

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

第三名

080114

背叛地心引力~尋找球往上滾的秘密

學校名稱：臺北縣板橋市江翠國民小學

作者： 小六 汪祐毅 小六 石宇宸 小六 張維恩 小六 程明輝	指導老師： 張萬居 葉麗香
---	-----------------------------

關鍵詞：球往上滾、重心、地心引力

摘要

本實驗的目的在尋找球往上滾的秘密，到底球為什麼能由低的地方往上滾？剛開始我們先利用木桿當軌道，分別改變軌道的**形狀、粗細、材質、表面摩擦力**，來找出讓球往上滾最容易成功的軌道；接著，我們試了**各式各樣的球**，並且探討了球的**大小、重量、重量分布及重心位置**對球往上滾的影響，最後找出了球往上滾最容易成功的**器材條件及人為條件**，並建議可應用到教學、益智遊戲，或訓練手眼協調及復健之用。

壹、研究動機

記得去年暑假時參加學校的科學營，其中有一個科學遊戲叫做「球往上滾」，老師將兩根木桿放在墊高的書本上當做斜面，乒乓球放在木桿較低的一端，結果球竟然可以由下往上滾，當時我就很好奇，於是就和大家提議做了這個實驗。

在六年級上課的時候，老師也說過任何物體都會受到地心引力的吸引而往下掉，但是會不會有例外的時候呢？為了解答這個問題，於是在老師的指導下，經過了不斷的設計、實驗、修正、再實驗，我們終於完成了這個「背叛地心引力」的任務。

貳、研究目的

- 一、探討**不同條件的軌道**對球往上滾的影響
- 二、探討**不同條件的球**在斜坡上的滾動情況
- 三、尋找球往上滾**容易成功的秘密**

參、研究設備及器材

可調角度式木板平台、各種形狀、粗細木桿(90cm)、圓形塑膠桿(90cm)、圓形鐵桿(90cm)、爽身粉、潤滑油、書面紙、白膠、砂、乒乓球、硬塑膠球、保利龍球、籃球、輪軸裝置、自製的大型量角器、數位相機、塑膠環。

肆、研究過程及結果

◎ 球往上滾的原理分析

首先，製作可調角度式的木板平台，取兩根圓桿(90cm)當作軌道，然後將保利龍球置於軌道的最低處(如圖 0-1，圖 0-2)，慢慢張開兩根圓桿，在球還沒掉落到桌面時，迅速將圓桿收合，則球會從軌道的最低處，滾到最高處。

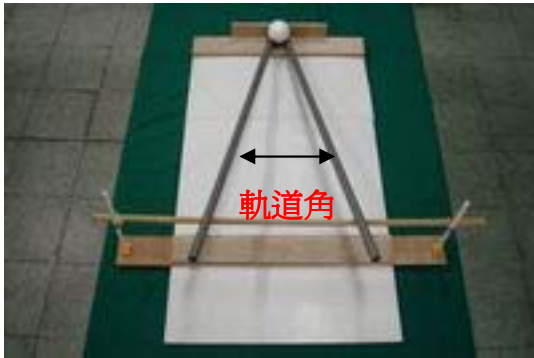


圖 0-1 球往上滾實驗裝置(俯視圖)

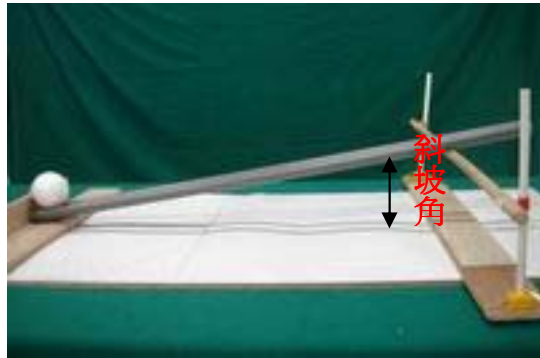


圖 0-2 球往上滾實驗裝置(側面圖)

當球在最低處時，從側面拍攝「當圓桿還未張開時」的球與圓桿的接觸點(如圖 0-3)，另外拍攝「當圓桿剛張開時」之球與圓桿的接觸點，做為比較(如圖 0-4)。

整個球往上滾的過程可分成兩個階段，第一階段，在圖 0-4 可以發現，當圓桿剛張開的時候，球與桿的接觸點往左移動，此時球的重心垂直線就超過了接觸點，於是受地心引力的影響，產生了一個轉動的力矩，球開始滾動。

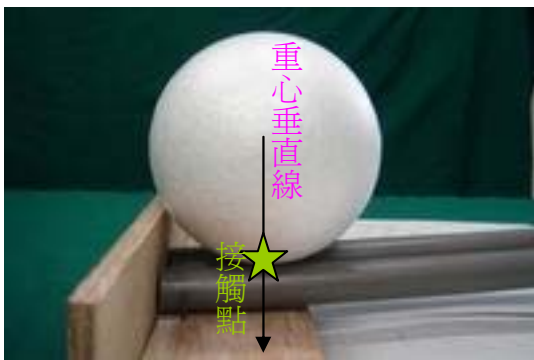


圖 0-3 當圓桿還未張開時

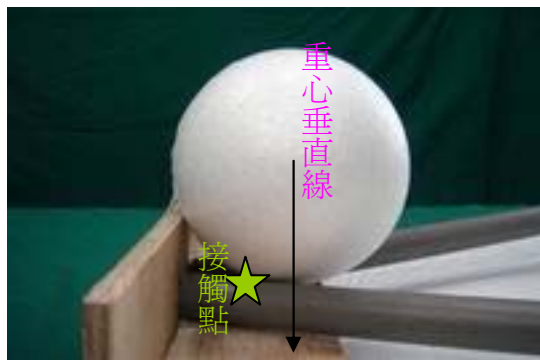
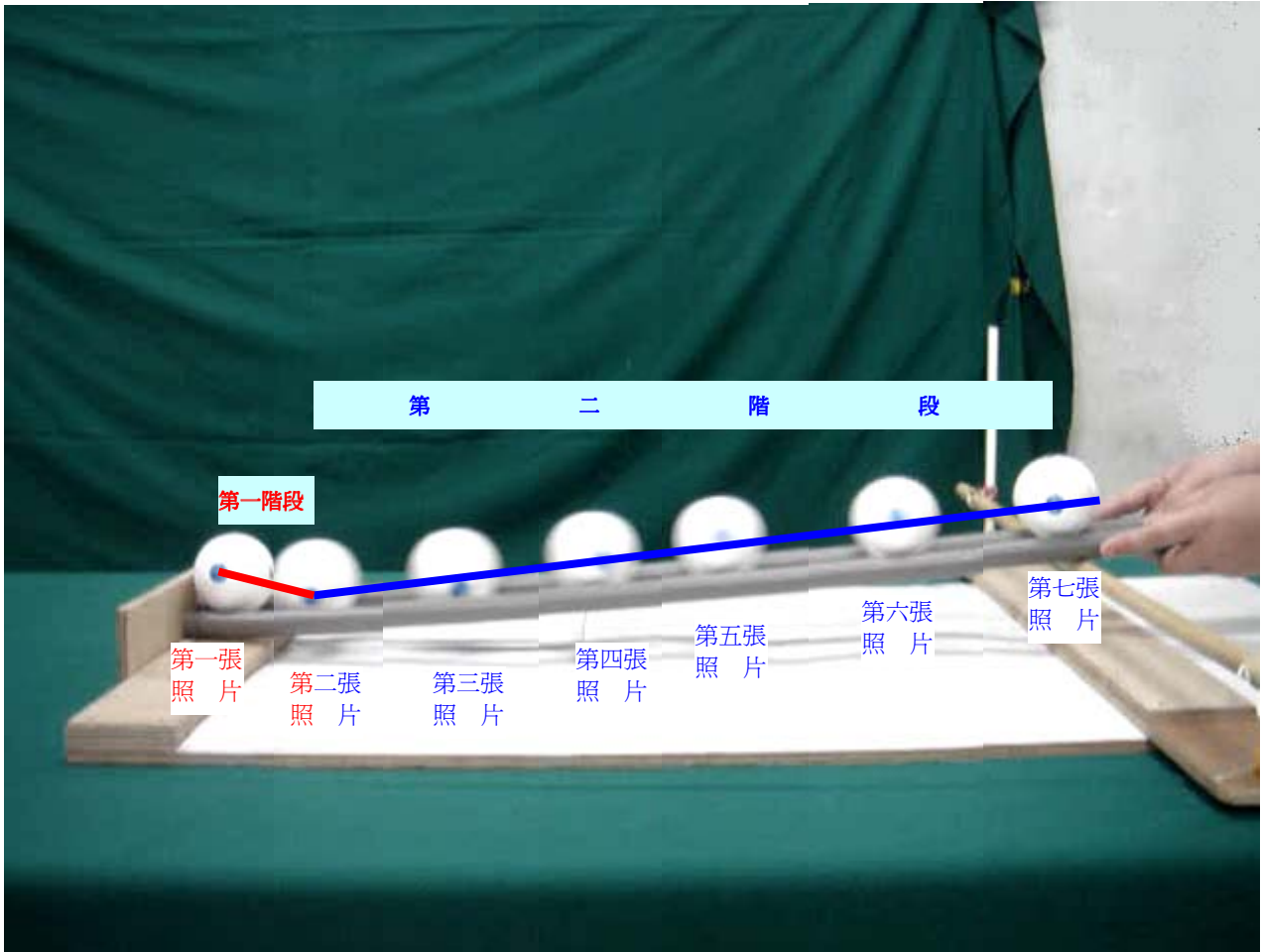


