

有趣的雲霄飛車在力學教學上的示範

陳義勳 教授

臺北市立教育大學科學教育研究所

(投稿日期：94 年 11 月 7 日；修正日期：94 年 11 月 16 日；接受日期：94 年 11 月 21 日)

摘要

公元 2000 年之後，世界各國莫不卯足全力提升國家在全球之競爭力，台灣資源不算豐富，又地狹人稠，唯一優勢乃地處西太平洋交通要道，台灣要 0 如何提升競爭力，使國家與世界接軌，開發人的潛能及以創造思考發展科學與科技，乃當務之急，政府先後在教育上進行九年一貫課程的實施，其中包含七大領域，十大基本能力，欲培養學生帶得走的能力而不是背不動的書包，其中自然與生活科技便是七大領域之一，如何培養學生有帶得走的能力？本作者嚐試融合創造思考於科學活動中，且接受學者 Sternberg 的觀點，認為創造思考是可以培養的，設計科學活動：創意科學遊戲的組裝式科學活動，參加「探索物理」活動的甄選，被錄取並於九十四年七月一日到八月七日公開展覽，發表此物理教學示範以達九年一貫課程中自然與生活科技領域所強調之精神，為配合提升國家競爭力之目標，本文所屬之物理領域涵蓋 (1) 運動學 (2) 流體力學 (3) 動手做的科學活動，希望闡述之物理定律及原理解說含機械能 (力學能) 守恆定律、動量不減定律及理想流體力學的柏努利定律，故提出此論文。

關鍵詞：國中、國小、創造思考、科學活動

壹、文獻探討

一、研究計畫之背景及目的

「科學」可以啟迪人類的智慧，改進人類生活，一般來說：創造力 (creativity) 愈強的人，其在專門領域的成就也愈高。九年一貫課程強調七大領域及十大基本能力，其中自然與生活科技乃是七大領域之一，台灣要與世界接軌，且要發揮台灣的優勢，創造力的開發是當務之急，如何將創造思考融入課程是非常重要的環，本研究主持過教育部科學活動專案，並主持國科會科教處大眾科學專案，深覺如能將創造思考融入大眾科學，激發國、中小學生的科學創造力，當可結合九年一貫課程，發揮事半功倍之效。雖然沒有一位學者確切定義創造力是什麼？但人們可以藉此“領會”創造力是什麼？它也趨向現象之核心與邊緣之定義。

Sternberg 在 1985 (Sternberg, 1985) 年研究發現創造力與智慧具有相關性，依照 Sternberg 研究，創造力具有：

- (1) 無堅守陳規的約束 (lack of conventionality)
- (2) 統整與智力 (integration and intellectually)
- (3) 審美的品味與想像 (Aesthetic taste and imagination)
- (4) 決定的技巧與彈性 (Decisional skill and flexibility)
- (5) 敏銳的洞察力 (perspicacity)
- (6) 完成與被承認的驅動力 (Drive for accomplishment and recognition)

專家非常重視“想像與原創性”的成份。例如：物理教授強調“發明”、從混亂中找秩序、有能力去探尋基本原則、問題解決 (近似解、速解、超越標準方法) 找出事物發生之理由。

雖然創造力的風格層面含有 (一) 自我管理的功能；(二) 自我管理的形式；(三) 自我管理的層次；(四) 自我管理的範圍；(五) 自我管理的傾向，但本大眾科學研究重視自我管理層次之統整型。

本作者參照中外學者之論點，傾向創造力是可以培養的，故企圖引入科學活動來激發學生的科學創造力，故提出本計劃。

二、科學教育理論

又依 Piaget 的理論，6、7 歲至 11、12 歲的學童正是具體操作期，藉著具體的科學活動使學童因具體操作而更深入了解科學之概念，則科學即顯得生動活潑，至於 12 至 15 歲，是屬於國中階段的抽象思考期 (運思操作期, Abstract thinking operation period)。而兒童對遊戲的喜好來自於人的天性，所以本計畫著重於從兒童興趣與生活經驗及引發創造思考方向取材，透過探索及嘗試，探究科學原理，統整科學活動，以培養學童對科學的興趣，期能提升學童的科學創造力。本計畫包含二項活動：(一) 創意科學遊戲的組裝式及科學活動、(二)

創意交通工具。活動進行方式則以實驗遊戲與實驗原理相互融合和驗證，在戶外或室內合適地點進行，期以產生高度效果。又本大眾科學案藉著科學競賽活動，可以提昇學生對科學的興趣。學生藉著科學活動及實際動手操作產生了臨場感，不但可以引起學生注意，並培養學生實作及創造思考的能力，進而又能達到九年一貫課程七大領域中自然與生活科技領域所強調之精神。

