物理教育學刊
2009, 第十卷第一期, 41-54

Chinese Physics Education
2009, 10(1), 41-54

以問代答引導學生思考與探索—以擺與振主題教學為例

邱韻如[1] 蘇裕年[2] 羅榮裕[2]

[1]長庚大學通識教育中心 物理科
[2]國立虎尾高中

（投稿日期：民國 97 年 10 月 20 日，修訂日期：98 年 07 月 27 日，接受日期：98 年 08 月 04 日）

摘要：這一個主題式系列教學活動係將許多和擺與振有關的實驗活動有結構的組織起來，從單擺的基本概念與物理特性出發，延伸到共振的許多實例與實驗，分爲『擺中奧秘』、『擺的舞蹈』與『振振相應』三大部分，以工作坊的形式在 2008 年物理教學示範研討會中與各級物理教師們分享與交流。

各個單元分別以影片、圖片、DIY、示範演示及講解等多元的形式來進行，每個單元可以個別獨立運作實施，放在一起則彼此之間環環相扣前後呼應，不僅靈活可彈性調度，又可以繼續延伸發展，增加新的單元。在教學時特別強調，不很快直接講出答案，而是提出許多問題帶領學生思考與探索。前面實驗的答案，會在後面的單元中呈現出來，用這樣的方式帶動學生持續思考或驗證他們的想法。這一系列活動適用於各級學生，對中小學生來說，可以幫助他們開闊視野、引起好奇心、透過 DIY 活動探索相關問題及建立背景知識。對高中生及大學生，則可幫助他們連結及重新統整已學過的各種相關知識，進而探討更深入的問題。

關鍵詞：擺、共振、探究、背景知識、教材教法

壹、前言

教科書通常把『單擺』和『時間』連結在一起。除了時間之外，看到『擺』，你還會聯想到什麼？在物理上，有哪些現象、概念、人物、實驗….和『擺』有關？『簡單』的單擺，蘊藏了多少『奧秘』？本工作坊以提問的方式，介紹各種和擺與振有關的實驗，從一個擺延伸到很多相鄰的擺及共振現象，帶領學員觀賞擺的舞蹈以及體驗共振的威力。

貳、活動的內容及過程

一、擺中奧秘

這個部分包含了七個小單元(表一)，每個單元可以獨立實施，放在一起則有相輔相

成的效果。除了帶入擺的特性之外，主要目的在於引起學生思考及學習動機。我們以提問的方式引出他們的想法，讓他們思考及討論。爲了營造一個『擺』的情境，除了各種示範器材外，我們在教室的天花板上綁了一個直徑約二十幾公分的大鋼球，和二個長短不一的鞦韆。

(一)擺的特性

單元 101 是 MIT 的 Lewin 教授在課堂上表演的精彩影片[14]。請學員注意影片中二個和擺有關的片段，一是 Lewin 教授親自跨坐在從天花板懸掛下來的大擺球上，在講台上盪來盪去，台下學生一起幫他數在某段時間內盪了幾次(圖 1.1a)；另一個是他先將一個從天花板懸掛下來質量 15.5 磅的擺球拉到鼻子前，放手之後，擺球在回程時打碎玻璃(他原來站立的地方)，在學生震撼之際，Lewin 站回剛剛玻璃的位置，當擺球再次回來時，會打到他自己嗎(圖 1.1b)？看完這段影片後，我們問學員，這二個示範實驗中，Lewin 教授想要告訴學生什麼？

Lewin 教授親自在講台上盪來盪去，是在證明擺錘的質量與週期無關。擺錘的質量真的與週期完全無關嗎？這是一個值得深入探討的問題。

單元 102 的鞦韆問題剛好可與 Lewin 教授的表演相呼應。通常校園或公園裡的鞦韆大都是一樣長，很多小朋友都以爲用力一點盪，就可以盪得快一點。我們特別從天花板上綁了一長一短的二個鞦韆，和學生討論。

單元 103 的打人擺(圖 1.2)，是跟周建和老師學來的。把裝有小鋼珠的保特瓶懸掛在天花板上，調整好學員甲的站立位置，把瓶子拉到鼻子前然後放手，當瓶子再回來時剛好不會打到他的鼻子。接著，拿出一條綁有磁鐵的繩子，磁鐵從瓶外吸住鋼珠，拉到一定程度後，因磁力不夠，繩子就會和瓶身分離，因此，瓶子打不到站立的學員甲。我們請台下的學員們想辦法或出來嘗試，看看用這些道具，怎樣可以讓保特瓶打到學員甲？

在這個實驗中，要利用共振的原理才能讓保特瓶的振幅增加而打到學員甲，在磁鐵的吸力範圍內，不斷的以固定的頻率推動瓶子，就可讓振幅逐漸增大。這和盪鞦韆的原理一樣，適時的推，就可以讓振幅越來越大。此外，我們還利用電磁鐵一吸一放的原理，讓靜止懸掛在天花板下的大擺球振盪起來了，而且振幅越盪越大。由此不只讓學員再次感受到『共振』的威力之外，又引出一個問題可以討論：盪得越高，週期是不是越大？

前三個實驗(單元 101~103)的內容是環環相扣的，可以當作開場白，引起學生思考擺錘的質量、擺的週期、擺長、振幅之間的關係，以及體驗『共振』的特性。接下去是介紹科學家怎麼從單擺中看出其物理特性的。

