知識協助學生理解所困惑的物理觀念，以建構學生自己的物理思維體系。而不是硬將自己的物理思維方式，一股腦的講授給學生硬要學生接受我們的想法與觀點。類似這樣的體認，讓我感受到透過網路資源分享與觀念溝通的好處，也更加深我應該鼓勵學生經常與他人溝通想法互相討論的學習效益。唯有當老師的能自己親身體會與他人討論或溝通所能得到的優點時，老師上課時才會多提供學生討

論分享觀念的機會，而不會將討論視為沒有效率或浪費時間的教學方式。

學生學習的過程會有很多的困擾，尤其物理知識有很多和直觀的感覺並不太一致，老師往往希望將自己所學都盡量傳授給學生，而不斷的詳細講解。其實這樣的方式，反而剝奪了學生自己消化學習的機會。一位好的物理教師不應該只是讓學生覺得老師物理很厲害，而應該是能讓學生覺得自己物理很厲害。最理想的狀況就是能將自己所想要講的內容，透過學生的口說出來。若想要了解學生可能錯誤的觀念或想法需要靠聽學生如何解題，而不是僅靠解題給學生聽。為了再次強調老師要多聽學生說明的重要性，我再舉某位科大四年級的學生很認真的準備考研究所，他當時在網站的高中討論區問了很多高中的物理問題。某次遇到一個題目：某物體碰撞前動能 A ，碰撞過程損失 20% 的動能，題目要求計算物體碰撞後的速度。因此假設碰撞後動能為 B ，他知道碰撞後動能是碰撞前的 0.8 倍，但是卻寫下 $A = 0.8 B$ 的關係式，發現自己的結果與解答不同而提問。經過好幾次來回討論，他才恍然大悟！目前他也已經是國立研究所的學生！

我們遇到物理情境時，知道該加上哪些假設，可以忽略掉哪些因素，腦海中會浮現對應系統的實際尺度，例如是原子的尺度還是太陽系的尺度。但是對於初學物理的學生而言，往往會漏東漏西。老師的功能是給予基本訊息後適時提醒而不是詳細告知所有內容。其實有時候課本或講義上的說明，好像是寫給已經懂得該概念的人看的：因為懂的人看起來，說明寫得似乎很完整，一點問題都沒有。可是對於原本不懂的人，看過後往往還是無法理解。因為書本的作者撰寫內容時，對於讀者會有一定背景知識的假設，可是課本是給更廣泛不同背景的群眾使用，這其間的差異就是老師要發揮功能的時候。只可惜若老師沒有體會到學生的學習困難，則學生只好硬記結果。例如壓力定義為單位面積所受的力。可是對中學生談流體時，經常會提到『液體內的某一點向各方向的壓力都相等』。所謂液體中一點的壓力，學生會有不同的想法

與疑惑。為什麼一個點會有壓力？該點的面積為何？各方向的壓力是朝向該點還是從該點朝向外？對於物理老師可以很清楚知道該點並非數學上的點，而是一個和巨觀比起來相對很小的體積，但是又比原子大小要大很多，內部有足夠量的液體分子，其壓力平均幾乎為定值的一個體積。但是初學的學生沒有這許多相關背景理解，因此容易造成相關概念理解的困難，甚至產生很多誤解。又如描述一條繩子上一點的張力：指的是繩上一小段長度左右兩端對該段的作用力？還是指若將繩子分成兩段，分段處兩繩子之間的交互作用力？對於不同的問題情境，可能兩種狀況都會出現。但是往往老師會忽略對學生作以上的提示或指出其差異性。但是有很多的細節，其實對於初學者而言又不宜一次說明的太清楚？因為可能反而會增加學生的認知負擔，讓學生無法負荷。教學內容講得太清楚有時候會造成學生負擔，不講清楚有時候卻又會造成學生的誤解？物理實驗時，我們會控制變因。可是教學的對象是人，往往太多的變因是我們無法控制或選擇的，也因此教學沒有一定的方式或類似食譜的詳細作業流程，而是要依據學生的背景能力與學習狀況而調整。尤其針對類似普通物理的課程，老師覺得好像很多內容高中都學過，學生也覺得學過，似乎只是換了原文的課本。可是老師和學生都心知肚明，其實學生還是有很多觀念並不完全清楚。例如交流電路中，是否學生都能很清楚區分電流所對應的是巨觀的平均漂移速度，而不是對應微觀每一個電子的運動速度。當太陽、地球、月球同時在教科書同一圖中出現時，表示那是一種示意圖，其大小或比例和實際的大小或比例有相當大的出入，是否老師曾提醒學生思考這些問題呢？又如當老師用粉筆在黑板上畫一個圓圈來代表地球時，因為地球半徑超過六千公里，粉筆所畫出圓圈的寬度其實已經比實際對應地表上的平流層（約 10 公里）還厚。當我們用水流的模型來解釋迴路的相關觀念時，其實我們僅需要水流模型的部分特性，有些水流的特性是電路模型所不需要的，但是若老師沒有提醒學生，則學生會將所想到的水流特性全部都用來建立自己的電路模型，也因此形成了很多學習上的困擾。

