

臺北市第 19 屆中小學及幼稚園教育專業創新及行動研究

教育專業經驗分享類：

跨領域課程設計與實施～ 以物理與資訊為例

臺北市立南港高中 高慧君、戴伶娟、劉葳蕤

跨領域課程設計與實施～以物理與資訊為例

高慧君*、戴伶娟*、劉葳蕤**

*臺北市立南港高中資訊教師

**臺北市立南港高中校長

摘要

本研究運用電腦程式 Python 與 VPython 模組進行高中物理模擬動畫創作與程式設計跨領域學習。經過近三年的課程發展與實施，我們體會到程式設計加入了物理課程，改變了它的教材本質，而物理課程加入了程式設計，也改變了它的學習方法。透過 VPhysics 課程，學生不僅學到程式設計基本概念，也對於物理現象與原理有更進一步的了解。

關鍵字：物理教育、程式教育、創新教學

壹、研究背景

高中物理對於大多數學生而言是不容易學習的，部份原因在於物理課裡常常會有(a)單以方程式難以理解，而需要利用三維動態圖像來了解的物理，或是(b)列出方程式後，需要以高等或繁複的數學來解，而常讓學生迷惑於解數學方程式而非學物理概念。

高中程式設計對於大多數學生而言也是不容易學習的。傳統程式設計課程(例如：C、Java、Visual Basic)，對於初學者而言，有許多的學習障礙，例如：(1)一般程式語言是專門設計給專業程式設計人員使用，對於初學者而言過於龐大且複雜。(2)抽象的程式概念不易於課堂講述，傳統教學通常讓學生輸入資料後獲得輸出結果，對於指令所造成的電腦內部改變一無所知。(3)傳統教學使用的範例多是處理數字與符號，不易吸引學生的注意。

如果高中物理不好學，程式設計本身也不好學，那麼將這二個不好學的科目混在一起，學生會不會物理也學不好，程式設計也學不好呢？對於高中物理來說，核心概念有(1)觀念(2)公式(3)圖像。大部分學生會把注意力集中在(2)公式上，所以，物理就不容易學得好。高中物理有四個重要的大概念(1)坐標(2)向量(3)系統(4)相對速度，而這四個大概念可以用程式來表達，例如：給定一個物體的初始位置與速度，在物體受力後會發生什麼事呢？能否預測物體運動的軌跡？我們可用以下的演算法：(1)給定一個時間 t ，計算物體的受力情形。(2)假設一個很短的瞬間 Δt ，運用牛頓第二運動定律計算物體新的速度。(3)在 $t+\Delta t$ 的時間點，運用物體的新速度來計算物體的新位置。(4)重複上面 3 個步驟。

對於程式設計來說，Stein(1998)提出資訊科學的教學方式，應從“Computation is calculation”模式轉換成“Computation is interaction”模式。他認為程式範例的輸入與輸出不應該只是數值，應該是可被觀察到的事物。為了幫助初學者能夠更有效地學習程式設計，許多學者認為視覺化環境有助於程式設計的學習，能夠降低程式設計的學習門檻，對於提升學習興趣有幫助(Kelleher & Pausch, 2005)。

就力學單元來說，中學階段的物理教學所學習的都是看到的現象，而藉由學生對於物理學科的理解，引導他們學習程式是一個很好的開始，因此，台大物理系石明豐教授結合了這二項特性，運用 Python 語言與 VPython 套件所研發出來的 VPhysics 跨領域課程能夠有效降低物理與程式設計學習的困難度。

Python 是以優雅簡單為設計的程式語言，擁有極其豐富且功能完整的套件庫，可以輕鬆地完成很多常見的任務。目前美國排名前四十的資訊系所，有超過 80% 採用 Python 當作第一個教學程式語言，相較於 C 與 Java 語言，學生可以用較少的力氣和時間就能掌握程式語言的邏輯和用法。此外，它的 3 維空間模組 VPython，能夠讓學生在學習物理的同時，很輕易地將高中物理課程內容中所需要的「三維空間展示」、「動態變化」、或「現象模擬」表現出來。

此套高中物理模擬程式設計課程，共有九大主題：(1)物體的一維等速運動(2)物體的一維等加速運動(3)物體的三維運動(4)力的合成(5)等速率圓周運動(6)虎克定律和簡諧運動(7)動量(8)彈性碰撞(9)行星公轉。與傳統物理教育不同的是，藉由程式語言的引入，透過 VPython 程式執行的三維動態影片和結果，則可以讓學生在電腦的三維顯示中「看到」到底發生什麼事，例如以自由落體來說，就是運用一個迴圈(while loop)來表示：當球拋出去後，(a)判斷球是否碰到地，如果不是，球就按照重力加速度，計算速度，再計算位置，然後再回到(a)作下一瞬間的判斷，如果碰到地的話，就停止。

```
while ball.pos.y > ball.radius:
    rate(1000)
    # 速度 = 速度 + 加速度 * 時間間隔
    vy = vy + a * dt
    # 位置 = 位置 + 速度 * 時間間隔
    ball.pos.y = ball.pos.y + vy * dt
```

貳、行動流程

一、引進 VPhysics 課程

研究者¹在 2015 年 8 月 10 日參加教育部資訊教育總藍圖世界咖啡館活動時，得知台大物理系石明豐教授正在推廣 VPhysics 程式設計課程。VPhysics 是甚麼？V 代表視覺化(Visual)、虛擬化(Virtual)，和透過電腦程式語言(VPython)，最後邁向 Victory of Physics。有些物理現象即使透過文字描述、圖片表達、動畫展示，仍然無法幫助學生理解，若能透過程式設計模擬物理現象，將有助於學生認識我們身處的世界是如何運作的。而高中程式設計教學的目的，除了繼續充實學生的程式設計技能及增進電腦科學知識之外，亦可以幫助學生藉由程式設計學習物理、化學、數學知識。因此，我們於 2015 年 9 月 8 日邀請石明豐教授蒞臨南港高中辦理的高中資訊教師跨校社群聚會中分享課程設計。



圖 1 石明豐教授講解 VPhysics 課程

二、進行課程發想

南港高中自 99 學年度起引進 Scratch 教學軟體作為程式設計的工具，在多年的教學實務中累積了 Scratch12 堂課，不僅推廣到校內國中部學生，也有出版書籍推廣到全國各地國中小。然而，Scratch 運用拼積木的方式來寫程式，雖然容易上手，可讓學生很快地產生成就感，但就像小孩子寫作文，因為認識的國字不夠多，只能寫注音文一樣，終究只是過渡期；當他們認識的國字夠多時，即應擺脫注音文的寫法，因為豐富的文字能讓他們表達更高層次及更多樣化的想法。同理，積木式程式語言也只是輔助表達的工具而已，若能由積木式程式語言提升至文字式語言，將可大大增進學生的程式設計表達能力。因此，我們認為 Python 就是一個很好的選擇。我們一直希望讓學生能夠從積木式的 Scratch 語言進化到文字式語言，然而這種進化存在著鴻溝，在尋訪了許多 Python 教材之後，由於一直找不到適合的入門教材，所以我們一直停留在積木式語言，無法繼續往前進。在經過石明豐教授 3 小時精彩的介紹後，我們拜訪了石明豐教授建置的 VPhysics 官網課程，並且仔細地評估了這份高中物理模擬程式設計課程在南港高中實施的可能性。我們認為透過物理模擬動畫創作來呈現程式執行結果，讓學生能觀察程式執行的歷程，逐步建立一個正確的概念機器，有助於降低初學程式設計的困難。因此，我們初步評價這份高中物理模擬程式設計課程應是目前找到最適合的入門教材，經過一年的準備，我們決定正式在高一普通班資訊課程中實施。

由於我們本科是資訊，對於高中物理的印象僅停留在 25 年前念高中準備大學聯考時的程度，所以對於我們來說準備高中物理課程是辛苦的。除了石明豐教授網站上所提供的九個主題說明文件外，我們也跟學校物理老師要了現行高中物理教科書來研讀。起初在自由落體與拋體運動部份都還能應付，到了動量與彈性碰撞部份就比較生疏，我們遍尋了網路上的物理教學影片(物理怪客、可汗學院、酷課雲、均一)，就比較知道如何講解物理概念，而其間遇到不太懂的地方，很感謝石明豐教授給予即時有效的指導，及學校物理老師的教學經驗分享。