依 Science—A Process Approach (SAPA) 強調 13 stations：如實驗、應用時空、應用數字、推理、觀察、傳達、控制變因、預測、下操作型定義…等等，當學生針對某一主題產生興趣而欲研究其原理，解決其疑惑，這使學生進入 Ausubel 之有意義的學習 (Meaningful Learning) (Ausubel, 1968)。

又教學上最可貴的兩個動機是好奇趨力和好勝趨力，教師必須知道如何應用它，並保持這些動力，使兒童一直願意主動學習求知；而教學中「增強原則」主張兒童在學習時是主動的、自發的、因好奇而求知、因好奇而活動、因活動而使好奇心得到滿足，以後對於求知活動也產生增強的作用。布魯納的增強原則是內發的，而不是外塑的，基於此一原則，讓兒童在學習活動中，自己發現原理原則，因感受而理解，因認知而自我滿足，從自我滿足中產生增強的作用 (張春興、林清山，1981)。學生要主動投入學習的歷程；教師提供問題、情境、物品與現象，使學生好奇並尋求問題的解決，自己探究、思考、操作與試驗，甚至以直覺思考，到最後發現及了解科學知識結構 (黃光雄、楊龍立，2000)。而以科學活動和遊戲來進行科學學習正好能滿足這些原則和理念。

Vygotsky (1978) 認為兒童的心智發展有兩種層次。第一種發展層次是實際發展層次，另一種發展層次是由兒童在教師、同儕的幫助下能夠完成的事情來決定，這兩個發展層次之間的差距就是潛在發展區，即 ZPD (Zone of Proximal Development)。Wood, et al. (1976) 延伸潛在發展區的概念，提出鷹架理論。Wood 等人認為鷹架就是幫助學童或生手去解決某個問題、執行某項工作以達到目標的過程。成人所提供的鷹架，可以是任何工具或教學策略。例如：科學玩具和遊戲就可以是小朋友科學學習的鷹架。

無論從 Bruner 所主張的教學原則和發現探討教學法、Vygotsky 的 ZPD 觀點、鷹架理論和同儕學習觀點來看，透過科學玩具和遊戲來學習科學是可行的，這樣的學習可以彌補制式教育的某些盲點，顯而易見，期盼為科學學習闢另一扇窗 (陳義勳，1994)。

本大眾科學之科學活動秉著 Sternberg 創造力之理論設計，兼具合乎 SAPA 13 站之原理，當然也兼容並蓄地引入 Vygotsky 之 ZPD 及 Bruner 的發現探討教學法原理來設計，達到科學所欲強調的科學精神、科學方法、以及科學態度。

貳、本文設計概念

有趣的雲霄飛車之設計本作者積數十年在國中、大學教學經驗，累積教學心得，非常認同 Gagné 的科學十三站科學過程、Dewey 的做中學” Learning by doing” 及” hands on

activities” 將物理一些原理諸如①機械能守恆 (conservation of mechanics energy)、②動量守恆 (conservation of linear momentum)、③流體力學 (fluid mechanics) 的柏努利定律 (Bernoulli' s equations) 融入到此設計中，以求對學生學習有所助益。

本設計首先，推動鋼珠順著凹槽滾下來，依機械能不減定律，高度遠大於圓周半徑 2.5 倍以上，鋼珠就可以安全通過圓周的最高點，又當鋼珠滾到水平處，由於鋼珠撞擊到平放的兩鋼珠，而兩鋼珠依動量不減且分別被撞，分別以初速 V ，順著左右兩支軌道下來，左支軌道下來撞到汽球膜，鼓膜受力而將內部的氣體推出，依流體力學原理 (柏努利定律)