(二)科學家怎麼看擺？

大家都知道伽利略(Galileo,1564~1642)在進大學讀書的那一年，發現了擺的特性。他發現了擺的什麼特性？很多學生可以很快的講出來是等時性，由此有一個重要但基本的問題可以反問並引發學生思考：伽利略用脈搏發現的這個『簡單』的特性，爲什麼別人都沒看出來？教師可以繼續提問或與學生討論，單擺的振幅是否真的跟週期無關？單擺是否嚴格遵守等時性？甚至回到前面三個小單元的問題，單擺的週期在什麼情況下和擺錘的質量無關？

除了伽利略之外，惠更斯(Huygens,1629~1695)和牛頓(Newton,1642~1727)對擺也有相當多的研究。在教學時可以視學生的程度讓他們對惠更斯對等時擺、擺線及擺鐘的研究，以及牛

頓利用擺來研究碰撞和等效質量的研究有進一步的瞭解(圖 1.3)。

絕大多數的人注意到的是擺與時間的關係，佛科(Foucault,1819~1868)卻將注意力放在擺面上。在佛科的那個時代，受過教育的歐洲人大都知道地球會自轉，但當時地球自轉的證據是由天文觀測推斷來的[11]。

身爲地球人的我們，有感覺地球在轉嗎？怎麼知道地球在轉？你相信地球真的在轉嗎？大多數人可能沒有真的想過這個問題。那麼，科學家怎麼知道地球在轉？科學家又如何證明地球在轉？這些都是值得思考與討論的問題，在拋出這些問題之後，再介紹佛科如何藉由佛科擺，讓人們親眼看到地球的自轉。

虎尾高中有一個大型的佛科擺。他們另外製作了一個小型的佛科擺，把壓克力圓盤放在古老唱片機的唱盤上，代表轉動中的地球(圖 1.5)，在單元 105 中，我們用此模型在教室演示佛科擺的原理，幫助學生瞭解佛科在巴黎先賢祠的公開演示，如何讓在場觀眾看到地球的轉動。

(三)秒擺與長度的定義

單元 106 是一個 DIY 的活動，讓學員製作一個『秒擺』，要讓它擺過去一秒，擺回來一秒(週期 2 秒的意思)。我們用節拍器讓學員對時，請他們量出他們所製作的秒擺的擺長，接著再做一個『半秒擺』。最後各組或全班討論『秒擺』和 『半秒擺』的擺長。『秒擺』和『公尺』的定義有關，而半秒擺的長度，除了可以讓學生從實驗中發現，當週期減半時，擺長並非跟著減半，在此還爲後面的實驗留下伏筆，因爲半秒擺的擺長正好是單元 202 蛇擺裡中間那個擺的長度。

秒擺有什麼特性？除了週期是 2 秒之外，它的長度大約是一公尺。包括惠更斯在內的幾位科學家就曾經建議以某個緯度的秒擺長來當作公尺的定義。1792 年，法國科學院通過定義北極到赤道長度的千萬分之一爲一米。當時在會議上，秒擺長度和子午線是並陳的二個案子。我在這裡問學生，爲何會議的結果最後不採用秒擺，而用子午線？北極到赤道那麼長，會比秒擺的擺長好量嗎？北極到赤道的長度要怎麼量[9] ？

(四)球棒的『甜蜜點』怎麼找？和擺又有什麼關係？

喜歡看棒球比賽的人可能聽過『甜蜜點』(sweet spot)，其實不只棒球，只要跟揮擊有關的運動器材，都有所謂的甜蜜點。甜蜜點與器材的形狀、比重材質、握手處都有關，揮擊時若擊到甜蜜點，此時運動員握把處，無撞擊感[8]。

在物理上，甜蜜點就是『振盪中心』(the center of oscillation)，以握把處爲支點時，可以測得此球棒的週期(T_0) ，以及找到和此週期對應的單擺擺長(L)，『振盪中心』的位置就在從支點往下算L的地方。如果以振盪中心當支點，把球棒到過來擺，這根球棒的週期也會剛好是T_0，而且其振盪中心剛好就是原來的支點(圖1.4)，這是『複擺』(physical pedulum)單元裡的一個基本觀念[13]。

二、擺的舞蹈

幾個擺，不同的綁法，可以跳出哪些不同的舞蹈？幾個相鄰的擺，有哪些交互作用？可以跳出哪些舞蹈？

(一) 牛頓擺與蛇擺

市售的牛頓擺(單元 201，圖 2.1)通常由五個相鄰且等長的擺組成。這些相鄰的擺，是要傳達什麼概念呢？稱之爲牛頓擺，那和牛頓有什麼關係？如果每顆擺球的大小不一樣，又可以看到什麼物理現象呢？圖 2.2 的器材是美國馬里蘭大學 Berg 教授製作的。

