

VPhysics 跨領域課程設計

高慧君¹ 王一哲^{2*} 石明豐³ 賴錦緣⁴

¹臺北市立南港高級中學

²新北市立中和高級中學

³國立臺灣大學 物理學系

⁴國立臺中科技大學 通識教育中心

*通訊作者：yizhe@mail2.chshs.ntpc.edu.tw

(投稿日期：108年03月16日，接受日期：108年05月06日)

摘要：跨領域學習已成為新時代教育重要的課題。本文報導高中物理教材與 Python 程式語言結合（稱 VPhysics）之跨領域課程設計、教學策略、目前實施困難及未來教學的可行性。我們將此課程對學生和教師進行了現場教學試驗，結果發現此課程不僅可改善學生物理學習的困難，亦可培養其運用程式解決問題的運算思維能力。參與的教師體會了創新教學的設計，亦對跨領域教學具備信心，也習得將程式和物理教學整合的概念與技巧。這些結果顯示此課程值得未來持續推廣，以提昇物理與程式教學的品質，落實跨領域的教與學。

關鍵詞：VPhysics、物理教學、程式設計、跨領域

壹、前言

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。因為受限於學生的數學能力，許多物理情境必須加上一些理想化的條件，才能將算式簡化到高中生能夠計算的程度。有些物理情境則是太過抽象，學生很難憑空想像物體的運動過程。

隨著時代的進步，藉由 Python 程式語言與 VPython 3D 空間模組，能夠讓學生很輕易地透過程式設計將物理現象在電腦螢幕中展現，非常適合高中物理課程內容中所需要的「三維空間展示」、「動態變化」、「現象模擬」。另一方面，對於程式設計教學而言，透過物理現象模擬，程式執行的結果是可被觀察到的事物，而不再只是抽象化的數值變化，這種視覺化環境也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。

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。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²（石明豐，2019）。高慧君老師依照這九大主題，考量了南港高中學生的程度加以簡化，完成了 VPhysics16 堂課，並且已經在高一資訊課連續實施了五個學期³（高慧君，2019）。王一哲教師則是進一步將高中物理課程中可以運用程式展現的主題加以延伸，也發展了一套教材¹（王一哲，2019）。本文將介紹目前我們已發展成熟的 VPhysics 課程，並進一步探討 VPhysics 與 108 新課綱間的關係。

貳、課程特色

一、程式設計結合物理課程

（一）什麼是 VPython？

VPython 是由 David Scherer 等人開發的 Python 視覺化套件，目前最新的版本為 VPython 7 搭配 Python 3。VPython 套件提供相當多形狀的物件，例如方形 (box)、球形 (sphere)、圓柱 (cylinder)、箭頭 (arrow)……等等，我們可以在程式中指定這些物件的位置 (pos)、速度 (v)、加速度 (a)、質量 (m)……等性質，再設定好每個物件遵守的物理定律，利用迴圈 (loop) 計算物體的運動過程。所以當學生使用 VPython 探討物理問題時，也會同時學習如何撰寫 Python 程式，訓練程式運算思維。

由於 Python 是開源軟體，可以從網路上免費取得，而且運行 VPython 套件所需要的硬體配備不高，用目前市面上常見的筆記型電腦就能很順暢地運作，如果學生在課後想要自行練習也不成問題。

（二）先學會寫程式，再藉由程式學習更進階的學科內容

現在學生所面對未來的產業絕大多數都會和資訊技術相關，而程式語言是資訊工具的基礎，如果能讓我們的學生更早具備程式設計的基礎，將會對台灣將來的產業有重大影響。除此之外，各個專業學門，不管是科學（如數學、物理、化學、生物等）或是工程（如電機、資訊、機械等）在研究和技術發展上，都有很大的比例已經是利用程式來做模擬、計算或設計，因此，讓學生們提早了解程式在這些領域的用途，也會讓學生在大學或研究所時，減少進入這些學門的障礙。

在目前的體制下，資訊教育在中學階段不是升考試的考科，也不是主要的學科，受限於時數、師資、學生的學習時間（因考科）有排他性等因數，對於絕大多時中學生來說，學習程式語言並且以寫程式來解決問題，誘因非常的小。

