

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學科

080810

騰雲號-雲霄飛車

學校名稱： 桃園縣中壢市林森國民小學

作者：	指導老師：
小五 張畧	林天誠
小五 藍敏之	陳麗芬
小五 歐瑞智	
小五 陳揚	
小五 葉上群	
小五 楊琚茹	

關 鍵 詞：重力(地心引力)、雲霄飛車、離心力

作品名稱 騰雲號－雲霄飛車

摘要

雲霄飛車，多麼令人喜愛的一項遊樂設施，當大家玩起來快樂起勁，說起來頭頭是道，我們更想親手打造一座雲霄飛車，體驗並加以控制地心引力。

我們在建造及操作中驗證如何對抗地心引力，而保持在頭下腳上的半中空不會墜落。又轉彎時可以利用傾斜來平衡力量的作用，而不致於飛出彎道。

整個研究從尋找車子和軌道開始，設計、製造、修改、取捨、放棄、重建到完成，整個 DIY 歷程，是向來很少動手做的我們很棒的一次體驗。在建造過程中，對於重力和雲霄飛車轉彎時的各種力量之間的關係，有了更深的了解，學到了好多的知識及經驗。

壹、研究動機

遊樂場裡，雲霄飛車是不可少的驚險刺激項目。校外教學時，我們玩了一趟又一趟，真是樂不思蜀啊！回到校後，有同學提議何不動手建造一座雲霄飛車時，馬上贏得大家一致的同意，連從來不敢踏上雲霄飛車的同學也都要求加入，於是成立了建造「騰雲號」的六人小組。

雖然其中許多的科學原理不了解，但是我們知道雲霄飛車之所以刺激，大多是地心引力在幕後主使，這在五下自然「力的世界」中也有提起。伙伴們認為，古人發明輪子時想必也還不知道「圓」的所有科學原理吧！所以，當老師們知道了我們的想法時，他也認為台灣的小孩子缺乏動手做的好習慣，鼓勵我們先不要預想會有什麼困難，就邊做邊設法解決問題吧！

果真，當我們開始動手做，才發覺「想的」還真容易，開始動手做時，問題就一一浮現出來。從一開始要找出合適的「車」和合適的「軌道」，就傷透了腦筋，我們在教室後面的另一組玩具中找到了鋼珠做為車子，又有成員是在望著水族箱發呆時，想到了何不以打氣的矽質軟管對剖來做成軌道呢！從此展開了我

們建築工程了。

貳、研究目的

我們從組員畫的設計圖中發現雲霄飛車不外忽是上下起伏、左右旋轉等二個動作的組合。在經過幾番討論後，決定這次研究的目的有以下三點：

第一，就是要合作打造一座包含幾個絕對不能少的動作：「360度上下迴旋」、「橫向旋轉」的雲霄飛車。而在製造過程中，我們發現有三個要考慮的部分：1.就是要找出可以搭配的鋼珠與軌道；2.就是要找出方便加工，又足夠堅固、穩定的支架；3.製造過程如何安排，過程中的問題及改進。

第二，從我們的騰雲號中了解當雲霄飛車上下繞圈時，球是如何不會從倒轉的軌道中掉下來。

第三，從我們的騰雲號中了解當雲霄飛車左右轉彎時，該如何做球才不會脫離軌道而從彎道中飛出去。

參、研究設備及器材

台子：拼合塑膠地墊

雲霄飛車：鋼珠

軌道：矽質軟管

支架：氣球柱、盤（腳）

工具：美工刀、剪刀、竹筷、熱熔槍（膠）

肆、研究過程或方法

一、 打造騰雲號：

「騰雲號」雲霄飛車的基本設備是需要一輛合適的車子和供滑行的軌道。而我們使用「鋼珠」來代替雲霄飛車，同時使用魚缸打氣的矽質軟管剖半來做為軌道，從此，就有幾個需要解決的