圖 0-4 當圓桿剛張開時

第二階段，操作者收合圓桿，球被往上夾擠，側邊的力量形成了一個上升力量，而球本來就在滾動狀態，於是靠著慣性繼續往上滾動到頂端。

◎ 球重心的連續軌跡(照片合成圖)



◎研究問題一：不同的軌道形狀對球往上滾的影響

(一)做法：

- 1、收集各種形狀，直徑大小相近的木桿，如圓形(直徑 9mm)、三角形、正方形、長方形(如圖 1-1)。
- 2、先將兩根木桿當作軌道，兩桿間距為 1.5cm，將保利龍球(直徑 6.8cm)置於軌道最低處，先張開兩根木桿使球滾動後，再收合木桿，過程中須使球不掉落在桌面上，並能繼續往上爬到碰觸軌道頂端才視為成功。軌道的斜坡角從 2 度開始，重複同樣的操作方式做 25 次，並將此成功的次數換算為成功百分率記錄在表格上。



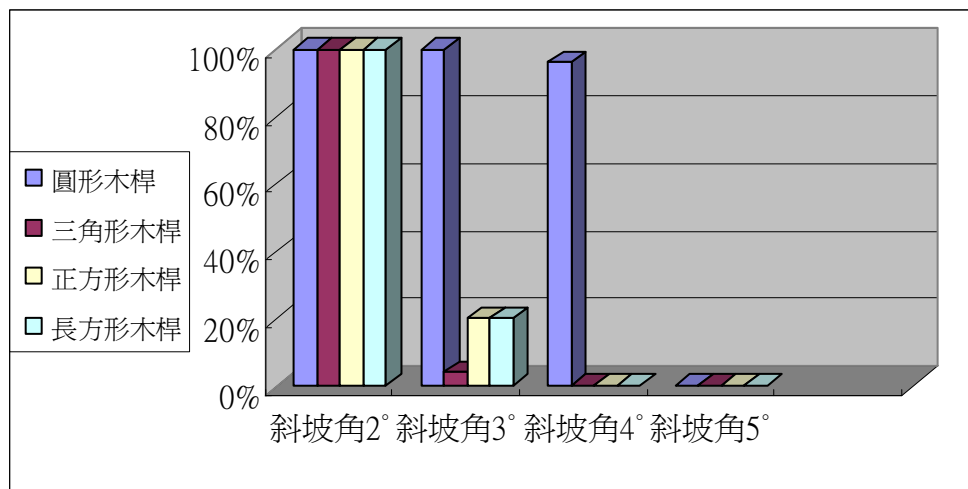
圖 1-1 各種形狀的木桿



圖 1-2 實驗操作示範

(二)實驗結果：

成功 斜度	圓形木桿 (直徑 9mm)	三角形木桿	正方形木桿	長方形木桿
斜坡角 2°	100%	100%	100%	100%
斜坡角 3°	100%	4%	20%	20%
斜坡角 4°	96%	0%	0%	0%
斜坡角 5°	0%	0%	0%	0%



(三)我們發現：

- 1、當斜坡角越大，球往上滾的成功率會越來越小。
- 2、不同形狀的木桿，以圓形的木桿可挑戰最陡的斜坡角(4°)，讓球成功的往上滾(成功率 96%)；而長、正方形次之，三角形最差。

◎研究問題二：不同的軌道粗細對球往上滾的影響

(一)做法：

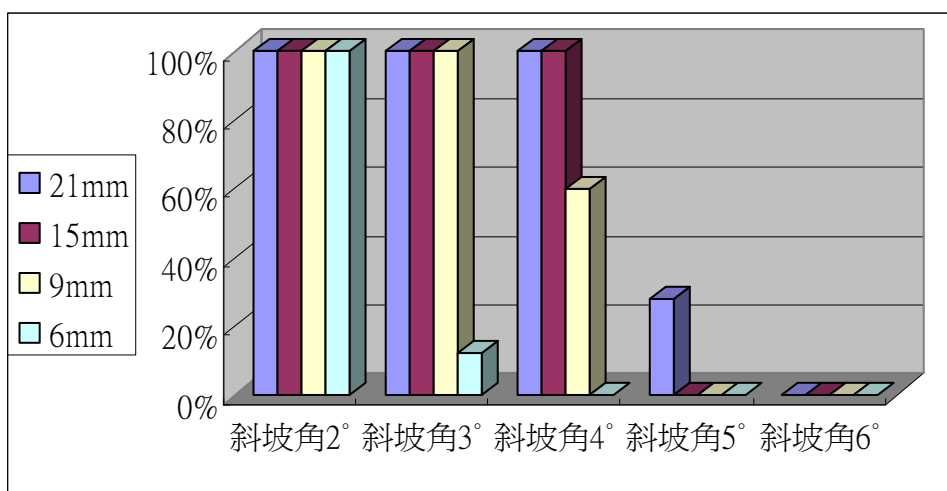
- 1、根據研究問題一，得知不同軌道形狀的木桿以圓形的為佳，故收集各種粗細的圓形木桿，直徑分別為 21mm、15mm、9mm、6mm(如圖 2-1)。
- 2、將不同粗細的木桿當作軌道，實驗步驟如同研究問題一的做法 2。



圖 2-1 各種粗細的圓形木桿

(二)實驗結果：

成功 斜 度 粗 細 率	圓形木桿 直徑 21mm	圓形木桿 直徑 15mm	圓形木桿 直徑 9mm	圓形木桿 直徑 6mm
斜坡角 2°	100%	100%	100%	100%
斜坡角 3°	100%	100%	100%	100%
斜坡角 4°	100%	100%	60%	12%
斜坡角 5°	28%	0%	0%	0%
斜坡角 6°	0%	0%	0%	0%



(三)我們發現：

- 1、斜坡角越大，球往上滾的成功率會越來越小。
- 2、不同粗細的圓形木桿，以較粗(21mm)的木桿可挑戰最陡的斜坡角(5°)，讓球成功的往上滾(成功率 28%)。

◎研究問題三：不同的軌道材質對球往上滾的影響

(一)做法：

- 1、根據研究問題二，得知不同軌道粗細的圓形木桿以直徑較粗的為佳，故收集較粗的圓形長桿，材質分別為木桿、塑膠桿、鐵桿(如圖 3-1)。
 - 2、將不同材質的圓形長桿當作軌道，實驗步驟如同研究問題一的做法 2。
 - 3、為了得知這三種材質的長桿，其表面摩擦力是否有不同？故自行設計了一個測量摩擦力的實驗(如圖 3-2)，即將兩根木桿、塑膠桿、鐵桿分別放置在木板上並固定，在木板上穿線，再將線的另一端綁在「輪軸教具」的「軸」上，並在「輪」的部分也綁上一條線。
- (ps：使用輪軸教具的目的是為了控制讓手拉木板的高度不要一下子上升太多，而造成誤差太大，而以輪帶軸的方法雖然較費時，但能使木板慢慢的升高)。
- 4、將球分別放在平放的木桿、塑膠桿、鐵桿上，拉動輪上的線，當球開始滾動時，用自製的大型量角器測量此時的角。此滾動角度可代表這三種材質的表面摩擦力大小。



