

# 巴西堅果效應—體積與密度的影響

物理科 陳冠宏老師

## 摘要

利用模擬程式來幫助我們排除外來的因素與許多難以控制的變因，藉由填入器材的數據來模擬實驗的過程，最後在實際利用器材與設備，來觀察是否符合模擬程式的結果。以生活中可見的材料，取代較不易取得的器材，使實驗更貼近人。並固定多項變因，僅改變圓形大顆粒的直徑，來探討體積、密度與碰撞的關係，與論文相互對比。最後討論大顆粒的運動軌跡，和小顆粒的震動情形，思考與振幅的關係。

## 壹、研究動機：

物理老師在課堂上講到碰撞理論，其中非完全彈性碰撞、完全非彈性碰撞，都令人深深著迷。於是我們不禁開始好奇，為什麼搖晃一瓶混合堅果，或是裝滿大小石頭的瓶子時，最後大顆粒會往上跑，而小顆粒聚集在下面。於是我們上網查詢資訊，看到許多有關「巴西堅果效應」這方面的資料與實驗，其中有一篇論文討論到垂直震動對物質分離的實驗，所以我們決定要親自做實驗研究。這項定理可以用在幫助穀物的篩選、材料的分離，但是因為顆粒間的交互作用極為複雜，就算是巴西堅果效應也無法明確表示出顆粒的真實運動行為，所以我們想利用簡單的自製器材與實驗內容，來探討其中一種情況。

## 貳、研究目的：

### 一、控制變因：

1. 固定除大顆粒外的質量
2. 頻率
3. 振幅
4. 瓶口直徑
5. 高度
6. 小顆粒質量
7. 小顆粒數量
8. 小顆粒體積
9. 大顆粒密度

### 二、操縱變因：

大顆粒體積

### 三、應變變因：

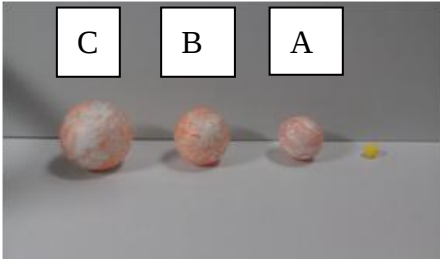
上升到最高點所需的時間，與震動次數呈正相關。

### 四、實驗目的：

藉由同體積物體的碰撞，幫助分離不同體積的物體，體積大的留在小顆粒的上面，小體積的物體沿著瓶子的內壁下降到底部。

研究大顆粒物質是否會因為體積而影響其往上跑的時間。

參、研究設備及器材：

|                                                                                     |                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|    | <p>BB 彈</p> <p>(小顆粒)</p>                        |
|    | <p>保麗龍球 A B C</p> <p>(大顆粒 A B C)</p>            |
|    | <p>黏著工具</p> <p>(強力膠與熱熔槍)</p>                    |
|  | <p>Algodoo</p> <p>(力學模擬器)</p>                   |
|  | <p>Windows Live Movie Maker</p> <p>(影片分析軟體)</p> |
|  | <p>游標尺</p>                                      |
|  | <p>電子磅秤</p>                                     |

## 肆、研究步驟與方法

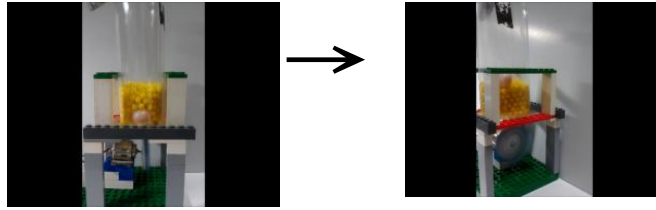
### 一、實驗步驟

#### 1. 使用 Algodoo(力學模擬器)，畫出實驗的圖形

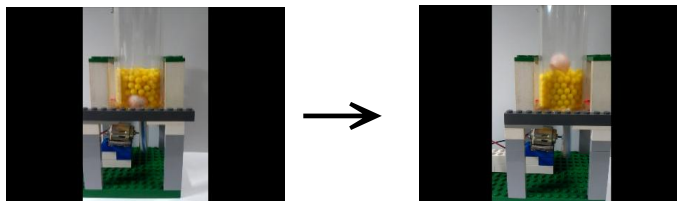


- (1) 先畫出一個齒輪，並複製一個在旁邊適當距離
  - (2) 畫出底部橫板，並將材質改為玻璃
  - (3) 使用畫筆合併兩長條柱子在底部橫板上
  - (4) 畫出大顆粒 A，更改顏色後將材質改為橡膠
  - (5) 畫出小顆粒，並將材質改為橡膠後在容器內複製小顆粒直到覆蓋大顆粒 A
  - (6) 啟動系統，並記錄大顆粒 A 到達頂端的時間
  - (7) 複製整組系統，將大顆粒 A 刪除後畫出大顆粒 B
  - (8) 重複步驟(4)~(6)
  - (9) 複製整組系統，將大顆粒 B 刪除後畫出大顆粒 C
  - (10) 重複步驟(4)~(6)
2. 將馬達固定在固定架上
  3. 將大顆粒 A 放在圓柱形容容器裡，用小顆粒覆蓋，並確定大顆粒底部沒有任何小顆粒
  4. 將圓柱形容容器放到固定架上

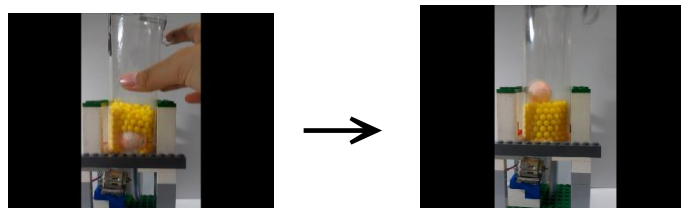
5. 開啟攝影機並在裝置上擺上重物防止裝置移動
6. 開啟馬達電源，偏心齒輪轉動，撞擊圓柱形容器底部引發震動
7. 計算大顆粒 A 到達頂端所需要的震動時間



