

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高級中等學校組 物理與天文學科

051813

氣球炸彈

學校名稱： 國立鳳山高級中學

作者：  高二 董彥寬  高二 許瀚元  高二 張詠翔	指導老師：  張國偉
---	------------------

關鍵詞： 碰撞、氣球、爆炸

# 摘要

我們發現了一項名為氣球炸彈的實驗，經過一些初步的實驗發現氣球的爆炸情況隨著高度上升有規律，起初認為應該是氣球落下至地面時的速度在特定高度會激增或驟減，但經研究後顯示其符合一般空氣阻力的自由落體，而在最後成功歸納出其規律模式並分類。之後我們探討氣球在施放後第一次接觸地面就爆炸時，內容物所需的最小動能，成功推出鋼珠與氣球的物理模型，得出所需最小動能大約正比於鋼珠半徑。

## 壹、研究動機

我們在網路上找資料時看到一項名為氣球炸彈的趣味小實驗，實驗內容是將氣球裝入硬幣並充氣後使其從空中自由落下，落地時氣球便會破裂，看到這我們便深感興趣，且我們在網路上查到的資料只有氣球爆炸的簡易原理，並沒有關於這項實驗的延伸，於是我們便親自去動手做做看，原本以為只是在很高的高度會爆炸而低的高度不會，但沒想到我們意外發現除了會有落地後就爆炸還會有氣球落下第二次接觸地面後爆炸等不一樣的爆炸情形，所以我們決定進行更深入的探討。

## 貳、研究目的

- 一、探討高度對速度的影響。
- 二、探討高度對氣球爆炸情形的影響。
- 三、探討內容物種類(硬幣、鋼珠)對氣球爆炸情形的影響。
- 四、探討氣球大小對氣球爆炸情形的影響。
- 五、探討氣球第一次落地時就破裂時內容物所需的最小動能。

## 參、研究設備與器材

5元硬幣	10元硬幣	50元硬幣	16mm鋼珠 16.80公克	18mm鋼珠 23.95公克	20mm鋼珠 32.94公克	透明乳膠 氣球
						

打氣筒	高度測量工具	捲尺	tracker	窗戶(用於測量氣球側面最大寬度)	手機架	desmos
						

## 肆、研究過程與方法

### 一、研究過程

#### (一)思考醞釀：

我們想知道氣球在分別裝入不同硬幣、鋼珠下，隨著施放高度的增加而有什麼規律，我們發現隨著高度、氣球大小等變因的不同，會出現氣球彈地或撞擊地面數次後才爆炸的現象。

#### (二)實驗流程：

- 1.進行硬幣放入氣球自由落下之實驗。
- 2.進行鋼珠放入氣球自由落下之實驗。
- 3.利用Tracker擷取實驗過程中的物理量，並用Google試算表整理數據，進行數據分析。

### 二、研究方法

#### (一)研究原理：

因氣球為「橡膠」材質，硬度低，較容易被撞擊出破洞。當氣球由高處落下至地面時，氣球內部的硬幣撞擊氣球，使氣球橡膠的彈性張力達到其上限，導致表面撞出長條形的破洞，由於氣球已經繃緊，具有表面張力，長條形破洞的上、下兩端之張力不平衡，因而迅速裂開而爆破。

(二)實驗前置步驟:

- 1.將身高尺固定於牆上，以方便觀察高度與設立比例尺。
- 2.將不同規格之硬幣或鋼珠放入氣球並充氣。
- 3.將窗戶拉開至實驗所需之寬度，固定氣球的大小，如圖(一)。
- 4.調整腳架至固定高度並放置於定點拍攝氣球落下的影像。



圖(一)

(三)實驗步驟：

- 1.將實驗由內容物種類與氣球寬度進行分類，如表(一)，再分別從高度10公分至300公分每間隔10公分釋放氣球，並重複做10次。

內容物種類	五元硬幣	十元硬幣	五十元硬幣	16mm鋼珠	18mm鋼珠	20mm鋼珠
氣球寬度(cm)	(1)25 (2)27.5 (3)30	(1)25 (2)27.5 (3)30	(1)25 (2)27.5 (3)30	(1)27.5(25 不會破裂) (2)30	(1)27.5(25 不會破裂) (2)30	(1)27.5(25 不會破裂) (2)30

表(一)

- 2.利用手機架固定手機位置與高度並錄影。
- 3.用表格紀錄氣球爆炸情形。

實驗結果簡記說明:

X:氣球無爆炸

1:氣球落下第一次接觸地面時爆炸

2:氣球落下第二次接觸地面時爆炸以此類推

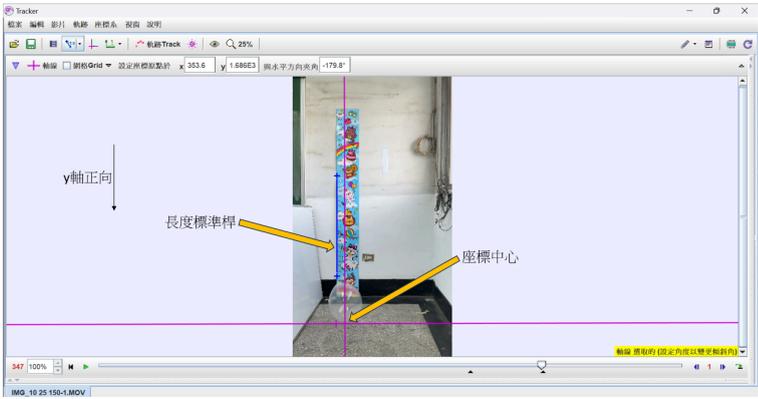
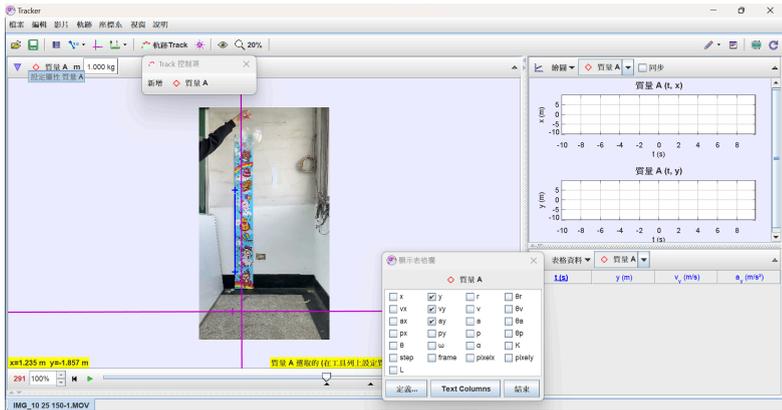
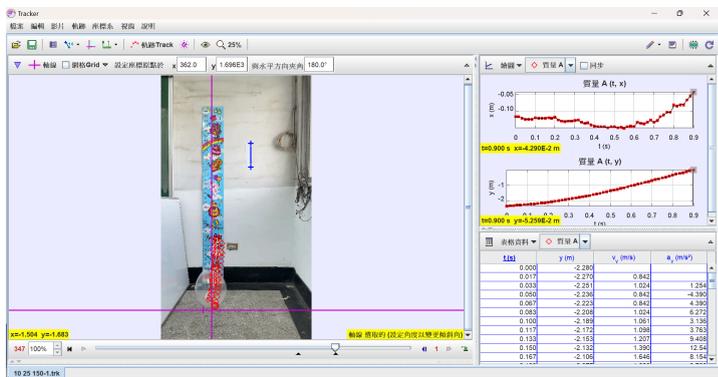
	A	B	C	D
5	高度(m)	10	20	30
6	第一次實驗結果	X	X	2
7	第二次實驗結果	X	2	2
8	第三次實驗結果	3	2	X
9	第四次實驗結果	X	X	2
10	第五次實驗結果	X	2	X
11	第六次實驗結果	X	X	2

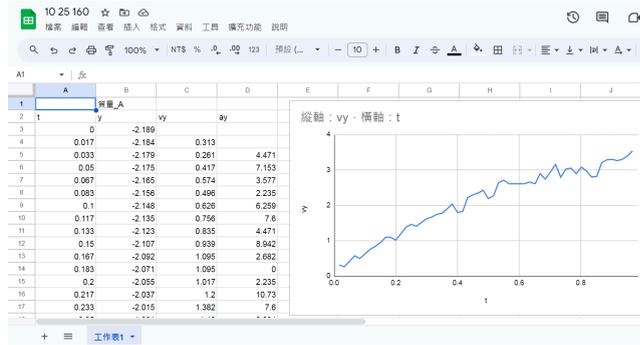
表(二)

- 4.利用Tracker及Google試算表分析氣球掉落過程。

(四)數據分析：

1.

步驟	說明
一	 <p>匯入欲分析的影像，設定座標軸及長度標準桿，並翻轉座標軸使y軸正向朝下。</p>
二	 <p>新增質點並於右方表格處點選欲追蹤的數據後，將影像開頭滑動至氣球釋放時即可開始追蹤。</p>
三	 <p>追蹤至氣球爆炸或不再彈起。</p>



將數據匯出並記錄於Google試算表後，利用數據做出各種圖表。

2.利用desoms進行擬合，判斷空氣阻力是正比於速度一次方還是二次方

### 伍、研究結果與討論

#### 一、研究結果

說明:表(三)到表(十六)中，被框為紅色的表示為範圍A，橘色為範圍B，綠色為範圍C，淺藍色為範圍D，深藍色為範圍E。其中A~E為分析與討論中的五大情況。而我們將表中研究結果簡化為箭頭，其中括號中的數字如數字2，為該範圍中最大可能發生了氣球接觸地面二次後破裂，即為實驗步驟中所說的簡計方法

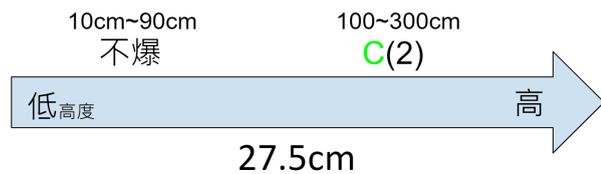
(一)五元、氣球寬度25公分的爆炸情形。

此組實驗於任何高度落下皆無發生爆炸。

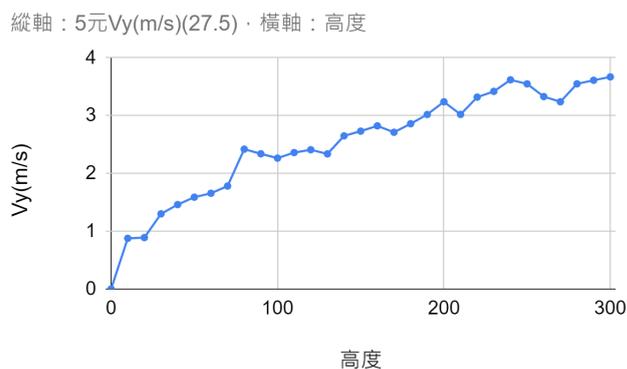
(二)五元、氣球寬度27.5公分的爆炸情形(表三、圖二、圖三)。

高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300		
第一次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	X	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
第二次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	X	2	2	X	2	1	1	2	1	2	1	2	X	2	2	X	X	2	1	
第三次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3	3	1	3	1	2	2	2	2	1	2	X	2	1	X	2	2	1	2	
第四次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	2	X	2	3	2	2	1	X	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2	
第五次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3	2	2	3	2	1	1	1	2	2	2	1	2	2	3	1	2	1	2	2	
第六次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3	3	X	3	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	X
第七次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4	X	X	2	3	2	2	2	1	2	X	2	X	2	1	3	2	X	1	2	1	2	
第八次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	2	2	X	2	X	2	2	2	2	1	2	2	X	2	2	1	2	1	
第九次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	X	2	1	1	2	X	2	2	2	1	2	X	X	1	2	1	2	X	2	
第十次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	X	2	2	2	2	2	2	2	2	X	2	2	2	2	2	2	2	2	X	2	1

表(三)



圖(二)



圖(三)

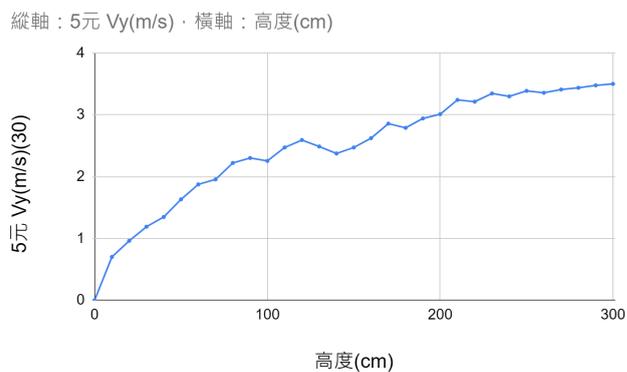
(三)五元、氣球寬度30公分的爆炸情形(表四、圖四、圖五)。

高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
第一次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
第二次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	X	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	
第三次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	
第四次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	3	2	1	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2	1	
第五次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	
第六次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	x	2	1	2	2	
第七次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	X	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	
第八次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	2	1	1	1	1	2	2	1	2	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
第九次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	
第十次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	2	X	X	1	X	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2

表(四)



圖(四)