表 1：第一部份『擺中奧秘』的活動單元

主題	形式	內容與問題
單元 101 真人擺	影片	這是 MIT 的 Lewin 教授在課堂上表演的精彩影片。請學員注意影片中二個和擺有關的片段，我們問學員，這二個示範實驗中(圖 1a,1b)，Lewin 教授在證明什麼？
單元 102 盪鞦韆	示範演示	通常校園或公園裡的鞦韆大都是一樣長，如果不一樣長，當起來會有什麼不同？我們特別從天花板上綁二個鞦韆，一長一短，和學員討論，盪得高的秘訣在哪？
單元 103 打人擺	示範演示	把裝有小鋼珠的保特瓶懸掛在天花板上，調整好學員甲的站立位置，使用一條綁有磁鐵的繩子，讓磁鐵從瓶外吸住鋼珠，拉到一定程度後，因磁力不夠，繩子就會和瓶身分離。我們請台下的學員們想辦法或出來嘗試，看看怎樣可以讓這個保特瓶打到學員甲？
單元 104 科學家怎麼看擺？		很多人都知道伽利略在進大學讀書的那一年，發現了擺的特性。除了伽利略之外，惠更斯和牛頓對擺也有相當的研究。他們看到了哪些擺的特性？
單元 105 佛科擺	示範演示	你怎麼知道地球在轉？你有感覺地球在轉嗎？在此演示中，可以瞭解佛科如何讓人們看到地球的轉動。
單元 106 秒擺與半秒擺	DIY 活動	這是一個 DIY 的活動，用節拍器對時讓學員製作一個『秒擺』和『半秒擺』，最後各組或全班討論這二個擺的擺長。
單元 107 棒球棒的甜蜜點	示範演示	棒球棒有所謂的『甜蜜點』，是什麼意思？怎麼量？

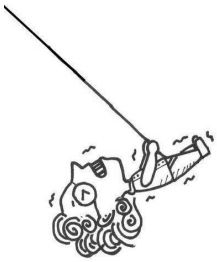


圖 1.1a：真人擺

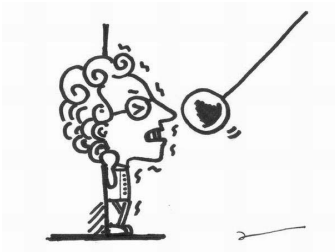


圖 1.1b：打得到嗎？

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

圖 1.1c：單擺公式

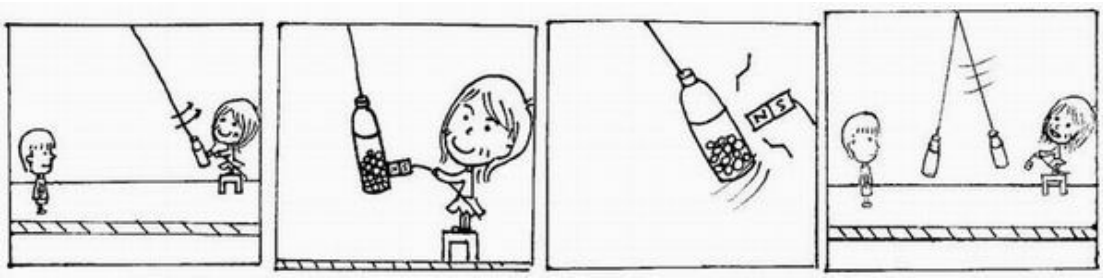


圖 1.2：打人擺

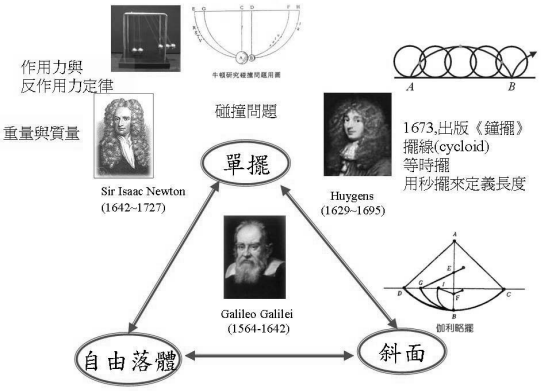


圖 1.3：三位科學大師對擺的研究

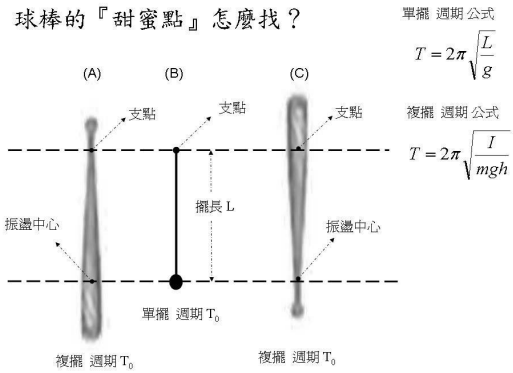


圖 1.4：棒球棒的甜蜜點

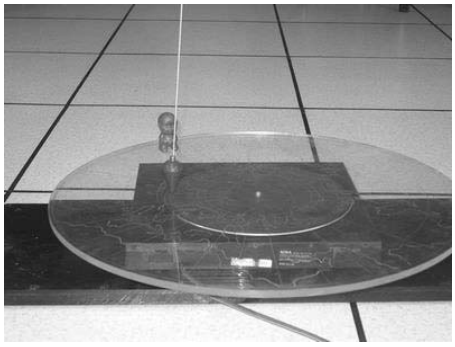


圖 1.5：虎尾高中自製的佛科擺底座部分特寫

牛頓擺是藉由幾個等長度的擺左右碰撞，來展示動量守恆的原理。如果讓這些擺前後擺動呢？單元 202 是九個不同長度的擺(圖 2.4)，當它們一起前後振動時，可以排出波浪般的圖形，稱之爲蛇擺[10][12]。我們讓學員仔細觀察蛇擺的運動，請他們描述他們所觀察到的現象。