我們認為透過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，因為中學階段物理教學的第一階段力學，所學習的都是看到的現象。就以國三理化到高中物理最初都會學的自由落體與拋體運動來說，就是一個迴圈(loop)與判斷(if)的實際例證：當球被丟出後，(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。按照這個邏輯，一個只有幾行的程

式，加上一些開視窗、畫球、地板的部份，很容易的將拋體運動描述出來。

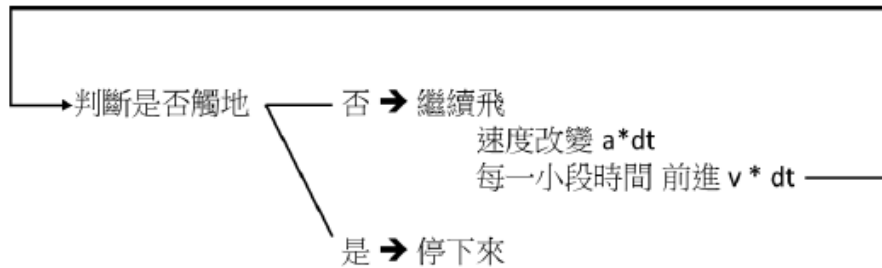


圖 1：拋體運動模擬流程圖

```
# 匯入視覺化套件
from vpython import *

# 1. 參數設定
# 加速度
a = vector(0, -9.8, 0) # 加速度值, 在 x、z 方向為 0, 在 y 方向為 g=-9.8 公尺/秒^2
# 速度
v = vector(12, 12, 0) # 球的速度(公尺/秒)
# 時間間隔
dt = 0.001 # 畫面更新的時間間隔, 單位為秒

# 2. 畫面設定
# 畫布
scene = canvas(center=vector(0, 5, 0), background=vector(0.5,0.6, 0))
# 參考地板
floor = box(pos=vector(0,0,0), length=30, height=0.01, width=4)
# 球
ball = sphere(pos=vector(-15, 0.2, 0), radius=0.2, color=color.blue, make_trail= True)

# 3. 描述物體的運動

while ball.pos.y >= 0.2:
    rate(1000)
    # 速度 = 速度 + 加速度 * 時間間隔
    v = v + a * dt
    # 位置 = 位置 + 速度 * 時間間隔
    ball.pos = ball.pos + v * dt
```