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \rho gh_2$$

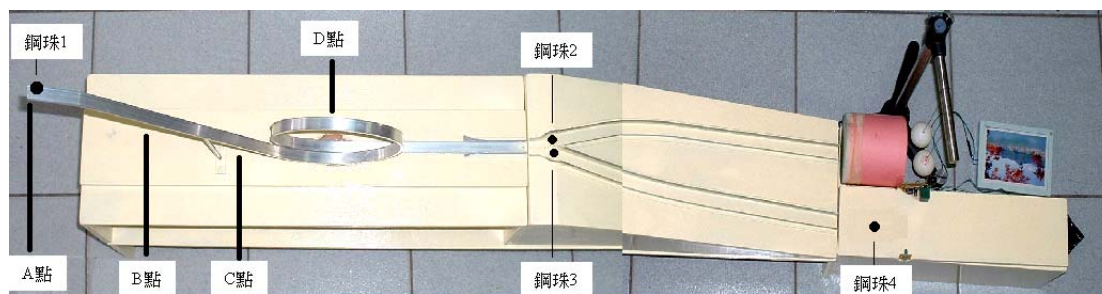
當 $h_1 = h_2$ ，流速快則壓力小，致使垂吊的兩乒乓球會相互靠近，右支的鋼珠滾下來推動小車，通過光電管感應而使 IC 音樂晶片啟動，則有美妙的音樂的播放，學生藉著動手操作可以看到一些物理現象，可以說寓物理概念於遊戲。讓學生的動手操作來體驗物理的概念及原理。

叁、設計的儀器簡介

展出整體尺寸，使用材質及主要組件

- 材質：主體部分：● 木材
 軌道部分：● 鋁條
- 主要零件：● 軌道
 ● IC 音樂晶片
 ● 用以被撞擊的汽球膜
 ● 光電感應器
 ● 乒乓球

設計圖如下頁圖示：

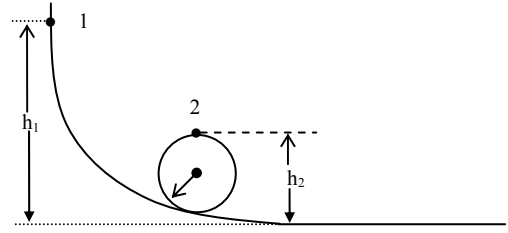


肆、物理原理

利用機械能守恆原理

$$E_{k1} + U_1 = E_{k2} + U_2$$

$$\frac{1}{2}mV_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mV_2^2 + mgh_2$$



利用物體由 1 號點運動到 2 號點，位能的減少轉化成動能的增加

$$\frac{1}{2}m \cdot 0^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mV_2^2 + mgh_2$$

$$\frac{1}{2}mV_2^2 = mg(h_1 - h_2)$$

$$V_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

又要物體（鋼珠）安全通過 2 號點，需要離心力大於或等於重力

$$m \cdot \frac{V_2^2}{r} \geq mg$$

$$\therefore V_2 \geq \sqrt{gr}$$

$$\frac{1}{2}m \cdot 0^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mV_2^2 + mgh_2$$

$$mg(h_1 - h_2) = \frac{1}{2}mV_2^2 \geq \frac{1}{2}m(gr)$$

令 $\Delta h = h_1 - h_2$

$$\text{則 } \Delta h \geq \frac{1}{2}r$$

$$h_1 = \Delta h + 2r \geq 0 + 2.5r$$

通常雲霄飛車中 h_1 恆大於 $2.5r$ ，才有可能安全通過雲霄飛車圓圈軌道的最高點。

又依動量不減定律

3 號點速率 V_3

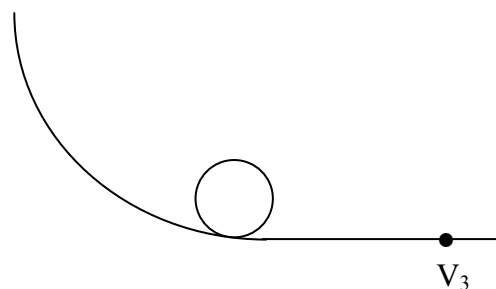
依機械能不減及動能不減定律

$$\frac{1}{2}mV_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mV_3^2 + mgh_3$$

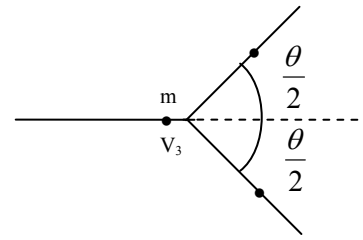
$V_1 = 0$ 又令 $h_3 = 0$

$$mgh_1 = \frac{1}{2}mV_3^2 \Rightarrow V_3 = \sqrt{2gh_1}$$

如右圖所繪



依設計圖上視圖右端分析如下：



$$\frac{1}{2}mV_3^2 = \frac{1}{2}mV^2 + \frac{1}{2}mV^2 \text{ ----- ①}$$

$$mV_3 = mV\cos\frac{\theta}{2} + mV\cos\frac{\theta}{2} \text{ ----②}$$

由①知 $V^2 = \frac{1}{2}V_3^2 \text{ ----- ①'}$

由②知 $V_3 = 2V\cos\frac{\theta}{2} \text{ ----- ②'}$

$$V = \sqrt{\frac{V_3^2}{2}} \Rightarrow V_3 = 2\sqrt{\frac{V_3^2}{2}} \cdot \cos\frac{\theta}{2}$$