- 8 換成大顆粒 B，重複步驟 3~7



9. 換成大顆粒 C，重複步驟 3~7



- 10.比較三種顆粒所花費時間的差異

## 伍、研究原理

### 一、原理

#### 1. 滲透(percolation)

- (1)原理：當搖晃裝滿兩種粒徑之容器時，大顆粒會暫時與小顆粒分離，大顆粒底下因此而露出空隙，小顆粒就會乘空隙進入，最後兩種顆粒會分離
- (2)應用：量小顆粒之直徑，與偏心齒輪撞擊圓柱形容器所造成振幅，看是否有所關連

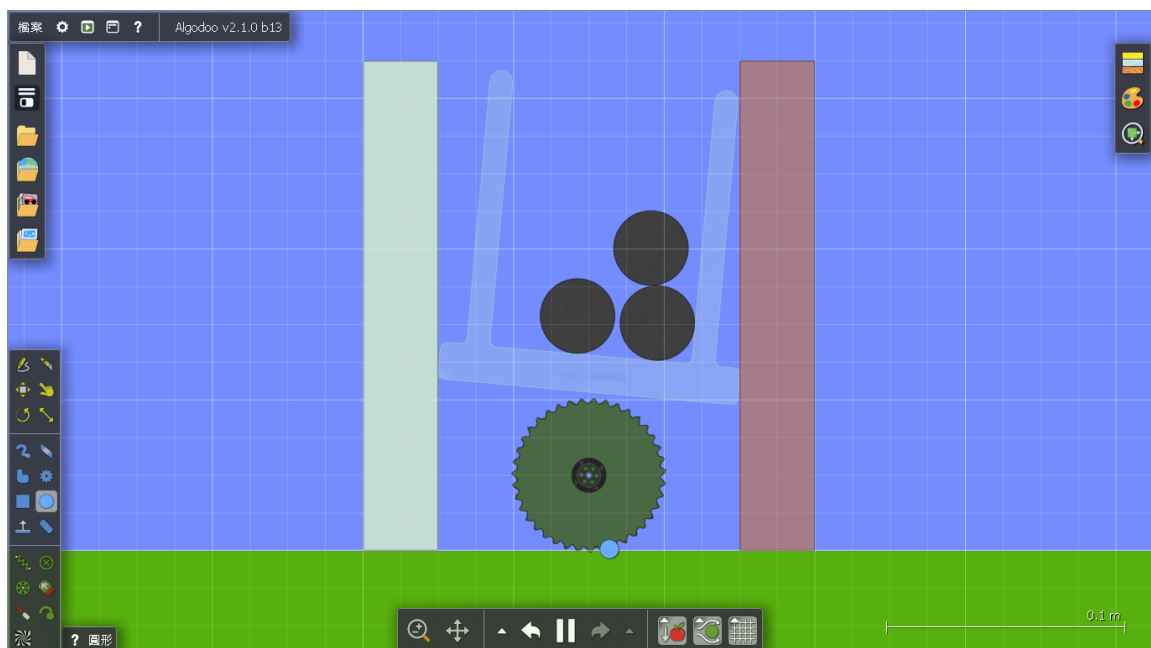
#### 2. 對流機制(convective mechanism)

- (1) 原理：與內壁產生摩擦力，使得容器壁旁的顆粒往下移動，為了達到力平衡狀態，中央顆粒就會往上移動，形成如對流般的滾動機制，當到達最上層時，顆粒便會往容器壁移動，顆粒若太大，就擠不進往下流動的窄小空間。