圖 3-1 不同材質的圓形長桿

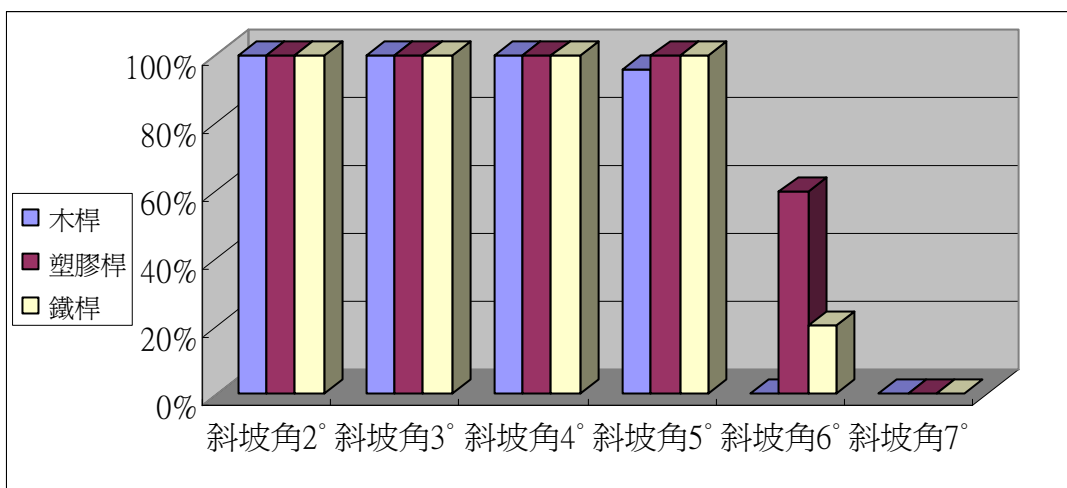


圖 3-2 測量軌道摩擦力的裝置

(二)實驗結果：

1、不同的軌道材質，球往上滾的成功率：

成 功 率 斜 度	材 質	木桿	塑膠桿	鐵桿
斜坡角 2°		100%	100%	100%
斜坡角 3°		100%	100%	100%
斜坡角 4°		100%	100%	100%
斜坡角 5°		96%	100%	100%
斜坡角 6°		0%	60%	20%
斜坡角 7°		0%	0%	0%



2、測量軌道摩擦力的裝置(如圖 3-2)，得到球的滾動角度(可視為軌道表面摩擦力的大小)，結果如下：

滾動角度統計	木桿	塑膠桿	鐵桿
第一次	1.5°	1.6°	1.5°
第二次	1.4°	1.5°	1.6°
第三次	1.4°	1.4°	1.4°
第四次	1.5°	1.5°	1.4°
第五次	1.4°	1.4°	1.4°
平均	1.44°	1.48°	1.46°

(三)我們發現：

- 1、斜坡角越大，球往上滾的成功率會越來越小。
- 2、不同材質的圓形軌道，以塑膠桿最好，在斜坡角 6°時有最高的成功率 60%，可以讓球往上滾。
- 3、三種軌道材質其表面摩擦力都很接近，滾動角度的平均值都在 1.44~1.48 之間，表示在此研究問題中的軌道表面摩擦力並非影響球向上滾的關鍵因素。

◎研究問題四：改變軌道表面的摩擦力對球往上滾的影響

(一)做法：

- 1、根據研究問題三，得知不同軌道材質的圓形長桿以塑膠材質的最好，但是為了探討不同的表面摩擦力對球往上滾是否有影響？故收集相同的塑膠圓桿，改變其表面的摩擦力，分成未經實驗處理、塗上爽身粉、沾水(如圖 4-1)、抹上潤滑油、包上書面紙、用白膠黏上砂(如圖 4-2)六組。
- 2、將不同表面摩擦力的塑膠圓桿當作軌道，實驗步驟如同研究問題一的做法 2。
- 3、分別測量六組塑膠圓桿的摩擦力，操作步驟如同研究問題三的做法 3、4。

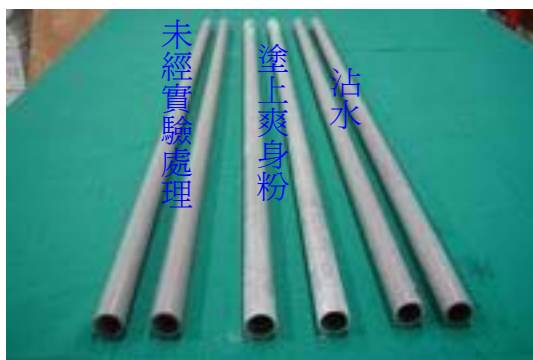


圖 4-1 第一組~第三組軌道

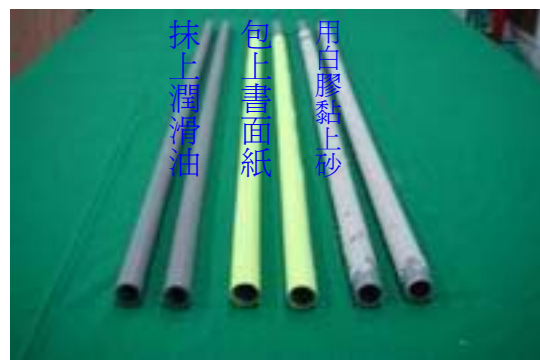
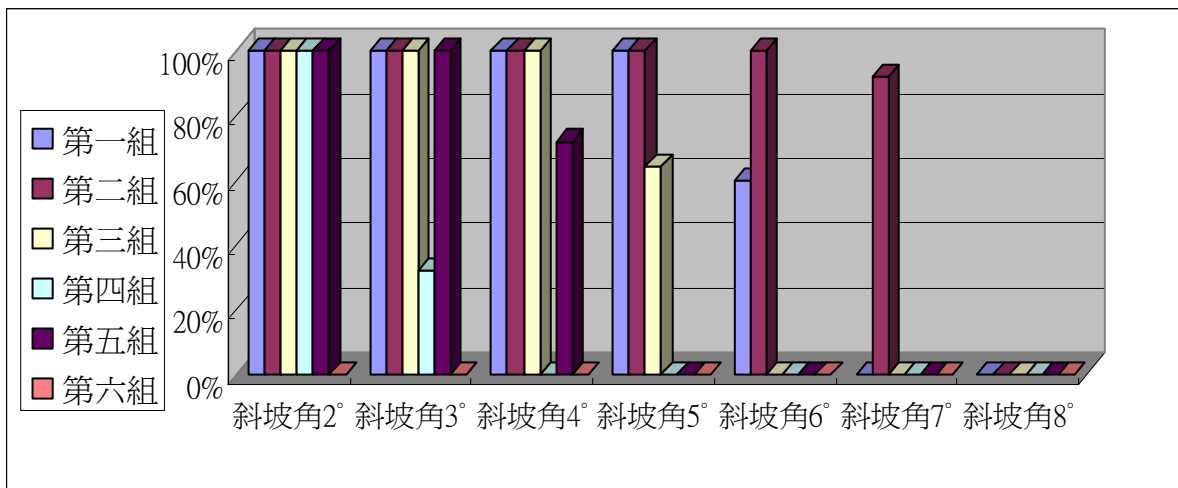


圖 4-2 第四組~第六組軌道

(二)實驗結果：

1、不同軌道表面的摩擦力，球往上滾的成功率：

成功 斜 率 度	表面	未經實驗處理的軌道 (第一組)	塗上爽身粉的軌道 (第二組)	沾水的軌道 (第三組)	抹上潤滑油的軌道 (第四組)	包上書面紙的軌道 (第五組)	用白膠黏上砂的軌道 (第六組)
斜坡角 2°		100%	100%	100%	100%	100%	0%
斜坡角 3°		100%	100%	100%	32%	100%	0%
斜坡角 4°		100%	100%	100%	0%	72%	0%
斜坡角 5°		100%	100%	64%	0%	0%	0%
斜坡角 6°		60%	100%	0%	0%	0%	0%
斜坡角 7°		0%	92%	0%	0%	0%	0%
斜坡角 8°		0%	0%	0%	0%	0%	0%



3、測量軌道摩擦力的裝置(如圖 3-2)，得到球的滾動角度(可視為軌道表面摩擦力的大小)，結果如下：

滾動 角 統 計	表面	未經實驗處理的軌道 (第一組)	塗上爽身粉的軌道 (第二組)	沾水的軌道 (第三組)	抹上潤滑油的軌道 (第四組)	包上書面紙的軌道 (第五組)	用白膠黏上砂的軌道 (第六組)
第一次		1.6°	0.9°	2.5°	2.0°	2.0°	3.7°
第二次		1.5°	0.8°	2.2°	2.0°	1.9°	3.8°
第三次		1.4°	1.0°	2.5°	2.0°	2.0°	3.8°
第四次		1.5°	0.9°	2.4°	2.1°	2.0°	3.9°
第五次		1.4°	0.8°	2.2°	2.0°	2.1°	3.7°
平均		1.48°	0.88°	2.26°	2.02°	2.0°	3.78°