問題出現了：用多大的軌道來導引鋼珠做出一系列的動作；用什麼來支撐軌道；用什麼合適的接著劑；該如何打造……等等。

（一）軌道與支架：

1. 軌道：

鋼珠與軌道之間該如何搭配，才能讓鋼珠滾得順又快？小組經過討論後，認為鋼珠與軌道之間尺寸的搭配有以下三種可能（圖 1）：

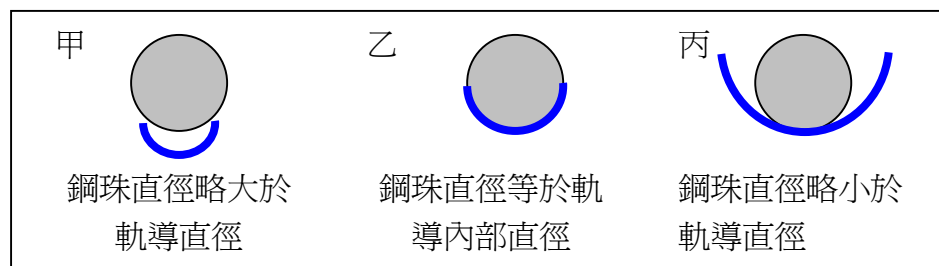


圖 1 鋼珠與軌道搭配圖

我們透過實驗，找出滾動又穩又快的搭配，實驗是以下圖（圖 2）的裝置來測量不同的軌道：

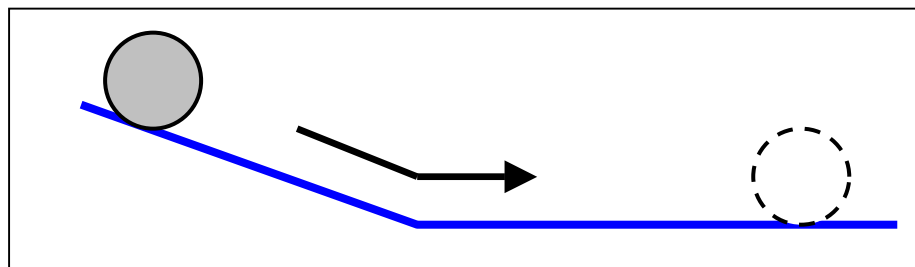


圖 2 軌道系統測試圖

我們將三種軌道以相同的傾斜角度測試同一顆鋼珠，在相同的高度上滾下來後，測量停止的距離。

因為預期作品不是那麼的精細，當鋼珠以高速滾動時，有可能會脫軌而掉落，所以，除了測量阻力最小的軌道系統外，還要由成員們以目測的方式評析軌道的穩定度，做最後的決定。

2. 支架：

爲了支撐軌道，並能製造各種動作，需要有合適的支架。而組裝支架時，爲了能用較少的材料，並且足夠的強度，我們運用數學課所學「三角形是最穩固的形狀」原理，也是許多橋樑、建築物所使用的三角形方式來搭建。而在蒐集了竹條、木條、鐵絲和塑膠棒時，決定測試一下：1. 剪斷；2. 彎折；3. 黏著；4. 三角形搭建輕便等性質，來選出最佳支架。

（二）打造工程：

決定了「車輛」、「軌道」與「支架」後，當要開始搭建時，我們卻發現，不知道要從哪兒開始？老師看到我們楞在那兒的模樣時，笑著說：「怎麼？玩，好玩；想，容易；要做可就不是那麼一回事了？」哼！我們苦苦相逼之下，他也才承認：「老師也沒領有建築師執照。」什麼跟什麼嘛？這下我們只好自己摸索，並以記日記的方式來記載我們的搭建及改進方式。

討論後，我們決定：1. 照著設計圖（圖3），順著起點一路打造到終點，並且先做支架，再把軌道安裝上去，最後是試車、修改到確定完工。2. 若工程遇到阻力，則以先改進打造技術開始檢討，再檢討工程順序，再檢討設計等順序來進行檢討修正。老師聽了也大表贊成，還說我們這樣做叫做「行動研究」。