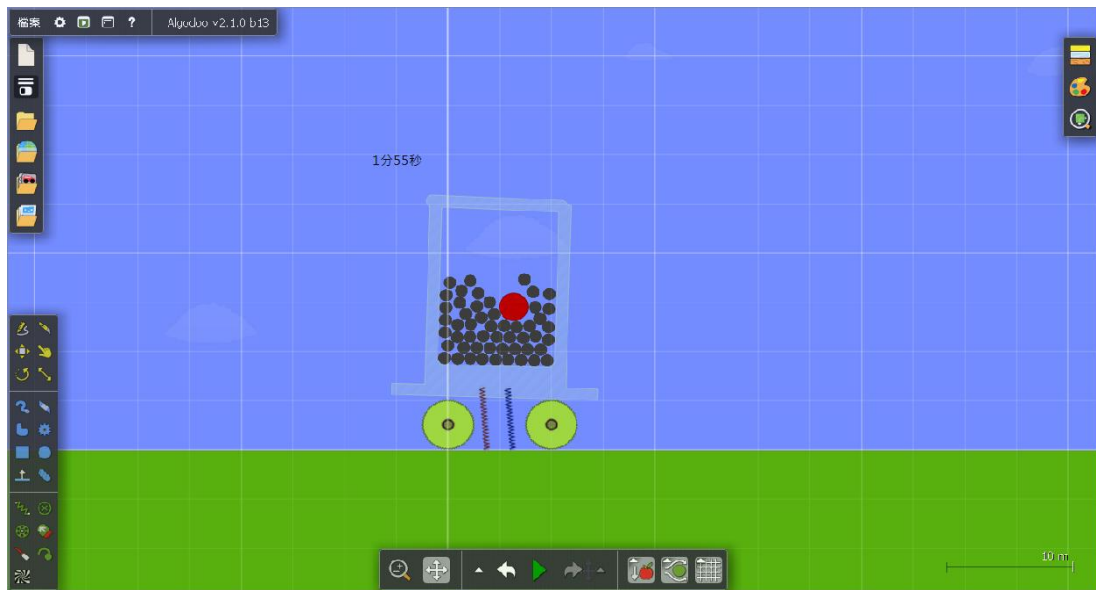
## 陸、實驗模擬軟體

### 一、馬達規格模擬

1. 馬達速度：6850 rpm
2. 馬達力矩：0.082 Nm

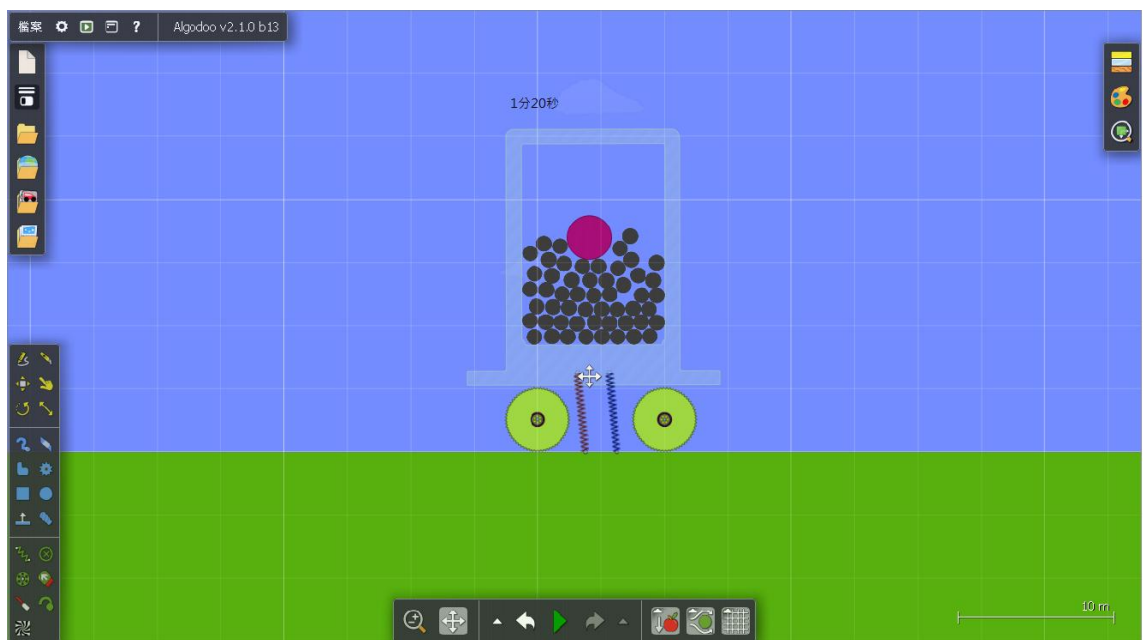
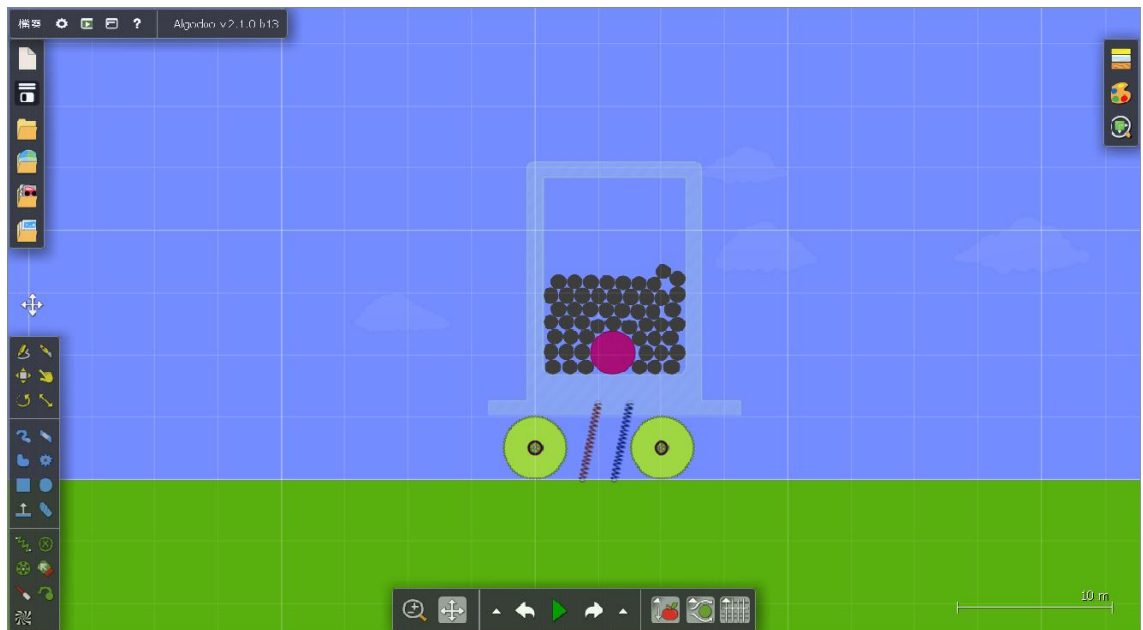