(三)我們發現：

- 1、斜坡角越大，球往上滾的成功率會越來越小。
- 2、不同的軌道表面摩擦力，以塗上爽身粉的軌道，可挑戰最陡的斜坡角(7°)，讓球成功的往上滾(成功率 92%)。
- 3、六組軌道的表面摩擦力，最小為塗上爽身粉的軌道，其次是未經實驗處理的軌道，表面摩擦力最大的是用白膠黏上砂的軌道。

◎研究問題五：各種不同的球在斜坡上的滾動情況

(一)做法：

- 1、收集各式各樣不同種類的球，並且依照球直徑的大小分成 3 組來實驗，例如：第一組有乒乓球、銅球、大玻璃彈珠、中玻璃彈珠、小玻璃彈珠(如圖 5-1)、第二組有硬塑膠球、保利龍球、棒球(橡膠)、網球、軟塑膠球、塑膠顆粒球(如圖 5-2)、第三組有籃球、躲避球、足球、排球(如圖 5-3)。
- 2、以塑膠圓桿(21mm)當作軌道，實驗步驟如同研究問題一的做法 2。



圖 5-1 第一組的球



圖 5-2 第二組的球

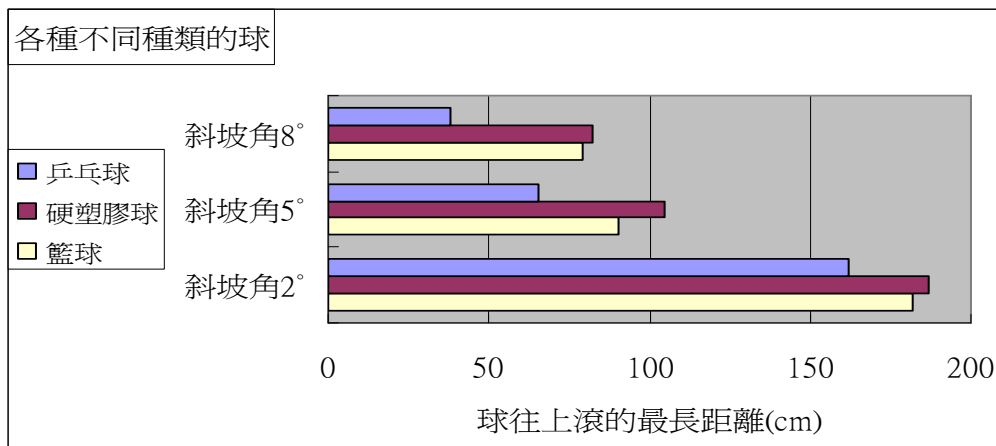


圖 5-3 第三組的球

- 3、接著從「球往上滾的成功率」來選出每組能挑戰最陡斜坡角，而且具有代表性的三顆球，選出的結果分別為乒乓球、硬塑膠球、籃球。
- 4、為了進一步做精確的定量研究，所以此處改為測量其在斜坡角 2 度、5 度、8 度時，做五次的操作實驗，找出球往上滾的最長距離、時間和平均速率。

(二)實驗結果：

各種不同種類的球	乒乓球 (直徑 4.0cm) (重 2.36 克)	硬塑膠球 (直徑 6.8cm) (重 8.01 克)	籃球 (直徑 24.5cm) (重 560 克)	
斜坡角 2°	最長距離	162.1	187.2	182.1
	時 間	5.57	5.38	4.69
	平均速率	29.10	34.80	38.83
斜坡角 5°	最長距離	65.6	104.5	90.5
	時 間	5.13	4.96	3.32
	平均速率	12.79	21.07	27.26
斜坡角 8°	最長距離	37.8	82.2	79.4
	時 間	4.05	4.87	3.08
	平均速率	9.33	16.87	25.78



(三)我們發現：

- 1、斜坡角越大，球往上滾的最長距離會越來越短。
- 2、同樣的斜坡角，以硬塑膠球往上滾的距離最長，其次是籃球，最短的是乒乓球，但是滾動的平均速率以籃球最快，以乒乓球最慢。

◎研究問題六：不同大小的球在斜坡上的滾動情況

(一)做法：

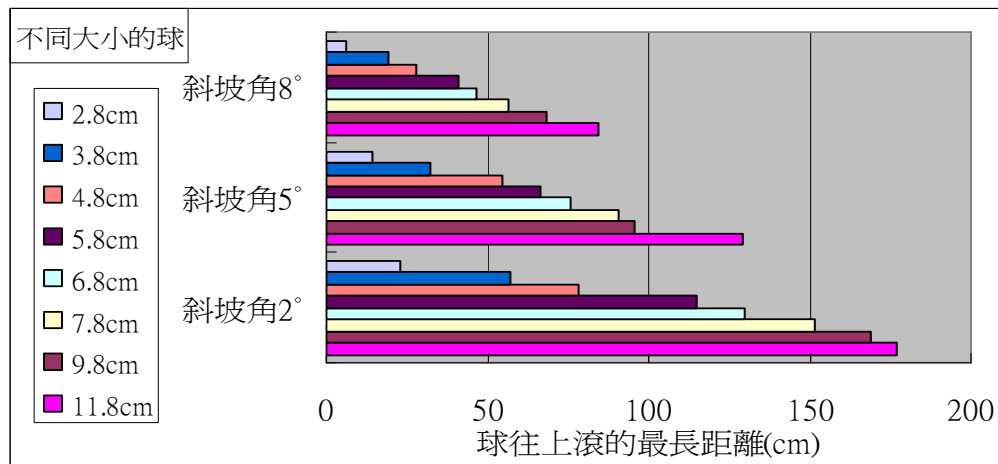
- 1、收集各種不同大小的保利龍球，直徑分別為 11.8cm、9.8cm、7.8cm、6.8cm、5.8cm、4.8cm、3.8cm、2.8cm(如圖 6-1)。
- 2、以塑膠圓桿(21mm)當作軌道，如前面方法進行實驗。



圖 6-1 不同大小的保利龍球

(二)實驗結果：

不同大小的球	11.8cm (19.35 克)	9.8cm (10.8 克)	7.8cm (5.74 克)	6.8cm (3.9 克)	5.8cm (2.51 克)	4.8cm (1.42 克)	3.8cm (0.78 克)	2.8cm (0.32 克)
斜坡角 2°	最長距離	177.2	168.9	151.3	129.7	114.6	78.4	57.1
	時 間	5.12	5.02	4.95	4.58	4.46	3.82	3.58
	平均速率	34.61	33.65	30.57	28.32	25.70	20.52	15.95
斜坡角 5°	最長距離	129.3	95.5	90.5	75.8	66.6	54.7	32.4
	時 間	4.15	3.74	3.58	3.43	3.15	3.01	2.47
	平均速率	31.16	25.53	25.28	22.10	21.14	18.17	13.12
斜坡角 8°	最長距離	84.2	68.4	56.7	46.8	40.8	28.2	6.2
	時 間	2.88	2.68	2.62	2.54	2.50	2.31	2.09
	平均速率	29.24	25.52	21.64	18.43	19.90	12.21	4.28



(三)我們發現：

- 1、斜坡角越大，球往上滾的最長距離會越來越短。
- 2、保利龍球的直徑越大，能往上滾的距離越長，而且平均速率也會隨著增加；反之直徑越小的球，能往上滾的距離越短，平均速率也隨著下降。