圖 2：拋體運動模擬程式碼

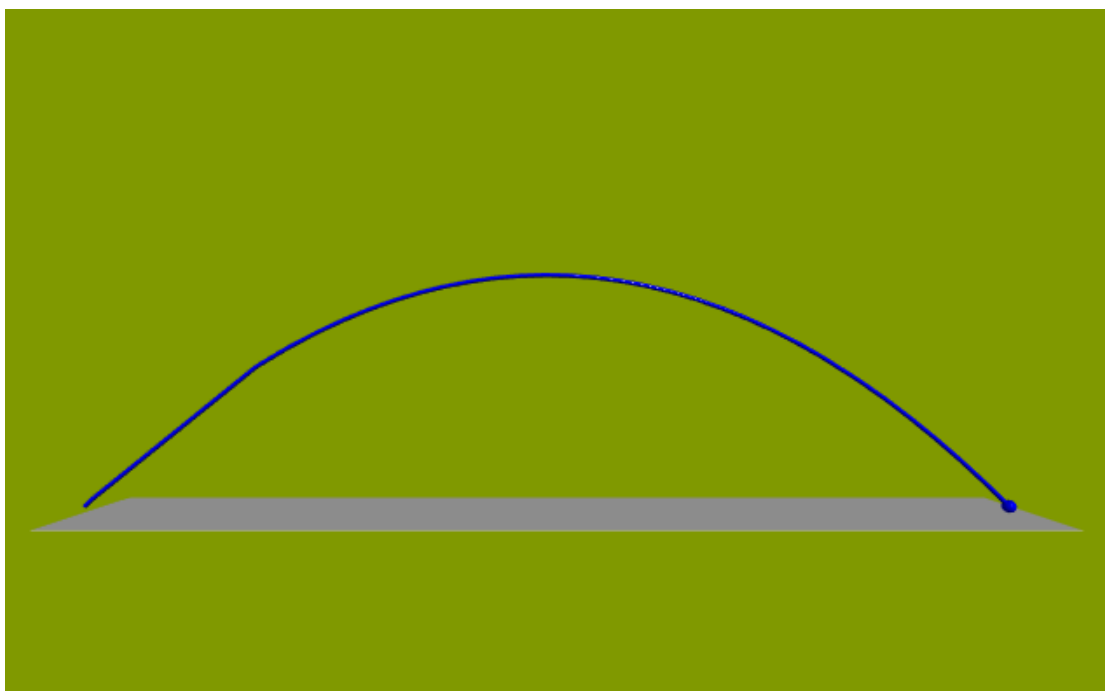


圖 3：拋體運動模擬畫面

(三) 應用於實際的物理情境：以考慮空氣阻力的自由落下運動為例

將一個小球於高處由靜止釋放，小球受到重力的作用開始落下，在高中物理課程當中為了簡化計算，通常會忽略空氣阻力，這樣就能簡化為等加速度直線運動。但實際上小球一定有受到空氣阻力，而且空氣阻力 f 的量值與小球的速度 v 有關，假設兩者的關係為

$$f = -bv^2$$

上式中的負號表示兩者方向相反。若小球的質量為 m ，重力加速度為 g ，則小球所受的合力方向向下，量值為

$$F = mg - bv^2$$

由牛頓第二運動定律可得小球的加速度 a 與速度 v 方向相反，量值為

$$a = \frac{F}{m} = g - \frac{bv^2}{m}$$

但是 a 、 v 兩者會互相影響，我們無法以高中數學計算出整個運動過程中每一個時刻 t 對應的 a 、 v 量值，只能計算小球的終端速度 v_t ，也就是小球速度無法再增加時的量值，此時

$$a = 0 \Rightarrow v_t = \sqrt{\frac{mg}{b}}$$

我們所採用的方法如圖 4 所示，假設經過的時間 $dt = 0.0001$ 秒，在這麼短的時間內，可以將小球的速度 v 視為定值，計算小球在一小段時間 dt 內的位移，更新小球的速度 v 、位置 y 之後，再用此時的速度 v 計算對應的加速度 a ，重複以上的過程直到小球達到終端速度為止，採用這樣的方法，我們可以將小球的運動過程完整地畫出來。假設 $m = 1 \text{ kg}$ 、 $b = 0.1 \text{ N s}^2/\text{m}^2$ 、

$g = 9.8 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 、 $dt = 0.0001 \text{ s}$ ，理論上 $v_t \div 9.899495 \text{ m/s}$ ，程式計算的結果為 9.899494 m/s ，與理論值相符，圖 5 為小球的高度 y - 時間 t 、速度 v - 時間 t 、加速度 a - 時間 t 關係圖，圖中的實線為考慮空氣阻力的計算結果，虛線則是不考慮空氣阻力的計算結果。