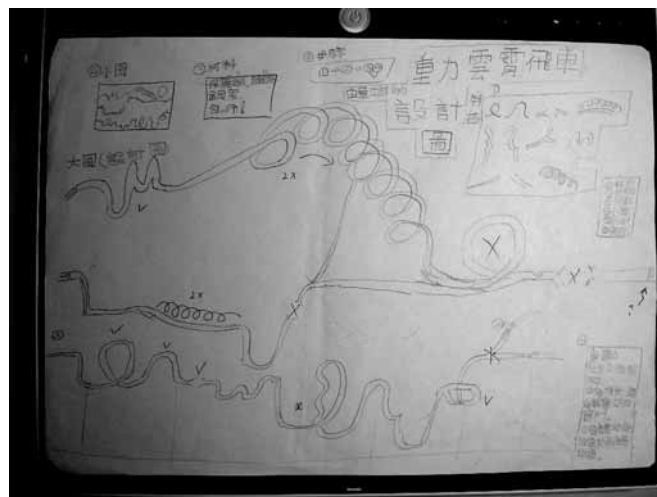


圖3 騰雲號設計圖

二、 直立圓周運動：

當雲霄飛車上下繞圈時，最精彩的就是當頭下腳上時，車子及車內的乘客並不會掉落，這是啥原理？愛讀書的同學一下就講出一堆什麼「離心力」「向心力」的玩意兒，但我們卻是什麼也聽不懂，最後我們就說，讓那些學問等長大一點再學囉！而我們現在的問題是：打造時不知道該繞多大的圈？也不知道該從多高的地方開始出發？

師大黃福坤教授的一個網站告訴我們，雲霄飛車要能在繞圈時，上下顛倒還不會掉下來，必須要能符合特定公式的計算。看不懂公式的我們只知道一件事，就是「鋼珠的起始高度必須大於 2.5 倍圓軌道的半徑」（圖 4），於是我們要來測試真的 2.5 倍嗎？我們以圓半徑的 2 倍開始，每增加 1 公分測試五次，直到找到鋼珠能完整繞圈的最小起始高度。至於，騰雲號要跑完全程，到底需要從多高的地方出發呢？我們也決定以相同的方式找出來。

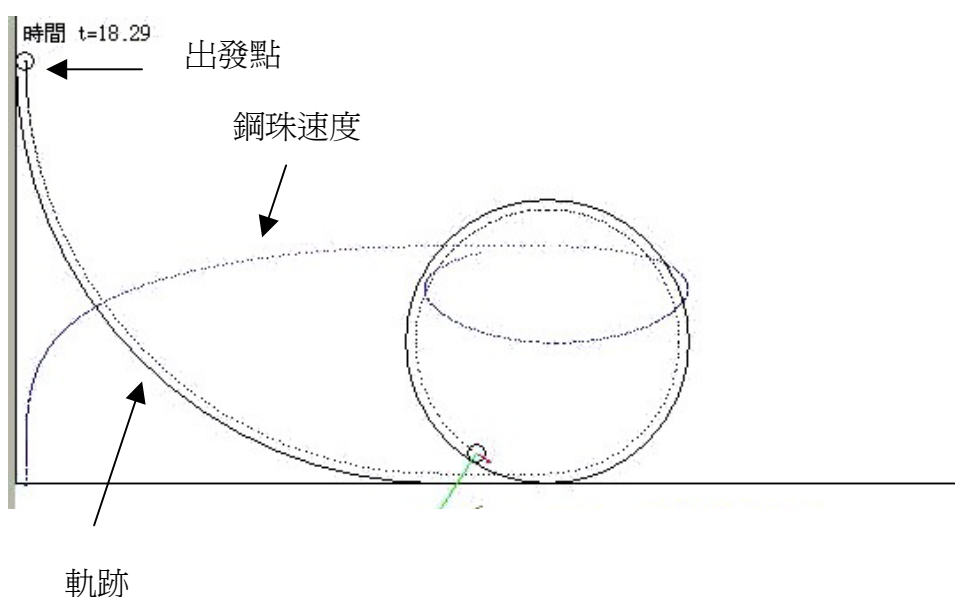


圖 4 雲霄飛車的物理

（摘自 <http://www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/circularMotion/index.html>）

三、 轉彎：

轉彎時，若軌道不做適當處理，鋼珠很容易向外飛出去，那

麼該做怎麼的處理呢？我們從騎摩托車經驗知道，在轉彎時軌道必須向轉彎的內側做傾斜。但是該多斜？又運用的是什麼原理呢？又有人再次提出了「離心力」「向心力」的新知識，也再一次的考倒了我們。不過，既然親手打造了，我們決定驗證一下書本的知識，看是不是軌道一定要向轉彎內側傾斜鋼珠才不會飛出去？我們將軌道做以下三種處理，實驗何者才能讓鋼珠順利轉彎（圖 5）：