◎研究問題七：不同重量的球在斜坡上的滾動情況

(一)做法：

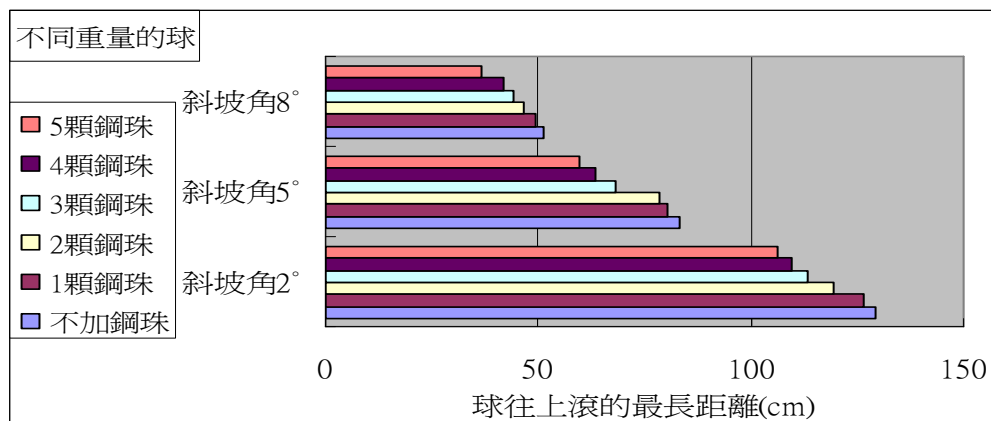
- 1、收集相同的保利龍球(直徑 6.8cm)，在球的中心處分別放入 1~5 顆的小鋼珠(每顆鋼珠重量 3.55 克)，如圖 7-1。
- 2、以塑膠圓桿(21mm)當作軌道，如前面方法進行實驗。



圖 7-1 不同重量的球

(二)實驗結果：

不同重量的球	不加鋼珠 保利龍球	加 1 顆鋼珠 保利龍球	加 2 顆鋼珠 保利龍球	加 3 顆鋼珠 保利龍球	加 4 顆鋼珠 保利龍球	加 5 顆鋼珠 保利龍球
斜 坡 角 2°	最長距離	129.1	126.5	119.6	113.2	109.5
	時 間	4.08	3.84	3.66	3.80	3.45
	平均速率	31.64	32.94	32.68	29.79	31.74
斜 坡 角 5°	最長距離	83.2	80.5	78.6	68.3	59.5
	時 間	3.75	3.07	3.15	2.83	2.72
	平均速率	22.13	26.22	24.95	24.13	23.35
斜 坡 角 8°	最長距離	51.4	49.5	46.4	44.4	36.8
	時 間	2.67	2.46	2.17	2.09	1.69
	平均速率	19.25	20.12	21.38	21.24	21.78



(三)我們發現：

- 1、斜坡角越大，球往上滾的最長距離會越來越小。
- 2、保利龍球的重量越輕，能往上滾的距離越長；反之，重量太重的保利龍球(如加 5 顆鋼珠)，能往上滾的距離越短，但是在平均速率上並沒有顯著的差異。

◎ 研究問題八：不同重量分布的球在斜坡上的滾動情況

(一)做法：

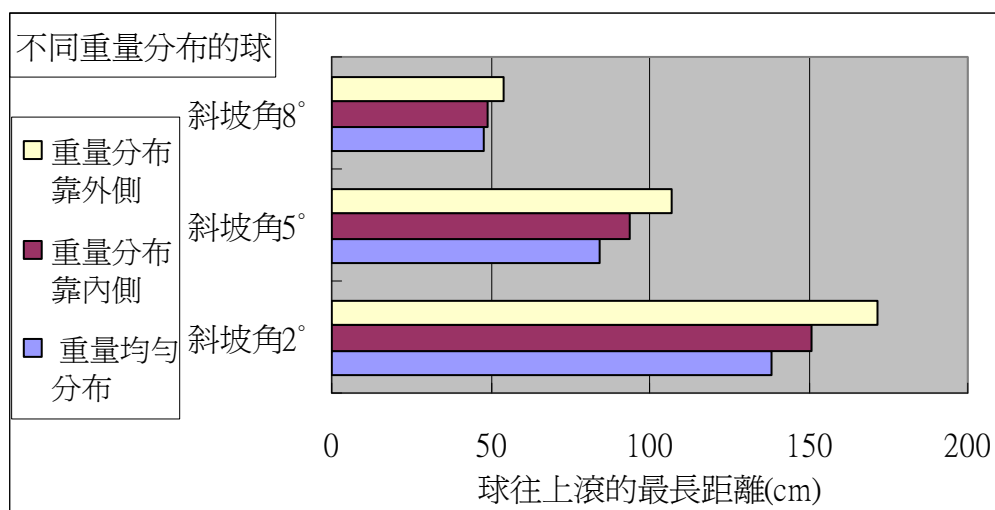
- 1、將三顆保利龍球切半，第一顆球放入用軟磁鐵剪成的薄圓盤(7.04 克)、第二顆球在靠近內側處放入 8 顆的小鋼珠(7.04 克)、第三顆球在靠近外側處放入 8 顆的小鋼珠(7.04 克)，如圖 8-1。最後每一顆球的總重量都是約 10.94 克。
- 2、以塑膠圓桿(21mm)當作軌道，如前面方法進行實驗。



圖 8-1 不同重量分布的球

(二)實驗結果：

不同重量分布的球	重量分布均勻的球	重量分布靠內側的球	重量分布靠外側的球
斜坡角 2°	最長距離	138.6	151.2
	時 間	4.02	4.83
	平均速率	34.48	31.30
斜坡角 5°	最長距離	84.5	93.4
	時 間	2.96	3.60
	平均速率	28.55	25.94
斜坡角 8°	最長距離	47.6	48.8
	時 間	2.03	2.25
	平均速率	23.45	21.69



(三)我們發現：

- 1、斜坡角越大，球往上滾的最長距離會越來越短。
- 2、重量分布靠外側的球，能往上滾的距離最長；其次重量分布靠內側的球，而重量分布均勻的球，能往上滾的距離最短。
- 3、重量分布靠外側的球平均速率最慢，重量分布均勻的球平均速率最快。

◎研究問題九：不同重心位置的球在斜坡上的滾動情況

(一)做法：

- 1、收集相同的保利龍球(直徑 6.8cm)，在球的中心處分別放入 1~4 顆的小鋼珠(每顆小鋼珠重量 0.88 克)，如圖 9-1。另外，在球靠近圓周的地方也分別放入 1~4 顆相同的小鋼珠，如圖 9-2。
- 2、以塑膠圓桿(21mm)當作軌道，如前面方法進行實驗。



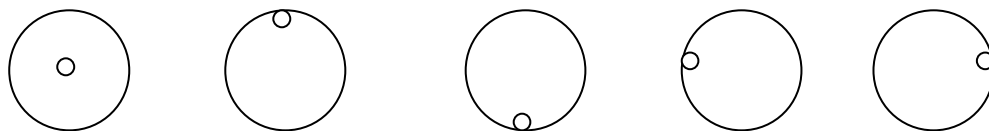
圖 9-1 重心位置在球心的球



圖 9-2 重心位置在靠近圓周的球

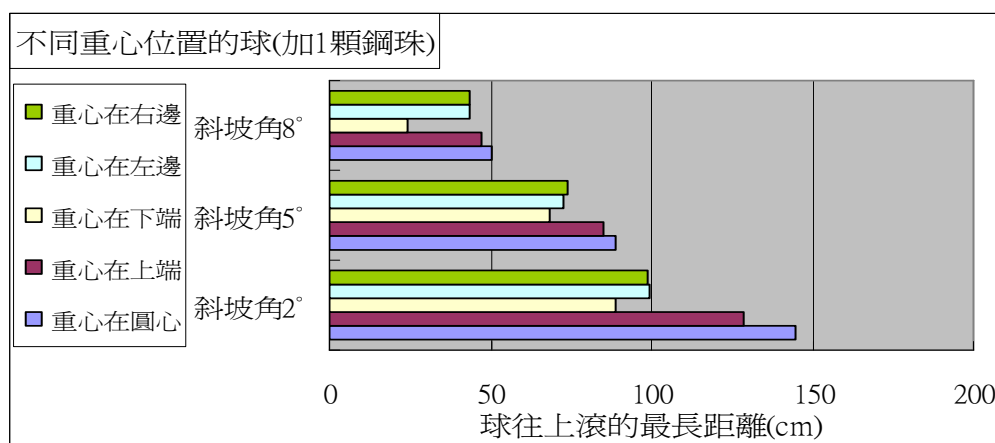
3、以加上 1 顆小鋼珠的球為例，球放在塑膠圓桿的軌道上，以操作者面對球的方向，會有 5 種重心位置變化，如下：