三、第一次課程實施

1.實施對象：

高一 4 個班級之 146 位學生為對象。

2.實施時間：

105 學年度上學期進行 6 週 Scratch 課程，2 週 Python Turtle 海龜繪圖課程之後再進入 VPhysics 課程，教學過程進行 8 週，每週 2 節課連排，一節課 50 分鐘。

3.教材內容：

本課程採用臺灣大學物理系石明豐教授所編寫的高中物理模擬程式設計課程，經研究者依南港高中學生程度稍微加以改編與簡化。除了講解物理動畫程式外，研究者也特別設計了小作業提供學生課堂練習。

4.教學資源：

為了能夠順利進行教學，我們建置了一個課程網站，除了將課堂上需用到的程式碼製作成網頁，方便學生參考外，也開發了作業繳交功能，學生把老師指定的作業完成後，要上傳(1)心得(2)程式碼(3)執行結果(擷圖)。此外，學生可以觀摩全班作業的心得。



圖 2 課程教學網站

Learn Python

dnweb.nksh.tp.edu.tw/student/lesson/F01/

註冊新帳號 登入

首頁 課程 推薦 訪客 作者

第1堂課

講義 影片

Python安裝程式下載
VPython安裝程式下載

第一個程式

```

1  # -*- coding: utf8 -*-
2  # 匯入視覺化套件
3  from visual import *
4
5  # 產生一個寬400像素，高400像素的3D空間以進行繪圖
6  scene = display(width=400, height=400)
7  # 產生一個扁長形方塊，當做是地板
8  floor = box(pos=(0,0,0), length=0.3, height=0.005, width=0.1)

```

第6行程式會開一個專屬視窗，並以 scene 為名字，代表此視窗，而視窗在開啟時，右方為模擬世界中的+x 軸、向上為+y 軸、射出紙面為+z 軸。width 與 height 是視窗的寬與高，單位是顯示器的像素。

第8行程式會產生一個 box 物件，在視窗中畫一個非常扁平的 box，代表地板，取名為 floor。length, height, width 為長(平行 x 軸)、高(y 軸)、寬(z 軸)




圖 3 課程網頁呈現授課講義與程式碼

5.教學活動照片

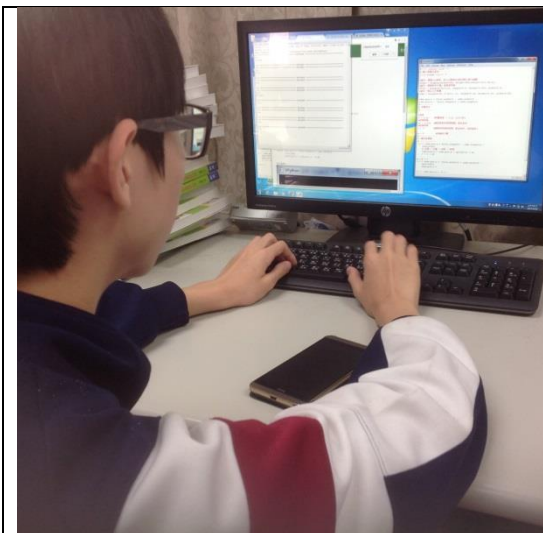


圖 4 學生學習後自己練習程式編輯與學習



圖 5 全班同學專注 VPhysics 物理模擬學習

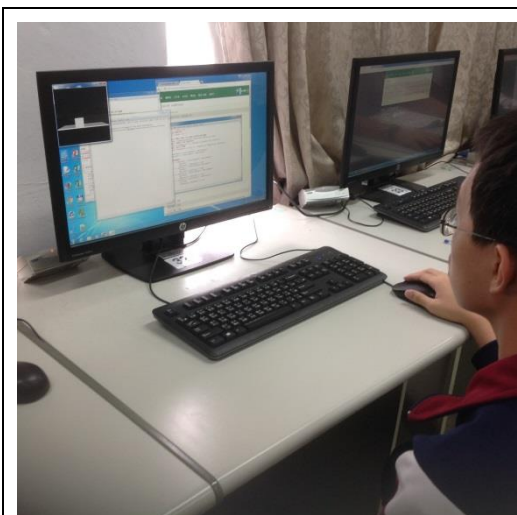


圖 6 學生設計出物理模擬的視覺化學習



圖 7 學生能依照教學進行作業解題

6.實施成果：

本研究針對其中一個班級進行李克特氏四等量表編製程式設計之學習態度感知問卷，由「非常同意」至「非常不同意」。

表 1 學生學習問卷(N=36)

題目	平均數	標準差	非常同意	同意	不同意	非常不同意
			4 分	3 分	2 分	1 分
學習 vphysics 之程式設計有助於建立物理的概念	3.31	0.46	31%	69%	0%	0%
學了 vphysics 讓我更想學習程式設計技巧	2.89	0.57	11%	67%	22%	0%
學了 vphysics 讓我覺得程式設計很有趣	2.89	0.61	14%	61%	25%	0%
學完此門課後，我能理解程式設計的基本概念	3.31	0.57	36%	58%	6%	0%
我覺得學習程式設計，可以讓我做事方法更有信心	2.83	0.65	11%	64%	22%	3%
我對於在這門課所學到的東西和創作的作品，覺得有成就感	3.28	0.56	33%	61%	6%	0%
學完此課程後，我認為學好程式設計對我的未來是有幫助的	3.22	0.63	33%	56%	11%	0%
學完此課程後，我發現程式設計的確可以訓練我的邏輯思考與問題解決能力	3.39	0.54	42%	56%	3%	0%
只要時間許可，我一定可以把程式學好	3.11	0.61	25%	61%	14%	0%
學完此課程後，我認為我能夠將程式設計課程所學到的（如問題解決、邏輯思考、與創造力等），運用到其他科目上。	3.08	0.49	17%	75%	8%	0%

從表 1 顯示知道，全部學生(100%)都認為透過程式設計有助於建立物理的概念，大多數學生表示學了 VPhysics 讓他更想學習程式設計技巧(78%)，而且因為學了 VPhysics 讓他覺得程式設計很有趣(75%)，而透過 VPhysics 能更理解程式設計的基本概念(94%)。在這次的教學實驗中，Python 程式語言對於學生是全新的知識，而物理概念有些是國中理化課程學過(例如：自由落體，虎克定律)，有些是高二物理才會學到的概念(例如：動量，彈性碰撞，等速率圓周運動)，所以學生除了學習程式外，也要學習一點物理概念，因此課程本身是有某種程度的困難度，在每周的課程中，除了示範與講解的程式碼外，教師也會要求指定作業讓學生動手改程式，並且寫下心得。在課程進行的過程中，許多學生表示課程有難度，但是在教師的堅持下，學生一點一滴地挑戰自己，到後來的作業中，學生在心得上表示「簡單一點點」、「很難，但是好玩」。陪伴學生走過困難的學習過程，到後來讓學生自己從中發現辛苦學習後所帶來的樂趣與成就感，是教師教學最大的收穫。從問卷中顯示，大多數學生對於在這門課所學到的東西和創作的作品，覺得有成就感(94%)，也認同學好程式設計對自己的未來是有幫助的(89%)，並且同意學習程式設計的確可以訓練邏輯思考與問題解決能力(97%)，只要時間許可，我一定可以把程式學好(86%)。

7.結論與反思

本次實驗結果顯示高中生之學習態度皆為正向積極，尤其是對於學習物理概念之幫助，與讓學生體會程式對於自己未來之助益。經過這次的教學實驗，教師更熟悉了這份物理與程式教材、學生反應、與困難點，由於每個學生吸收的能力有差異，再加上完成程式作業的時間不一致，常常有學生閒置或跟不上的情形發生，而教師為了符合大多數學生的情況，也只能繼續進度教下去，無法顧及個別需求。由於我們在 Scratch 課程有成功的差異化教學經驗，因此，在現有教學網頁(講義)的基礎下，我們希望進一步錄製教學影片以實現翻轉教學的可能性。