1. 向轉彎內側傾斜。
2. 向轉彎外側傾斜。
3. 不傾斜。

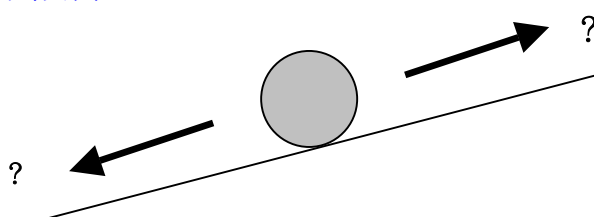


圖 5 轉彎軌道的傾斜圖

伍、研究結果

一、 打造騰雲號：

（一）軌道與支架：

1. 軌道：

鋼珠與軌道該如何搭配，才能讓鋼珠滾得順又快？我們經過從仰角 20 度的斜坡上往下滑的測試（表 1）後，發現鋼珠與軌道搭配組合甲的速度最快，滾得也最遠；鋼珠與軌道搭配組合乙的速度最慢，停得也最近；而鋼珠與軌道搭配組合丙的速度和距離僅次於甲。根據測試結果，決定使用軌道直徑比鋼珠稍小的軌道。

表 1 鋼珠與軌道搭配組測試表（直線）

鋼珠與軌道搭配種類	滾下的速度	滾 下 的 距 離 (cm)
甲 鋼珠直徑 大於軌導直徑	快	43
乙 鋼珠直徑 等於軌導直徑	慢	24.5
丙 鋼珠直徑 小於軌導直徑	快	39

直線軌道測試最佳的甲組合行，轉彎時是否仍然為最佳組合？我們將軌道末端以相同的方式左轉測試結果如表 2：

表 2 鋼珠與軌道搭配組測試表（彎道）

鋼珠與軌道搭配種類	滾下的速度	滾 下 的 距 離 (cm)	其 他
甲 鋼珠直徑 大於軌導直徑	快	43	易飛出去
乙 鋼珠直徑 等於軌導直徑	慢	24.5	不會飛出去， 轉彎時，速度 降低明顯
丙 鋼珠直徑 小於軌導直徑	快	39	軌道內搖晃， 不會飛出去

綜合測試結果，決定以直線表現其次，但轉彎表現較佳的丙組合（鋼珠直徑小於軌導直徑）為最佳首選。

2. 支架：

為了選出最佳支架，我們從找到的材料中測試：1. 剪斷；2. 彎折；3. 黏著；4. 三角形搭建輕便等性質，來做綜合評估，評估記錄如表 3：

表 3 軌道加工測試表

軌道種類	剪	彎曲定型	黏著	三角形搭建
竹條	難，易有絲	彈性佳	易	易
木條	普通，粗的不好剪	彈性較差，易折斷	易	普通
鐵絲	可，需用老虎鉗	可，但是圓弧製作不易，容易因外面的力量而變形。	難找到合適方式黏接	難
塑膠棒	佳	易	易	易

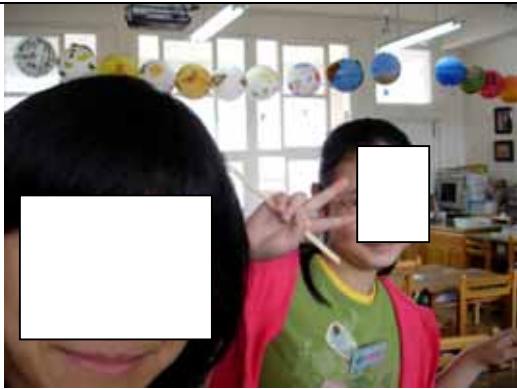
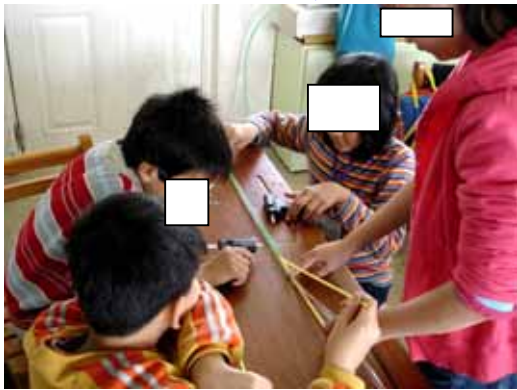
綜合上表，可以發現在各項測試中，塑膠棒是最好加工的材料，但是，大家心中都有個問題：那就是看起來好像不夠堅固，不過，在實際搭建中們發現塑膠棒一直都是很能勝任的一種材質。