## 二、大顆粒 A



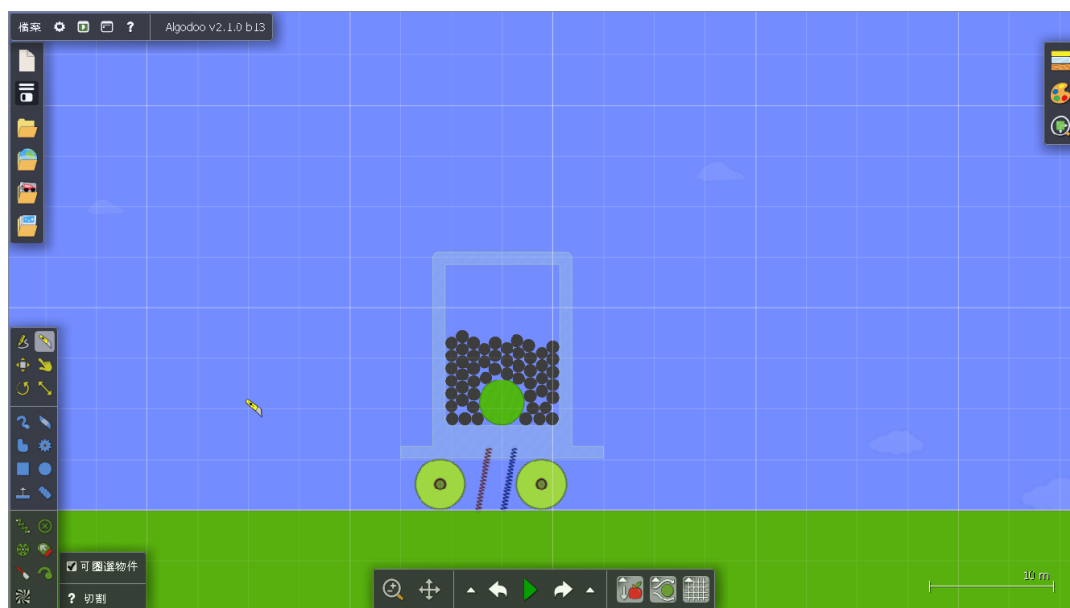
共費時 1 分 55 秒

### 三、大顆粒 B



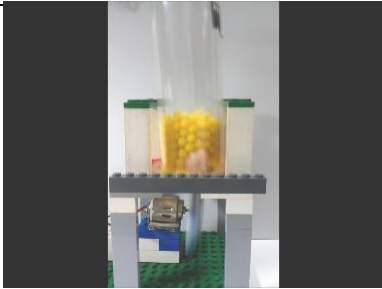
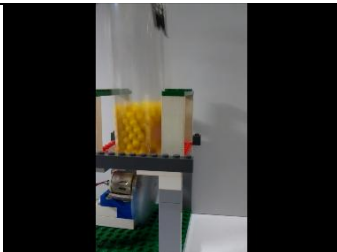
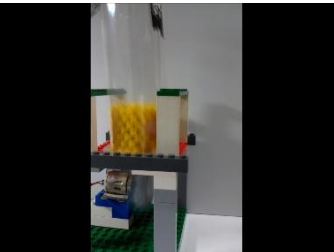
共費時 1 分 20 秒

#### 四、大顆粒 C

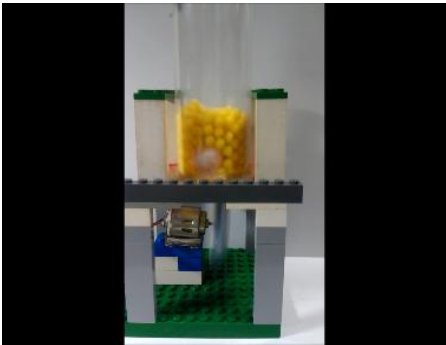
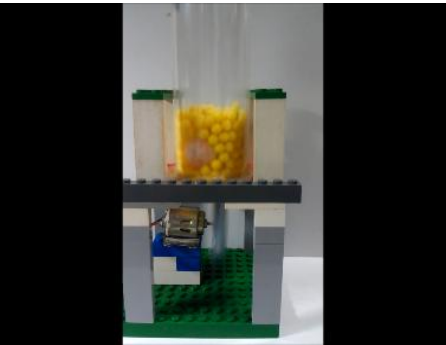
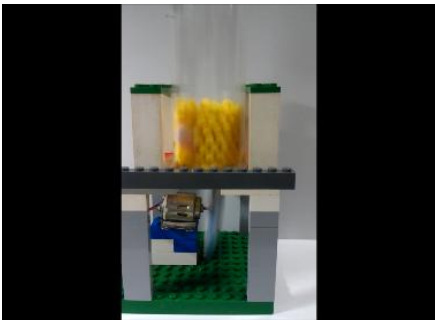
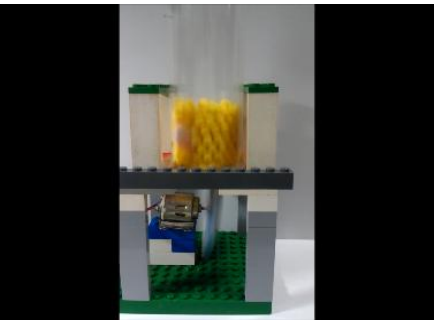
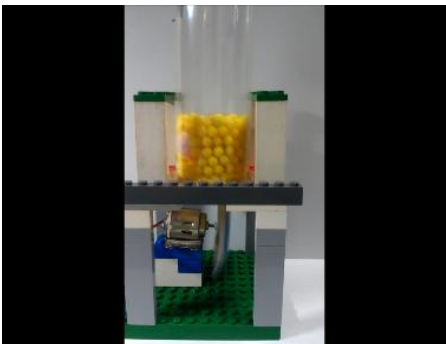