(二)跳出美麗曲線的擺

如圖 2.6a~2.6e，不同的綁法，擺動起來有哪些不同？這裡有哪些物理的道理呢？從單擺到錐形擺到李賽擺(單元 203 和 204)，我們讓學生看到不同的綁法與振動，擺錘可以畫出不同的曲線。我們用漏斗製作李賽擺的擺錘，裡面放砂，把繩子綁成圖 2.6b 的樣子，這就形成了二維的擺，漏下來的沙子畫出了美麗的李賽圖形(圖 2.5)，這樣的圖形和用示波器畫出來的李賽圖形有異曲同工之妙。

(三)會心電感應的擺

雙胞擺(如圖 2.6c)，彼此會因共振而相應，如果綁成一上一下(如圖 2.6d)，則有耦合的現象，學過理論力學的物理老師可能都還記得這一題算起來很辛苦呢。如果綁更多個擺呢？如圖 2.6e，當其中一個擺動時，哪個擺會跟著起舞呢？

(四)又擺又振的彈簧擺

單元 205 中，把單擺的繩子換成彈簧，我們看到不僅有擺動還有振動(如圖 2.7a)，在什麼情況下，擺動的頻率和振動的頻率相等？如果把好幾個長度不一的彈簧擺並排(如圖 2.7b)，哪些會相互呼應呢？

(五)念力擺

單元206念力擺所用的是共振的原理，此單元擔負了承先啓後的任務，不僅呼應了前面幾個實驗，也同時和第三部分的單元相呼應。在一根棍子上綁著不同長度的擺，台下學生指定要哪個擺動，演示者就讓哪個動。這個活動可以用DIY的形式讓學生自製，讓他們透過動手操作來體會秘訣在哪兒

表 2：第二部份『擺的舞蹈』的活動單元

主題	形式	內容與問題
單元 201 牛頓擺	示範演示	這些相鄰的擺，是要傳達什麼概念呢(圖 2.1)？如果每顆擺球的大小不一樣(圖 2.2)，又可以看到什麼物理現象呢？
單元 202 蛇擺	示範演示	圖 2.4 是九個不同長度的擺，當它們一起前後振動時，可以排出波浪般的圖形，稱之為蛇擺。我們讓學員觀察蛇擺的運動，讓他們描述他們所觀察到的現象。
單元 203 李賽擺	示範演示	用漏斗型擺錘，裡面放砂，把繩子綁成圖 2.6b 的樣子，這就形成了二維的擺，漏下來的沙子畫出了美麗的李賽圖形(圖 2.5)。
單元 204 擺的獨舞、雙人舞與多人舞	示範演示	如圖 2.6，這些不同的擺，擺動起來有哪些不同？這裡有哪些物理的道理呢？
單元 205 又擺又振的彈簧擺	示範演示	把單擺的繩子換成彈簧，會有什麼狀況產生？在什麼情況下，擺動的頻率和振動的頻率相等？
單元 206 念力擺	DIY 活動	在一根棍子上綁著不同長度的擺，你能不能夠要誰擺，誰就擺。秘訣在哪兒？

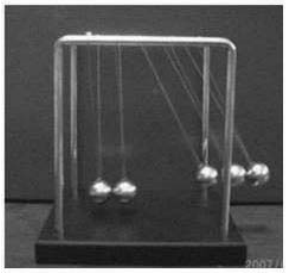


圖 2.1：牛頓擺

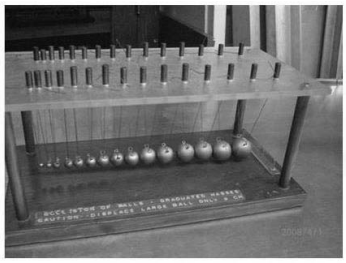


圖 2.2：Berg 製作的擺

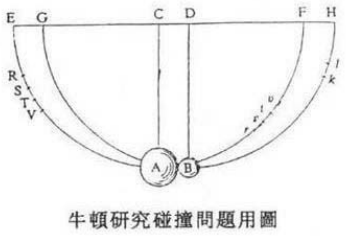


圖 2.3：牛頓研究碰撞問題

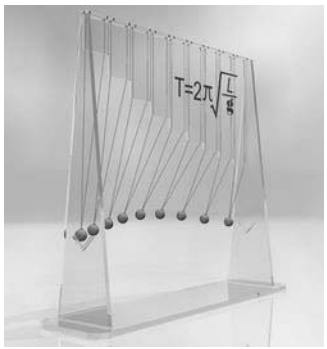


圖 2.4：蛇擺

圖 2.5：李賽擺

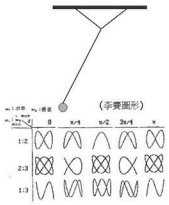
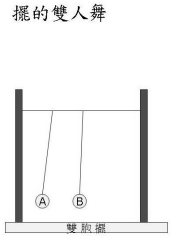


圖 2.6a 圖 2.6b



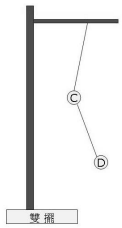


圖 2.6c 圖 2.6d

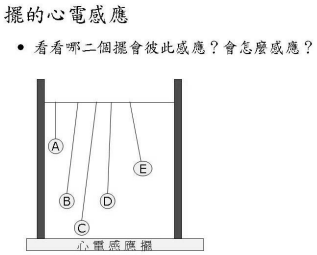


圖 2.6e

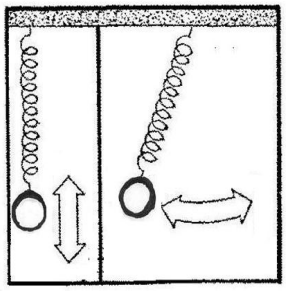


圖 2.7a：彈簧擺

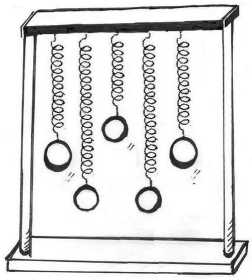


圖2.7b：看看哪二個擺會彼此感應？

圖2.8：念力擺

(圖2.8)。

三、振振相應

(一)共振的威力

1831 年，在英國曼徹斯特附近，有一隊騎兵以整齊的步伐通過一座吊橋，他們的行進使橋發生擺動，最後橋竟然垮了下來。從那時候起，部隊過橋時不再齊步通過。這件事是怎麼發生的？真的有這種危險嗎？