四、第二次課程實施

1.實施對象：

高一 4 個班級之 144 位學生為對象。

2.實施時間：

105 學年度下學期進行 8 週的 Scratch 課程後，再進入 VPhysics 課程，教學過程進行 8 週，每週 2 節課連排，一節課 50 分鐘。

3.課程內容：

在我們第一次實施 VPhysics 課程時，原本擔心課程難度高一學生是否能接受，所以在進入 VPhysics 課程之前，安排了我們較有教學經驗的 Turtle 海龜畫圖作為前導課程，希望讓學生先熟悉一下 Python 解題。但是在實際教授過 VPhysics 課程後，我們覺得這個考量是多餘的，因此，當我們第二次實施時，就決定在經過 Scratch 課程後直接進入 VPhysics 課程。在我們第一次實施時，由於學生對於程式解題缺乏經驗，為了能夠繳交作業，部份學生間會使用社交軟體流程序碼，部份學生會用手機去翻拍先做出來同學的程式碼。在基於鼓勵學生學習的立場上，我們並沒有嚴格地禁止學生進行這樣的行為，最主要的考量是希望他們的注意力能夠繼續維持在課程主題上面。因此，當我們第二次實施時，為了鼓勵讓學生動腦筋想，動手去做，並且為了讓學生保持動力繼續學習非考科的程式設計，不要因為作業想不出來而放棄學習，所以，我們在讓學生想了一陣子解法後，由教師主動提供程式碼解答圖片給學生參考，主要的考量是程式解題和數學解題有點雷同，要能夠主動去想，想不出來就去參考解答反思自己為什麼沒有想到，所以我們認為看解答還蠻重要的，就像孔子說的「學而不思則罔(一味依賴解答)，思而不學則殆(做不出來還堅持不看解答)」。而程式碼圖片化的用意，是希望學生看了解答後，還能夠自行將程式碼打過一遍，再去執行。

4.結論與反思：

在這次的教學實驗中，我們加入了提供解答的機制，從學生心得(如表 2)中，

可以看出提供解答對於學生學習是有幫助的。

表 2 某 1 位學生作業心得

1 VPhysics 移動	比 Scratch 困難很多，希望我能學好。
2 繞邊邊跑一圈	一開始忘記把 2 個程式#掉，害我多想了很久，原理都一樣，感覺沒有很難了。
3 一維等速運動	很有趣，看到成功動起來感覺很有成就感。
4 繞邊邊愈來愈快	把第一次學的加上一些這次學的就成功了。
5 自由落體觸地反彈	原本想用時間或速度，但想很久想不出來，看解答後發現是用次數，跟我當初想的完全不一樣 QQ
6 兩牆間反彈	這次的好難喔，都想不到。
7 向量的合成	看完解答後發現跟我想的只差一點，真可惜。
8 速度視覺化	忘記把箭頭速度加進去，看完解答才發現。
9 等速率圓周運動	速度的箭頭有做出來，但加速的的箭頭是靠解答幫忙的。
10 畫時間位置圖	感覺有點不一樣。

五、第三次課程實施

1.實施對象：

高一 4 個班級之 148 位學生為對象。

2.實施時間：

106 學年度上學期進行 6 週的 Construct2 遊戲創作課程後，再進入 VPhysics 課程，教學過程進行 8 週，每週 2 節課連排，一節課 50 分鐘。

3.課程內容：

在經過二學期共 8 個班的試教後，我們對於這套 VPhysics 課程與學生的反應已經有了充份的認識與掌握，也從一次又一次的講解中，了解到學生比較容易聽不懂哪個部份，或在實作上容易遇到的問題。加上在電腦教室的上課習慣是一邊操作電腦，一邊對著螢幕講課。因此，我們便於暑假預錄了講課的內容，並且加上影片後製效果，我們認為以播放影片的效果不會輸給老師親自操作，因此，第三次上課就改成放影片給學生跟著操作。

4.結論與反思：

這次的教學我們改用播放影片的方式來講解，由於我們之前已經講演了 8 次，對於學生在哪邊比較容易有疑惑，比較容易聽不懂，比較需要停下來練習都

有考量在影片中，因此實際教學也都能夠順利地進行。經過了這次的成功經驗，我們認為透過教學影片的方式可以幫助其它教師們複製我們的教學，所以我們決定將這 16 部教學影片捐贈給均一教育平台。

六、第四次課程實施

1.實施對象：

台北地區中小學教師。

2.實施時間：

107 年 2 月 5~7 日，共計 18 小時。

3.課程內容：

在教學影片到位之後，我們開始進行教學網站改進，朝向翻轉之路邁進。在 106 學年度寒假，我們辦理了三天密集的 VPhysics 教師研習課程，在研習報名時，我們就跟老師們說明課程內容已經預錄好，希望這三天老師能夠自備耳機跟著影片自學並且完成作業。

4.實施成果與反思：

本次研習參與的老師都很認真的出席並且繳交作業，以一位高中物理老師的心得來看(如表 3)，這個課程的設計由淺入深，讓學習者願意依照課程進度持續挑戰，在解題的過程中，除了學習物理原理與應用之外，更運程式設計的方法，驗證了物理學中的重要觀念，讓人體會到程式設計的奧妙之處。也因為教學影片完整提供解題的說明，讓大多數學員都依序自主學習完成作業，可以說是一份能提供自學成功的線上教材。然而，我們還是覺得此課程仍需要以面授方式進行，一則是物理與程式設計的學習過程，都必須藉由一步步的堆疊累積，解決更複雜的問題，教師便是能夠即時幫助學員澄清迷思的重要角色；二則是在運程式設計解決問題的方法上，仍希望能透過教師教學，提供學員更有效的程式解決問題方法，因此，除了線上課程的完整性之外，教師面授的重要性更是不容小覷。

表 3 某位高中物理老師的作業心得

1	Vphyscis 移動	簡單，適合入門
2	繞邊邊跑一圈	有挑戰性
3	一維等速運動	難易適中
4	自由落體	影片的解說非常清楚，尤其是最後的迷思 bug
5	兩牆間反彈	富有挑戰性
6	向量合成	有提示後不難
7	速度視覺化	貼心的提示與難易適中的作業
8	等速率圓周運動	承接前一個課程，很棒的作業設計
9	畫時間位置圖	困難度平易近人
10	虎克定律	真神奇就模擬出困難的物理問題
11	垂直簡諧運動	有難度，需要整合很多前面的課程，算是綜合性的挑戰
12	滾動的球	有難度！
13	動量	感謝高老師的幫忙，讓我更明白錯中學的可貴
14	彈性碰撞	選擇質量相同的情況，多加入了畫動量的部分，驗證觀察動量守恆的狀況
15	三顆球追撞	新加入能量與時間圖，可驗證物理中重要的力學能守恆觀念
16	簡易牛頓擺	終於會綜合使用 list 與 for 了，真開心
17	行星公轉	對電腦程式來說，天文數字如同 1、2、3、4。還在思考怎麼加入每個球的重力作用

以一位高中數學老師的心得來看(如表 4)，可以深刻的感受到這位老師對於運用程式設計學習物理的課程設計覺得非常有趣好玩，除了能藉由物理模擬現象引發學習動機，更能感受程式設計的好用與有趣，讓學習物理變得更簡單，讓學習程式設計變得更實用。過程中發現，縱使線上課程內容完整，但因為程式設計更複雜了，此時面授教師就能提供即時的教學引導，讓學員為了達成目的學習程式設計，也體會學習物理的樂趣。正因為這套課程的物理與程式設計難度都是他能挑戰的，對於這份跨領域課程設計與新興的翻轉教學法更加認同。