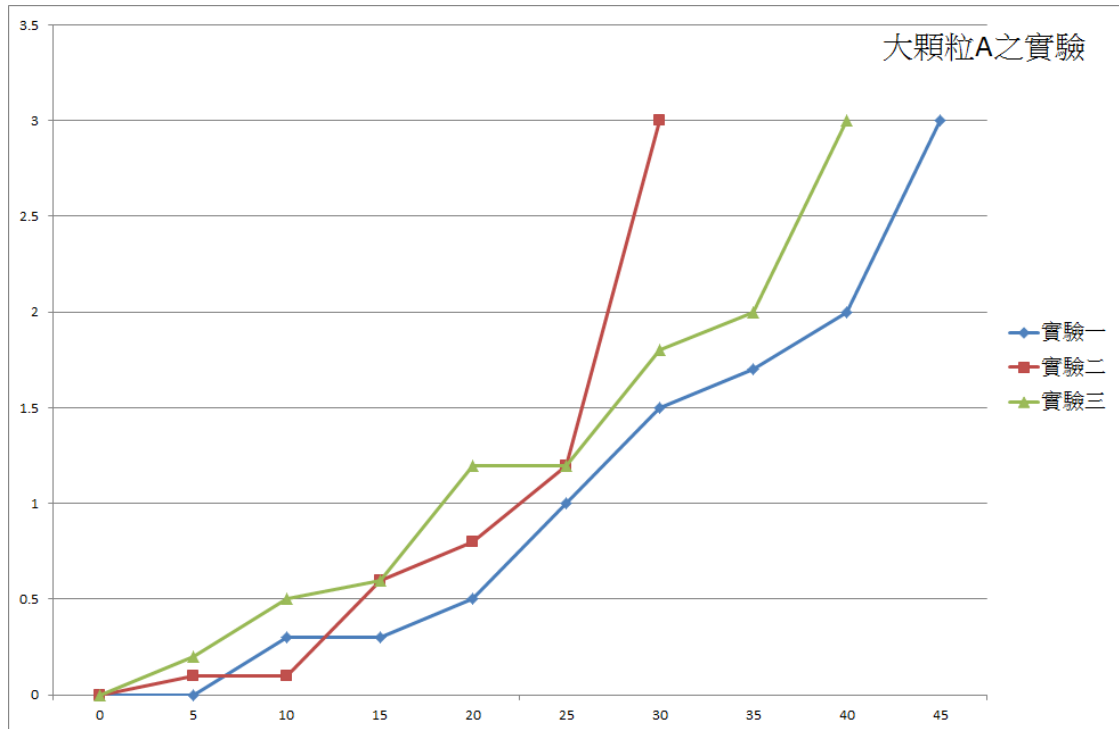
共費時 1 分鐘

## 柒、實驗結果：

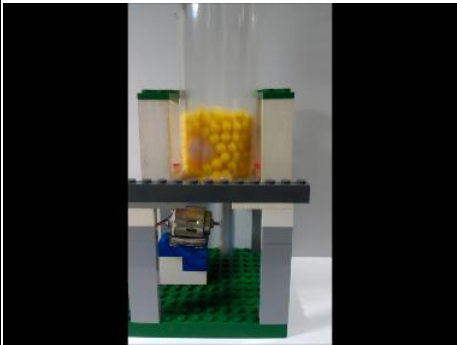
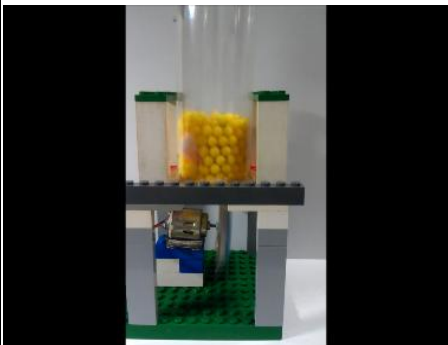
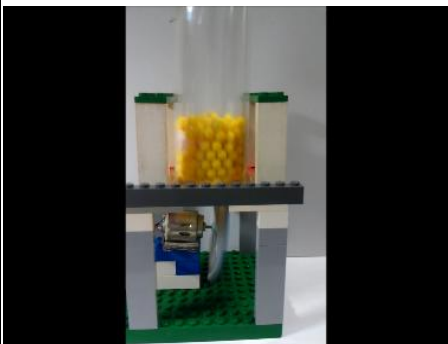
| 顆粒            | 實驗 | 到達頂端時間 | 圖示                                                                                  |                                                                                      |
|---------------|----|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 顆粒 A 直徑 20 mm | 1  | 42.44  | 5 秒                                                                                 | 10 秒                                                                                 |
|               |    |        |    |    |
|               |    |        | 15 秒                                                                                | 20 秒                                                                                 |
|               |    |        |   |   |
|               |    |        | 25 秒                                                                                | 30 秒                                                                                 |
|               |    |        |  |  |
|               |    |        | 35 秒                                                                                | 42 秒結束                                                                               |
|               |    |        |  |  |

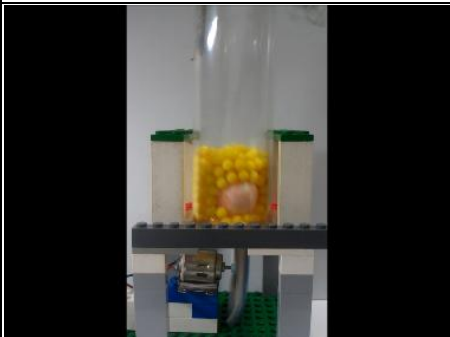
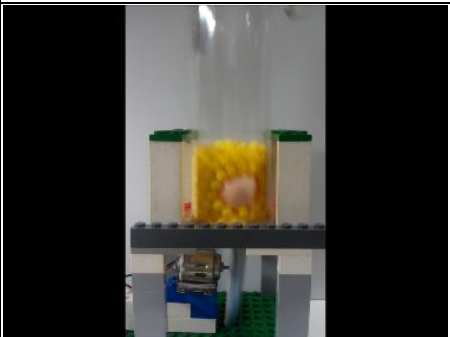
| 顆粒                        | 實驗 | 到達<br>頂端<br>時間 | 圖示                                                                                  |                                                                                      |
|---------------------------|----|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 顆粒<br>A<br>直徑<br>20<br>mm | 2  | 30.89          | 5 秒                                                                                 | 10 秒                                                                                 |
|                           |    |                |    |    |
|                           |    |                | 15 秒                                                                                | 20 秒                                                                                 |
|                           |    |                |   |   |
|                           |    |                | 25 秒                                                                                | 30 秒結束                                                                               |
|                           |    |                |  |  |

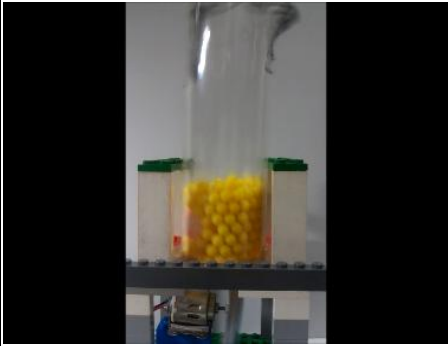
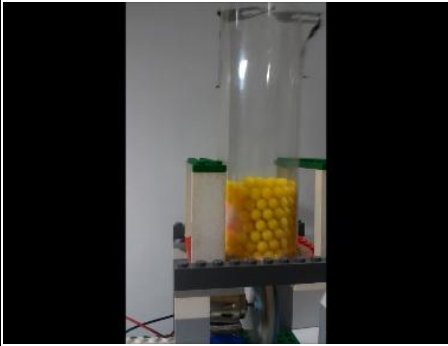
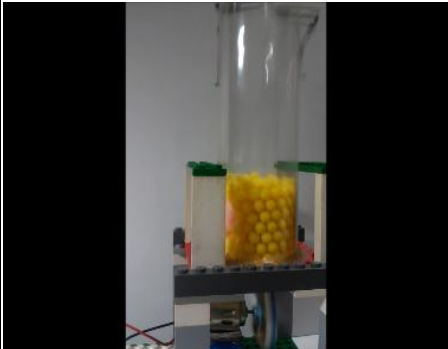
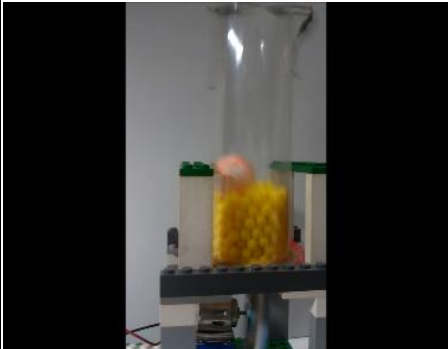
| 顆粒                        | 實驗 | 到達<br>頂端<br>時間 | 圖示                                                                                  |                                                                                      |
|---------------------------|----|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 顆粒<br>A<br>直徑<br>20<br>mm | 3  | 37.36          | 5 秒                                                                                 | 10 秒                                                                                 |
|                           |    |                |    |    |
|                           |    |                | 15 秒                                                                                | 20 秒                                                                                 |
|                           |    |                |   |   |
|                           |    |                | 25 秒                                                                                | 30 秒                                                                                 |
|                           |    |                |  |  |
|                           |    |                | 37 秒結束                                                                              |                                                                                      |
|                           |    |                |  |                                                                                      |