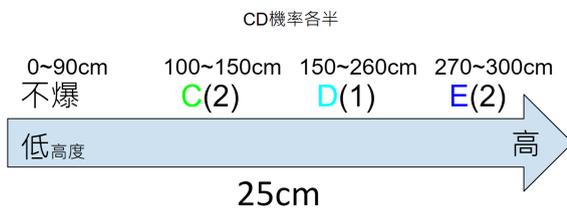
圖(五)

(四)十元、氣球寬度25公分的爆炸情形(如表五、圖六、圖七)。

重疊(情況C、D機率各半)

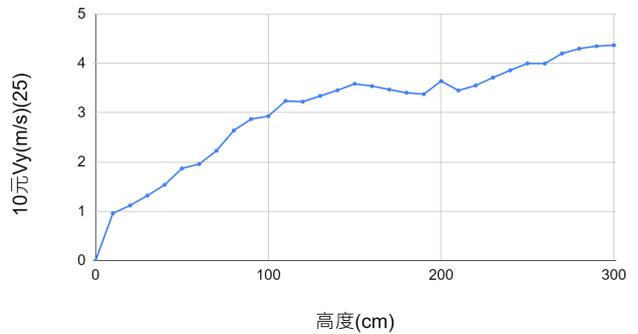
高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
第一次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
第二次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	X	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2
第三次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2
第四次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1
第五次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	2	X	X	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
第六次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	X	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2
第七次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	3	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1
第八次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2
第九次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	3	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
第十次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	2	X	2	2	X	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2

表(五)



圖(六)

縱軸：10元Vy(m/s)(25) · 橫軸：高度(cm)

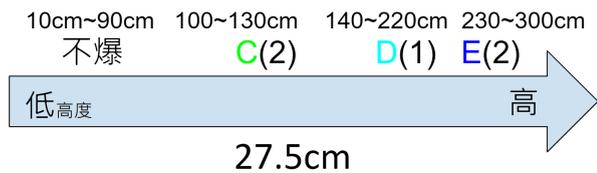


圖(七)

(五)十元、氣球寬度27.5公分的爆炸情形(如表六、圖八、圖九)。

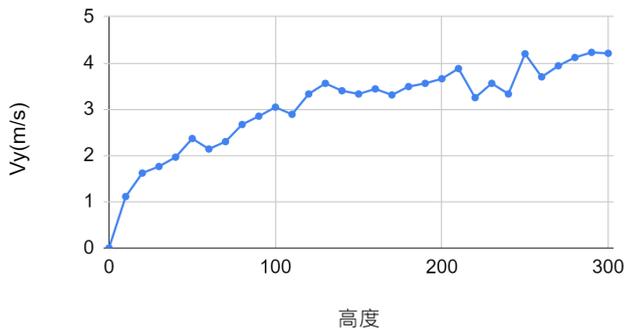
高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
第一次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	X	2	2	2	1	1	2	1	1	1	X	2	2	2	2	2	2	2	2	1	
第二次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	3	2	2	X	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	X	
第三次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	X	2	X	X	1	2	1	2	2	1	2	X	2	2	1	2	2	1	
第四次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	X	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	
第五次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	X	2	1	2	1	X	1	1	1	1	1	1	X	2	2	2	2	2	1	2	2
第六次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	3	1	2	1	1	1	1	1	X	1	1	X	1	1	X	2	X	1	2	X
第七次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	3	X	3	2	2	X	1	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
第八次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3	X	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	X	2
第九次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1
第十次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	X	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	X	2	2	2	2	1	1

表(六)



圖(八)

縱軸：10元Vy(m/s)(27.5) · 橫軸：高度



圖(九)

(六)十元、氣球寬度30公分的爆炸情形(如表七、圖十、圖十一)。

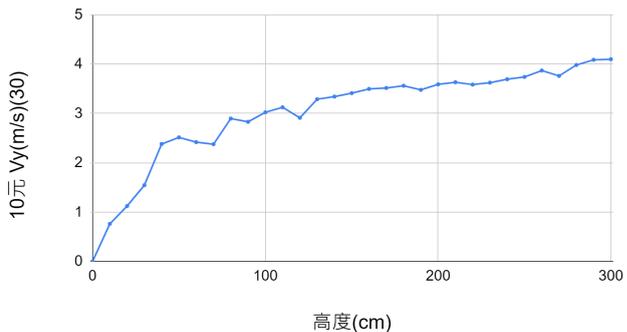
高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
第一次實驗結果	X	X	X	X	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	
第二次實驗結果	X	X	X	X	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1
第三次實驗結果	X	X	X	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	
第四次實驗結果	X	X	X	X	X	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	X	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
第五次實驗結果	X	X	X	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2
第六次實驗結果	X	X	X	X	X	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	X	2	2	2	2
第七次實驗結果	X	X	X	X	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	X
第八次實驗結果	X	X	X	X	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2
第九次實驗結果	X	X	X	X	1	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	x	1	2	2	1	2	2
第十次實驗結果	X	X	X	X	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1

表(七)



圖(十)

縱軸：10元 Vy(m/s)(30) · 橫軸：高度(cm)



圖(十一)

(七)五十元、氣球寬度25公分的爆炸情形(如表八、圖十二、圖十三)。

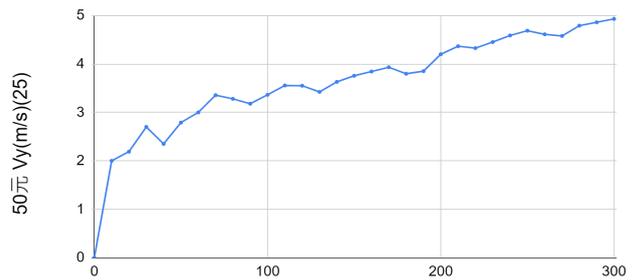
高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
第一次實驗結果	X	X	4	3	X	X	2	2	X	2	2	3	1	2	X	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	X	2	1	2
第二次實驗結果	X	X	2	3	3	X	3	X	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1
第三次實驗結果	X	X	X	X	X	X	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	X	1	2	2	2	1	1	1	1	
第四次實驗結果	X	X	4	2	X	2	X	2	2	X	X	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	
第五次實驗結果	X	X	X	4	X	X	2	2	2	2	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
第六次實驗結果	X	X	3	2	2	X	2	X	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	
第七次實驗結果	X	X	4	3	X	X	2	2	X	2	2	1	2	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	
第八次實驗結果	X	X	2	X	X	2	X	2	2	X	2	X	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	
第九次實驗結果	X	X	X	4	X	X	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	X	1	1	1	1	1	
第十次實驗結果	X	X	3	3	X	X	X	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	

表(八)



圖(十二)

縱軸：50元 Vy(m/s)(25) · 橫軸：高度(cm)



高度(cm)  
圖(十三)

(八)五十元、氣球寬度27.5公分的爆炸情形(如表九、圖十四、圖十五)。

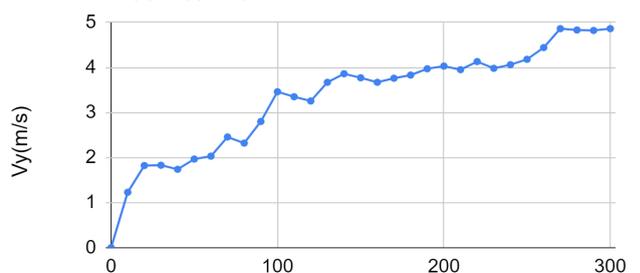
高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
第一次實驗結果	X	2	2	X	X	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	
第二次實驗結果	X	3	2	2	X	X	2	2	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	X	1	1	1	
第三次實驗結果	X	X	3	X	2	2	2	X	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	X	2	1	1	2	1	1	1	
第四次實驗結果	X	2	X	3	X	2	X	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	X	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	
第五次實驗結果	X	X	2	3	2	X	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	X	1	1	
第六次實驗結果	X	X	4	2	X	1	X	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	X	
第七次實驗結果	X	2	2	4	X	2	2	1	2	X	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
第八次實驗結果	X	X	2	3	2	2	2	2	2	1	2	X	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	
第九次實驗結果	X	3	X	X	X	2	1	2	1	1	2	1	2	1	1	1	2	X	1	2	1	X	1	1	1	1	1	1	1	X	1
第十次實驗結果	X	2	3	X	X	X	X	X	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	X	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1

表(九)



圖(十四)

縱軸：50元 Vy(m/s)(27.5) · 橫軸：高度



高度  
圖(十五)

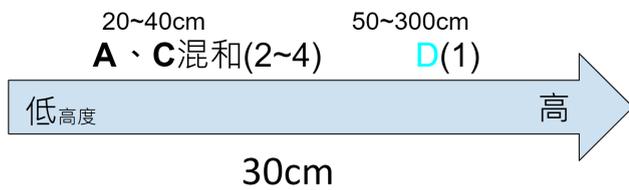
(九)五十元、氣球寬度30公分的爆炸情形(如表十、圖十六、圖十七)。

重疊(情況)A、C混和

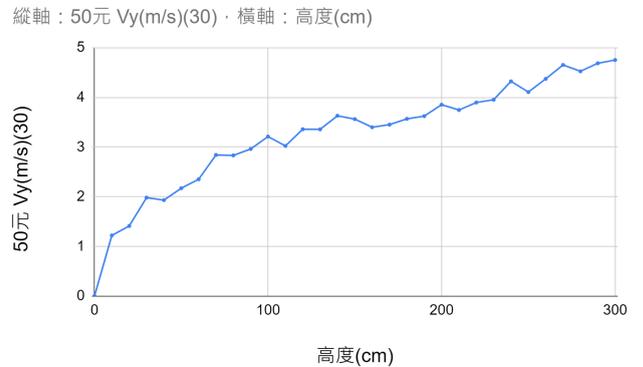
↑

高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
第一次實驗結果	X	X	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1
第二次實驗結果	X	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	X
第三次實驗結果	X	2	X	X	X	1	2	1	1	X	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
第四次實驗結果	X	2	3	X	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
第五次實驗結果	X	2	2	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	X	1	1	1	1	1	1
第六次實驗結果	X	X	3	2	1	2	1	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	1
第七次實驗結果	X	X	X	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1
第八次實驗結果	X	2	2	2	1	1	1	X	1	1	1	2	2	X	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
第九次實驗結果	X	X	X	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	X	X	1	1	1	1	1	1
第十次實驗結果	X	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

表(十)



圖(十六)

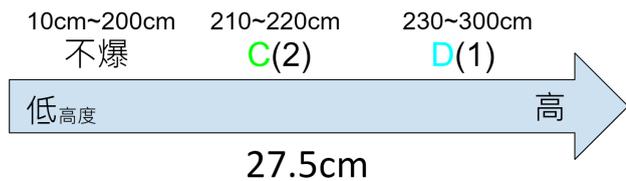


圖(十七)

(十)16毫米鋼珠、氣球寬度27.5公分的爆炸情形(如表十一、圖十八、圖十九)。

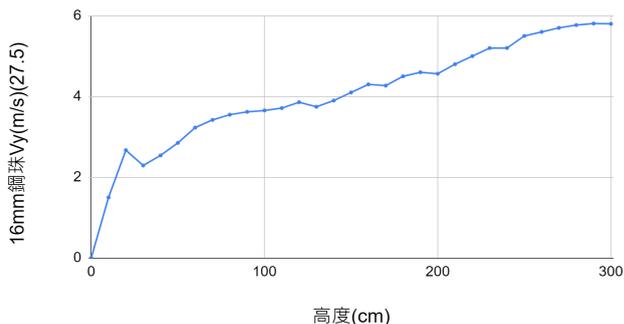
高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
第一次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	X	1	2	1	1	1	1	1	
第二次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	1	1	1	1	1	1	
第三次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	1	1	1	1	1	1	1	
第四次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1
第五次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	1	1	2	1	1	1	1	1
第六次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	1	1	1	1	2	1	1	1
第七次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	1	1	1	1	1	1	2
第八次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1
第九次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	1	2	1	1	1	1	1
第十次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1

表(十一)



圖(十八)

縱軸：16mm鋼珠Vy(m/s)(27.5) · 橫軸：高度(cm)



圖(十九)

(十一)16毫米鋼珠、氣球寬度30公分的爆炸情形(如表十二、圖二十、圖二十一)。

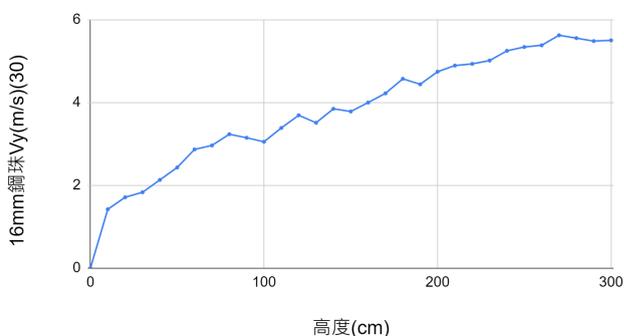
高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
第一次實驗結果	X	X	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
第二次實驗結果	X	2	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
第三次實驗結果	X	3	4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
第四次實驗結果	X	4	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	X	1	2	1	1
第五次實驗結果	X	3	X	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	X	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1
第六次實驗結果	X	3	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	X
第七次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1
第八次實驗結果	X	4	4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	1	1	1	1	X	1	2	1	1	1	1	1	1	1
第九次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	X	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1
第十次實驗結果	X	3	3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

表(十二)



圖(二十)