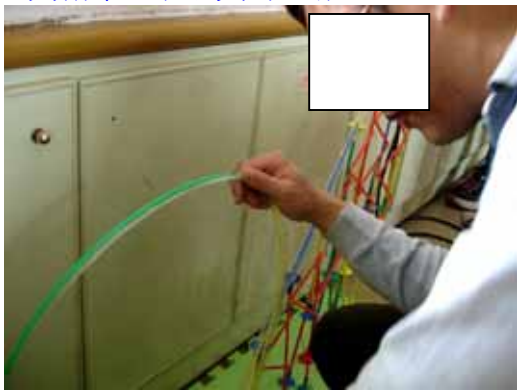
（二）工程紀錄：

由於我們是邊做邊檢討改進，因此，當遇到困難時，就得停工討論，甚至不斷地拆掉重建，也在這樣的討論下，我們成為了小小建築師，每位成員都有滿口的經驗談。以下是整理的重要日記，也是我們這一次研究的寶貴經驗與心得（表 4）。

表 4 工作日記整理表

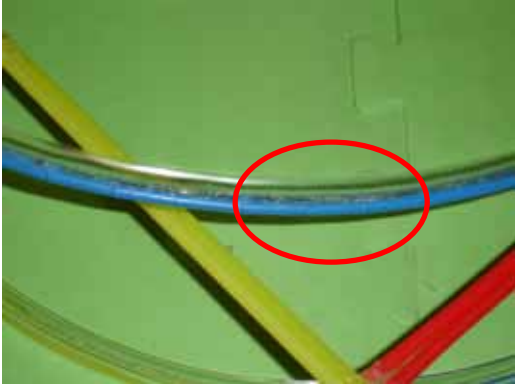
日期	主題	內容
95.02.	切割水管	我們終於找出一種切得又平又順切割方法，能將塑膠水管對半剖開來。那就是在美工刀片的左右兩側，各以一根竹筷子夾住，並將兩根筷子塞入水管中，然後將水管順著竹筷子向前滑到美工刀處，切割開來。

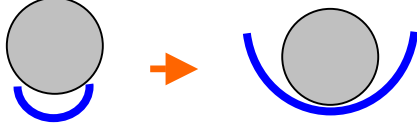
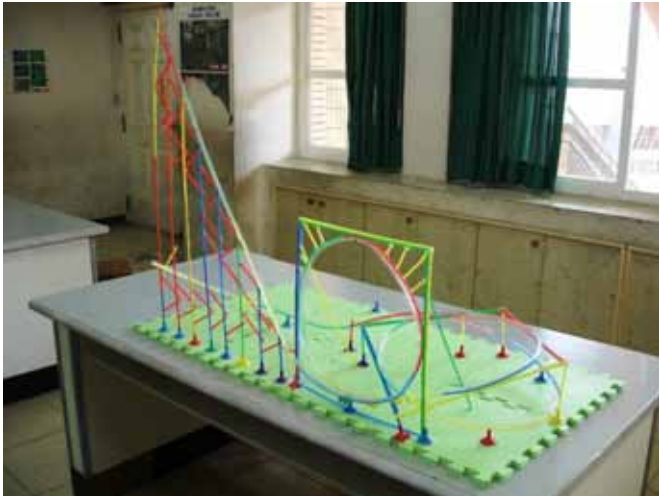
		 後者同學手上竹筷，是切割的祕技
95.02.	軌道固定	塑膠管容易變形扭曲，施工不易，我們決定試試看，先在水管的背後黏上一條塑膠管，讓水管乖一點，可是大家的技術……，熱熔膠沾得到處都是，而且，黏得歪七扭八的。
95.02.	軌道固定 (part 2)	○○真厲害，他發現一種最新焊接技術：將熱熔槍平行軌道上膠，果真黏得又平整又漂亮。  新技術：將熱熔槍平擺上膠  看，又平又整
95.02.	三角形構造	塑膠支架，容易搖搖晃晃，又對不齊，大家想盡了各種的複雜方法後，○○指著數學課的三目形說：「老師不是教過我們三角形是穩固的形狀嗎？……」，大家也在互笑取笑對方，我