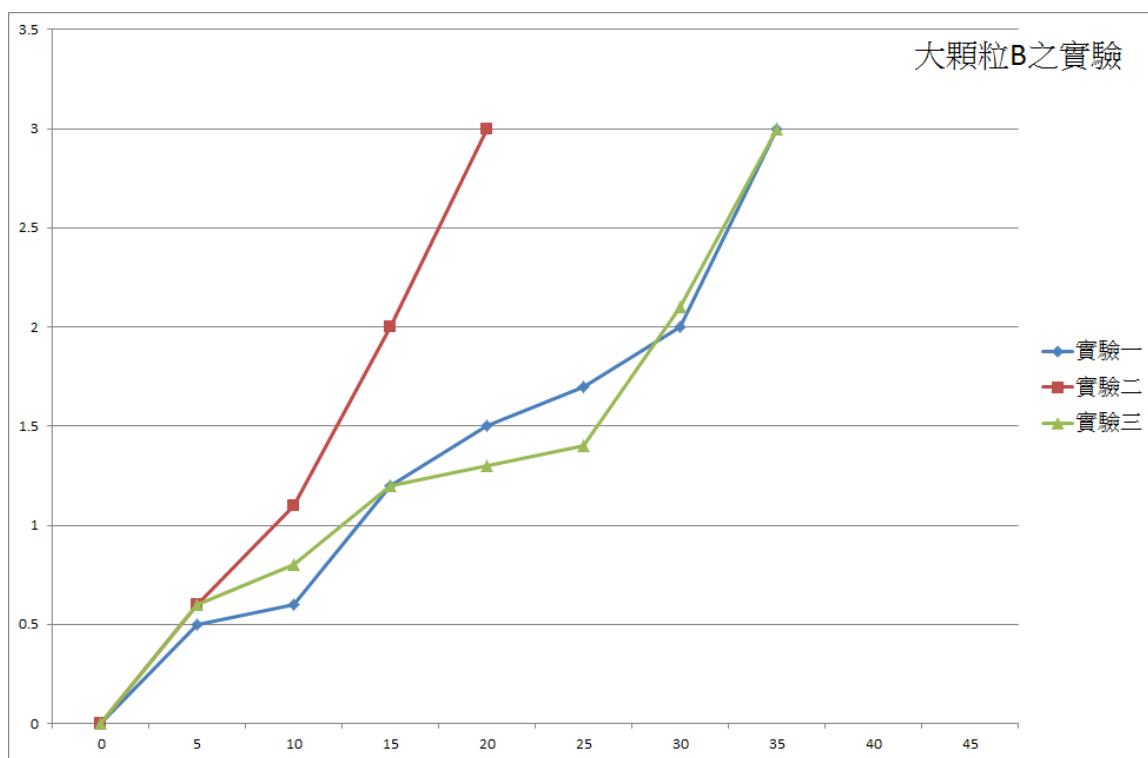


橫座標為時間，單位為秒；縱坐標為大顆粒 A 底部與圓筒底部的距離，單位為公分

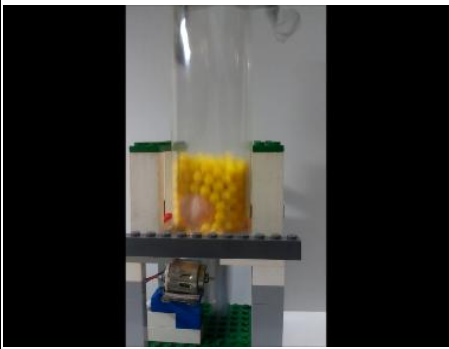
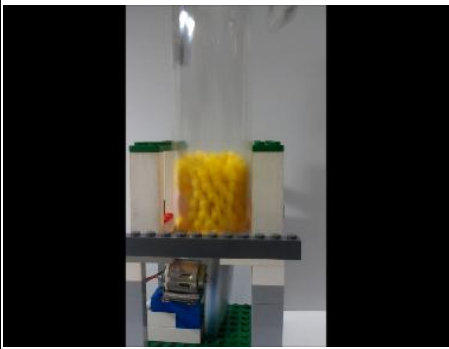
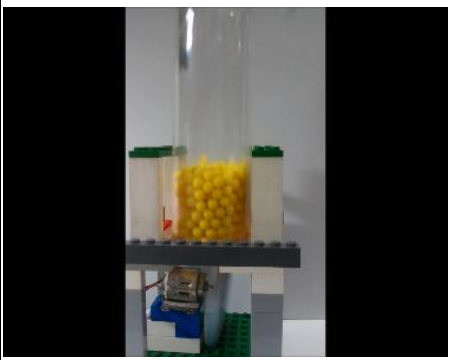
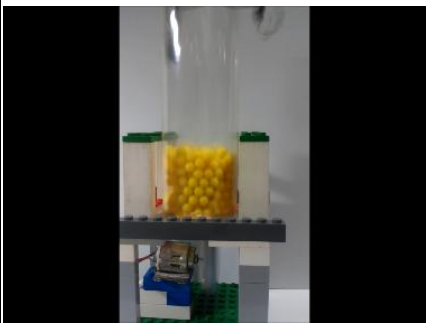
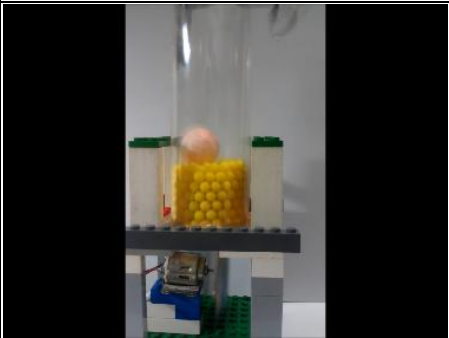
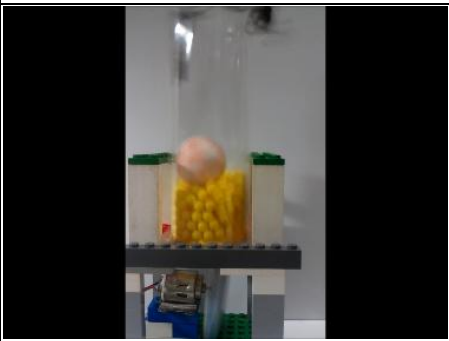
| 顆粒                                    | 實驗 | 到達<br>頂端<br>時間 | 圖示                                                                                  |                                                                                      |
|---------------------------------------|----|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 顆<br>粒<br>B<br>直<br>徑<br>25<br>m<br>m | 1  | 32.65          | 5 秒                                                                                 | 10 秒                                                                                 |
|                                       |    |                |    |    |
|                                       |    |                | 15 秒                                                                                | 20 秒                                                                                 |
|                                       |    |                |   |   |
|                                       |    |                | 25 秒                                                                                | 32.65 秒                                                                              |
|                                       |    |                |  |  |