縱軸：16mm鋼珠Vy(m/s)(30) · 橫軸：高度(cm)



圖(二十一)

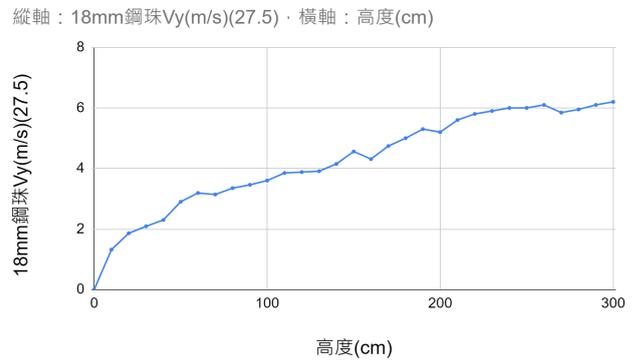
(十二)18毫米鋼珠、氣球寬度27.5公分的爆炸情形(如表十三、圖二十二、圖二十三)。

高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
第一次實驗結果	X	X	X	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	
第二次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	X	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1
第三次實驗結果	X	X	X	4	X	X	X	X	X	X	X	X	2	X	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	X	1	1
第四次實驗結果	X	X	X	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	X	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
第五次實驗結果	X	X	X	3	X	X	X	X	X	X	X	X	2	X	2	2	2	1	1	2	1	1	2	X	2	1	1	1	2	1	
第六次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	X	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2
第七次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	2	X	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1
第八次實驗結果	X	X	X	4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
第九次實驗結果	X	X	X	3	X	X	X	X	X	X	X	X	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
第十次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2	1	X	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2

表(十三)



圖(二十二)



圖(二十三)

(十三)18毫米鋼珠、氣球寬度30公分的爆炸情形(如表十四、圖二十四、圖二十五)

高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
第一次實驗結果	X	X	2	X	X	X	X	X	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	
第二次實驗結果	X	3	3	X	X	X	X	X	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	
第三次實驗結果	X	2	4	X	X	X	X	X	X	1	2	1	1	1	X	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	
第四次實驗結果	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
第五次實驗結果	X	4	X	X	X	X	X	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	X	1	1	2	2	1	1	1	1	
第六次實驗結果	X	3	3	X	X	X	X	X	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	X
第七次實驗結果	X	X	2	X	X	X	X	X	2	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
第八次實驗結果	X	3	X	X	X	X	X	2	X	1	X	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
第九次實驗結果	X	X	4	X	X	X	X	X	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1
第十次實驗結果	X	3	2	X	X	X	X	X	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

表(十四)



(十五)20毫米鋼珠、氣球寬度30公分的爆炸情形(如表十六、圖二十八、圖二十九)。

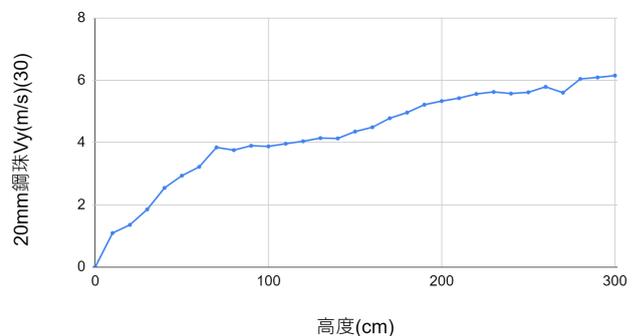
高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	
第一次實驗結果	X	4	X	X	2	X	1	X	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	X	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1
第二次實驗結果	X	2	2	X	X	2	X	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
第三次實驗結果	X	X	2	3	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	
第四次實驗結果	X	3	3	X	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	
第五次實驗結果	X	X	4	4	X	X	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	X	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	
第六次實驗結果	X	4	2	X	X	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	x	1	1	1	1	1	1	
第七次實驗結果	X	3	3	X	X	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	
第八次實驗結果	X	4	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1	X	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
第九次實驗結果	X	X	X	X	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
第十次實驗結果	X	4	3	3	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

表(十六)



圖(二十八)

縱軸：20mm鋼珠Vy(m/s)(30)·橫軸：高度(cm)

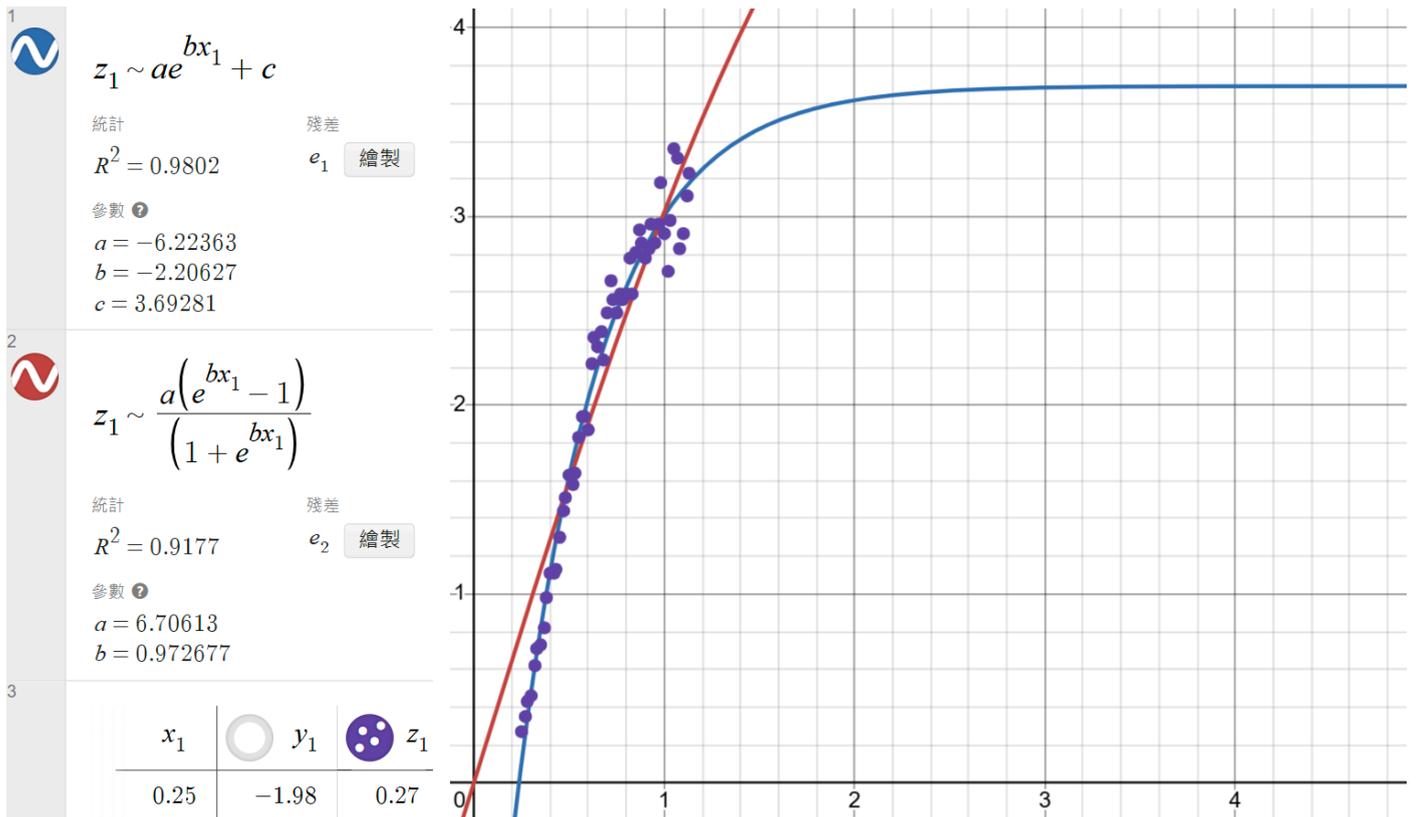


圖(二十九)

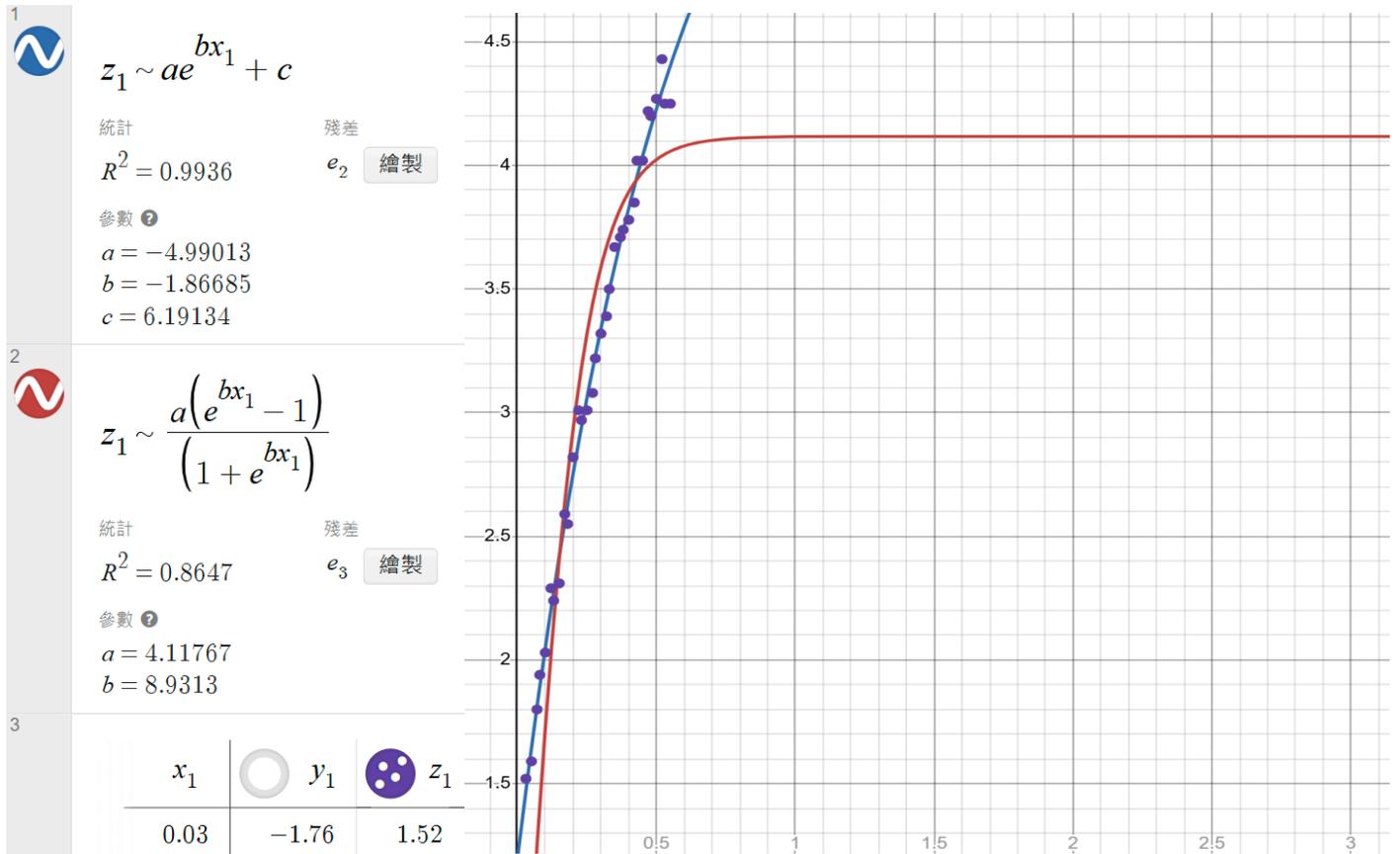
## 二、分析與討論

(一)若氣球所受空氣阻力正比於速度之一次方，則速度和時間的關係式為  $V = \frac{mg}{b} (1 - e^{-\frac{bt}{m}})$

若正比於二次方，則速度和時間的關係式為  $V = \sqrt{\frac{2mg}{\rho C_0 A}} \left( \frac{e^{2\sqrt{gct}} - 1}{1 + e^{2\sqrt{gct}}} \right)$ ，而後我們利用desmos分別將兩關係式與tracker分析所測得的多組實際(V-t)圖進行擬合(如圖三十、三十一)，圖中藍色函數為正比於一次方，紅色則是二次方，而表格中X為時間(s)，Z<sub>1</sub>為速度(m/s)，可發現不論是裝入鋼珠或是硬幣，速度皆與空氣阻力一次方之函數較接近，因此實驗裝置應為空氣阻力正比於速度之一次方。



圖(三十)50元硬幣 氣球寬度25cm 高度160cm其中一組之(V-t)圖



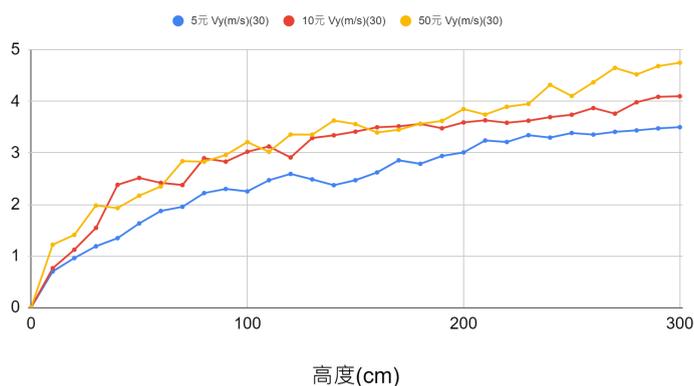
圖(三十一)20mm鋼珠 氣球寬度27.5cm 高度150cm其中一組之V-t圖