		們都知道，竟然，想了那麼久……  第一代骨架
95.03.	好失望…	當我們從第一個下坡一路建造下來，發現製造 360 度直立迴圈時，一直沒辦法克服軌道扭曲的問題，鋼珠一直飛出軌道外，連老師來了，也束手無策，大家面色凝重……  手握著 360 迴圈，老師無語
95.03.	拆了又拆	軌道被我們整得一塌糊塗，大家又得全部拆掉重黏，心情真不好，○○氣到跑出去打球去了。  當大家心情不好時，○○一個人在慢慢的修理軌道
95.03.	改變施工程序	老師和我們坐在一起開會，大家做出了重大的決定，放棄我們原先做的工程，先將最難做的

		360 大迴圈做好，再回頭做出發的下降斜坡和其他的部分。今天，大家好早就喊累，要回家了……
95.03.	軌道支架大修改	原本軌道和支架間有許多的大圓盤，可能是爲了堅固著想。但是，一直發現它是使軌道不穩定的原因，既然都要重做了，想想何不試試將軌道直接安裝在支架上，不再配置大圓盤了。  原來的軌道下面有許多大圓盤  新的軌道下面不再有大圓盤
95.03.	可愛的框框	一直以來的問題：要如何架起直立的 360 迴圈？上星期有了個新構想，男生們想說先做一個正方形的框架，再把軌道圈繞在裡面……反正死馬當活馬醫吧！沒想到，似乎果真比之前我們遇到的困境好的多了，真是個可愛的框框啊！

		 360 迴圈新希望，可愛的框框
95.03.	再遇困難	軌道在 360 迴圈上依舊呈現扭曲的情形，只是範圍小很多了，○○發現怎麼原本 ok 的塑軟管在迴圈裡好像變長了？而變長的結果，就是左右扭曲。天才老師，他竟然將水管剪斷了，還說要研究研究，害我們只得將備用軌道拿出來，整條換上，嘿嘿！老師乖乖在旁邊哄我們重新修理，可是，究竟是什麼原因呢？我們從觀察中認為一定跟迴圈有關，要如何克服呢？……看來我們本來還想做許多動作的，現在大概只能做些基本動作了。
95.03.	軌道繞圈	○○帶了一截軌道回家要找出問題的原因，他在爸爸的協助下發現了一個重要的線索，原來是原本直線的軌道，繞圈時，軌道一直在內圈，繞得是比較小的圓，而軌道背後的塑膠條卻是繞比較大圈，所以，形成的內外的誤差，因此比較軟的軌道就迫向左右扭曲了。大家這回可就恍然大悟，那麼……有人主張重新再將軌道黏直接黏成圓圈；有人主張從原有軌道改進；我們決定將軌道後面的塑膠管每隔兩公分割一條縫，軌道似乎也因此變得柔軟多了。

		 軌道背塑膠管切開使軌道容易彎曲
95.03.	水平轉彎	有了直立 360 度迴圈的折騰，水平的轉彎大家就都有了經驗，立該就有人喊出，再做一個框框。想不到直立的做了將近一個月，而水平的卻只花了兩個下午。大家都笑開了。  再造一個框，水平的轉彎就要出來了
95.04.	重大的決定 - 車輛	眼看騰雲號逐漸成型，可是測試總是時好時壞，原因是，原先所選定的鋼珠和軌道的組合，實在是太不穩定了，尤其是當鋼珠從高處往下滑時，那速度，使得軌道只要有一點點不平，它就有可能成為「自由落體」往下墜落了。  聚精會神做測試

		大伙聚在一起，我們又做了一次重大的決定，改採第二方案，選擇半徑比軌道小的鋼珠來測試，說實話，我們好像用軌道將車輛給包了起來，成功率增加了，但成就感也減少了。 
95.04.	終於完工了	在歷時兩個多月的努力後，我們終於成功了，耶！  騰雲號雲霄飛車