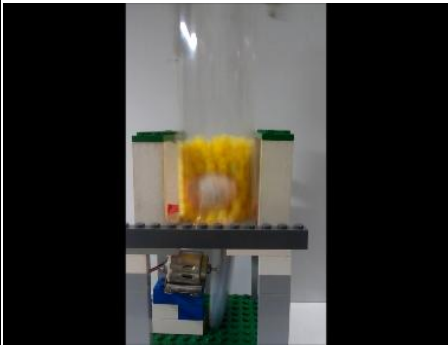
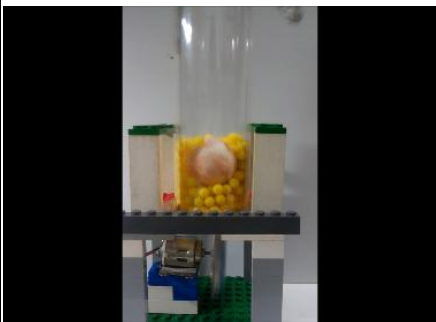
| 顆粒                                    | 實驗 | 到達<br>頂端<br>時間 | 圖示                                                                                 |                                                                                    |
|---------------------------------------|----|----------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 顆<br>粒<br>B<br>直<br>徑<br>25<br>m<br>m | 2  | 16.00          | 5 秒                                                                                | 10 秒                                                                               |
|                                       |    |                |   |  |
|                                       |    |                | 16 秒結束                                                                             |                                                                                    |
|                                       |    |                |  |                                                                                    |

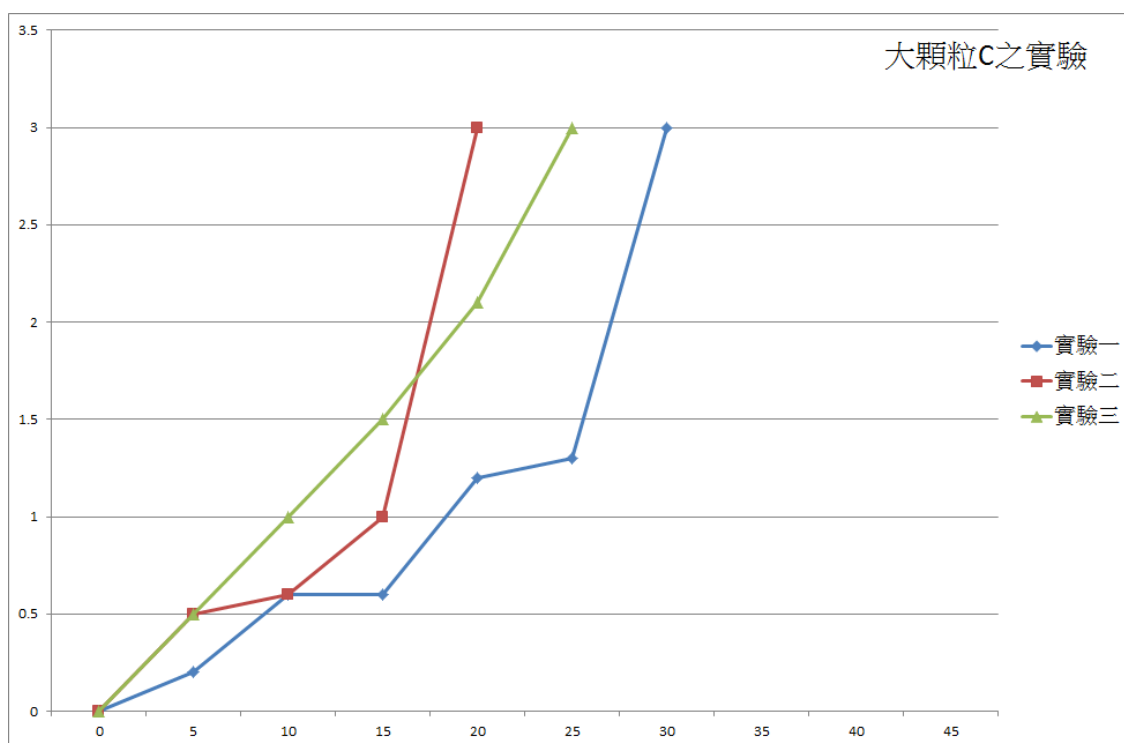
| 顆粒                        | 實驗 | 到達<br>頂端<br>時間 | 圖示                                                                                  |                                                                                      |
|---------------------------|----|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 顆粒<br>B<br>直徑<br>25<br>mm | 3  | 31.79          | 5 秒                                                                                 | 10 秒                                                                                 |
|                           |    |                |    |    |
|                           |    |                | 15 秒                                                                                | 20 秒                                                                                 |
|                           |    |                |   |   |
|                           |    |                | 25 秒                                                                                | 31 秒結束                                                                               |
|                           |    |                |  |  |