表 4 某位高中數學老師的作業心得

1	VPhyscis 移動	本來很擔心物理不太好程式也不熟 但卻可以交出作業，很開心很好玩!
2	繞邊邊跑一圈	越來越有挑戰性，很有趣!
3	一維等速運動	將物理融入程式，讓學習更有趣，很好玩
4	自由落體	沒看提示自己完成，覺得很有成就感~
5	兩牆間反彈	可以藉由速度改變觀察物理現象，增加學生學習動機，很有趣

6 向量合成	讓同學能把數學或物理上的向量加法利用程式寫出，提高學習程式的實用性
7 速度視覺化	開始結合之前所學的，越來越有挑戰性
8 等速率圓周運動	很有趣的一個主題
9 畫時間位置圖	利用程式畫出圖形，很實用
10 虎克定律	利用這種方式除了讓學生學習程式也學習物理，非常實用且有趣
11 垂直簡諧運動	以此方式讓同學學習程式，也能看到物理現象，相信會更吸引學生學習寫程式的動機
12 滾動的球	讓學生學習利用迴圈解決多顆球體轉動，感受程式好用又有趣的地方
13 動量	結合先前課程內容，雖然程式變複雜了，但結合理式，讓學物理變簡單了
14 彈性碰撞	質量小的碰撞質量大的，小的會反方向轉動，大的會往前轉動，利用這個過程，讓學生更輕易了解碰撞情況，是個很棒的方式
15 三顆球追撞	有點挑戰性，會讓人很想趕快完成，觀察三球碰撞結果，原來學程式及學物理也能這麼快樂
16 簡易牛頓擺	利用程式模擬物理現象，很有挑戰性，尤其寫到三顆球碰撞覺得非常有趣
17 行星公轉	16 堂課，了解到原來程式也能這樣教，尤其現在強調跨領域課程，學習到如何融入物理與資訊，讓學習程式更有目的，學習物理更加簡單，收穫很多。

一位國中資訊老師的心得來看(如表 5)，可以讓學員運用視覺化的學習理解抽象概念，讓學習的感受更加鮮明，在透過物理模擬的課程來學習程式設計，能藉由深入淺出的程式語言，練習程式設計的各種解題技巧與方法，過程中，教師的說明與引導，以及在程式設計過程中的發現問題與解決問題方法，都是教師存在的重要價值，正因為學習是有漸進式與累積性的環環相扣，唯有融會貫通各項學習概念，才能一一實作解決問題並發現視覺化的美好結果，因此學員是感受愉悅並且具有成就感的美好學習經驗。

表 5 某位國中資訊老師的作業心得

1 Vphycis 移動	真的感受到等速度移動 (還有 while 的魅力)
2 繞邊邊跑一圈	好開心 完成了
3 一維等速運動	能在程式碼中看到時間與位移的關係 happy
4 自由落體	老師說明 bug 發生的意義與示範如何 debug，確切完美!
5 兩牆間反彈	老師先說明物理現象(X 與 Y 的維度速度不相影響)很清楚
6 向量合成	向量加法!視覺化的過程加強了抽象的理解

7 速度視覺化	深入淺出的練習物件導向式程式語言
8 等速率圓周運動	抽象的概念在視覺化的過程中應該有加強些理解
9 畫時間位置圖	今天才把圓周運動 mapping 三角函數的圖 ^^
10 虎克定律	能類推做出位置圖做法 很有成就感
11 垂直簡諧運動	視覺化的過程挑戰座標定位的學習
12 滾動的球	帶入 FOR 迴圈的學習令人愉快
13 動量	這個練習強調重複結構的好處，讓改寫工作變得簡單又有成就感
14 彈性碰撞	當兩球質量相等時，第一顆球停住，第二顆球以第一顆球的原速度往前。這個作業一秒鐘就完成了(若三擇一)但你會忍不住去把三個狀況都去模擬碰撞的結果。這也是老師設計作業巧妙之處
15 三顆球追撞	視覺化的過程中感受到碰撞與動量守恆的原理
16 簡易牛頓擺	在實作這一題的時候，能把前幾題的概念融會貫通。
17 行星公轉	彗星的軌跡是否正確？疑惑的發生學生們如何處理

在研習第三天，我們進行了李克特氏五等量表編製程式設計之課後問卷，由「非常同意」至「非常不同意」。從問卷結果(如表 6)可以得知學員相當滿意這次的研習，也給予我們相當高的肯定。

表 6 課後問卷結果統計(N=24)

向度	問題	平均	標準差
STEM 程式設計自我效能	1 我能理解程式設計的基本觀念。	4.7	0.5
	2 我具備撰寫程式的基本技能。	4.4	0.7
	3 我能理解程式設計與其他學科進行整合教學的基本內涵。	4.6	0.5
	4 我擁有程式設計與其他學科進行整合教學的能力。	4.3	0.7
	5 我能學好此跨領域課程。	4.4	0.7
STEM 程式設計態度(價值與重要性)	6 我覺得學習程式設計是有趣的。	4.7	0.7
	7 我覺得學習程式設計對每個人來說都是重要的。	4.3	0.9
	8 我覺得了解程式設計與其他學科學習之間的關係是重要的。	4.6	0.6
	9 我想要學習更多有關程式設計與其他學科整合教學相關內容。	4.7	0.5
行為意圖	10 我覺得學習這個課程是有價值的。	4.9	0.3
	11 您會向他人推薦此課程的可能性如何？	4.9	0.3
	12 您會將此跨領域程式設計課程的概念與方法應用於個人任教科目的可能性如何？	4.4	0.7
研習相關	13 您會將此 VPhysics 課程實際應用於個人教學(或與其他教師進行協同教學)的可能性如何？	4.5	0.5
	14 對於本次研習「講師的教學講授方式」的滿意程度如何？	4.8	0.4
	15 對於本次研習「場地安排」的滿意程度？	4.6	0.6
	16 對於本次研習「時間安排」的滿意程度？	4.7	0.6

問卷結果得知，學員們表示參加此次研習，覺得最有收穫的部分是：

- 了解物理與資訊的結合，可運用的教學平台
- 這是一份由淺入深，章節間環環相扣，緊密度很高，又可以自學成功的教材，非常棒。
- 1.了解跨領域課程可以如何設計 2.學習利用 Python 模擬物理現象，非常有趣 3.學習了不同的程式教學方式：不再只有老師講述，而是透過影片讓學生根據自己狀況學習
- 學會 VPhysics 套件的用法，讓抽象的物理可以被“看見”
- 親身體驗寫程式模擬物理現象，見識寫程式解決問題的優點。
- 沐浴在一場革命式的教學與學習中

從問卷結果得知，學員們表示未來是否會將此課程實際應用於個人教學(或與其他教師進行協同教學)? 為什麼?

- 會。第一次會用部分同學實施(實驗與觀察)。接下來與物理老師合作開設選修。效果如何，再決定是否加入成為物理的普遍性學習方式的引導。
- 會。因為對於基礎物理教學和 Python 學習有絕對的效度與價值。
- 會願意與其他教師進行協同教學。透過資訊與物理的融合，可提高學生學習意願，用更有效率的方式學習程式及物理現象。
- 會。物理概念結合程式教學對學生來說是很棒的體驗，我會想要嘗試看看。
- 會，虛擬的動態模擬動畫能運用在補充說明，有助於理解物理現象。
- 會的。(1)提升教師之專業，發展更多元的教學內容。(2)因應政策，108 課綱探究與實作課程。(3)個人興趣。(4)程式設計教育值得推廣。
- 此課程比較適合國高中生，但如果是國小資優班的學生，是值得推廣的。

值得一提的是，研習第三天我們給予老師們一個單擺與釘子的挑戰題，有位學員在課後於講師臉書回應分享了他回家後繼續努力解出這題的喜悅「寫完真的很感動，看著單擺在跑的樣子，很美麗，可以一直看著單擺來回擺動無數次。解