美國塔科馬海峽(Tacoma Narrows)吊橋在物理界是很有名的，很多學校的物理系都保存著整個過程的紀錄片(圖 3.1)，這個橋在建造的時候就振盪得很厲害，正式通車之後，很多遠方的人特別開車過來，就爲了體會吊橋振盪的刺激。1940 年 11 月 7 日的那天早上，風並不是特別的強，但橋的振盪卻大到整座橋坍塌了。這是在物理上講解因強迫振盪(forced oscillation)形成的共振的經典實例。

加州理工大學拍攝的系列物理教學影片中[2]，不僅有塔科馬海峽橋的紀錄片，也有一段 Goodstein 教授把燒杯震碎的影片。馬里蘭大學物理系的 Berg 教授也製作了一台玻璃震碎機，這和女高音唱歌把玻璃杯震破都是同樣的原理。

我們用圖 3.2 的自製器材，讓學生看到改變聲頻產生器的頻率時，不同高度的物體產生共振的情形，讓學生能更瞭解與體會共振頻率的意義。

圖 3.4 是所謂的龍銑，是不是摩擦得越快，盆子裡的水就能噴得越高呢？盆子裡水的多寡和摩擦的快慢有什麼關係？

(二)麻辣女王表演秀

這是影片『麻辣女王』中的一小段，女主角是個不修邊幅的探員，奉命到選美比賽臥底。選美比賽要表演才藝，女主角想了半天，終於想出她的拿手絕活，用各式的高腳

表 3：第三部份『振振相應』的活動單元

主題	形式	內容與問題
單元 301 過橋時為什麼不能齊步走？	口述	聽說阿兵哥過橋時不能齊步走，這是為什麼呢？
單元 302 橋怎麼斷的？	影片	美國塔科馬海峽(Tacoma Narrows)橋的崩塌是物理上講強迫振盪時常用的例子，這個橋為什麼會坍塌呢？
單元 303 玻璃杯怎麼破的？	示範演示	女高音為什麼可以震破玻璃杯？加州理工大學 Goodstein 拍攝的系列物理教學影片中，是用什麼原理把燒杯震碎的？
單元 304 麻辣女王表演秀	影片與示範演示	在影片『麻辣女王』中，女主角在選美比賽的才藝表演中，用各式的高腳杯演奏音樂。看完影片後，我們拿出準備好的高腳杯，跟學員討論其中的物理原理。
單元 305 來洗臉囉	示範演示	圖 3.4 是所謂的龍銑，要怎樣才能讓盆子裡的水噴得很高呢？
單元 306 從不忍再震到不怕再震	示範演示	全台最高的 101 大樓如何防震呢？虎尾高中製作了一個阻尼球的模型，講解 101 大樓裡超大阻尼球的作用。為什麼這樣可以防震呢？
單元 307 也是共振？	示範演示	形成駐波通常也叫共振，圖 3.6 和 3.7 的這二種共振跟前面講的共振一樣不一樣？

共振的威力～

塔科馬海峽吊橋是怎麼斷的？

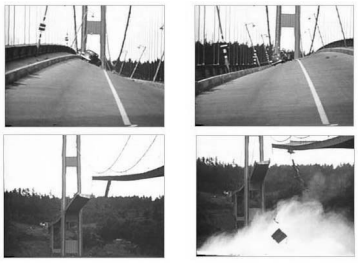


圖 3.1：塔科馬海峽橋

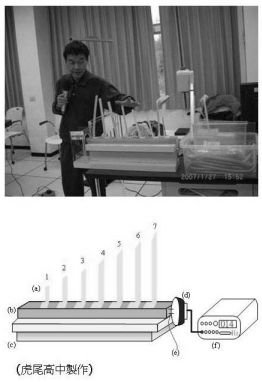


圖 3.2：共振演示儀(虎尾高中自製)

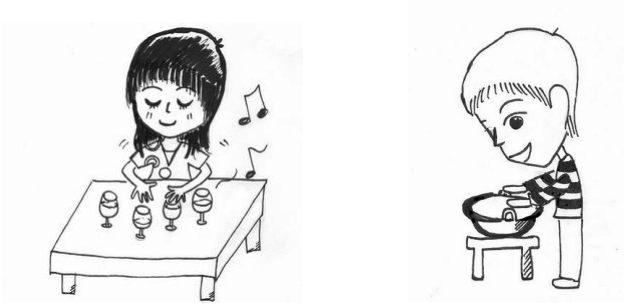


圖 3.3：用高腳杯演奏音樂圖

3.4：用龍銑洗臉

不怕再震

- 虎尾高中的模擬阻尼球：這個簡易阻尼球，可以用來模擬101大樓在遇到強風或是地震時，如何減少震動時的振幅，減輕大樓搖晃。

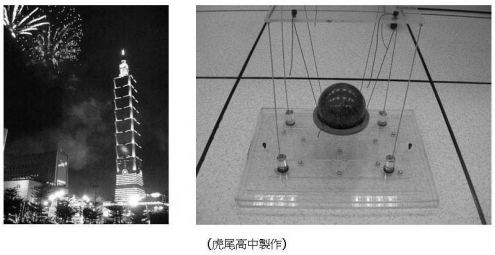


圖 3.5：阻尼器(虎尾高中自製)