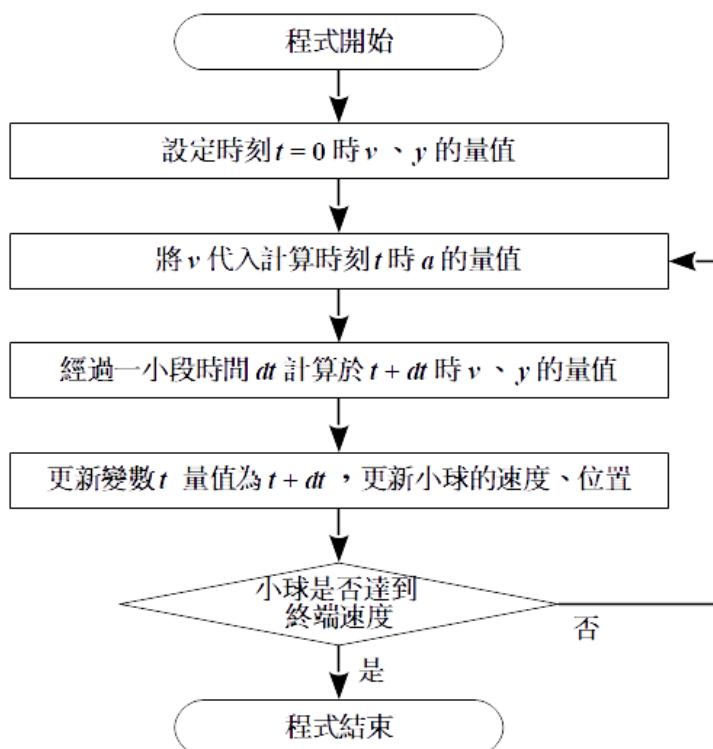


圖 4：用 VPython 處理考慮空氣阻力的自由落下運動流程圖

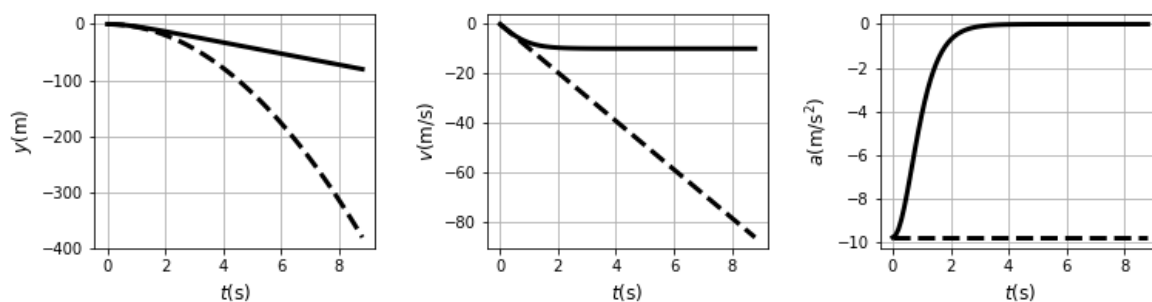


圖 5：小球自由落下時的 $y-t$ 、 $v-t$ 、 $a-t$ 圖，實線為考慮空氣阻力，虛線為不考慮空氣阻力

二、物理現象與建立模型

大部分的學生對於建立模型（以下簡稱為建模）相當陌生，這是因為在傳統的物理課程當中，我們並沒有特別強調建模的方法，但如果要使學生具備研究問題的能力，絕對不能忽略建模的方法。

（一）物理建模的方法

建立物理模型要有根據，從現象及實驗數據中找出各個物理量之間的關聯性，例如當我們分析一輛滑車在軌道上向左平移的運動過程後得到下圖，從圖中可以得知滑車以穩定的速度向左平移。接下來再分析滑車的受力情形，我們發現滑車在移動的過程中，似乎沒有受到水平方向的外力作用，因此我們可以提出「當物體在某個方向不受外力作用時，物體在此方向會維持原來的運動狀態」，這樣就是一個簡單的物理模型。通常我們會希望用數學式子來表達物理模型，例如將滑車的位置與時間關係式寫成