二、 直立圓周運動：

當鋼珠從高處往下衝，速度逐漸加快。開始繞圈時，速度卻隨著高度的升高而逐漸降低，到達最頂端時最慢，直到繞過了頂端開始再次往下滑時，速度也再次增加。

從操作台灣師範大學黃福坤教授設計的網路模擬的軟體了解 (<http://www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/circularMotion/index.html>)，理想的出發位置高度至少要是繞圈圓的半徑的 2.5 倍。我們的直立迴圈半徑是 17.5 公分，也就是說，出發的位置至少是在離迴圈最低點 43.75 公分處。可是實驗發現鋼珠的出發處，並不是那麼的剛好，以下是我們的測試的結果（表 5），每個出發高度都測試五次，以開始大量成功繞圈的出發高度為最低出發點：

表 5 鋼珠繞圈測試紀錄

出發高度 (cm)		48	49	50	51	52	53	54
成功次數	60 度				4	4	5	5
	70 度			1	5	5	5	5
	80 度			3	4	5	4	5

繞圈半徑：17.5 公分

當我們的鋼珠在高度 51 公分（迴圈半徑的 2.91 倍）處時，比較順利繞過迴圈，我們判斷那是鋼珠最低的出發高度。不過，若要做完許多的動作，需要繞完圈後能有更高的速度，那麼出發的高度還需要更高。

三、 轉彎：

從我們的經驗，發現當雲霄飛車轉彎時，就像摩托車轉彎時一樣，會向轉彎內側傾斜。然而，雲霄飛車是被固定在軌道上的，或許傾斜只是爲了要製造效果而故意那麼做的。所以，我們以一截軌道來測試一下轉彎時，當軌道：1.向轉彎內側傾斜；2.保持水平；3.向轉彎外側傾斜。看看，鋼珠是否能順利轉過去，表 6 是測試結果紀錄：

表 6 鋼珠轉彎測試紀錄

轉彎時軌道傾斜	向內傾斜	保持水平	向外傾斜
低速	4 次轉過去 1 次掉下去	3 次轉過去 2 次飛出去	5 次飛出去
高速	5 次轉過去	1 次轉過去 4 次飛出去	5 次飛出去

從實驗中證實，雲霄飛車在做轉彎時，需要隨著速度調整軌道向轉彎內側傾斜的角度，才不致於使鋼珠失控飛出去，或是往下掉落。

陸、討論

有許多的科學原理，我們都聽過，卻沒有足夠的知識理解，放掉那些頭疼的定理，我們從過程中有了好幾項有趣的發現，一一加以探討：

一、鋼珠與軌道的組合：

在測試鋼珠與軌道之搭配時，我們發現鋼珠的半徑稍微比軌道半徑大一點的組合時（圖 1，組合甲），鋼珠和軌道只有兩個接觸點，阻力比較小，所以，在坡道上加速非常快，而且滾得最遠。

而鋼珠與軌道內部半徑剛好穩合的組合（圖 1，組合乙），可能是因為鋼珠和軌道的接觸面太大了，在滾動過程中鋼珠容易和軌道內壁相碰撞或摩擦，而使得鋼珠從坡道上滑下來時，很快的減慢了速度，而停了下來。

在鋼珠的半徑稍微比軌道半徑小一點的組合中（圖 1，組合丙），我們可以看到鋼珠和軌道只有一個接觸點，也具有不會因摩擦而減速的情形，但是在滾動中會在軌道內部晃動的情形發生，這也許是它沒有第一種組合快速的原因。

而當三種組合在轉彎時，測試的特質就更明顯了，乙組合更快停了下來，而丙組合的搖晃情也也更嚴重，甲組合仍然是表現最佳的一種情形。

我們在製造的過程中發現：快速的甲組合，也呈現了不穩定的弱點，只要軌道稍微有不平整的情形，就會脫軌而出。所以，最後我們決定改採取效果也同樣不錯，而穩定更高的丙組合，為騰雲號的基本配備。

二、直立圓周運動：

為什麼在網站上看到的資料說是鋼珠出發的高度只要是迴圈半徑的 2.5 倍以上，可是我們測試的結果卻要將近達 3 倍呢？

我們認為網路上程式設定出發的時候是垂直向下滑的，而我們是以傾斜的角度往下滑，越接近垂直也就越靠近如黃教授所言的 2.5 倍，但是，在實測中，我們發現超過 80 度以後，測試變得很不穩定。可能是因為，我們的軌道系統不是那麼的精準和平穩所造成的吧！這也是我們所以決定建造一個 70 度傾斜的下降軌