題目，就如同老師描述的，除了睡覺失去意識，其他的時間都在琢磨程式的解法，也不知道在哪裡可以分享寫出題目的喜悅，就在這邊回饋給老師」

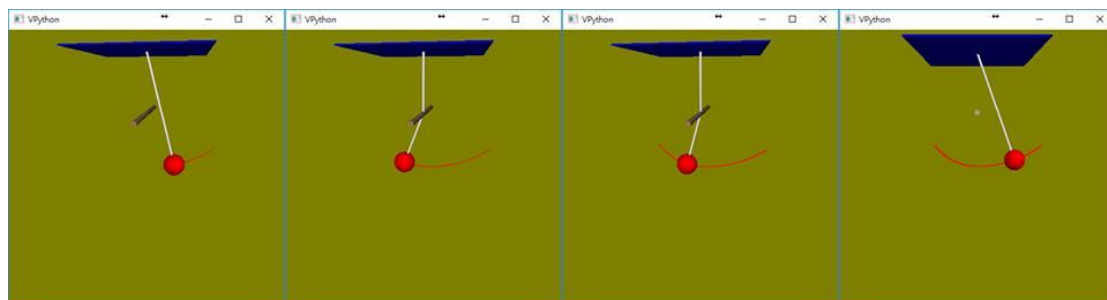


圖 8 單擺運動

參、研究發現與省思

一、學生學習方面

我們已經連續進行了三個學期的高一普通班學生教學實驗，目前我們正在以最新的教學網站進行第四次高一普通班教學實驗。我們初步評估前三次南港高中的學生對於這份跨領域課程的接受度約是七成，而我們希望這次的自主、翻轉、共學教學實驗能提高學生的接受度。

程式設計課程本身就有它的難度，從多年的程式教學經驗中發現，學生學習程式設計的心態需要好好的調整。很多學生一開始學習程式設計，是抱持著試試看的心態，看看我適不適合學習寫程式，一旦新鮮感沒有，就覺得程式設計不好玩了，尤其是遇到困難一點的教材，如果沒有老師適時的鼓勵與輔導，很容易放棄。因此，我們在進行這份課程時，花了很多力氣在調整學生的心態。我們會跟學生說，你會不會想要試試看自己適不適合學英文，試試看自己適不適合學數學，因為你知道它的重要，所以要花時間與力氣去克服困難，而這件事同樣也發生在學習寫程式。如果學程式設計和學應用軟體一樣簡單，三兩下輕輕鬆鬆就學會，那你也不要太高興，因為別人也可以輕輕鬆鬆就學會，這項技能反而沒有什麼價值。正是因為程式設計是困難的，所以才值得去挑戰，而老師設計的作業雖然困難，但是對於你來說是可以應付的難度，而且老師也提供了影片與解答的鷹架輔助，還有不懂的可以跟同學討論，向老師請教，重點是你要願意花時間花力氣去

學習程式設計。經過了我們的鼓勵，學生也在心得中呈現出其成功的喜悅：

- 這個讓我卡關超久，還好有同學教我一些細節，當做出來那刻成就感爆發呢!
- 雖然聽說看解答比較快...但感覺差一點就要成功了，一直有種想掙扎的感覺，最後是靠同學幫我找出錯的地方，感覺寫這個真的很花時間，但做出來的時候那種感覺真的很好
- 我這次真的超開心的！居然完成此項作業了，原本以為超難，看完影片聽到老師的最後一句話就感覺人生是黑暗的，但正如此話所說，相信自己能做到了，雖然是到很崩潰，但每一次的成功都是我繼續下去的動力，沒想到數理非常差的我，居然能自己想出來！
- 這個寫程式的很難做很有挑戰性，要自己寫出程式碼，需要不斷不斷的嘗試，不可能一次就完成，需要反覆找出自己的錯誤更改成正確的十分困難，幾度想要放棄乾脆就不做了，但都做這麼多了，所以告訴自己一定要完成，便發現唯有不放棄不斷嘗試才能完成，在完成的那一刻所有付出的努力都值得了，心中得到莫大的成就感!!
- 這個計算時間非常麻煩，我一開始看到很矇，不知道怎麼辦，後來我決定全神貫注把這個作業完成，費了我很大的功夫，但也讓我學到不少東西。
- 這次的作業真的超難做的，我花費了兩堂課的時間才把它做完的。不過做好了之後就挺有成就感的。希望自己能夠越來越上手，加油!

從學生回饋的心得中，可以發現：

1. 學生學習是需要透過教師的引導與鼓勵，藉由不斷地努力與挑戰，終能獲得最高的接受度。
2. 學生學習是需要同儕合作的討論與激盪，藉由不斷的思考與試煉，終能獲得最佳的學習力。
3. 學生學習是希望突破自我的能力與極限，藉由不斷的嘗試與堅持，終能獲得最大的成就感

二、學習差異方面

由於第一年實施尚處於摸索與調整階段，上下學期指派的作業不盡相同，進度也不盡相同。為了達到一致性，因此本研究針對這 8 個班級共同實施的前 6 次作業主題進行心得分析。本教學實驗對象是高一不分組學生，我們依學生目前高二文理分班資料作為學生就讀高一時的文理組傾向進行分析，此外，我們也依學生的性別不同進行分析。我們運用結巴(jieba)套件進行學生作業心得的中文斷詞，統計出現次數最多前 100 個用詞，發現「難」、「有趣」、「好玩」、「同學」、「解答」等出現次數較為頻繁，我們將這幾個用詞進行了分組統計，以了解教材難易度(難)、學習感受(好玩、有趣)，還有解題過程(同學、解答)等向度來觀察。

(一)教材難易度

以文組與理組的學生來看，普遍文組同學會比理組同學覺得困難，除了「兩牆間反彈」單元，理組學生比文組學生反應困難的比例略高一些外，其他單元皆顯示：文組學生反映出教材困難的比例都比理組學生高。以男女性別來看，女生組反映出教材困難的比例都比男生高。其中在「自由落體觸地反彈」與「兩牆間反彈」兩個作業，更是接近六成的女生覺得學習困難。整體來看，文組與女生感受到教材難度的比例高於理組與男生。

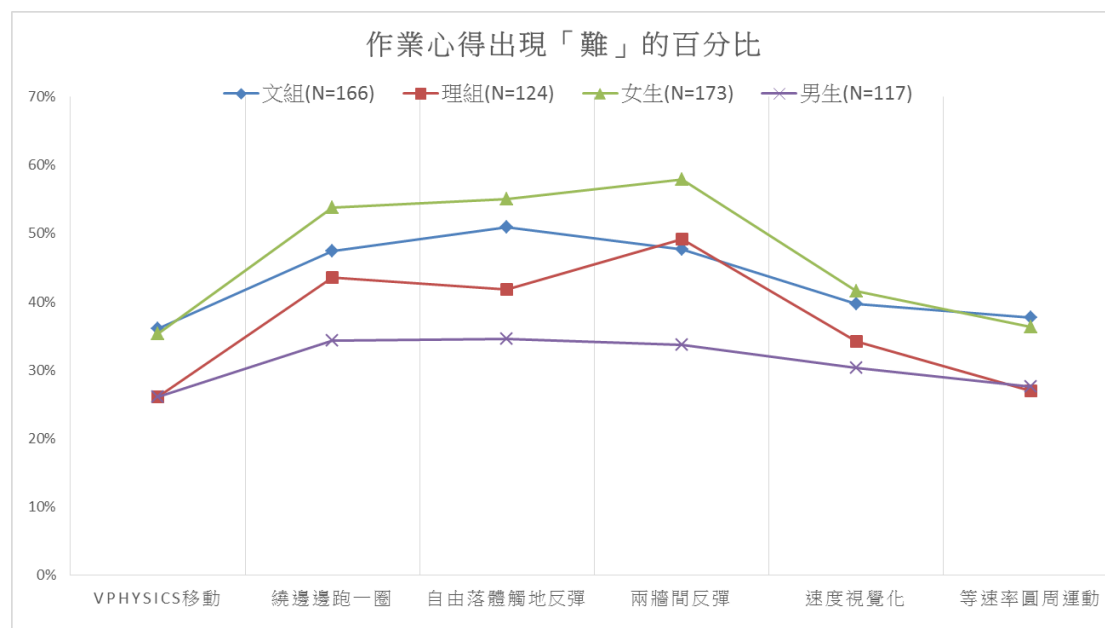


圖 9 教材難易度用詞分析

表 7 作業心得出現「難」統計

	出現次數				百分比			
	文組	理組	女生	男生	文組	理組	女生	男生
VPhysics 移動	57	32	59	30	36%	26%	35%	26%
繞邊跑一圈	64	47	78	34	47%	44%	54%	34%
自由落體觸地反彈	81	51	93	39	51%	42%	55%	35%
兩牆間反彈	73	59	95	37	48%	49%	58%	34%
速度視覺化	60	42	69	33	40%	34%	42%	30%
等速率圓周運動	55	31	57	29	38%	27%	36%	28%