(一)各種狀況之第一次落地速度(採取十次平均)-高度圖比較:

1.固定氣球寬度，分別比較不同的硬幣及鋼珠。

(1) 氣球寬度30cm，裝入5元、10元、50元硬幣(如圖三十二)，可發現50元的終端速度>10元>5元，這是符合預期的，因為達到終端速度時，物體加速度=0(m/s)且經由擬合可知空氣阻力 $F=bV$ ，故 $a=0=mg-bV$ ，最後得出  $V=\frac{mg}{b}$ ，代表質量越大終端速度越大，與一般受空氣阻力之自由落體相同。

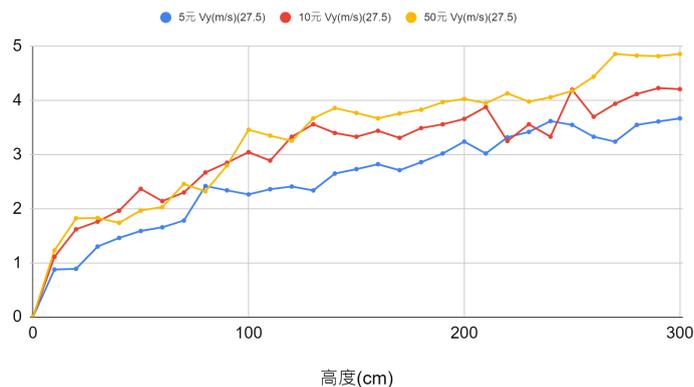
氣球寬度30cm，裝入5元、10元、50元硬幣



圖(三十二)

(2)氣球寬度27.5cm，裝入5元、10元、50元硬幣(如圖三十三)，可發現50元的速度>10元>5元，原因同(1)所述。

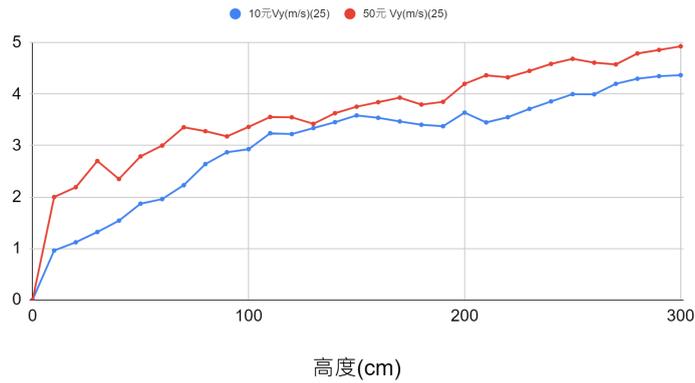
氣球寬度27.5cm，裝入5元、10元、50元硬幣



圖(三十三)

(3)氣球寬度25cm，裝入10元、50元硬幣(如圖三十四)，可發現50元的速度>10元，原因同(1)所述。

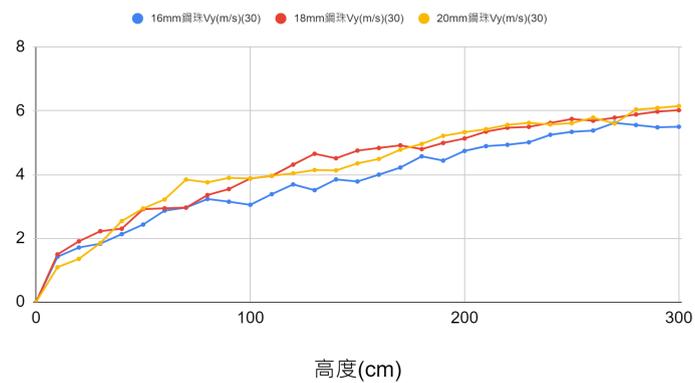
氣球寬度25cm，裝入10元、50元硬幣



圖(三十四)

(3)氣球寬度30cm，裝入鋼珠直徑20mm、18mm、16mm如圖(三十五)，可發現20mm的速度>18mm>16mm，原因同(1)所述。

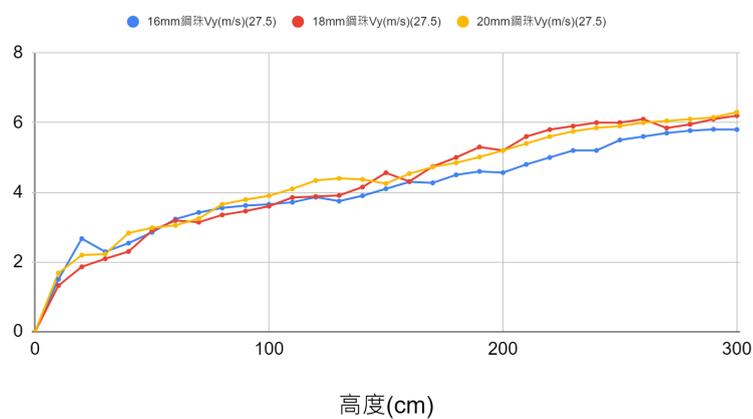
氣球寬度30cm，裝入鋼珠直徑20mm、18mm、16mm



圖(三十五)

(4)氣球寬度27.5cm，裝入鋼珠直徑20mm、18mm、16mm如圖(三十六)，可發現20mm的速度>18mm>16mm，原因同(1)所述。

氣球寬度27.5cm，裝入鋼珠直徑20mm、18mm、16mm

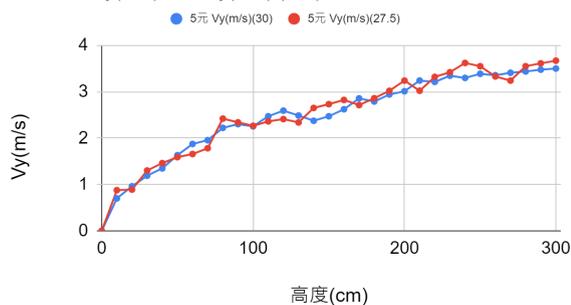


圖(三十六)

## 2. 固定內容物，不同氣球寬度

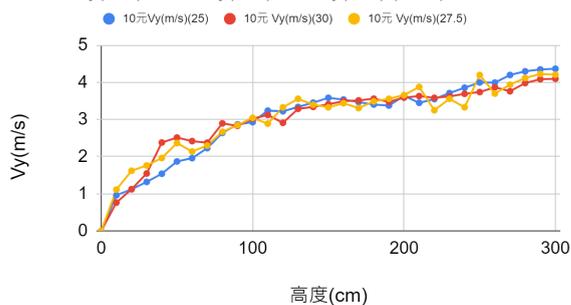
(2) 固定內容物為50元、10元、5元之硬幣，氣球寬度分別為30cm、27.5cm和25cm(如圖三十七、三十八、三十九)。皆可發現氣球寬度25cm之終端速度>27.5cm>30cm，因為整體質量固定但迎風面積氣球寬度30cm>27.5cm>25cm，而由剛剛所推出的公式 $V = \frac{mg}{b}$ ，其中b與與物體的迎風面積呈正相關，故寬度25cm的氣球終端速度會較大。

寬度27.5 Vy(m/s)和30 Vy(m/s) (5元)



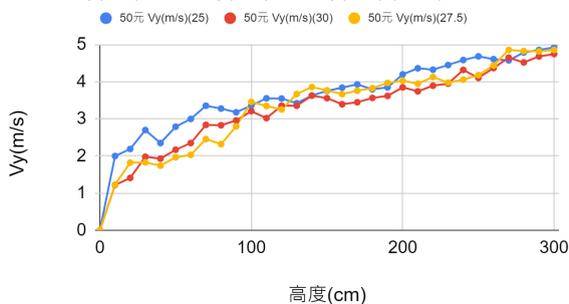
圖(三十七)

寬度25 Vy(m/s)、27.5 Vy(m/s)和30 Vy(m/s) (10元)



圖(三十八)

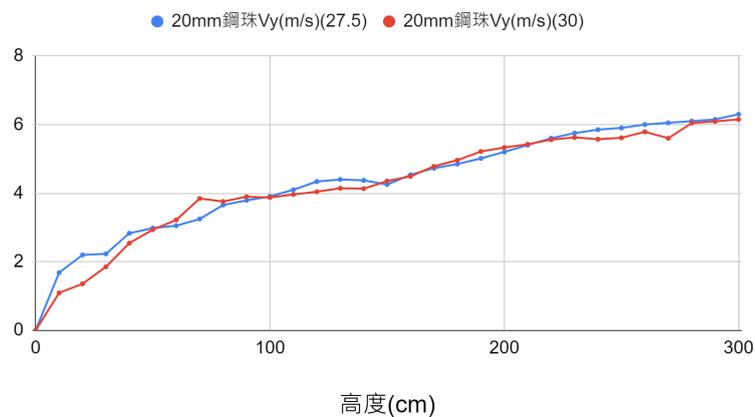
寬度25 Vy(m/s)、27.5 Vy(m/s)和30 Vy(m/s) (50元)



圖(三十九)

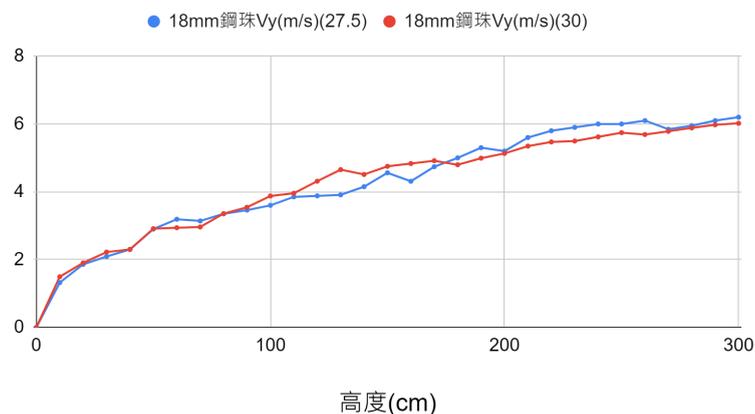
(1)固定內容物為直徑20mm、18mm、16mm之鋼珠，氣球寬度分別為30cm和27.5cm(如圖四十、四十一)，可發現寬度27.5cm之氣球終端速度較大。

20mm鋼珠，寬度分別為30cm和27.5cm



圖(四十)

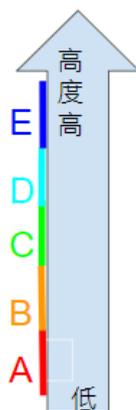
18mm鋼珠，寬度分別為30cm和27.5cm



圖(四十一)

3.小結論:經分析後可發現，隨著釋放高度越高，落地速度越快，但氣球爆炸機率卻無隨之增加，與實驗前預測的結果不同，故推論落地速度並非唯一影響爆炸結果之主要因素。

(二)我們將氣球的實驗結果由低到高依顏色分成五種情況(如圖四十二)，且在研究結果的氣球破裂情形紀錄中用該範圍的顏色作為外框標示:

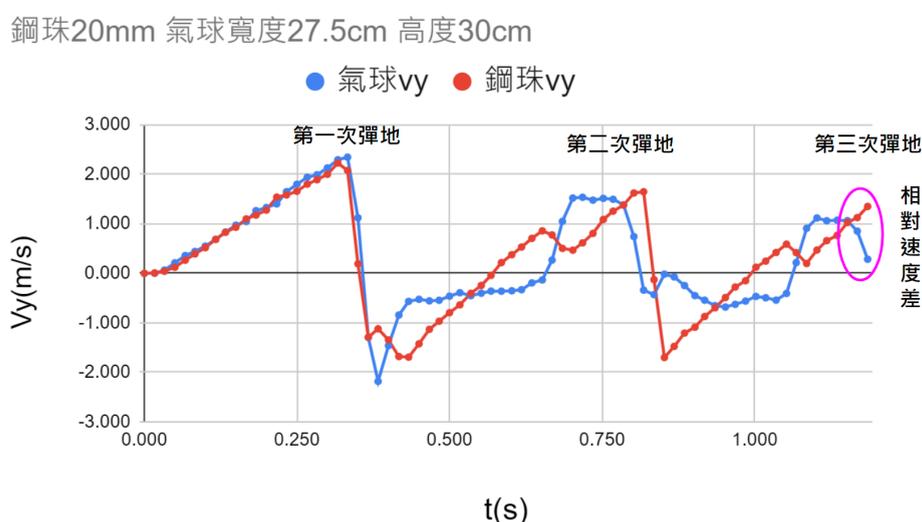


圖(四十二)

1.在範圍A(情況A)時，也就是高度次低時約20至40cm(最低為10cm，且都不會破裂)，部分實驗會發生氣球和內容物彈地數次後(2~4次)破裂，而經過多組實驗觀察得出了以下結論:

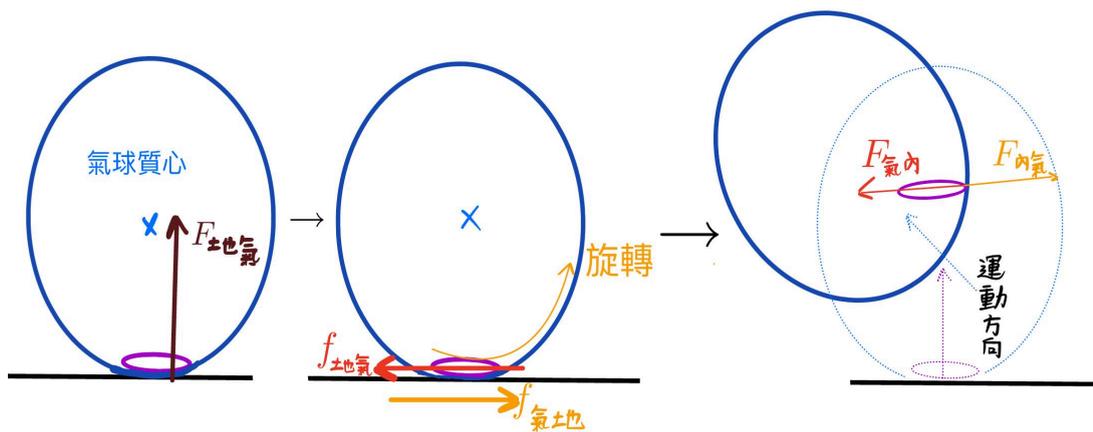
首先，氣球在第一次彈地時，撞擊氣球使其增加的彈性張力未達到氣球所能承受之最大值，而我們分別對內容物及氣球都做了Tracker的速度分析，觀察到在包含第二次以後的每次彈地，撞擊地面前一刻氣球和內容物的速度並不一樣，而是氣球較慢下降、內容物較快下降，造成兩物間形成了相對速度(如圖四十三)，最後在下一瞬間被內容物追趕上並撞擊地面破裂，這是第一次彈地時未有的條件。而從力學的角度看，氣球以較慢的速度下降但內容物是以較快的速度下降，在追趕上的瞬間，氣球整體因慣性而未有明顯速度變化，但內容物以較高速下降使氣球橡皮形成了拉扯，使氣球彈性張力增加，最後又在下一瞬間撞擊地板使其彈性張力又提高，最終超過氣球所能承受之最大張力而破裂，至於彈2、3、4也就在等待發生上述之現象的機會。

而實驗後經Tracker分析可發現，在高度20cm~40cm之間，每一組實驗皆有形成上述之相對速度的情況，但氣球速度較慢時，氣球沒有發生破裂。之後我們發現從五十元硬幣(有發生)到十元、五元硬幣(沒發生)和從20mm、18mm之鋼珠、氣球寬度25cm(有發生)到16mm鋼珠、氣球寬度25cm(沒發生)，可推測因內容物質量變輕，導致即使形成速度差，氣球內容物也會因落地時動能太小而無法使氣球超過氣球膠皮所能承受的彈性張力，再來從16mm鋼珠氣球寬度30cm(有發生)到16mm的27.5cm(沒發生)可知，因氣球較小所以使其破裂所需的彈性張力也較大。



圖(四十三)20mm鋼珠與直徑27.5cm氣球之速度對時間圖表

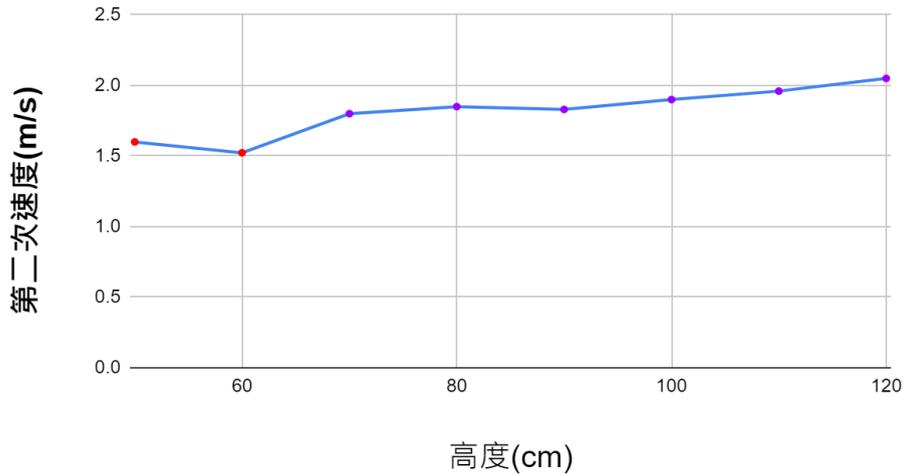
2.在範圍B時(情況B)，氣球並不會破裂，因為在第一次彈地時，氣球橡皮增加的彈性張力未達到氣球所能承受之最大值，而彈地後氣球會大幅度的彈向左邊或右邊，這是因為氣球在落地時，氣球底部最先和地面接觸的點極大機率不會通過氣球質心，導致獲得地面給予的正向力對質心形成力矩，受到力矩轉動時會和地面產生磨擦力而順著氣球轉動方向水平移動(如圖四十四)，而後氣球在水平移動的過程撞到了內容物而使內容物有了水平方向的動能，故落地時鉛直方向的動能會被部分分散成水平動能。而在範圍A時因為施與地面動量不高故獲得之力矩並不足以使氣球大幅度水平移動。最後左右移動的氣球，撞到了內容物而使內容物也獲得了水平方向的速度，也就是說原本鉛直方向的能量被轉換成了水平方向的能量而導致無法使氣球破裂。



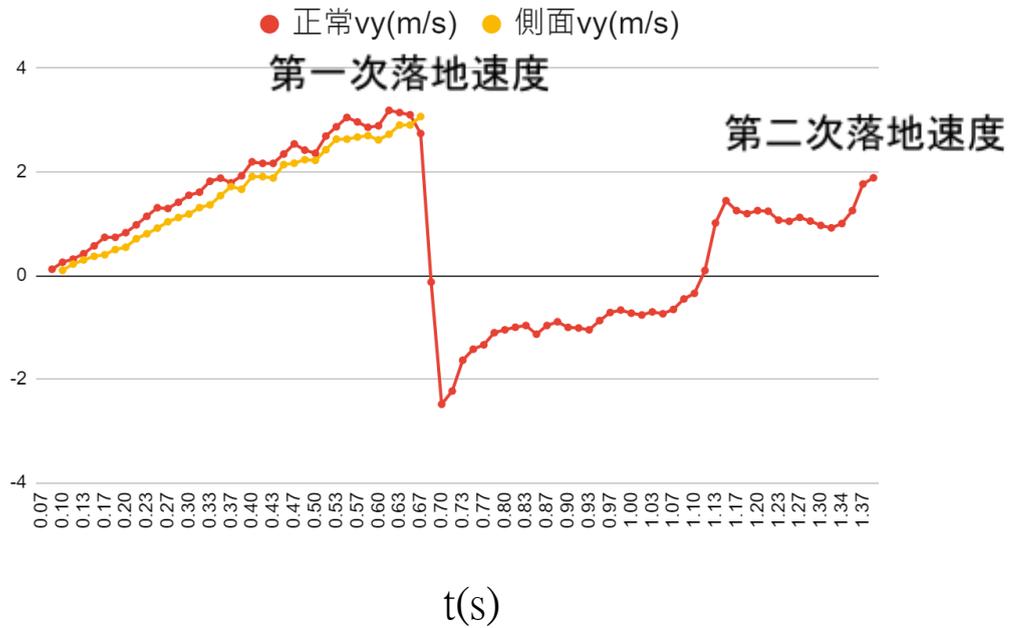
圖(四十四)

3.在範圍C時(情況C)，氣球會在撞擊地面第二次時破裂，因為在第一次彈地撞擊氣球時，對氣球橡皮所使其增加的彈性張力一樣未達到氣球所能承受之最大值，而在彈後氣球一樣會有較大幅度的水平速度，但鉛直分量因施放點夠高而使內容物仍有較情況B第二次落地速度大的鉛質分量(如圖四十五)，最終導致氣球破裂，而第二次落地速度顯然比第一次速度慢(如圖四十六)，但氣球還是會破裂，如同上述原因第一次落地後氣球自身會發生轉動，轉動後使氣球第二次落地時遭到撞擊點為氣球側面，說明氣球側面比較容易破裂，因為氣球設計時底部較厚，側面較薄，故當受到內容物撞擊時氣球較厚的地方有較大承受彈性張力的空間，為了驗證此想法我們設計了一組實驗:在鋼珠18mm、直徑27.5cm、高度150cm時正常施放會發生情況C，但我們將氣球側面朝下施放重複10次，結果都是落地後立即破裂，也驗證了我們的想法，圖(四十六)為其中各一組之( $V_y-t$ )圖。

50元 氣球寬度25cm



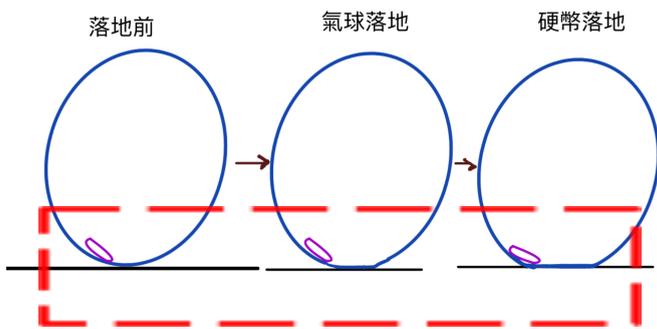
圖(四十五)圖中紅色數據點為情況B，紫色則是C，整體數據仍隨著高度上升而速度漸增



圖(四十六)為分析鋼珠之鉛直方向速度，而由 $V = \frac{mg}{b}$  其中b與與物體的迎風面積呈正相關可知，因氣球側面迎風面積較大而受空氣阻力較大，所以側面的落地速率略小但仍一次就破裂。

4.在範圍D時(情況D)，氣球會在第一次撞擊地面後即破裂，因為內容物第一次落地時，使氣球橡皮增加的彈性張力超出氣球所能承受之最大值。

5.在範圍E時(情況E)，我們發現裝入5元、10元的氣球因質量較輕且高度較高，會發生氣球整體在飄落的過程輕微旋轉(如圖四十八、四十九)，且因空氣阻力影響，增加了氣球橡皮給予硬幣的正向力，使硬幣和橡皮間的摩擦力增加，故硬幣在施放點到落地點不會在氣球內滑動，最後因一開始底部無內容物而變成氣球本身先彈到地面緊接隨著氣球的形變內容物才撞擊地面，但在形變過程氣球給予內容物一個向上的加速度而使內容物到地面時速度減緩且氣球在向內形變時是產生一個向內的彈性張力而硬幣落到地面則是給予向外的因此會有一定的抵消(示意圖如圖四十七)，故第一次落地不會破裂，第二次落地則是撞擊側面而破裂，而鋼珠不會有此現象是因為鋼珠光滑且重量較重，一旦輕微旋轉鋼珠便會滾向新的最低處，50元則是因重量太重而不受空氣擾動，故兩者皆是內容物先落地而一次破裂，最後實驗結果發現在此情況時仍有25%的機率第一次落地即破裂，而經觀察影片後發現因為氣球沒有旋轉或旋轉幅度不大，故硬幣第一次撞擊地面即破裂。



圖(四十七)

氣球綁緊處在正上方 氣球綁緊處旋轉至後方



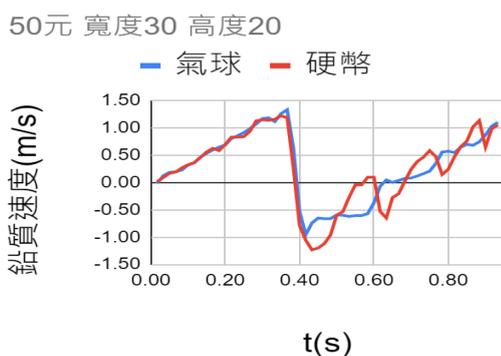
圖(四十八)



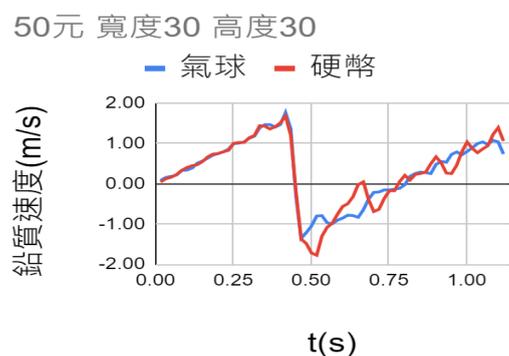
圖(四十九)

6.裝入50元氣球寬度30cm發現因氣球太大而使情況A和情況C混合的現象(寬度30cm的情況B也因此消失)，透過Tracker分析可發現在20cm到40cm部分爆炸時氣球和硬幣有速度差、部分則沒有但氣球卻破裂(如圖四十九、五十)。因為同一高度在重複十次的實驗後不可能都會有該範圍的結果，故我們判定該範圍是該實驗結果(例如撞擊地面兩次後破裂)佔整體50%。

左圖為有形成速度差右圖則無



圖(五十)



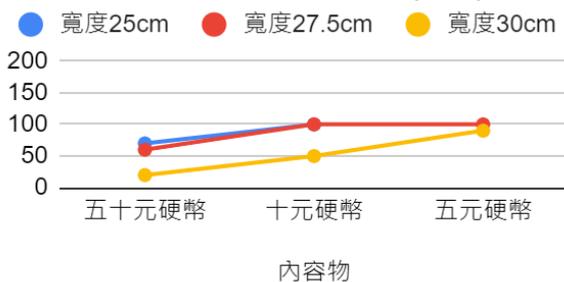
圖(五十一)