$$x = x_0 + vt$$

我們可以利用這個式子來預測滑車在某個時刻的位置，假設預測與實驗結果相符，則這個模型的可信度會更高。

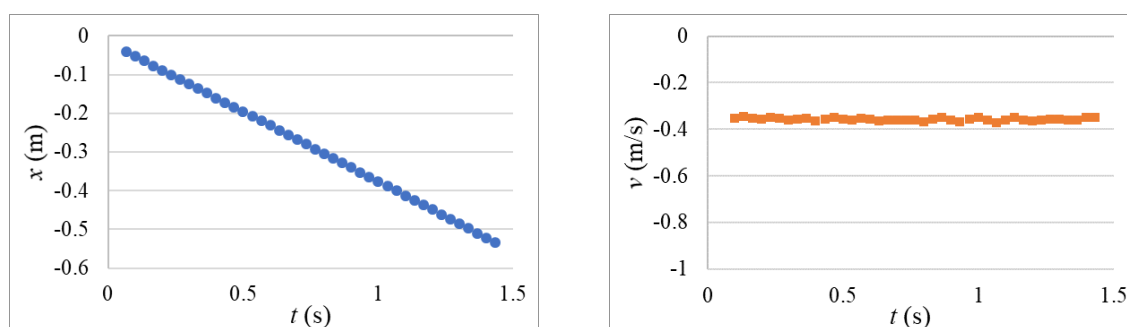


圖 6：平移的滑車位置 x - 時間 t 關係圖（左），速度 v - 時間 t 關係圖（右）

剛才提出的模型前提是「當物體在某個方向不受外力作用時，物體在此方向會維持原來的運動狀態」，但如果物體受到某個方向的定力作用時會有什麼變化？由於假設前提不同，我們需要一個新的模型來解釋當物體受到固定外力作用時的運動過程。

當我們分析一個物體被拋出後鉛直方向的運動狀態，會發現物體的位置先上升再下降，鉛直方向速度則由向上逐漸變為向下，速度隨著時間穩定地變化，鉛直方向加速度應該是定值。如果分析物體的受力情形，會發現物體在鉛直方向受到重力的作用，使物體有向下的等加速度，因此我們可以提出「當物體在某個方向受到定力作用時，則物體在此方向做等加速度運動」，這個模型的適用範圍比前一個模型更大一點。如果要將這個模型用數學式子來表達，可以將物體的鉛直方向速度與時間關係式寫成

$$v = v_0 + at$$

從上式推廣則可以得到物體的鉛直位置與時間關係為

$$y = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

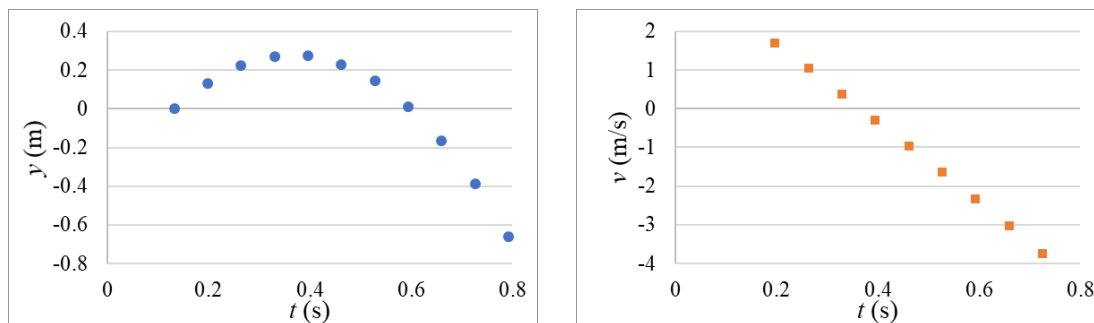


圖 7：拋體運動位置 y - 時間 t 關係圖（左），速度 v - 時間 t 關係圖（右）

（二）利用電腦模擬協助建模

傳統的建模方法經常會受到數學工具及能力上的限制，以兩個物體發生一維彈性碰撞為例，如圖 8 所示，為了方便我們想像物體碰撞的過程，我們在兩個木塊之間加上一條理想的彈簧，假設右側木塊質量為 0.5 kg 、初速為 -0.55 m/s ，左側木塊質量為 0.25 kg 、原為靜止，當彈簧被壓縮時，彈簧的回復力會使右側的木塊減速、左側的木塊加速，當彈簧回到原長時碰撞過程結束。模型的想法相當簡單，先由兩個木塊之間的距離判斷彈簧是否被壓縮，再計算彈簧的回復力量值，就可以得到兩個木塊的加速度，更新木塊在經過一小段時間後的速度、位置，不斷重覆以上的過程，很適合用程式語言中的迴圈來處理。