(二)學習感受

在開始接觸這個課程時，約有 1/5 的學生能感受到「有趣」與「好玩」，然而，隨著物理觀念越來越多，程式設計越來越複雜，不管是文組與理組的分別，或是男生與女生的分別，感受到有趣與好玩的比例就降低。文組和女性的學生一開始（如第一單元的 VPhysics 移動）覺得「有趣」、「好玩」的比例較理組和男性學生略高，但隨著課程持續進行和教材難度增加（如第六單元的等速率圓周運動），男生和理科學生覺得「好玩」、「有趣」的比例已明顯較文組學生和女生高。至於中間單元（如第五單元的速度視覺化）顯示文組和女生反應「有趣」、「好玩」的比例較理組和男生高，我們推測可能與單元內容屬性或教材較容易有關。

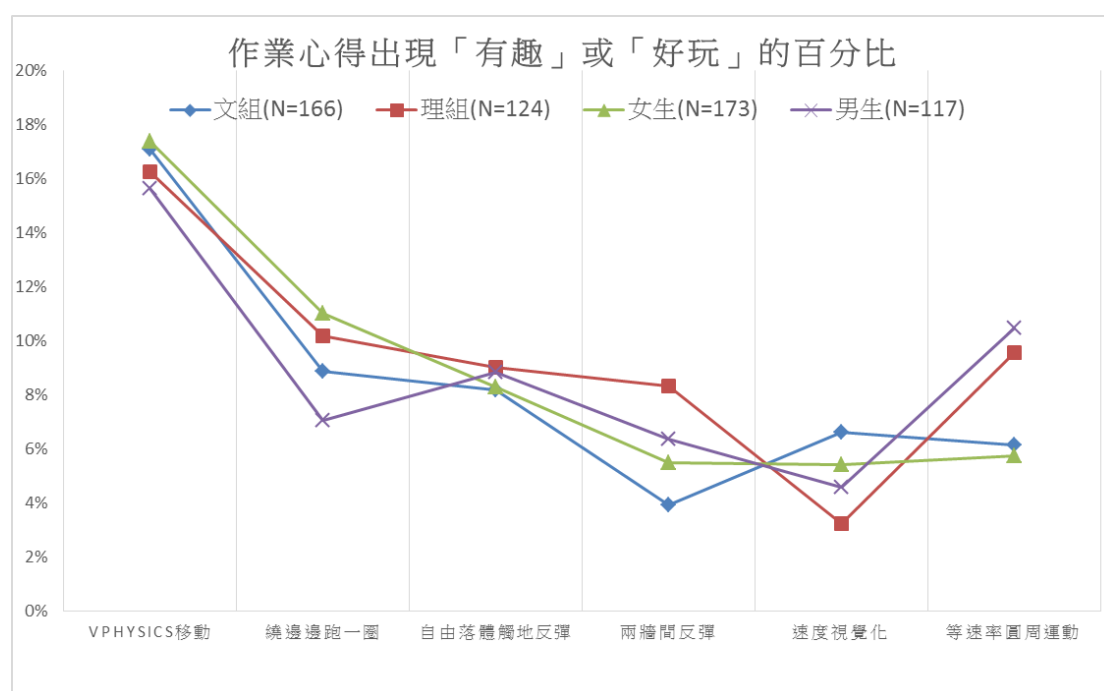


圖 10 學習感受用詞分析

表 8 作業心得出現「好玩」或「有趣」統計

	出現次數				百分比			
	文組	理組	女生	男生	文組	理組	女生	男生
VPhysics 移動	27	20	29	18	17%	16%	17%	16%
繞邊跑一圈	12	11	16	7	9%	10%	11%	7%
自由落體觸地反彈	13	11	14	10	8%	9%	8%	9%
兩牆間反彈	6	10	9	7	4%	8%	5%	6%
速度視覺化	10	4	9	5	7%	3%	5%	5%
等速率圓周運動	9	11	9	11	6%	10%	6%	10%

(三)解題過程

在分析是否藉助「同學」或是「解答」的部分來看，可以發現，會因為學生是否覺得「難」的情形，而必須借重「同學」的經驗分享，或是「解答」的提示，才能順利的解決問題。整體來看，不管是文組與理組的同學，大約有 1/5 的學生會尋求同學或解答的幫忙。除了「自由落體觸地反彈」單元，理組學生比文組學生在解題過程中，出現「同學」或「解答」的比例略高外，其他單元出現此兩個字詞的比例，皆顯示文組和女生組較理組和男生組高。我們推測文組和女生覺得教材難的比例普遍較高，因此在解題過程中需要更多的同儕協助或引導，從心得統計中可以發現，女生表示有尋求幫忙的比例高於男生。

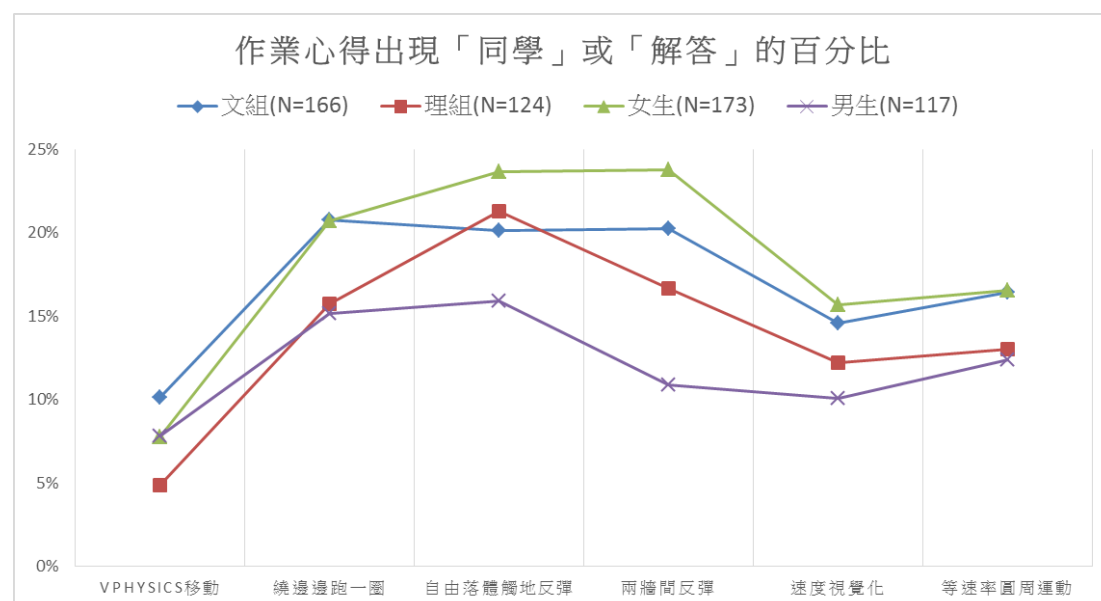


圖 11 解題過程用詞分析

表 9 作業心得出現「同學」或「解答」統計

	出現次數				百分比			
	文組	理組	女生	男生	文組	理組	女生	男生
VPhysics 移動	16	6	13	9	10%	5%	8%	8%
繞邊跑一圈	28	17	30	15	21%	16%	21%	15%
自由落體觸地反彈	32	26	40	18	20%	21%	24%	16%
兩牆間反彈	31	20	39	12	20%	17%	24%	11%
速度視覺化	22	15	26	11	15%	12%	16%	10%
等速率圓周運動	24	15	26	13	16%	13%	17%	12%