(三)圖五十二～圖五十六為我們將研究結果中各組實驗分別發生情況C、D、E的最小高度(也就是一段範圍中的初始高度)。

1.圖五十二～圖五十六中每張圖表在固定內容物(橫軸)的情況下大部分皆是寬度較小之氣球會在高度較高時才會發生，情況C、D是因為其彈性張力可承受的量值較氣球寬度大(本身張力就相對大了)的多，而情況E則是因為氣球較大，則氣球迎風面面積就大，故受空氣阻力越大，而導致氣球更容易旋轉，但在情況C固定十元硬幣氣球寬度27.5cm和25cm最低高度皆是100cm，而詳細觀察實驗數據可發現寬度27.5cm在高度100cm時氣球發生不破裂的機率(30%)低於寬度25cm(40%)，仍符合理論。

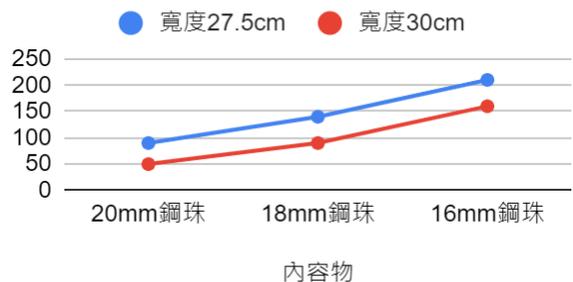
2.在情況C圖中(圖五十二、五十三)，固定氣球寬度(線條顏色)，可發現兩張圖中的三條折線大部分皆隨著內容物重量減少而高度漸增，因為質量越大，在同高度時所擁有的位能就越大，故在第一次接觸地面損失能量且部分能量變為水平能量後，所擁有的能量依舊較質量小者大，因此越容易使氣球破裂，但固定氣球寬度27.5cm 五元和十元高度卻一樣高，而詳細觀察實驗數據可發現十元在高度100cm時氣球發生不破裂的機率(30%)低於五元(40%)，仍符合理論。

C情況發生之最低高度(cm)



圖(五十二)

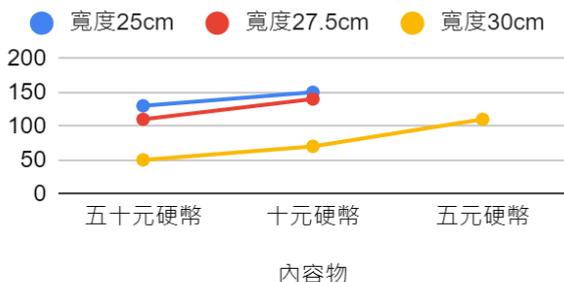
C情況發生之最低高度(cm)



圖(五十三)

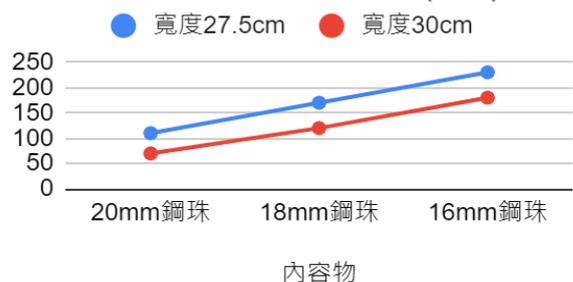
3.在情況D圖中(圖五十四、五十五)，固定氣球寬度(線條顏色)，可發現兩張圖中的折線皆隨著內容物重量的減少而高度漸增，因為質量越大，在同高度時所擁有的位能就越大，因此越容易使氣球破裂。

D情況發生之最低高度(cm)



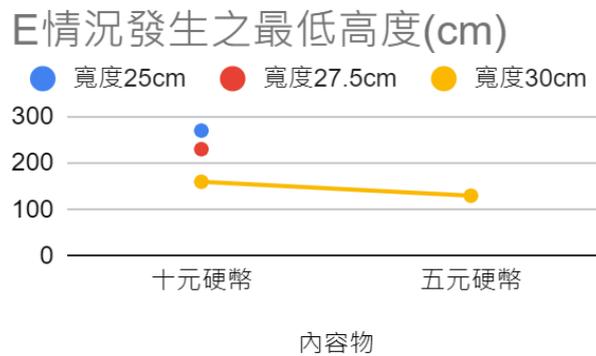
圖(五十四)

D情況發生之最低高度(cm)



圖(五十五)

4.在情況E中（圖五十六），固定氣球寬度(線條顏色)，可發現圖中的折線卻是隨著內容物重量的減少而高度漸減，這是因為5元質量較輕，所以較容易受空氣擾動而使氣球旋轉，所以在高度較於10元低時就發生情況E。



圖(五十六)

(四)談討在情況D時(利用內容物本身的能量使氣球在第一次觸地時破裂)，氣球固定寬度下內容物要使氣球破裂所需最小動能 $\frac{1}{2}mv^2$ ，而高度取情況D佔50%以上的最小高度，再由圖表對照該高度之速度，由以上資訊作出表(十七)。

內容物	該內容物重量(g)	氣球寬度30cm			氣球寬度27.5cm			氣球寬度25cm		
		高度(cm)	落地速度(m/s)	所需最小動能(g·m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	高度(cm)	落地速度(m/s)	所需最小動能(g·m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	高度(cm)	落地速度(m/s)	所需最小動能(g·m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )
20 mm 鋼珠	32.94	70	3.80	237.83	110	4.10	276.86			
18 mm 鋼珠	23.95	120	4.31	222.45	170	4.74	269.05			
16 mm 鋼珠	18.20	180	4.74	204.46	230	5.20	246.06			

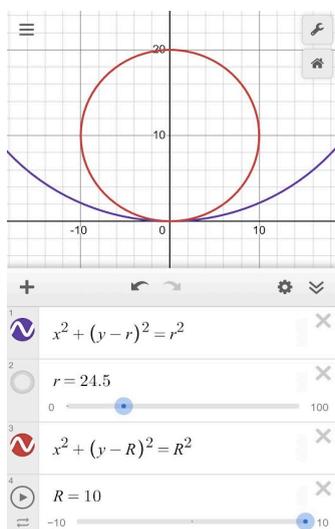
五十元	10.00	50	2.17	23.54	110	3.35	56.11	130	3.42	58.48
十元	7.45	70	2.38	21.10	150	3.33	41.31	150	3.59	48.00
五元	4.33	110	2.47	13.20	此組實驗無D情況 (觸地一次即破裂)					

表(十七)

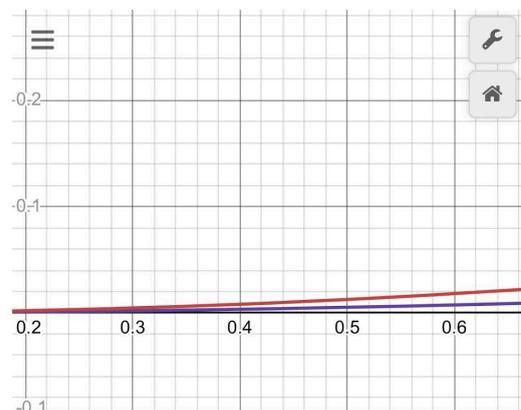
首先發現鋼珠和硬幣數據相差甚遠故無法互相比較，而看鋼珠可發現所需動能皆隨著鋼珠直徑下降而下降，因此我們構建出了一個簡單的物力模型：

首先建立一個向上為正的y軸及向右圍政的x軸，令鋼珠座標為(0, R)，半徑為R如圖(五十六)那麼我們可以寫出其方程式 $(x-0)^2+(y-R)^2=R^2$  經移向化簡可得  $y=R-(R^2-x^2)^{1/2}$  or  $y=R+(R^2-x^2)^{1/2}$ ，而因我們想探討的是氣球與鋼珠的接觸面積故取(-)也就是圓的下半圓得出 $y=R-(R^2-x^2)^{1/2}$ ，最後化簡得 $x^2=2yR-y^2$ ，當(氣球(圖五十七)中紫色的圓)和鋼珠接觸時也就是y值極小時如圖(五十八)，而當y極小時我們可將原式近似為 $x^2=2yR$ ，其中的x便是氣球和鋼珠的接觸半徑，故  $\pi \cdot x^2$ 便是兩者的接觸面積且**正比於鋼珠半徑**，故鋼珠20cm、18cm、16cm的接觸面積比為 1:0.9:0.8而我們推測接觸面積與氣球所需最小動能成正相關，因為能量是固定的而接觸面積越大力便越不集中因此需更大的動能?，最後的動能比氣球寬度為30cm的為

1:222.45/237.83:204.46/237.83=1:0.935339:0.859681**十分接近** 1:0.9:0.8，而氣球寬度為27.5cm的為 1:269.05/276.86:246.06/276.86=1:0.97179:0.88875較無接近1:0.9:0.8，最後由相同鋼珠不同氣球寬度比較可發現皆是寬度27.5cm的氣球需較大的動能其原因為氣球較小有較多的承受彈性張力的空間。硬幣的部分因其形狀變化大(半徑)，著地時可能性較多故無法推出理論模型，但依然能看出相同硬幣不同氣球寬度比較可發現皆是寬度25cm的氣球需較大的動能且 $>27.5cm > 30cm$ ，其原因如同上述。



圖(五十七)



圖(五十八)

## 陸、結論

- 一、利用tracker將各組實驗速度對高度圖做出後，進行互相比對發現皆符合一般空氣阻力的自由落體結論，故表示速度並不是發生研究結果情形規律的主因。
- 二、經過錄下的影片反覆觀察與tracker分析，解釋並歸納出氣球會隨著高度上升發生:不破裂(高度10cm)=>二、三、四次觸地後破裂(20~40cm)=>不破裂=>二次觸地後破裂=>一次觸地後破裂=>二次觸地後破裂，每一組並不是所有情況都會發生。
- 四、發現欲使氣球觸地一次後便破裂，內容物所需動能在鋼珠下有較明確範圍，最後用簡單的物理模型推出氣球著地時氣球與鋼珠的接觸面積約正比於鋼珠半徑，接觸面積又約正比於氣球所需的最小動能。

## ◎未來展望

本研究上有若干實驗缺失，期望未來能突破與改進。

- 一、一開始實驗設計便是設想皆用氣球寬度25cm和30cm，只是沒想到所有的鋼珠在氣球寬度25cm時皆沒有破裂，於是便改做寬度27.5cm，但是硬幣因時間不足而無法做寬度27.5cm，因而失去許多比較的機會。而後我們利用2023年5月做完了氣球寬度27.5cm的實驗，也更加肯定我們的理論。
- 二、未能推導出硬幣落地時的物理模型，希望未來對物理有更深入的了解時能夠順利解開。
- 三、在參加了區域科展後，教授給予了我們可以固定內容物質量改變物體形狀的建議，但應時間緊湊，未能完成實驗。

## 柒、參考資料

- 1.炸彈氣球文章，取自：<https://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-048.html>
- 2.空氣阻力方程式，取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%98%BB%E5%8A%9B%E6%96%B9%E7%A8%8B>，維基百科
- 3.tracker的使用，取自：<https://hackmd.io/@vizhewang/HkM1Eh0NE>

## 【評語】 051813

本作品探討氣球自選定高度落下撞擊地面的反彈運動，以在內部放置選定數目的硬幣或鋼珠、及氣球下落起始高度為實驗參數，以攝影紀錄氣球下落及反彈的運動軌跡。能自製實驗裝置，達實驗功效。繪製氣球運動軌跡，據以計算運動速度，作成"皆符合一般空氣阻力的自由落體結論"之結論，並探討氣球爆炸的起始條件。建議可再對運動軌跡做較深層分析，以尋找是否有新穎現象。可再擴充實驗參數範圍，尋找是否能顯現新穎現象。

## 作品簡報



# 氣球炸彈

~探討各項變因對氣球張力的影響~



# 壹、摘要

我們發現了一項名為氣球炸彈的實驗，經過一些初步的實驗發現氣球的爆炸情況隨著高度上升有規律，起初認為也許是氣球降落地面時的速度在特定高度會激增或驟減，但經研究後顯示是符合一般空氣阻力的自由落體，而在最後成功研究出其規律模式並分類。之後我們探討氣球在施放後第一次接觸地面就爆炸時，內容物所需的最小動能，成功推出鋼珠與氣球的物理模型，得出所需最小動能大約正比於鋼珠半徑，而硬幣由於物理模型較複雜而未能導出。

# 貳、研究動機

我們在網路上找資料時看到一項名為氣球炸彈的趣味小實驗，實驗內容是將氣球裝入硬幣後充氣綁起最後從空中落下，落地時氣球便會破裂，看到這我們便深感興趣，且我們在網路上查到的資料只有氣球爆炸的簡易原理，並沒有關於這項實驗的延伸，於是我們便親自去動手做做看，原本以為只是在很高的高度會爆炸而低的高度不會，但沒想到我們意外發現除了會有落地後就爆炸還會有氣球落下第二次接觸地面後爆炸等不一樣的爆炸情形，所以我們決定進行更深入的探討。