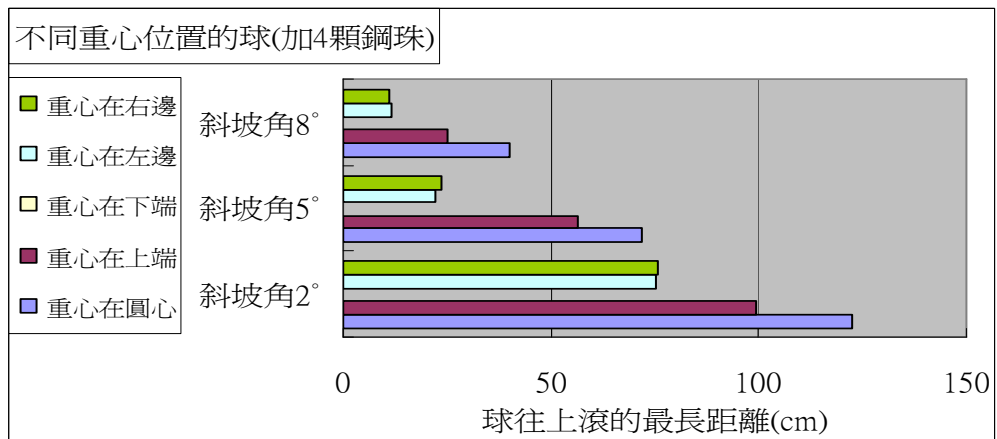
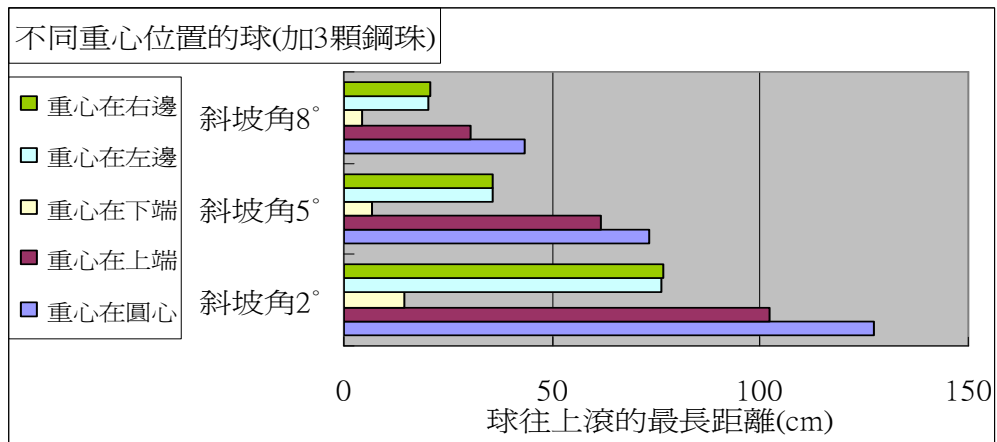
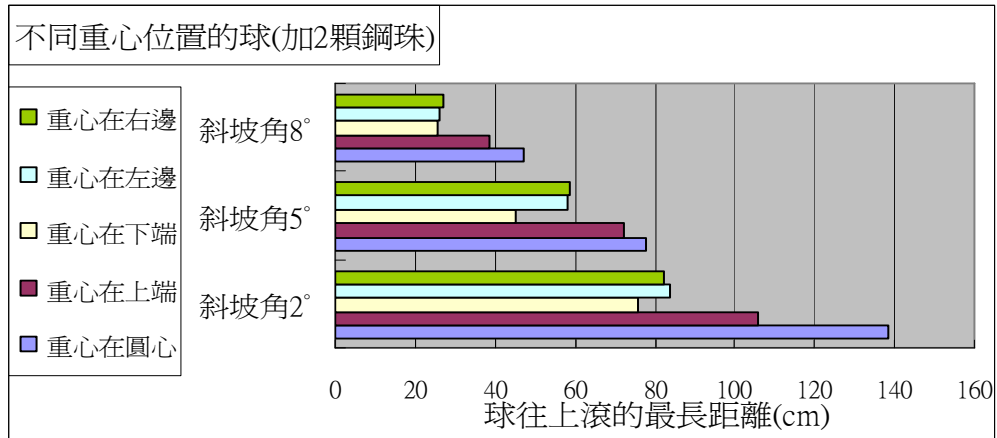
- ①重心在球心 ②重心在上端 ③重心在下端 ④重心在左邊 ⑤重心在右邊



(二)實驗結果：

不同重心位置的球	加上 1 顆小鋼珠					加上 2 顆小鋼珠					加上 3 顆小鋼珠					加上 4 顆小鋼珠					
	① 重心在球心	② 重心在上端	③ 重心在下端	④ 重心在左邊	⑤ 重心在右邊	① 重心在球心	② 重心在上端	③ 重心在下端	④ 重心在左邊	⑤ 重心在右邊	① 重心在球心	② 重心在上端	③ 重心在下端	④ 重心在左邊	⑤ 重心在右邊	① 重心在球心	② 重心在上端	③ 重心在下端	④ 重心在左邊	⑤ 重心在右邊	
斜坡角 2°	最長距離	144.5	128.5	89.1	99.4	98.4	138.5	105.6	75.5	83.7	82.5	127.5	102.1	14.5	76.2	76.9	122.6	99.3	0	75.4	75.7
	時間	3.74	3.84	4.49	4.35	4.44	3.72	3.78	4.38	3.86	3.89	3.50	3.68	1.20	3.75	3.70	3.39	3.79	0	3.93	3.86
	平均速率	38.64	33.46	19.84	22.85	22.23	37.23	27.94	17.24	21.68	21.21	36.43	27.74	12.08	20.32	20.78	36.17	26.20	0	19.19	19.61
斜坡角 5°	最長距離	89.1	85.2	68.2	72.6	74	77.6	72.4	45.3	58.1	58.6	73.5	61.5	6.9	35.6	35.8	71.8	56.2	0	22.3	23.4
	時間	3.17	3.390	3.61	3.42	3.47	2.84	2.93	3.43	3.02	2.97	2.15	2.55	0.91	2.67	2.65	2.12	2.38	0	2.46	2.49
	平均速率	28.11	25.13	18.89	21.23	21.33	27.32	24.71	13.21	19.24	19.73	34.18	24.12	7.58	13.33	13.51	33.87	23.61	0	9.07	9.40
斜坡角 8°	最長距離	50.6	47.2	24.5	43.2	43.6	47.2	38.8	25.6	26.3	27.1	43.2	30.3	4.3	20.2	20.9	39.9	25.2	0	11.8	11.2
	時間	2.15	2.19	2.51	2.22	2.23	2.04	2.27	3.40	2.51	2.52	1.79	1.83	0.99	1.95	1.97	1.26	1.47	0	1.67	1.69
	平均速率	23.54	21.55	9.76	19.46	19.55	23.14	17.09	7.53	10.47	10.75	24.13	16.56	4.34	10.36	10.61	31.67	17.14	0	7.07	6.63





(三)我們發現：

- 1、重量相等時(加的鋼珠個數相同)，而且重心位置一樣的保利龍球，當斜坡角越大，球往上滾的最長距離會越來越短。
- 2、重量相等時(加的鋼珠個數相同)，以重心位置在球心時的球，往上滾的距離最長，速率最快，其次是重心位置在上端的球，而以重心位置在下端的球最短。
- 3、若球重心位置不在球正中心時，會減少球往上滾的最長距離，而且球的滾動會有斷斷續續的情況發生。

◎研究問題十：尋找球往上滾容易成功的秘密

如果要讓本研究能夠更推廣應用，就必須像研究問題一到研究問題四，來設定一個**成功的標準**。而根據前面九個研究問題，我們控制了「操作者」的變因，在每次實驗都讓相同的操作者(成功率高且穩定度夠的人)來進行，並且找到了影響球往上滾的因素。

但是我們也考慮到，**成功率**是否也和「操作者」的方式技巧有關，同樣的斜坡角會因不同的人操作而有不同的成功率。爲了克服這個瑕疵，找到容易成功的「**最佳人爲條件**」，於是我們四個研究成員進行了以下的實驗。

(一)作法：

1、以效果較好的**塗上爽身粉的塑膠圓桿(21mm)**當作軌道，將**硬塑膠球(直徑 6.8cm)**置於軌道最低處，軌道的斜坡角分別爲 2 度、5 度、8 度，由四個人(代號甲、乙、丙、丁)分別操作 5 次成功的示範。

2、以錄影方式及**電腦軟體擷取畫面**(每秒鐘擷取十張畫面)，挑出操作者用軌道剛開始夾球瞬間的照片，將此照片在電腦螢幕上放大 150%(如圖 10-1、圖 10-2)，並用垂下的黑線及紙尺來測量**球心移動的距離**，即可精準的找出**離起始點的夾球位置**。