三、教師研習方面

寒假 VPhysics 教師研習的部份，參與的老師大多數是理科背景(資訊、理化、生活科技、數學)，在我們的研習招生資訊中，我們非常鼓勵老師們能揪伴共學，因為我們也希望藉由老師的同儕合作，激發更多的學習刺激與想像，讓視覺化程式設計，能更真實展現所要表達的現象，並希望從教師課堂學習經驗了解這份線上課程的內容是否完善與清楚，唯有教師能夠深刻理解課程的學習與設計理念，才能將本課程的精神傳達給學生，進而引導學生的學習。透過老師們學習的回饋，我們相信這份教材不僅適合學生，也很適合做為理科教師的增能課程。因此，身為教育工作者的我們，不應該只專注於自我學科領域的學習，更應該跨領域和各學科一同發現合作的美好，並帶給學生更豐富的學習與刺激，這也是研究者致力於研發線上程式設計教材並引入 VPhysics 的物理模擬程式設計，也就是希望提供跨領域的學習，讓學生能更有動力學習程式設計，也讓物理抽象化的學習更具體清晰可見，讓學習變得更豐富多元。

未來新課綱的高中與國中都新增科技領域，資訊課程有必修 8 學分，充分顯示政府重視程式教育的決心。然而，我們都認為程式教育很重要，但是在教學現場實施的時候，一定會遇到很多困難，就如同現在處在教學現場的我們一樣，都正親身經歷著，因此，如果想讓程式教育能成功，不能只靠教材設計就足夠，第一線老師絕對是扮演很重要的角色。

從教師研習的現場，我們發現：

1. **VPhysics** 除了帶給老師課程創新外，更是對程式設計的感動：在虛擬的世界中，運用真實世界的物理規則，以及程式設計的方法，讓物體按照創作者的意志力運動。正因為這份感動，會產生更堅強的信念，去克服教學上的困難，專注於把學生教會。
2. 老師教學的動力除了自我能量外，更需要學生能親身體會：老師對於程式設計本來就有一份自我學習的動力，如何讓老師自身的經歷與感受，透過視覺化模擬的結果充分展現，也就是老師想要傳達並讓學生體會感動的。
3. 學生學習程式除了獲得成就感之外，更希望與老師和同學分享喜悅：線上學習雖然能提供很好的教材，然而老師存在的引導與鼓勵，更能激發學生學習潛能，讓學生獲得更多的成就感。因此，老師存在的必要性，正因為人與人之間的互動，讓老師與同學能面對面的分享學習喜悅，這應該就是線上課程所缺乏的溫暖。

四、創新教學方面

電腦程式語言是近 70 年才發展出來的知識，不像數學已有千年歷史，而程式設計如何成功地進入教學現場以達到普及化教學，對很多人來說是陌生的。教程式設計不比教數學簡單，面對這項新知識，我們除了從教材本身加以改進外，在教法上也有重大突破。

在教材方面，傳統程式教材是依照語法分類呈現線性發展，像是談到變數，就一次把所有可能的變數資料型態介紹完，學生之後會不會用到並沒有考量到，偏向工具書(字典)性質。雖然對於知識整理得很有條理，但是對於大多數學生而言，這種知識中心的教材和他們的生活經驗是格格不入，無法引起學生的注意。石明豐教授所編撰的高中物理模擬動畫程式設計課程，是以螺旋式安排知識，物理與程式是絞在一起並行，首先安排一個小任務，再引入解決任務的物理或程式知識，接著再安排一個小任務，而這項任務中會用到舊知識，也會介紹新知識。

隨著學生所學知識的增長，能夠解決的任務也愈來愈大。正因為此課程與研究者自行研發的「Scratch12 堂課」的概念特質相似，所以我們更能感受到石明豐教授課程設計的用心與鋪陳。

在教法方面，我們突破傳統程式教學「見樹再見林」的教法，改為「見林再見樹」的教法。傳統程式設計課程從基本語法與資料結構入手，示範的例子都是很小的問題，而問題與問題之間缺乏銜接性，學生往往只學到如何解決個別的小問題，對於大問題無法進行拆解，換句話說，就是教師把每顆樹都詳細介紹，但是沒有帶學生看見整片樹林，而學生也在認識每棵樹的細節中失去耐性，這也是目前高中端普及化程式教育所面臨的問題。為了讓學生快速掌握程式設計的用途，我們精心準備了授課網頁(講義)，以提供程式碼的方式讓學生可以複製，到 Python 編輯器貼上，去執程式碼，看到程式執行的結果後，再回過頭來想程式碼的意義。使用複製貼上教學法一方面是避免讓學生從零開始，因為不慎拼錯的英文字，造成程式無法執行，而有挫折感，另一方面，也讓授課老師不要因為忙著幫學生除錯，而沒有辦法帶學生體會理解程式設計的美好。再者，為了避免學生只是學會複製與貼上的動作，並沒有對程式碼進行閱讀理解，我們設計了小作業，要求學生能夠針對程式碼關鍵的地方進行修改，以達成課程知識學習理解的目的。換句話說，我們是先帶學生看到整片樹林，再講解一棵棵的樹木，然後讓學生能夠在欣賞樹林的同時，一一認識樹木的美好。從學生的心得可以發現這樣的教學方法，讓多數學生學習是具有成就感的：

- 這種見林不見樹的教學真的很猛，超級有成就感，雖然我不太確定我在幹嘛，靠著自己摸索找到答案真的是超級無敵開心。
- 這種程式好新鮮喔，一開始看教學影片覺得自己一定做不出來，還好老師一開始先以複製貼上程式碼教我們。
- 這個東西有點奇怪，但又覺得有點有趣，同學發現一個小秘訣，把老師給的資料一一複製貼上就好，最後改一點東西就好。

- 第一次碰到這種用英文來處理程式，其實我一開始很苦惱，有一大堆不認識的縮寫，但是還好老師先從最簡單的讓我們嘗試，雖然格式錯誤，好險有同學的指點，讓我從 **scratch** 跳到這裡時不會不習慣。

除了教材教法外，我們也發展了新的教學技術（網站）來幫助老師進行教學管理。為了改進整個教學流程，我們試著用 **Django(Python)**技術來客製化教學網站，成功地翻轉了傳統的教學模式，把以往的老師教課的上課方式，改成教師準備好充分的教材讓學生自學，有效地實現了少教多學(**Teach Less, Learn More**)的教育哲學。

翻轉前必先馴化，比起 **VPhysics** 教學影片，電影或 **MV** 好看多了，大多數學生不會乖乖地自己看影片學 **Python** 程式設計，因此，第一線老師（面授）的鼓勵與督促很重要。如何讓老師有效的掌握學生學習狀況，便是這個網站的基本功能，教師能從網站獲得學生學習的進度與成果，適度運用同儕互助學習的方式，督促學生學習的目標，就是能夠讓學生看到彼此完成的進度，而不是只有單純地繳交作業給老師批改，便能有助於刺激學生往前自學的動力。此外，透過網站設計的機制，老師可以輕鬆地將學生分組，然後指派每組一位成員擔任小老師，正如「禮記」所言：「學然後知不足，教然後知困。教學相長也」我們鼓勵學生擔任小老師，讓學生能夠透過教別人而自我成長的方式，不僅可以減輕教師的負擔，也讓學生學習更有成就感。

信心與學生對成功或失敗的預期有關，且會影響學生實際的努力與表現。告知他人成功的經驗與過程有助於學生建立信心。透過網站，學生不僅可以掌控自我學習進度，可以觀摩同學繳交的作業心得，了解同儕對於學習的想法，也可以瀏覽全班的學習進度，一方面藉由同儕壓力來督促學生往前，一方面則公開鼓勵擔任小老師的學生。此外，網站也提供積分制度來鼓勵學生，交作業可以得到 2 分，作業受評可以得到 1 分，擔任小老師協助批改組員 1 個作業可以得到 1 分，觀看解答再交作業會少得 2 份作業積分。