也是共振～駐波(standing wave)

- 虎尾高中的駐波模擬實驗：這是一個利用喇叭振動使紅線產生駐波圖形的實驗模組。

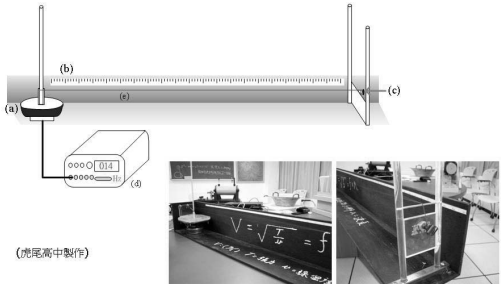


圖 3.6：繩波共振(虎尾高中自製)

圖 3.7a：克拉尼圖形圖

3.7b：克拉尼實驗器材(虎尾高中自製)

二維駐波(standing wave)

虎尾高中的克拉尼實驗：

- 在鐵板上均勻灑上一層沙，鐵板經喇叭振動後，隨著頻率的不同，沙子的圖案有多種變化。

3.7c：克拉尼圖形

杯演奏音樂。看完影片後，我們拿出準備好的高腳杯，一邊表演，一邊跟學員討論其中的物理原理(圖 3.3)，例如，當我們摩擦玻璃杯的杯緣時，杯子中水的多少與發出聲音的高低有什麼關係？爲什麼要用高腳杯，普通的玻璃杯不行嗎？

(三)從不忍再震到不怕再震

台灣的 921 地震震撼了整個台灣，大陸四川地震的規模比 921 地震更是有過之而無不及。全台最高的 101 大樓如何防震呢？虎尾高中製作了一個阻尼球的模型(圖 3.5)，用以講解 101 大樓裡的超大阻尼球爲什麼可以防震。

(四)也是共振~駐波

前面幾個實驗所講到的共振，指的都是強迫振盪(forced oscillation)所形成的共振。駐波的英文是standing wave，我們常把形成駐波的現象也稱爲共振(resonance)，但是特別要讓學生分辨的是，駐波的形成和強迫振盪(forced oscillation)所形成的共振，有哪些相同與相異？在此，一維的繩波共振(圖3.6)和二維的克拉尼圖形(圖3.7c)都是很好的例子。還有，克拉尼圖形(圖3.7)與龍銑共振(圖3.4)時的波紋，有何異同之處？

參、問題與討論

一、概念圖的運用與課程的發展

這個主題式系列教學活動將許多和『擺』與『振』有關的小單元，有結構的組織起來，各個單元可以個別獨立運作實施，放在一起則彼此之間環環相扣。這樣的教學活動，可以讓學生將許多看似不相關的單元連結在一起，重複的將某一個概念(共振)運用在不同的實驗上，相關的概念連結在一起，增進背景知識。

圖 4 是本文作者所畫的概念圖。這個概念圖，絕非標準答案，而是我們在發展這些課程的過程中的產物。在發展教材時，繪製概念圖的過程可以幫助擴散性的思考，將相關的教材連結起來。不同的教師或學生，由於其背景知識不同，所以發展出來的教材及概念圖結構也會有所不同。因此這個概念圖只能當作是一個引導或輔助：可在教學過程中(或結束前)協助學生瞭解課程架構；可以在課前作爲概念診斷的工具，請學生畫出自己的單擺概念圖，幫助教師瞭解及掌握學生的背景知識；更可以在課後引導學生複習或建立發展自己的概念圖。

在時間容許下，對於高中以上及教師研習的老師，我們在進行這個主題式系列教學活動之前，會先發白紙，請他們先畫出擺的概念圖。我們看到，通常他們大都只聯想到單擺公式以及擺和時間的關係。在整個課程結束後，他們會驚覺怎麼有這麼多的實驗都和『擺』有關。這些活動內容，可以因材施教調整教材深度後適用於各個階段的學生，引他們提問、幫助他們開闊視野、引起好奇心及建立背景知識。

二、單擺簡單嗎？

單擺的物理概念並非僅僅只是圖 1.1c 公式裡所看到的週期和擺長的關係而已。這個公式只是針對理想的單擺，如果擺角大一點，或擺錘的大小不能忽視，公式都還需要做修正。是否要考慮到這些因素，當然要視學生的程度而定，對於已經學到普通物理複擺單元的學生(普通物理程度)，就可以討論到擺錘的轉動慣量對週期的影響，這時，要說擺錘的質量與週期無關時，不能只是看公式裡有沒有質量，而是要把控制變因的前提先做好，也就是在擺錘形狀大小一樣的條件下