3、以兩個綠色塑膠環(如圖 10-3)放在木板平台的橫桿上，在操作的同時，軌道會將塑膠環推開到兩邊，先記錄這兩環的距離，等全部的實驗完，再轉換成軌道角，即可輕易得到每次操作者**張開軌道的最大角度**。

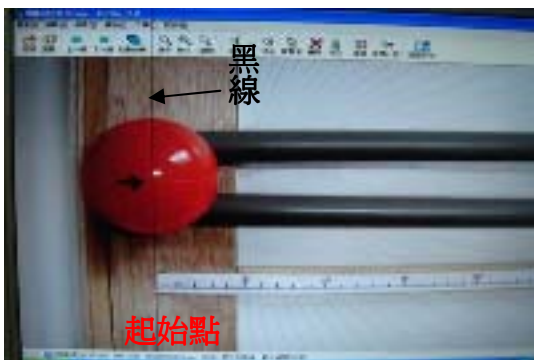


圖 10-1 球尚未滾動時的照片



圖 10-2 操作者用軌道剛開始夾球瞬間的照片

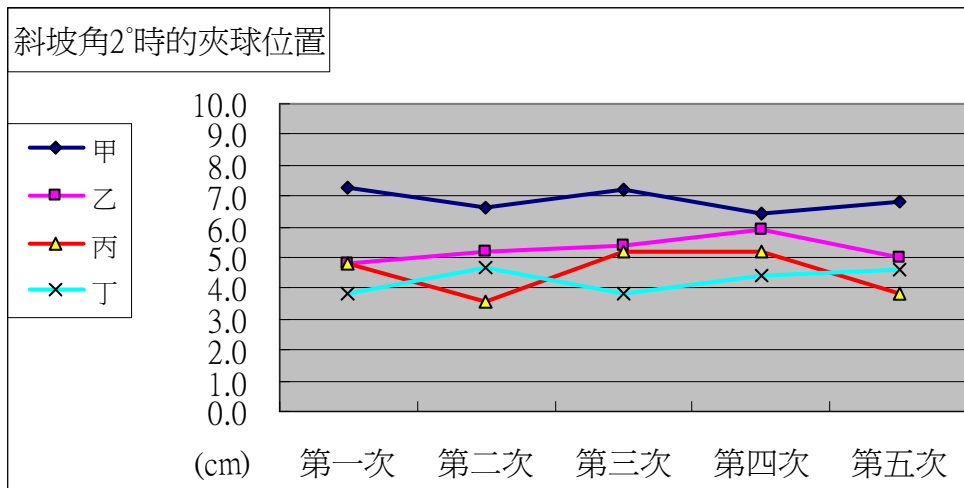


圖 10-3 用綠色塑膠環測量張開最大的軌道角

(二)實驗結果：

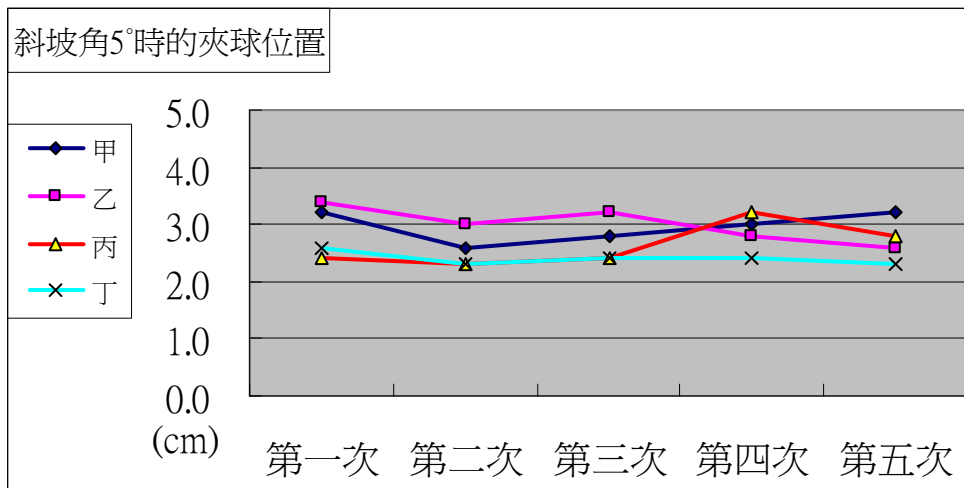
1、斜坡角 2°時的夾球位置及張開最大的軌道角：

方 式 統 計	操 作 者	甲		乙		丙		丁	
		夾球位置 (離起始點)	張開軌道 的最大角	夾球位置 (離起始點)	張開軌道 的最大角	夾球位置 (離起始點)	張開軌道 的最大角	夾球位置 (離起始點)	張開軌道 的最大角
第一次		7.5cm	32°	4.8 cm	23°	4.8 cm	42°	3.8 cm	31°
第二次		6.6 cm	29°	5.2 cm	20°	3.6 cm	37°	4.7 cm	32°
第三次		7.2 cm	31°	5.4 cm	18°	5.2 cm	41°	3.8 cm	29°
第四次		6.4 cm	27°	5.9 cm	21°	5.2 cm	38°	4.4 cm	28°
第五次		6.8 cm	29°	5.0 cm	23°	3.8 cm	37°	4.6 cm	26°
平均		6.9cm	29.6°	5.26cm	21°	4.52cm	39°	4.26cm	29.2°



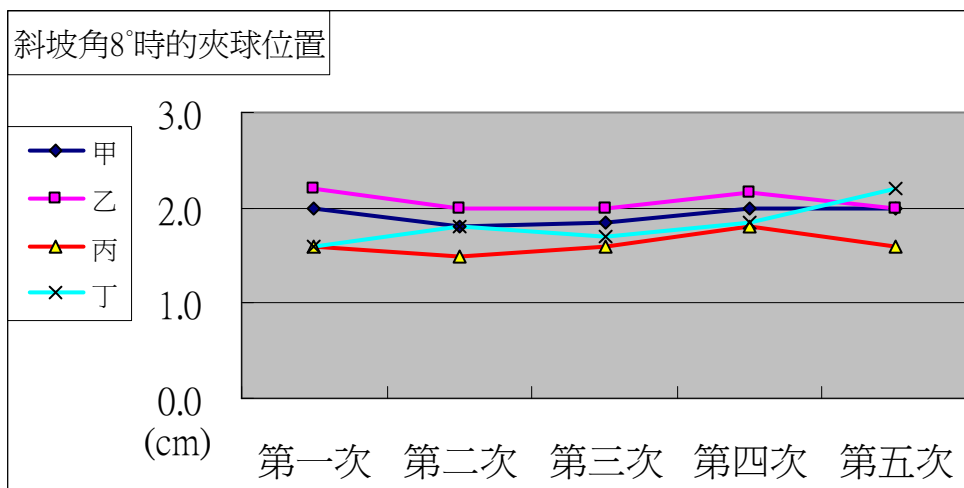
2、斜坡角 5°時的夾球位置及張開最大的軌道角：

方 式 統 計	操 作 者	甲		乙		丙		丁	
		夾球位置 (離起始點)	張開軌道 的最大角	夾球位置 (離起始點)	張開軌道 的最大角	夾球位置 (離起始點)	張開軌道 的最大角	夾球位置 (離起始點)	張開軌道 的最大角
第一次		3.2 cm	35°	3.4 cm	33°	2.4 cm	48°	2.6 cm	39°
第二次		2.6 cm	36°	3.0 cm	35°	2.3 cm	46°	2.3 cm	39°
第三次		2.8 cm	35°	3.2 cm	33°	2.4 cm	41°	2.4 cm	39°
第四次		3.0 cm	34°	2.8 cm	34°	3.2 cm	43°	2.4 cm	36°
第五次		3.2 cm	36°	2.6 cm	36°	2.8 cm	39°	2.3 cm	38°
平均		2.96cm	35.2°	3.0cm	34.4°	2.62cm	43.4°	2.4cm	38.2°



3、斜坡角 8°時的夾球位置及張開最大的軌道角：

方 式 統 計	操 作 者	甲		乙		丙		丁	
		夾球位置 (離起始點)	張開軌道 的最大角	夾球位置 (離起始點)	張開軌道 的最大角	夾球位置 (離起始點)	張開軌道 的最大角	夾球位置 (離起始點)	張開軌道 的最大角
第一次		2.0 cm	39°	2.2 cm	45°	1.6 cm	51°	1.6 cm	42°
第二次		1.8 cm	43°	2.0 cm	39°	1.5 cm	50°	1.8 cm	48°
第三次		1.9 cm	45°	2.0 cm	40°	1.6 cm	51°	1.7 cm	49°
第四次		2.0 cm	46°	2.2 cm	42°	1.8 cm	49°	1.9 cm	40°
第五次		2.0 cm	39°	2.0 cm	39°	1.6 cm	49°	2.2 cm	43°
平均		1.94cm	42.4°	2.08cm	41°	1.62cm	50°	1.84cm	44.4°