圖 12 依積分不同換變換不同大頭貼

使用外在報償可以讓學生感到滿足。學生完成了 VPhysics 18 堂課共 17 個作業，教師可以透過教學網站核發一張電子證書給學生，給予學生肯定。學生可以將這張證書轉貼到社群網站，與親友分享這份成就。

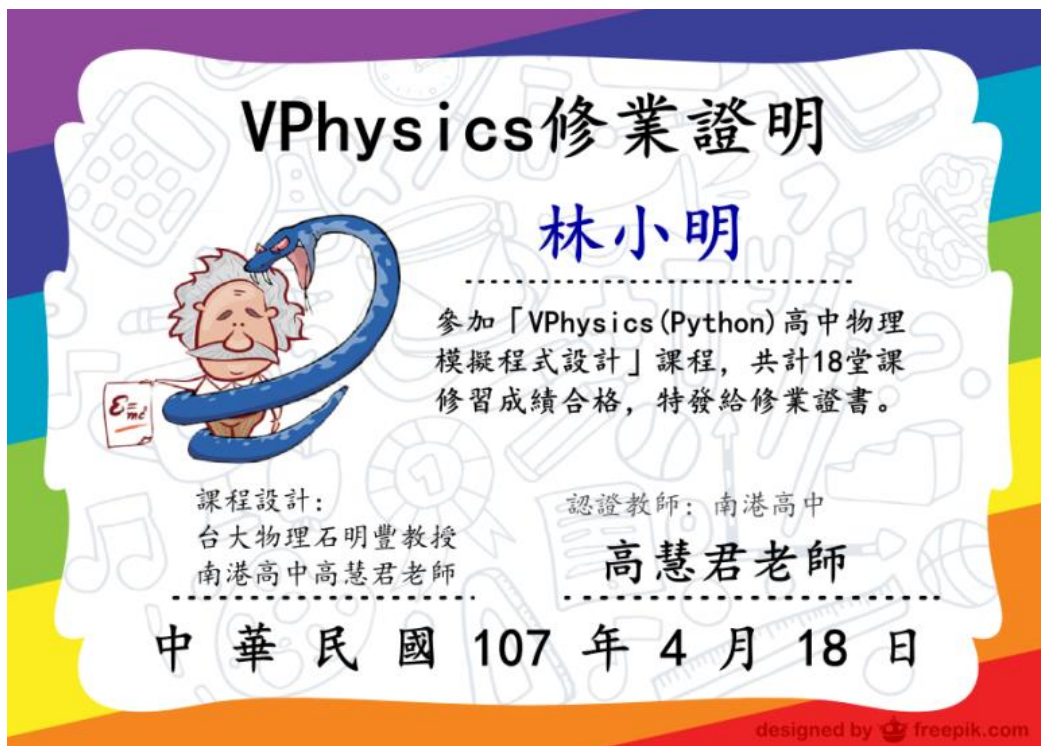


圖 13 教師可透過網站核發電子修業證書

肆、結論與建議

一、結論

(一) 進行差異化教學，物理學科在傳統學習上，文組的學生似乎較理組的學生在教材的理解上似乎仍顯困難，雖然在男女生表現上，較多的女生感受到好玩、有趣，但教材的難易依然對於學習上造成影響。因此，針對學習上的差異而設計的教材（文組／理組、男／女生），應該是有其必要性，進而影響持續學習的動機及態度。

(二) 學生學習態度與學習成就互為因果關係，在整個指導學生的過程中，花費很多的時間在調整學生的學習心態，透過教師的鼓勵及輔導，讓學生有自信學習、一點一滴的經驗累積其學習成就，學生就慢慢能夠主動學習，不但學會而且獲得學習樂趣。

(三) 程式設計可以成為各領域學科學習的重要工具能力，因為物理視覺化的學習，讓學生學習有更強的學習動力，並希望學生能以熟悉的物理觀念，藉由程式設計的表達，完成視覺化的挑戰，讓原本抽象的物理被程式「做」出來且「看見」。

(四) 跨領域課程設計的重要性，資訊教師進行物理單元程式設計時，應由共備將正確及有效能的物理專業設計進入教學，讓教師在自身能力的基礎上，精進尋求課程教學的改變。藉由跨領域的社群交流，能讓教學者在設計新的教學模式同時，不會是單打獨鬥的孤單研究，而是合作共榮的彼此分享彼此成長，不僅讓課程設計能符合教師教學，也能更符應學生的學習。

二、建議與未來發展

(一) 課程教學與發展

教學專業的提昇，除了仰賴教師自身不斷地反省改進外，也需要教師間專業的對話。程式設計教學一直是中資訊課程的重點，在人工智慧興起的時代趨勢下，程式語言已然成為全部學生必修的通識課程，它能夠更深入地分

析各行各業的數據，並且解決生活問題。我們相信這份初階課程適用於全體高中階段學生，而進階課程（例如專題實作），可以考慮以實驗課程方式進行。

(二) 針對個別學生的差異化教學

面對 12 年國教的新局勢，多元化與差異化的教學是未來老師們在教學現場上所需面對的課題，針對不同學習差異學生再加以精緻化教材與教法是我們未來努力的方向。提供學生自學影片的方式，可以提高學生在遇到困難時可以自學解決問題；評量也可依學生的初階/進階、文組/理組而有不同的設計，以期能夠促進學生獲得更佳的學習成效。

(三) 跨領域課程設計的必然性

這次的物理與資訊跨領域課程，主要是由台大物理系石明豐教授發展出跨領域教材，由本校資訊科教師進行改編與教學實驗。透過這次的經驗，我們體會到了一份好的跨領域教材應該是兩個知識絞在一起並行前進的。下一個我們預定研發的跨領域教材是與地理科教師合作。地理課裏面很多各式各樣的數據，如果學生能找出課本中的圖、表的原始數據，練習以這項工具加以分析，之後就可以拿一些其他數據來分析，例如：小麥的產量和雨量、氣溫的關係，台灣人口分布和工廠的關係…等。而透過數據分析，資訊科就可以切入這些人文學課程，將會更適合更多學生在學習上的需求，學習會更有效率。

(四) 強化跨領域社群的建構

透過不同領域教師的共同研討，與夥伴間共同訂定教學目標，安排共同聚會學習、進行共同備課、教案分享及試題分析等專業對話，在教師本職學能的提升上是值得期待的。我們期望能夠透過跨科教師們在各自的經驗中願意去尋求彼此的理解，異中求同，找到社群的定位，發掘社群的亮點，發揮團隊的精神與效能，藉由教師間不斷地專業對話，分享與研討領域或學科專業知能，使學校成為學習型組織，活絡教學研究風氣，透過教師專業研討帶

動教學經驗交流，共同開發創新課程，致力於促進學生獲得更佳的學習成效。

本課程經近三年的發展與實施，逐步累積了許多寶貴的教學經驗，在我們努力不懈地一點一滴改進後，目前已經完成了有效教學與差異化教學的課程開發。我們所發展的這個程式教育翻轉教學模式，不僅適用於學生學習，也可以適用於教師增能研習，我們相信這個模式適合快速推廣給其它老師參考。

參考文獻

石明豐(2018)。VPhysics。2018年5月5日，取自：<http://vphysics.ntu.edu.tw>

高慧君(2018)。VPhysics。2018年5月5日，取自：

<http://drweb.nksh.tp.edu.tw/student/lessons/F/>

Aiken, John M.(2013). Transforming High School Physics With Modeling And Computation. Stein, Georgia State University,

http://scholarworks.gsu.edu/phy_astr_theses/18

Kelleher, C., & Pausch, R. (2005). Lowering the barriers to programming: A taxonomy of programming environments and languages for novice programmers. ACM Computing Surveys, 37(2), 83-137.

Lynn Andrea Stein(1998). What we've swept under the rug: radically rethinking CS1. Computer Science Education, 8(2), 118-129.

誌謝

本研究得以順利完成，必須感謝國立台中科技大學通識中心賴錦緣教授主持的科技部女科技人計畫所支援的教師研習活動。特於此表達由衷之感謝！