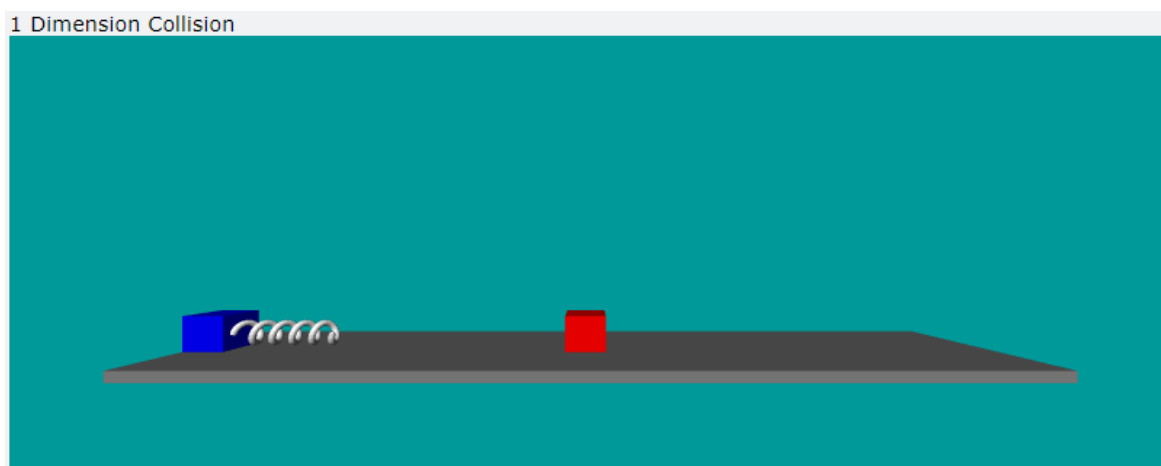


圖 8：一維彈性碰撞示意圖

一維彈性碰撞的末速理論值為

$$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_2 \approx -0.183 \text{ m/s}$$

$$v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2}v_1 + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}v_2 \approx -0.733 \text{ m/s}$$

圖 9 為實驗結果，圖 10 則是模擬程式運算的結果，從圖中可以看出兩個木塊的末速很接近理論值，而且兩者的總動量守恆，因此我們可以確定用理想彈簧模擬彈性碰撞的過程是相當適合的模型。