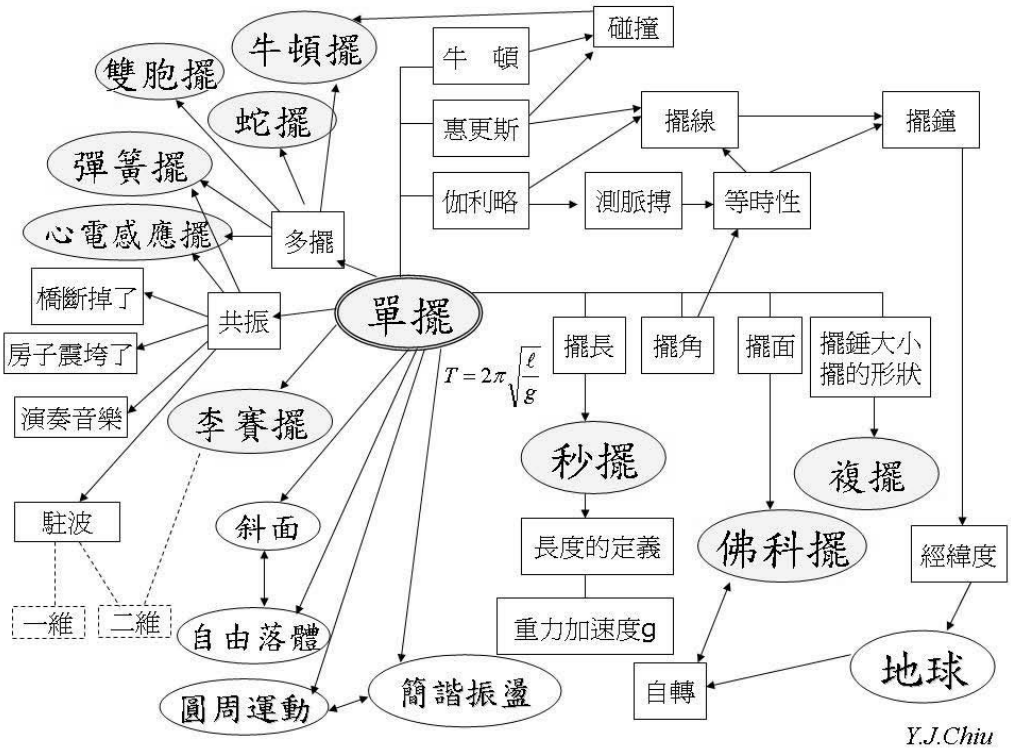


圖 4：作者為此活動所繪製的概念圖

，才能說擺錘的質量與週期無關。

若不討論到轉動慣量的因素，單擺就簡單了嗎？其實也不盡然。根據研究者過去的研究，有相當多的大一理工科新生並不知道擺長應該量到擺球的什麼位置[3]。因此，在做秒擺實驗時，擺長應該量到哪兒，就是一個很好的思考問題。對於國中小階段的學童，我們不需要告訴他們單擺公式，而是讓他們跟著節拍器以實作方式找出秒擺擺長，甚至在沒有尺或尺不夠長的情況下，如何量出秒擺的擺長，對他們來說都是很有意義的學習課題。

單擺其實並不見得簡單。簡單的物理現象中，常常藏有許多奧秘，等著物理老師帶領學生欣賞其美妙之處以及探索更深更廣的相關實驗、現象與知識。這個從擺到振的系列活動，希望能有拋磚引玉之效。

三、從學答到學問

以 Lewin 教授在課堂上表演的人擺實驗(單元 101)爲例，他的表演是不是立刻『證明』了單擺週期與擺錘質量無關？學生看完了精彩的表演，是不是就看到了答案，是不是立刻解除疑慮豁然開朗？

示範實驗的目的並非只是讓學生看到答案，而是藉由實驗的具體操作或親眼所見的經驗幫助學生思考並引出『問題』，我將此過程稱之爲『學問』，也就是引導學生學習發現問題、學習問問題、學習探討問題以及學習如何解決問題等等。

以『問題』當作開始，引發學生觀察、思考及討論，是此主題活動在實施教學時所必須掌握的精神。對於國小階段學生，不見

得需要詳細告知公式及專有名詞，重點在於幫助他們開闊視野、引起好奇心及思考探究。以念力擺爲例，我們看到小朋友們都非常專注的做實驗，然後自行體驗出讓擺振動變大的方法；打人擺更是在不斷的嘗試下，終於都可以領悟到成功打到人的訣竅。

Lewin 教授精彩的表演，是用他的教學熱情引起學生的學習興趣以及探索相關問題的好奇，這樣的表演，絕非只是讓學生『看到』或『記住』答案而已。心中有了問題，才會有動機及熱情去找答案，這些答案對當事人才有意義。而且，在找答案的過程中，會遇到更多的問題，因此找答案的過程遠比答案本身還要有意義。

在教學的進度及升學考試的壓力下，如何教學生『學問』而非『學答』，對教師來說的確是一項艱鉅的任務。但是反過來想，如果教師一直以進度壓力爲藉口，直接給答案讓學生背，而不提供時間和機會帶領學生思考、提問，我們要問，這樣『硬塞』給學生的答案，對學生是益還是害呢？

肆、結論與建議

這個主題式系列教學活動是從單擺的基本概念與物理特性出發，延伸到共振的許多實例與實驗。這些活動可以用在不同的年齡層，可以分別獨立實施，也可幾個串在一起實施。我們用以問代答的方式，以問題帶領學生探索與思考。藉由第一部分實驗活動的探索，引起學生興趣與學習動機，以一連串的問題，引發學生回想舊有經驗，重新建構其背景知識，以歸納出擺的物理特性與建立共振的概念。第二部分介紹各種不同形式的擺動，一方面開啓新的視野，一方面引導學生反覆運用共振的概念；第三部分的各個實驗幾乎都是架構在共振的概念上，在熟悉了共振的各種應用之後，最後駐波的實驗帶領學生思考與釐清，這種因駐波所形成的共振和前面強迫振盪所形成共振有何異同。