(三)我們發現：

- 1、斜坡角越大時，夾球的位置要越靠近起始點的地方，才容易讓球往上滾成功。
- 2、不同的操作者張開軌道時有不同的大小；但同樣一個操作者，當斜坡角越大時，張開軌道的最大角有趨於變大的傾向。

伍、討論

一、在軌道形狀方面：

圓形軌道因為圓弧的接觸面比較滑順，讓球不易被兩根木桿卡住，所以容易成功。而正方形和長方形軌道，會使球在木桿 90 度接觸面的上方和側面卡住；而三角形軌道因為側面接觸面積多、摩擦力大，反而成為上滾的阻力。

二、在軌道粗細方面：

粗的木桿可以撐住球的面積比較大，所以球在軌道上的時間長，可以讓操作者有較多的反應時間來調整軌道，所以會有較高的成功率。

三、在軌道材質方面：

塑膠桿的成功率高，推測與軌道的性質有關，可能是塑膠桿能讓保利龍球在軌道上的滯留時間較長，而且在第二階段操作過程中，塑膠桿在夾擠球時，會有“抓得住球”的感覺。

四、在軌道表面摩擦力方面：

塗上爽身粉的軌道，會使軌道的摩擦力減少，就容易開始滾動，而且在滾動的過程當中，球也不容易被軌道卡住，故球往上滾的成功率會提高。

五、在各種不同的球方面：

1、**表面光滑、材質稍硬、滑溜的塑膠球(直徑 6.8cm)**，能往上滾動最長的距離，推測原因可能是因為在所有實驗的球當中，它是直徑適中、重量輕、材質不會容易變形，而且表面摩擦力小的球。

2、**籃球雖然重量很重(560 克)**，但是因為本身球的直徑很大(24.5cm)，在軌道上不容易被夾住或掉落到桌面，所以只要操作者夾擠的力量夠大，通常就能成功的讓球往上滾，所以可以往上滾很長的距離。

3、**乒乓球雖然很輕、表面堅硬、光滑、容易滾動**，但是因為**直徑太小**，所以容易從軌道上掉下，實驗結果就不如硬塑膠球及籃球。

六、在不同大小的球方面：

1、因為當軌道張開的寬度大於球的直徑時，球就會掉落到桌面，所以當球的直徑越大，就越不容易從軌道上掉下去；而且在第二階段收合軌道時，因為**大球的直徑大**，所以球有比較多的表面可以和軌道接觸，就能讓軌道有更多的機會把球夾擠上去。

2、**小球的直徑小**，軌道張開的寬度容易比小球的直徑大，所以小球就容易掉落到桌面；而且小球與軌道可以接觸的表面少，操作者也容易反應不及就讓球掉下去而無法成功。

七、在不同重量的球方面：

重量輕的球，須要克服的地心引力較小，故容易成功。如果球重量太重，就會克服不了地心引力，而快速下墜。

八、在**不同重量分布**的球方面：

不同重量分布的球差別在於**轉動的傾向**，也就是**轉動慣量**會有所不同。**重量分布靠外側的球**的轉動慣量大，不容易滾動，而且平均速率較慢，但是能滾得比較遠。

我們查過相關書籍，發現轉動慣量在高中有較詳細的教學，雖然我們實驗結果也符合轉動慣量公式(見註解一)並印證公式，但目前只能了解到這個程度，精確的計算將留在高中時再進一步探討。

九、在**不同重心位置**的球方面：

1、球重心位置在球心，球往上滾會有最長距離。如果球重心位置不在球的心，就會產生不同的方向的轉動力矩，而造成速度時快時慢的變速度運動。

2、**球重心位置在上端**會比在下端、左端和右端的滾動距離長，推測是因為小鋼珠在上端時，會造成一個有利於往上滾的轉動力矩，所以會容易成功。

十、從研究問題一到研究問題九的所有實驗中，當斜坡角大時，下滑力就會變大，須要克服的地心引力也大，故球往上滾的最長距離也會越來越短。

十一、**不同的操作者**，在軌道的**斜坡角越大**時，因為球與軌道的接觸點會越往前移，所以**張開軌道的角度就要大**，才能讓重心的垂直線超過接觸點，但是這樣就會讓球很快的往下墜，所以**夾球的位置要越靠近起始點**的地方，才容易讓球往上滾成功。

註解一：圓形物體的轉動慣量 I 可寫成 $I = KmR^2$ ，其中 m 為質量、 R 為半徑， K 是一個常數。對**圓柱**而言 K 值為 $1/2$ ，**圓環** $K=1$ 。而在我們研究中，**重量分布均勻**的球，裡面軟磁鐵做成的薄圓盤可視為**薄圓柱**、**重量(8顆小鋼珠)分布靠內側**的球或**靠外側**的球，內部可視為**圓環**，只是兩者半徑 R 大小不同。因為這三者質(重)量 m 都相同，故**轉動慣量以重量分布在外側的球最大**。

陸、結論

- 一、相同材質和粗細的木桿，以**圓形**的木桿軌道能讓球容易往上滾動。
- 二、相同材質的圓形木桿，以**軌道較粗**的木桿軌道能讓球容易往上滾動。
- 三、相同圓形和粗細的長桿，以**塑膠管材質**的軌道能讓球容易往上滾動。
- 四、不同的軌道表面，以**摩擦力小的**(例如塗上爽身粉)的軌道能讓球容易往上滾動。
- 五、各種不同的球在斜坡上滾動，以**表面光滑、材質稍硬、滑溜的塑膠球**，能讓球往上滾動有最長的距離。
- 六、不同大小的球，以**體積大**的球，能讓球往上滾動有最長的距離。
- 七、不同重量的球，以**重量輕**的球，能讓球往上滾動有最長的距離。
- 八、不同重量分布的球在斜坡上滾動，以**重量分布靠外側**的球，能讓球往上滾動有最長的距離。
- 九、不同重心位置的球在斜坡上滾動，以**重心位置在球心**最容易成功；而重心位置不在球心

的球，在軌道上會做變速度運動。

十、根據前面的實驗結果，在本研究中想要讓「球往上滾」容易成功，必須結合「器材」和「人爲」兩方面的最佳條件：

1、**器材方面**：

(1)軌道以**圓形、較粗(21mm)的塑膠桿**，並且**塗上爽身粉**爲佳。

(2)滾的球要以**表面光滑、材質稍硬、大小適中、較輕，而且重心位置在球心的塑膠球**爲佳。

2、**人爲方面**：

(1)當**斜坡角 2°**時，操作者的夾球位置建議在**距離起始點 3.6cm~7.5cm 之間**，張開最大的**軌道角在 18°~42°**之間。

(2)當**斜坡角 5°**時，操作者的夾球位置建議在**距離起始點 2.3cm~3.4cm 之間**，張開最大的**軌道角在 33°~48°**之間。

(3)當**斜坡角 8°**時，操作者的夾球位置建議在**距離起始點 1.6cm~2.2cm 之間**，張開最大的**軌道角在 39°~51°**之間。

(4)總而言之，當斜坡角越大時，夾球的位置要越靠近起始點的地方，才容易讓球往上滾成功。

十一、本實驗器材新穎獨特，可引起遊戲者對科學原理的好奇心；而且實驗器材特色爲**可調角度式的平台**，可以選擇不同難度的斜坡角，既趣味又充滿挑戰性。

十二、未來建議可應用在**教學**上，讓遊戲者學習重力與斜坡力學原理；或是當成**益智遊戲**來促進遊戲者的專注力、手眼協調和小肌肉訓練；另外也可以當做**復健**訓練器材。

柒、參考資料

1、蔡坤憲(2001)。觀念物理Ⅱ。台北市：天下文化。原著：休伊特。

2、林耀中等(1994)。向上爬！探討無動力之錐體在坡道上如何爬坡。中華民國第三十四屆中小學科展國中組物理科。

【評語】 080114

這是一件有趣好玩的題材，作者利用簡易器材有系統的探討分析球向上滾動的原理，運動距離與速率，並歸納出成功挑戰最陡斜坡角的器材與操控條件，符合學生程度。