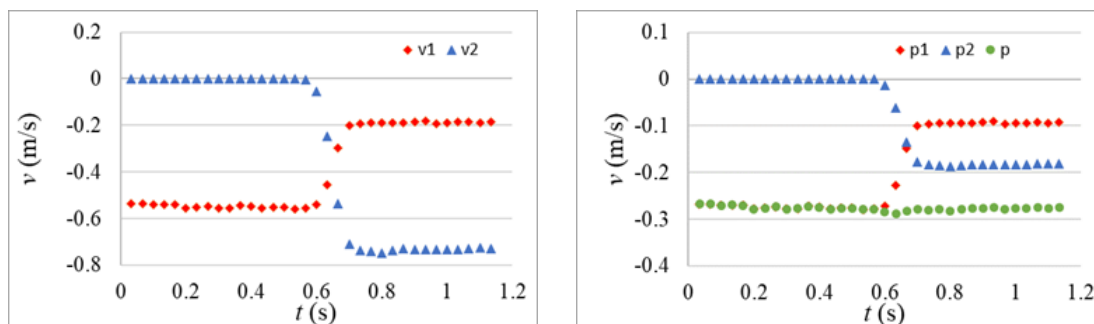


圖 9：一維彈性碰撞實驗結果

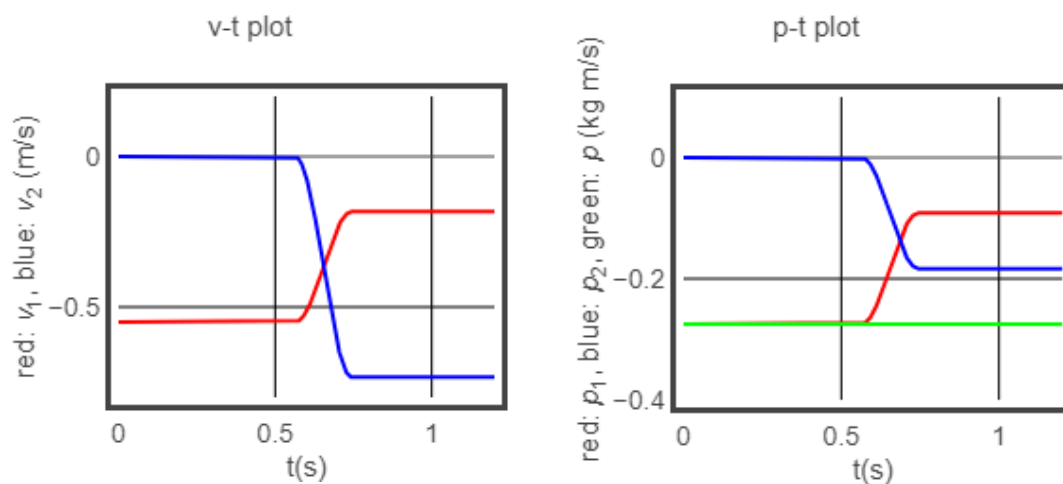


圖 10：一維彈性碰撞模擬結果

對更多無法在教室或實驗室中做具體觀察的物理現象而言，這樣以電腦程式輔助來建模，就會顯得更具威力，以理想氣體分子動力模型為例，在高中的物理或化學課，只能以最簡單的彈性碰撞建模，告訴學生在「氣體分子的大小假設為零，和分子間無遠距交互作用力，而只考慮分子間有彈性碰撞的條件下，會得出理想氣體方程式 $PV = nRT$ 」的結果，而無法告訴學生，此建模的結果如何受到「氣體分子大小不為零、或是有分子間有遠距交互作用力」等真實世界所存在物理條件的影響，此時若有一個理想氣體模擬程式，就可以在程式內改變氣體分子的大小，或增加遠距作用力(如凡得瓦力)，讓學生看到類似真實氣體的現象。當然，

實體實驗是進行科學學習和研究的重要步驟，學生可以對真實世界的物理現象有第一手的親身觀察，並具此培養實驗和動手做能力，但是電腦模擬，卻可提供一個方便的手段，讓學生用眼睛就看得到的物理過程，而產生更具體的物理直覺。

三、創新教學

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。

(一) 螺旋式教材設計

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。

(二) 以錄製影片取代教師講課

為達成有效教學，我們發展的 VPhyscis16 堂課採取課堂實作結合線上教學的混成學習 (blended learning) 方式，因此建置了教學網站，每一個單元的教材除了文字、圖像的說明外，亦錄製程式講解與操作的影片提供學生觀看學習。因此，學生可以根據自己的情況，決定影片觀看的速度和次數，進而達到差異化教學的目的，亦可彈性利用時間來觀看影片而達到自主學習。

(三) 讓學生複製貼上程式碼

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。

(四) 設計作業提供學生即時回饋

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，我們為每一個小單元設計了作業，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，提供學生即時的回饋。在學生完成老師指定的作業後，要上傳(1)心得(2)程式碼(3)執行結果(擷圖)到網站上。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。

在學習程式的過程中，為避免學生因卡關過久失去信心而放棄學習，本研究提供「看解答」的機制。當學生遇到瓶頸，或程式執行結果與預期不一樣時，除了求教授課老師或同學外，也可以選擇觀看解答。但在選擇觀看解答時，系統會出現「觀看解答會扣積分，你確定要看嗎？」的提示語，以提醒學生是否要看解答，或是繼續靠自己解題。

（五）運用分組促進彼此切磋討論與分享

為促進學生彼此合作學習，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，「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。

參、於高中推行 VPhysics 的困難

一、教師缺乏 Python 程式設計的經驗

由於在物理系的必修課程當中，只有計算機概論是與資訊相關的課程，而且教授不一定是教 Python，可能是教 C、MATLAB……等其它的程式語言，所以對於高中物理教師而言，具備 Python 程式設計能力的人數並不多。

在賴錦緣教授主持的計畫支持之下，我們曾經利用寒暑假辦理三天 18 小時的 VPhysics 教師研習，培訓了 59 位中小學教師，成效不錯，大部份教師都能完成自行看影片做作業，完成 VPhysics16 堂課。因此，如果物理老師對於本課程有興趣，可以透過高慧君老師的教學網站自學，花 12~18 小時就可以獲得 VPhysics 基本入門知識，更進階技巧可以參考王一哲老師的線上課程。

二、硬體設備不足

如果想要開設 VPhysics 的選修課，讓每個選課的學生都能實際操作、撰寫程式，勢必要讓每個學生都有 1 台電腦能用，比較適合在電腦教室上課。但是電腦教室的數量有限，會優先安排給資訊課使用，對於設備及場地較少的學校而言會有點困難。