若我們沒有去聆聽學生的這些想法或困擾，則我們只能繼續抱怨學生學習成效不好，或怪罪學生不夠用功，而不是反求諸己，想一想：自己可以如何幫助學生突破學習困境，哪個學生自己不想有好的成績表現。個人還是再度提出最好的方法是課堂上盡量提供學生說明表達個人物理想法的機會，從學生說明的過程可以清楚了解學生的想法，然後再依據學生的想法提供引導。

單擺實驗角度一定要小於五度嗎？

我們希望學生不僅知其然，也知其所以然！以單擺實驗透過單擺周期的測量求得重力加速度為例，原理中關係式 $\frac{d\theta}{dt} = -\frac{g}{L} \sin \theta$ ，利用近似 $\frac{d\theta}{dt} \sim -\frac{g}{L} \theta$ 以便運用簡諧運動的關係式求得週期的關係式 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$ 。

一般學生似乎都記得要利用用以上關係式的條件是：角度要夠小，且會加上角度要小於五度。可是角度為何要小於五度，是在怎樣的精密度限制下需要小於五度呢？六度可不可以？若角度稍微大於五度其誤差影響為何？大多數的學生無法回答角度要小於五度是依據怎樣的要求，大多數說是高中老師如此說的。難怪有學生抱怨：為何物理的規則這麼多？以下的討論，重點不在於告訴學生答案，而在於是否引導其思考這樣的問題？例如引導學生估計以上近似的誤差：

因為以上是將 $\sin \theta$ 近似為 θ ，這樣的近似，可能造成的誤差影響會是多大？從泰勒展開式可知

$$\sin \theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \frac{\theta^7}{7!} + \frac{\theta^9}{9!} - \dots$$

忽略三次方以上的項所造成的百分誤差可估計為

$$\frac{\theta^3}{3!} = \frac{\theta^2}{6} \quad \text{。以角度 5 度 } (\theta = \frac{5\pi}{180} \sim \frac{5}{60} = \frac{1}{12}) \text{ 而言，}$$

$$\text{誤差影響約 } \frac{1}{6} \left(\frac{1}{12} \right)^2 = \frac{1}{6 \sim 144} = \frac{1}{864} \sim 0.00116 = 0.116\%$$

也就是五度的近似對方程式造成的誤差小於千分之 1.16。若實驗時以 10 度的擺角，其誤差也不過是 $4 \times 0.116\% = 0.464$ ，或者 20 度的擺角其誤差也小於 2%。