道的原因。

三、 高度與速度：

爲了要使鋼珠能有足夠的速度繞過迴圈，鋼珠的出發必須要在一定的高度位置，而爲了完成全程的動作，鋼珠必須要有更高的速度，以行駛更遠的路程，而「高度」是換取速度的因素，在實作中我們終於了解，爲什麼雲霄飛車，總是要先爬升一定的高度才開始進行一連串的动作。

四、 轉彎：

轉彎時必須要向轉彎的內側傾斜，以取得平衡，這是生活的經驗，經由實驗更加證實。在實驗的測試中，我們發現在鋼珠直徑比軌道內部直徑小的組別實驗中，可以看到每當轉彎時，鋼珠就會貼著軌道靠近轉彎外側的壁上轉過去。可見，如果我們有能力計算並以高超的技術製造的話，是可以看出向內傾斜的軌道的（圖 6）。

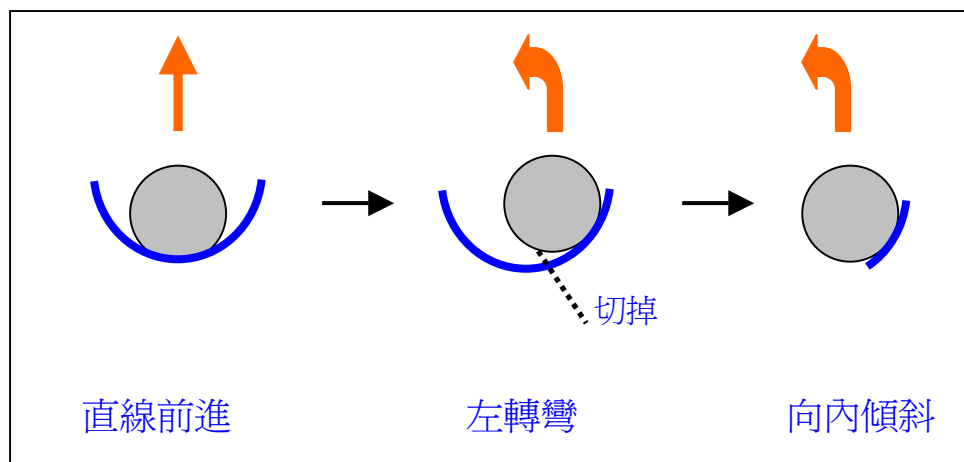


圖 6 轉彎軌道的傾斜圖

柒、結論

經過長時間的打造下來，我們發現的確是想比較容易，而做卻不是那麼一回事，一路上狀況層出不窮。除了讓我們的討論與檢視更加頻繁與重要，也更能增加我們團隊合作的默契。一路下來，大家的感情也更融洽。

其中，許多的科學原理並不懂，但是，我們已有豐富的搭乘雲霄飛車的經驗，可以由經驗來協助解決建造中所遇到的困難。整個過程中，深深體會到地心引力的奇妙之處。當鋼珠順利的從 360 迴圈中呼嘯而過之時，證明我們終於能夠控制地心引力的作用；又從轉彎中，了解轉彎中的鋼珠有向外飛出去的趨勢，而軌道的傾斜，可以有效的抵消那想要飛出去的力量。看到這些大家的喜悅真是無法用筆墨加以形容。

整個打造的過程，是我們最大的收穫，而且，親手動手做一件作品，真是非常有成就感。從計劃，找材料、施工、修改、全部重新打造就好幾次了，利用工程對抗地心引力的作用，並從中間獲得樂趣，雲霄飛車真是一項有趣的發明。而當老師上力的作用單元時，我們對於重力、摩擦力也有了更深一層的認識了。下次我一定還要出去玩！

捌、參考資料及其他

黃福坤（無日期）。雲霄飛車的物理。2006 年 3 月 12 日取自

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/circularMotion/index.html>。

評	語
---	---

080810 騰雲號-雲霄飛車

同學們從刺激的「雲霄飛車」中探討重力和飛車轉彎，斜坡爬升等各種力量之間的關係。並動手完成一部「騰雲號」的雲霄飛車，過程中認真投入，值得鼓勵。