# 參、研究目的

- 一、探討高度對速度的影響。
- 二、探討高度對氣球爆炸情形的影響。
- 三、探討內容物種類(硬幣、鋼珠)對氣球爆炸情形的影響。
- 四、探討氣球大小對氣球爆炸情形的影響。
- 五、探討氣球第一次落地即破裂時內容物所需的最小動能。

# 肆、研究器材

5元硬幣	10元硬幣	50元硬幣	16mm鋼珠 16.80公克	18mm鋼珠 23.95公克	20mm鋼珠 32.94公克	透明乳膠氣球
打氣筒	高度測量工具	捲尺	tracker	窗戶(用於測量氣球側面最大寬度)	手機架	desmos

# 伍、研究過程與方法

## 研究過程示意圖

### 研究原理

當氣球由高處落下至地面時，氣球的內容物撞擊氣球，使氣球的彈性張力達到其上​​限，導致表面撞出長條形破洞，且破洞的上、下兩端之張力不平衡，因而迅速裂開而爆破。

### 思考醞釀

我們想知道氣球在分別裝入不同硬幣、鋼珠下，隨著施放高度的增加而有什麼規律，我們發現隨著高度、氣球大小等變因的不同會出現氣球彈或撞擊地面數次後才爆炸的可能。

### 實驗設計

- 1.將不同規格之硬幣或鋼珠放入氣球並充氣。
- 2.將窗戶拉開至實驗所需之寬度，固定氣球的大小後，於特定高度釋放。
- 3.利用手機架固定手機位置與高度並錄影。
- 4.利用Tracker及Google試算表分析氣球掉落過程。

## 實驗步驟

1.將實驗由內容物種類與氣球寬度進行分類，如圖(一)，再分別從高度10公分至300公分每間隔10公分釋放氣球，並重複做10次。

2.利用手機架固定手機位置與高度並錄影。

3.利用Tracker分析氣球掉落過程。

匯入欲分析的影像，設定座標軸及長度標準桿。

新增質點並於右方表格處點選欲追蹤的數據後，將影像開頭滑動至氣球釋放時即可開始追蹤。

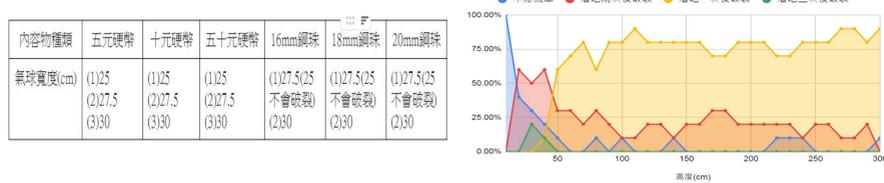
追蹤至氣球爆炸或不再彈起，並將氣球落地速度及爆炸情形匯出並記錄於Google試算表。

將氣球爆炸情形整理至試算表後，算出各種情形發生之機率，並做出圖表，如圖(二)。

將氣球每一次接觸地面之速度整理至試算表後，針對第一次接觸速度取平均，並做出折線圖，如圖(三)。

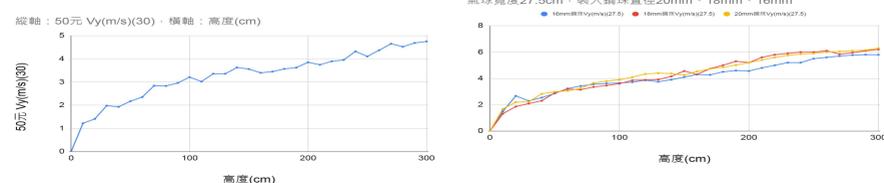
針對同種內容物不同氣球寬度及不同內容物同種氣球寬度進行分類，比較內容物與氣球寬度分別對速度產生的影響。

分類完成後，做出速度折線圖，如圖(四)。



圖(一)

圖(二)



圖(三)

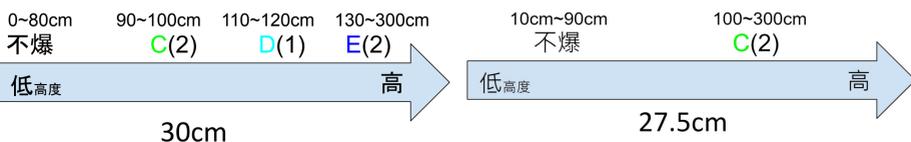
圖(四)

# 陸、研究結果與討論

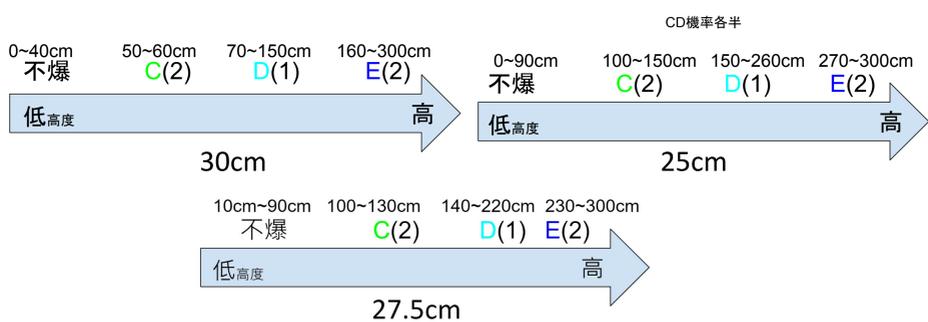
## 研究結果

(一)五元、氣球寬度二十五公分的爆炸情形。  
此組實驗於任何高度落下皆無發生爆炸

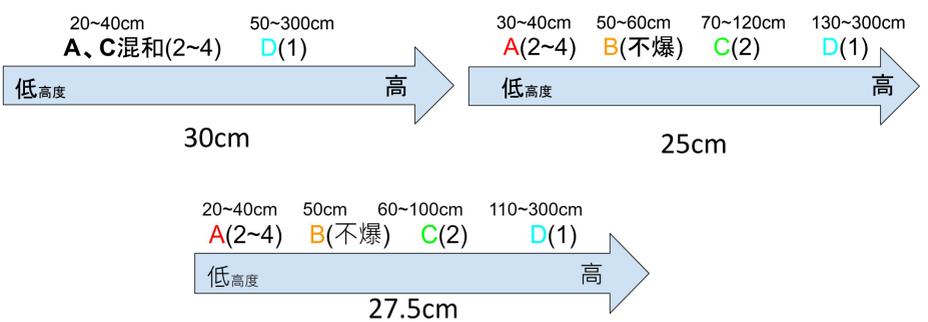
(二)五元、氣球寬度三十公分的爆炸情形。



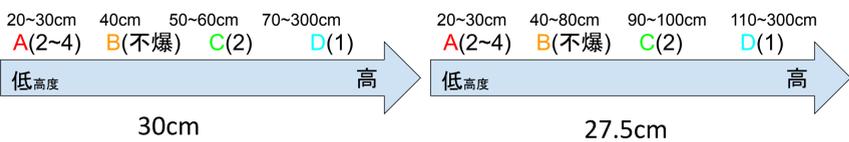
(三)十元、氣球寬度二十五、二十七點五、三十公分的爆炸情形。



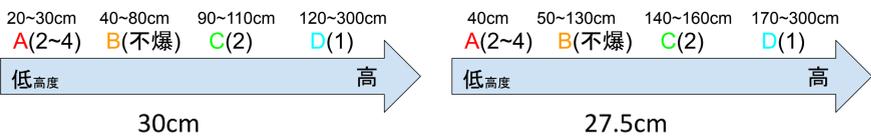
(四)五十元、氣球寬度二十五、二十七點五、三十公分的爆炸情形。



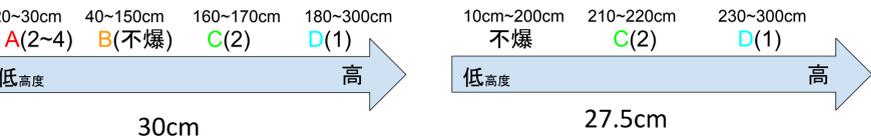
(五)20mm、氣球寬度27.5、30公分的爆炸情形。



(六)18mm、氣球寬度27.5、30公分的爆炸情形。

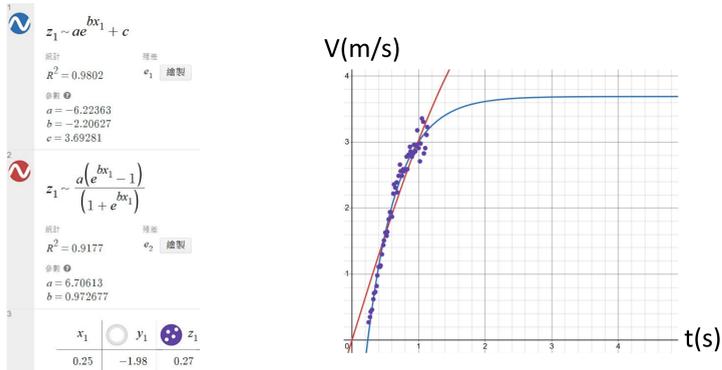


(七)16mm、氣球寬度27.5、30公分的爆炸情形。



分析與討論

(一)我們利用desmos與tracker分析所測得的多組實際(V-t)圖進行擬合，可發現不論是裝入鋼珠或是硬幣，速度皆與空氣阻力一次方之函數較接近，因此實驗裝置應為空氣阻力正比於速度之一次方。



50元硬幣 氣球寬度25cm 高度160cm其中一組之(V-t)圖

(一)各種狀況之第一次落地速度(採十次平均)-高度圖比較:

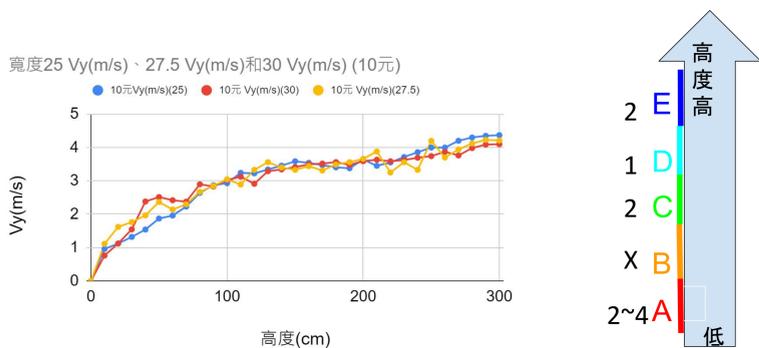
1.固定氣球寬度及內容物種類，比較不同內容物質量。

(1)在寬度30cm之氣球，分別裝入5元、10元、50元硬幣的實驗中，可以發現終端速度50元>10元>5元體加速度=0(m/s)且經由擬合可知空氣阻力F=bV，故a=0=mg- bV，最後得出 V= mgb，代表質量越大終端速度越大



2.固定內容物，不同氣球寬度

(2)當裝入10元硬幣且氣球寬度分別為30cm、27.5cm、25cm時。皆可發現氣球寬度25cm之終端速度>27.5cm>30cm，因為整體質量固定但迎風面積氣球寬度30cm>27.5cm>25cm，而由剛剛所推出的公式V= mgb，其中b與與物體的迎風面積呈正相關，故寬度25cm的氣球終端速度會較大。

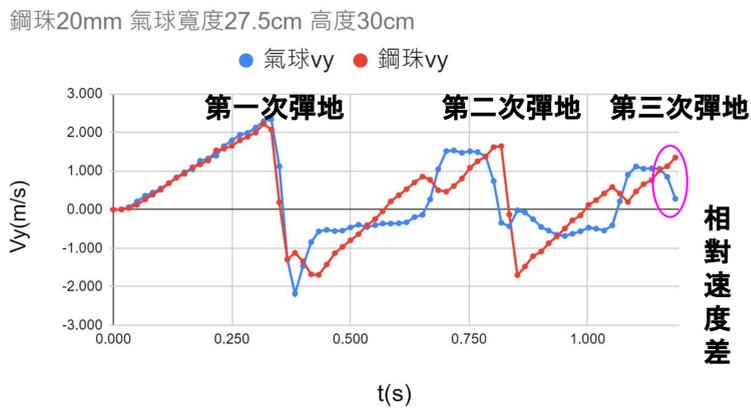


3.小結論:隨著施放高度越高，經分析落地速度也確實越快，但氣球爆炸機率卻無隨之增加，與實驗前預測的結果不同，故推論落地速度並非唯一影響爆炸結果之主要因素。

(二)我們將氣球隨著由低到高所形成的結果依顏色分成五種情況，且在研究結果的爆炸情形紀錄中用該範圍的顏色作為外框標示:

1.在範圍A(情況A)時，高度次低時約20至40cm，部分實驗發生氣球和內容物彈地數次後(2~4次)破裂:

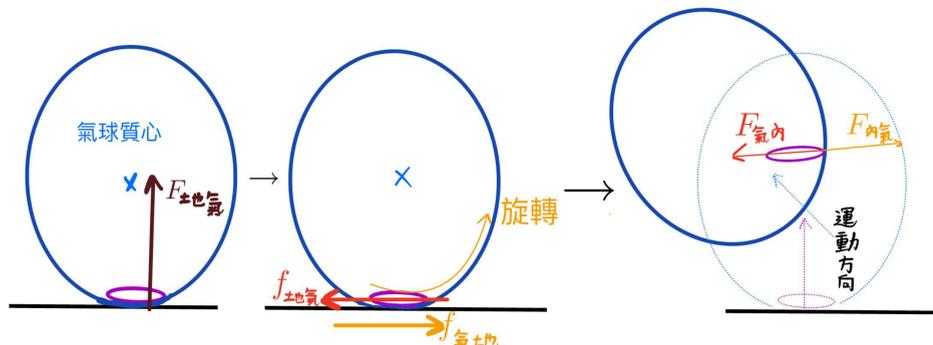
首先，第一次彈地時，撞擊氣球所使其增加的彈性張力未達到氣球所能承受之最大值，而後觀察到在含第二次以後的每次彈地，撞擊地面前一刻氣球和內容物的速度並不一樣，造成兩物間形成了**相對速度**(如下圖)，氣球以較慢的速度下降但內容物是以較快的速度下降，在追趕上的瞬間，內容物以較**高速下降使氣球橡皮形成了拉扯**，使氣球**彈性張力增加**，最後又在下一瞬間撞擊地板使其彈性張力**又提高**，最終超過氣球所能承受之最大張力而破裂，在高度20~40cm時很容易發生這種現象。



而實驗後經Tracker分析發現在高度20cm~40cm，每一組實驗皆有形成上述之相對速度的情況，但氣球沒有發生破裂。之後從數據可推測因內容物**質量變輕**，導致即使形成速度差，氣球內容物也會因落地時動能太小而無法使氣球破裂，還可以推測出**氣球較小**所以欲使其破裂所需的彈性張力也較大，導致不易破裂。

2.在範圍B時(情況B)，結果是氣球並不會破裂:

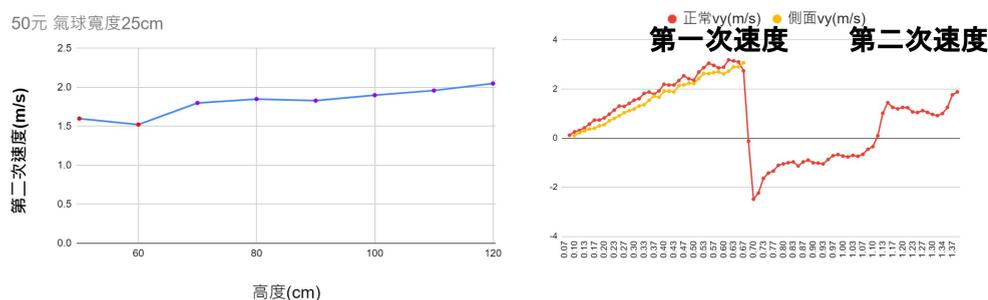
在第一次彈地時，內容物能量不夠氣球不破，而彈地後氣球會大幅度的彈向左邊或右邊，原因如下圖，在最後氣球在水平移動的**過程撞到了內容物而使內容物有了水平方向的動能**，故落地時鉛直方向的動能會被部分**分散成水平動能**，原本鉛直方向的能量被轉換成了水平方向的能量故氣球不破。而在範圍A時因為施與地面動量不高故獲得之力矩並不足以使氣球大幅度水平移動。



3.在範圍C時(情況C)，結果是氣球撞擊地面第二次破裂:

在第一次彈地時，內容物能量不夠氣球不破，而後鉛直分量因施放點夠高而使內容物仍有較**情況B在第二次落地速度大的鉛質分量**最終導致氣球破裂(如下左圖)，而第二次落地速度顯然比第一次速度慢(如下圖)，但氣球還是會破裂原因是如同上述原因第一次落地後**氣球**自身會發生**轉動**，轉動後使氣球第二次落地時遭到**撞擊點**是氣球**側面**，這代表著氣球側面比較容易破裂，這是因為氣球設計時底部會較厚，側面較薄，為了驗證此想法我們設計了一組實驗:

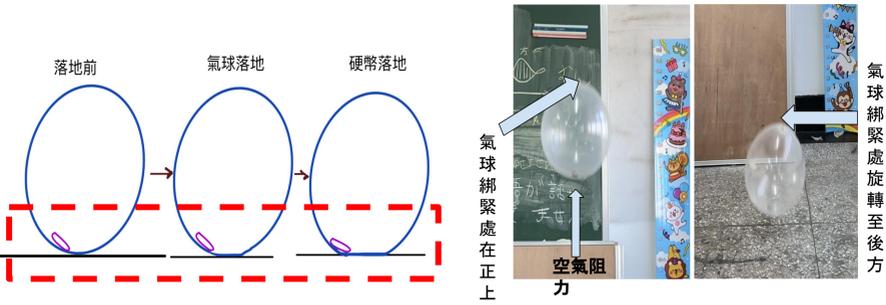
在鋼珠18mm 直徑27.5cm高度150cm時正常施放會發生情況C，但我們將氣球側面朝下施放重複10次，**結果都是落地後立即破裂**，也驗證了我們的想法，下圖是其中各一組之Vy-t圖。



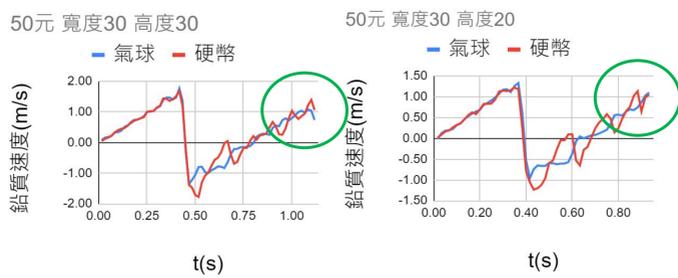
上圖中紅色數據點為情況B，紫色則是C 鋼珠18mm 直徑27.5cm高度150cm

4.在範圍D時(情況D), 氣球會在第一次撞擊地面後即破裂:  
在第一次彈地時, 內容物能量夠氣球即破裂。

5.在範圍E時(情況E), 結果是氣球撞擊地面第二次破裂:  
我們發現裝入5元、10元的氣球因**質量較輕且高度較高**, 會發生**氣球整體在飄落的過程輕微旋轉**(如下圖), 最後因一開始底部無內容物而變成**氣球本身先彈到地面緊接著氣球的形變內容物才撞擊地面**, 因此會有一定的**抵消**(其示意圖如下), 故第一次落地不會破裂, 第二次落地則是撞擊側面而破裂。



6.裝入50元氣球寬度30cm發現因氣球太大而使情況A和情況C混合的現象(寬度30cm的情況B也因此消失), 透過Tracker分析可發現在20cm到40cm部分爆炸時氣球和硬幣有速度差、部分則沒有但氣球卻破裂(如下圖)。



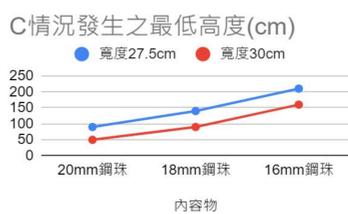
左圖為有形成速度差右圖則無

因為同一高度在重複十次的實驗後不可能都會有該範圍的結果, 故我們判定該範圍是該實驗結果(例如撞擊地面兩次後破裂)佔整體50%。

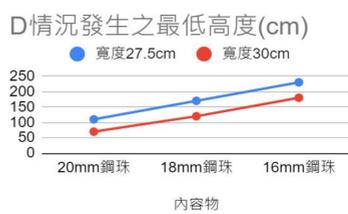
(三)比較不同組實驗中情況C、D、E發生的最小高度(需50%以上)

1.下圖中, 不論是哪一個圖表在固定內容物(橫軸)的情況下皆是寬度較小之氣球會在高度較高時才發生, 情況C、D會是如此是因為其彈性張力可承受的量值較氣球寬度大(本身張力就相對大了)的多, 而E則是因為氣球較大, 則**氣球迎風面積就大**, 故受**空氣阻力越大**, 而導致**越易使氣球旋轉**。

2.在情況C圖中, 固定氣球寬度(線條顏色), 可發現兩張圖中的兩條折線皆隨著**內容物重量減少而高度漸增**, 因為質量越大, 在同高度時所擁有的位能就越大, 故在第一次接觸地面損失能量且部分能量變為水平能量後, 所擁有的能量依舊較質量小者大, 因此越容易使氣球破裂。



3.在情況D圖中, 固定氣球寬度(線條顏色), 可發現兩張圖中的兩條折線也皆隨著**內容物重量的減少而高度漸增**, 因為質量越大, 在同高度時所擁有的位能就越大, 因此越容易使氣球破裂。



4.在情況E中, 固定氣球寬度(線條顏色), 可發現圖中的折線卻是隨著內容物**重量的減少而高度漸減**, 這是因為5元質量較輕, 所以較易受空氣擾動而使氣球旋轉, 所以在高度較於10元低時就發生情況E。

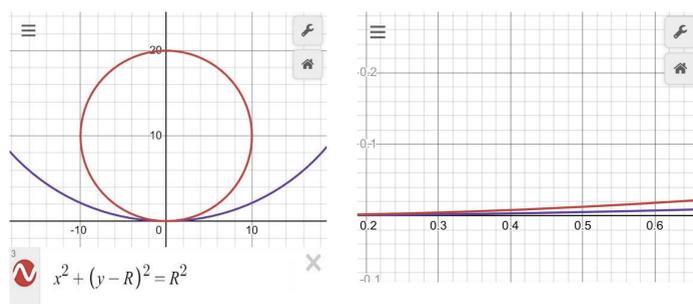


(四)探討在情況D時(利用內容物本身的能量使氣球在第一次觸地時即破裂), 固定氣球寬度下, 內容物使氣球破裂所需最小動能 $mv^2/2(g \cdot m^2/s^2)$ , 而高度取情況D佔50%以上的最小高度, 再由圖表對照該高度之速度。

內容物	該內容物重量(g)	氣球寬度30cm			氣球寬度27.5cm			氣球寬度25cm		
		高度(cm)	落地速度(m/s)	所需最小動能(g·m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	高度(cm)	落地速度(m/s)	所需最小動能(g·m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	高度(cm)	落地速度(m/s)	所需最小動能(g·m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )
20 mm 鋼珠	32.94	70	3.80	237.83	110	4.10	276.86			
18 mm 鋼珠	23.95	120	4.31	222.45	170	4.74	269.05			
16 mm 鋼珠	18.20	180	4.74	204.46	230	5.20	246.06			
五十元	10.00	50	2.17	23.54	110	3.35	56.11	130	3.42	58.48
十元	7.45	70	2.38	21.10	150	3.33	41.31	150	3.59	48.00
五元	4.33	110	2.47	13.20	此組實驗無D情況(觸地一次即破裂)					

首先發現鋼珠和硬幣數據相差甚遠故無法互相比較, 而看鋼珠可發現所需動能皆隨著鋼珠直徑下降而下降, 因此我們建構出了一個簡單的物力模型:

建立一個向上向右為正的平面座標軸, 令鋼珠座標為(0, R), 半徑為R(如下圖)。可寫出圓方程式 $(x-0)^2+(y-R)^2=R^2$ 。最後經推導可得出式子 $x^2=2yR$ , 其中x是氣球和鋼珠的接觸半徑, 故 $\pi \cdot x^2$ 便是兩者的**接觸面積且正比於鋼珠半徑**, 故鋼珠20mm、18mm、16mm的接觸面積比為1:0.9:0.8, 而我們推測接觸面積與所需最小動能成正相關, 因為能量是固定的而接觸面積越大力便越不集中因此需更大的動能, 最後的動能比(氣球寬度30cm)為1:222.45/237.83:204.46/237.83=1:0.94:0.86, **十分接近**1:0.9:0.8, 而動能比(氣球寬度27.5cm)為1:269.05/276.86:246.06/276.86=1:0.97:0.89, 較不接近1:0.9:0.8, 最後由相同鋼珠不同氣球寬度比較, 可發現寬度27.5cm的氣球皆需較大動能, 因為較小之氣球有較多承受彈性張力的空間。硬幣的部分因其形狀變化大(半徑), 落地時可能性較多故無法推出理論模型, 但依然能看出相同硬幣不同氣球寬度比較可發現皆是寬度25cm的氣球需較大動能, 其原因如同上述。



## 柒、結論

一、利用Tracker將各組實驗速度對高度圖做出後, 進行互相比對發現**皆符合一般空氣阻力的自由落體結論**, 表示速度並不是發生研究結果情形規律的主因。

二、經過錄下的影片反覆觀察與Tracker分析, 解釋並歸納出氣球會隨著高度上升發生:**不破裂**(高度10cm)=>**二、三、四次觸地後破裂**(20~40cm)=>**不破裂**=>**二次觸地後破裂**=>**一次觸地後破裂**=>**二次觸地後破裂**, 每一組並不是所有情況都會發生。

三、發現欲使氣球觸地一次後便破裂, 內容物所需動能在鋼珠下有較明確範圍, 最後用簡單的物理模型推出氣球著地時**氣球與鋼珠的接觸面積約正比於鋼珠半徑**, 接觸面積又約**正比於氣球所需的最小動能**。

## 捌、參考資料

- 炸彈氣球文章, 取自: <https://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-048.html>
- 空氣阻力方程式, 取自: <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%98%BB%E5%8A%9B%E6%96%B9%E7%A8%8B>, 維基百科
- tracker的使用, 取自: <https://hackmd.io/@yizhewang/HkM1Eh0NE>