這一系列活動適用於各級學生，對中小學生來說，可以幫助他們開闊視野、引起好奇心、透過 DIY 活動探索相關問題及建立背景知識。對高中生及大學生，則可幫助他們連結及重新統整已學過的各種相關知識，進而探討更深入的問題。對於物理教師，可以藉由此模式爲例，繼續延伸及發展相關教材。

在教學時建議不要太快講出答案，也不要一口氣作太多活動或塞太多東西給學生，而是在充裕的時間下，透過互動式的討論與思考，帶領學生一起探究及『學問』，也就是引導學生學習發現問題、學習問問題、學習探討問題以及學習如何解決問題等等。一位習慣於單向灌輸式教學的教師，要能忍住不把答案講出來並引起學生發問甚至討論，是不太容易的，這需要相當的時間來練習及體會，才能熟能生巧。當老師能透過教學的過程，觀察學生的表現、傾聽學生的想法、診斷出學生的迷思概念及學習困難之後，才能充分掌握製造認知衝突的技巧，並以『明知不講』而且『明知故問』的方式引導學生去思索[3]。能看到學生充滿學習興趣與熱情，主動積極的思考與討論物理問題，應該是致力物理教學的教師們所衷心期盼的。

誌謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會資助(計畫編號 NSC96-2511-S-182-002-MY2)，謹此敬致謝忱。感謝長庚電子系梁慈珊同學協助繪圖，更感謝兩位審查委員細心的指正與建議。

參考文獻

1. 中時電子報(2007)，網路開放教學 MIT 老教授勒溫爆紅，2007/12/21
2. 加州理工大學製作，科學的足跡(The Mechanical Universe)系列影片
3. 邱韻如(2002)：以認知衝突的教學策略營造問答互動的討論情境：大一普物『單擺實驗』的教學實務探討，發表於第 18 屆科學教育研討會(2002/12/13)
4. 邱韻如(2005)：在大一普物實驗課程中激發學生溝通討論及解決問題的能力－以單擺實驗及氣墊軌道實驗爲例，發表於 2005 物理教學示範研討會，國立中山大學主辦 (2005/2/1)
5. 邱韻如(2006a)：大一普物教學的迷思之我見我思，發表於物理雙月刊，28卷3期，2006年6月。
6. 邱韻如(2006b)：主題式系列教學活動之設計與實施－以大一普物實驗的示波器教學爲例，發表於2006中華民國物理教學及示範研討會，台北市立教育大學主辦(2006/8/18~19)
7. 馬文蔚、唐玄之、周永平編著(1995)：物理發展史上的里程碑，凡異出版社。
8. 楊正敏(2008)，強棒靠甜蜜點聚能轟出全壘打，新聞中的科學，聯合新聞網(2008/8/20 報導)
9. Alder,K.(亞爾德)著，張琰、林志懋譯：萬物的尺度：一個理想、兩個科學家、七年的測量和一個公制單位的誕生，貓頭鷹出版社。
10. Berg, R. E. (1991). Pendulum waves: A demonstration of wave motion using pendula, Am. J. Phys., 59 (2).
11. Crease, Robert P. (2003). The Prism and the Pendulum. (中譯本：蔡承志譯(2007)，如何幫地球量體重？—史上最美的科學實驗，貓頭鷹出版社。)
12. Flaten, J. A. & Parendo, K. A. (2001), Pendulum waves: A lesson in aliasing, Am. J. Phys., 69 (7).
13. Halliday, Resnick & Walker (2008). Fundamentals of Physics (extended), John Wiley & Sons, Inc.
14. Sites, K. High Wire Act. http://potw.news.yahoo.com/s/potw/63302/high-wire-act/

Teaching Approaches through Questioning: A Series of Inquiry-Based Activities about Pendulums and Resonance

Yun-Ju Chiu [1]　Yu-Nien Su [2]　Jung-Yu Lo [2]
[1] Chang Gung University
[2] Hu-Wei Senior High Shcool

Abstract

This study integrated multiple activities into a theme focused on pendulums and resonance. It was organized and introduced during a workshop at the 2008 Conference of Physics Teaching and Demonstration.

This module is divided into three major parts under the headings: *The Secrets of Pendulums*, *The Dancing of Pendulums*, and *From Oscillation to Resonance*. Each part has six or seven activities and each activity can be conducted in class independently. This does not mean that the activities are isolated from each other. On the contrary, there are multiple crosslinks connecting the various parts and activities.

The basic idea is to provide a framework for further development, starting with mostly simple and inexpensive do-it-yourself activities, using recycled and low-cost materials. These interesting and informative activities will help attract students. Most demo experiments to enlighten students are easy to prepare. Some demo apparatuses to enhance more understanding were designed and made by the TEAL team in Hu-Wei Senior High School.

The instructional strategy is not to give or show answers directly but to lead students to have thoughts and questions from DIY activities and demonstrations. The design of the modulus is based on a constructivist view of learning. It provides a planned sequence of instruction that places students at the center of their learning experience, encouraging them to explore, construct their own understanding of scientific concepts, and relate those understandings to other concepts.

The proposed activities are only some examples of ways to link the concepts of pendulums and resonance. The most important point is to inspire teachers to explore new possibilities and to come up with new ideas.

Key words： Misconception, Inquiry-based activities, Physics, Pendulum, Resonance.