其實若真的以泰勒展開式後求解，會發現單擺週期的誤差比以上估計還更小。然而經常見到學生進行單擺週期實驗時，往往實驗數據計算後誤差大於5%，但是因為找到了可歸究實驗誤差的替死鬼：報告上往往寫因為角度大於5度，例如實驗時擺角約15度所以造成以上誤差。可是擺角15度對實驗的影響其實小於1%，主要實驗誤差可能來自於時間或長度測量的精密度不夠等。例如單擺的長度是如何測量的？從端點測量擺長的長度，還是測量到下方所掛金屬球的中心點？類似的狀況發生於用不同大小鋼珠透過光電計時器測量自由落體時間的實驗。不同直徑的鋼珠，被上方電磁鐵吸住，切斷電磁鐵電源後，測量通過光電計時器的時間間距。結果學生說實驗結果顯示半徑愈大的鋼珠，測得的時間愈短，因此愈大的鋼珠落下的加速度愈大或者空氣阻力造成小鋼珠落下時間較久。可是學生忽略了因為鋼珠大小不同，相同光電計時器的位置所測得鋼珠實際位移(質心位置)的改變量是不同的：較大顆的鋼珠落下的距離比較短。若將此因素考慮進去，則修正後就會得到不同的結論。可是我並不認為應該將以上的修正，直接加在實驗手冊上。因為學生往往只會依照步驟進行實驗，不太會注意為何要進行如此修正。若是讓學生實驗測量後，得到衝突的實驗結果後，再適時提醒引導學生思考，應該會有較好的結果。一般學生的實驗報告進行誤差分析時，最常的

歸咎原因就是空氣阻力或摩擦力等。我則會要求學生，針對所認為的誤差來源，提出可能造成誤差百分比的估計，並說明理由。這樣學生有機會注意哪些因素會是實驗誤差主要來源。開學初期要求學生於實驗後進行以上估計，半學期後則可嘗試要求學生於實驗預習報告時，就進行這樣的估計，則實驗進行時，就可更注意誤差的控制。

小學生往往對科學都有濃厚的興趣，對於周遭的現象經常會好奇的提問，甚至讓大人或老師都覺得問題是否太多？可是我們的學生，過了中學階段後似乎大多數的學生對於問問題的好奇心，卻讓我們的教育系統很有效率的給降低了，這是很值得我們深思的問題。

四、致謝

作者由衷的感謝十年來每周共同和我一起參與討論的中學老師和所有網路上所有網友所提供的寶貴建議。最後要感謝國科會科教處多年來的補助使得各項工作得以順利進行。

結語

期待物理老師能改變只是單方向講授給學生知識的習慣，增加讓學生發表物理觀點與想法的機會，這樣才可能再度引起學生問問題的習慣與能力！

補充資料

[1] 所謂POE是一種教學方式:將物理的概念以問題的方式引導或呈現之後, 首先請學生進行預測(Predict);然後配合趣味性的引導當場表演示範;此時要求學生注意觀測(Observe);接著請學生說明觀察到的結果與自己對所觀察到現象的詮釋(E)。這種教學方式搭配物理示範實驗演示可達到很好的教學效果。預測的階段不僅可引起學生興趣, 更引起學生想知道結果並和自己預測相比對的動機, 學生會仔細的觀察。尤其結果和自己預測的不相同時, 往往更加深學生得好奇心。此時表演者可透過引導的方式協助學生思考詮釋的方法, 透過詮釋得過程讓學生練習如何思考問題並領略物理現象所蘊涵的物理概念。

[2] 抓錢幣的過程可參見以下網址的動態圖片
<http://enjoy.phy.ntnu.edu.tw/file.php?file=/userdir/7/fkh/catchcoins2.gif>

[3] 所設計的第一個物理動畫:透鏡與面鏡成像:
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/Lens/index.html>

[4] 教學網站:

(1) 物理教學示範實驗教室

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/>

(2) 物理問題討論區:

<http://forum.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/>

(3) 科學園: <http://enjoy.phy.ntnu.edu.tw/>

(4) NTNUJAVA Virtual Physics Laboratory

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/>

➤ 這個網站不會提供類似「百科全書」或「十萬個為什麼」的內容。因為那樣不是學習科學的方式。記憶:是電腦最大的優點之一, 我們留給電腦去記憶/去儲存。人類最大的優點是「創造思考與發明」新的事物、新的觀點、新的概念。希望網友能多思考網頁中所提出的問題, 用自己的想法去解釋、學習並領悟其中的物理概念。千萬不要只是想在腦海多記憶一項物理內容, 當碰到新的形式的問題只能記憶一個新的解題方式, 這樣絕對不是學習科學的方法。

**It IS POSSIBLE TO Change Without Improving
 It IS IMPOSSIBLE TO Improve Without Changing!**