未來，隨著學校資訊設備增加，愈來愈多學校可以增設無線網路環境及 Chrome Book，就可以達成在一般教室上課學生 1 人 1 機的需求，而對於這些使用 Chrome OS 或是無法於電腦上安裝軟體使用者而言，可以使用線上版的 VPython，網址為 <http://www.glowscript.org/>。交通大學林一平教授目前也正在利用物聯網系統 IoTalk⁴ (Lin, 2017)，開發線上版的 VPhysics 課程網站，可以和手機互動。只是目前仍在測試階段，近期將對外開放。

三、學生缺乏程式語言基礎

即將推行的 108 課綱中規定了名為「探究與實作」的自然科部訂必修，這門課程的學習內容為「發現問題、規劃與研究、論證與建模、表達與分享」，這與傳統的科學方法「觀察、解說、預測、確認、評估、發表」相當類似，基本上就是科學家研究問題時使用的方法。我們認為 VPhysics 課程符合探究與實作特性，目前物理老師可能會對於要教學生寫程式感到陌

生，然而，在 108 課綱實施三年後的高一學生，就有接受過國中三年 6 學分的資訊課，在這個基礎之上，學生應該會對 VPhysics 的接受度更高。

肆、結語

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，這也我們致力於研發教材並引入 VPhysics 物理模擬程式設計的初心，我們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。

從學生學習的現場，我們發現：因為物理視覺化的學習，讓學生對於程式設計學習產生更強的動力學習。學生對於以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」感到有趣。原來透過寫程式模擬物理現象，可以帶學生回到科學家當初發現物理規則的喜悅。學生不僅探究物理原理，也透過程式碼實作出物理現象模擬。此外，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。

從教師研習的現場，我們發現：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。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，傳達這份感動給學生。正因為這份感動，會讓老師產生更堅強的信念，去克服教學上的困難，專注於把學生教會。

本課程經近五年的發展與實施，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推廣給其它老師參考。

致謝

本文感謝科技部經費補助（計畫編號：106-2630-S-025-001），並謝謝學生、教師與專家之參與。

參考文獻

1. 王一哲 (2019)。VPhysics。2019 年 3 月 10 日，取自：<https://bit.ly/2HcigEg>
2. 石明豐 (2019)。VPhysics。2019 年 3 月 10 日，取自：<http://vphysics.ntu.edu.tw>
3. 高慧君 (2019)。VPhysics。2019 年 3 月 10 日，取自：
<http://coding.nutc.edu.tw/student/lessons/E/>
4. Lin, Y.B., Lin, Y.W., Huang, C.M., Chih, C.Y., Lin, P. (2017). IoTtalk: A Management Platform for Reconfigurable Sensor Devices. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(5) 1552-1562.

VPhysics Cross-disciplinary Curriculum Design

Hue-Ching Kao¹, Yi-Zhe Wang^{2*}, Ming-Feng Shih³ and Chin-Yuan Lai⁴

¹Taipei Municipal Nangang High School

²New Taipei Municipal Zhonghe Senior High School

³Department of Physics, National Taiwan University

⁴Center for General Education, National Taichung University of Science and Technology

*Corresponding author: yizhe@mail2.chshs.ntpc.edu.tw

Abstract

Cross-disciplinary learning has become an important topic in the new era of education. This paper reports on the design of interdisciplinary curriculum VPhysics that combined physics concepts in senior high school and Python programming. The teaching strategies, current implementation difficulties and feasibility of future teaching are also been described. We conducted field experiments for students and teachers to test the effects of VPhysics. The findings revealed that this course not only improved students' difficulty in learning physics, but also cultivated their computing-thinking ability where students could use programming to solve problems. The participated teachers experienced the innovative teaching design, had confidence in cross-disciplinary teaching, and learned concepts and skills that integrate programming and physics instruction. These results showed that this course is worth promoting continuously in the future to improve the quality of physics and programming teaching and thus to fulfill the cross-disciplinary teaching and learning.

Key words: VPhysics, physics course, programming, interdisciplinary