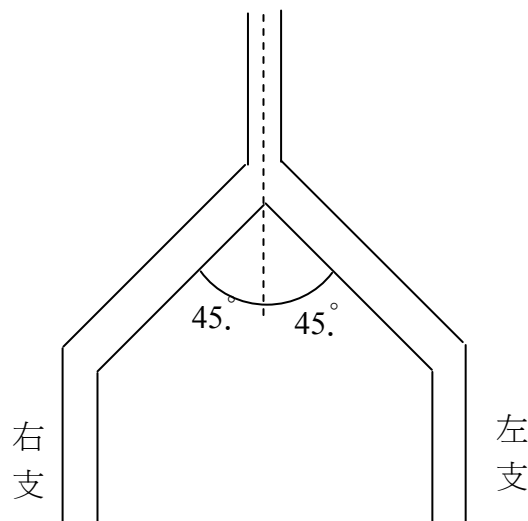
$$\Rightarrow V_3^2 = 2V_3^2\cos^2\frac{\theta}{2}$$

$$\Rightarrow \cos^2\frac{\theta}{2} = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow \cos\frac{\theta}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

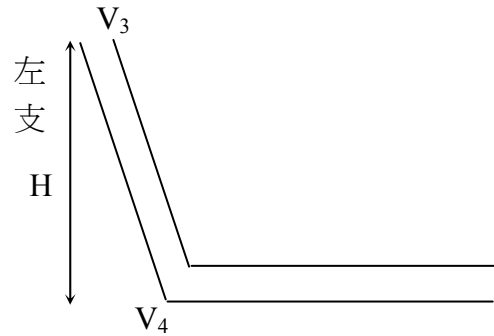
$$\Rightarrow \theta = 2\cos^{-1}\frac{1}{\sqrt{2}} = 90^\circ$$

設計圖下視圖右端部分



當兩物體（鋼珠）以 V_3 的速率分別與角平分線夾 45° 角，兩鋼珠在彎曲軌道滾動，再經過一個 H 的高度落差使得鋼珠以 V_4 的速率去撞擊汽球膜，汽球膜壓縮桶內的氣體，氣體順著漏斗的小嘴吹過懸垂的兩個乒乓球時，會因流過的氣體速度快、壓力小，使得兩乒乓球靠在一起。另一側的鋼珠則滾過光電管，使得音樂盒因而開啟開關並播放音樂。

$$\text{當中 } V_4 = \sqrt{2g(H + h_1)}$$



本文設計出的物理教學示範可以達到（一）讓學生動手操作（二）檢驗深奧的物理原理與定律（三）激發學生的創意等達到寓物理於樂之目的。

參考文獻

- 張春興、林清山（1981）：教育心理學。台北市：東華書局。
- 陳義勳（1994）：介紹國小教師進修課程的兩個物理實驗，市師科學教育季刊第二十期。台北市立師範學院科學教育中心發行。
- 黃光雄、楊龍立（2000）：課程設計：理念與實作。台北市：師大書苑。
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart, & Winston.
- Bourg, D. M. (2001). *Physics for Game Developers*. O'Reilly, UK.
- Chen, I-shin (2005). *The hands-on activities through science toys*. The ICASE International Workshop on Promoting Scientific and Technological Literacy Through Science Toys and Out-of-School Science Activities. April 4-7, 2005.
- Sternberg, Robert J. (1985). Implicit theories of intelligence, creativity, and wisdom. *Journal of Personality and Social Psychology*, 49(3), 607-627.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Wood, D. J., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17, 89-100.

The Study of Demonstration for Applying Roller Coaster in Science Teaching

I-shin Chen

Graduate Institute of Science Education, Taipei Municipal University of Education

Abstract

The goal of the study is to develop the scientific equipment which is helping the students' science learning. The new educational curriculum system of Taiwanese government for elementary school and junior high school level based on seven fields and ten abilities of natural science and life technology course. In order to reach the standards of the curriculum, the author tried to develop the dynamics, fluid mechanics, and hands-on science activities for that course. The paper is based on creativity of science, especially on science learning by following up Sternberg's theorem. The complete roller coaster designed by the author is set up for the specific science teaching and learning.

Key words: Dynamics, Fluid mechanics, Hands-on science activities.