橫座標為時間，單位為秒；縱坐標為大顆粒 B 底部與圓筒底部的距離，單位為公分

| 顆粒                            | 實驗 | 到達<br>頂端<br>時間 | 圖示                                                                                  |                                                                                      |
|-------------------------------|----|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 顆粒<br>C<br>直徑<br>30<br>mm     | 1  | 29.51          | 5 秒                                                                                 | 10 秒                                                                                 |
|                               |    |                |    |    |
|                               |    |                | 15 秒                                                                                | 20 秒                                                                                 |
|                               |    |                |   |   |
|                               |    |                | 25 秒                                                                                | 29 秒結束                                                                               |
|                               |    |                |  |  |
| 粒<br>C<br>直徑<br>30<br>mm<br>顆 | 2  | 18.13          | 5 秒                                                                                 | 18 秒結束                                                                               |
|                               |    |                |  |  |

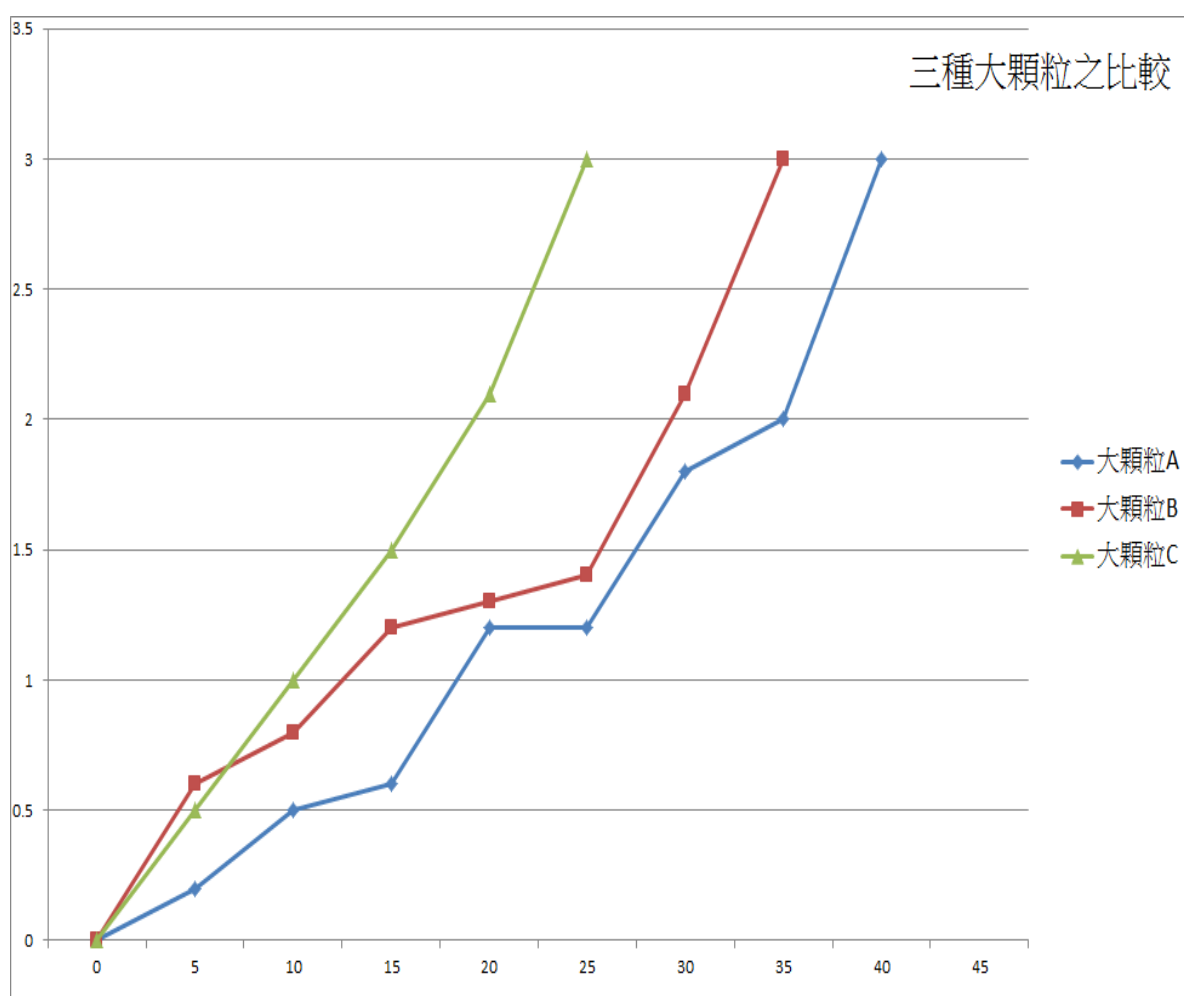
| 顆粒                        | 實驗 | 到達<br>頂端<br>時間 | 圖示                                                                                  |                                                                                     |
|---------------------------|----|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 顆粒<br>C<br>直徑<br>30<br>mm | 3  | 24.21          | 5 秒                                                                                 | 10 秒                                                                                |
|                           |    |                |    |   |
|                           |    |                | 15 秒                                                                                | 20 秒                                                                                |
|                           |    |                |   |  |
|                           |    |                | 24 秒結束                                                                              |                                                                                     |
|                           |    |                |  |                                                                                     |



橫座標為時間，單位為秒；縱坐標為大顆粒 C 底部與圓筒底部的距離，單位為公分

## 捌、實驗討論

經過測量得知小顆粒的直徑約為 6mm，偏心齒輪最大半徑約為 35mm，最大震幅約為 1mm。其震幅與小顆粒直徑無明顯直接關係，是靠震動的摩擦力促使小顆粒沿著瓶子內壁流到底下。藉由上述三個表格可以得知，大顆粒從瓶底上升的時間皆從慢到快，有可能為小顆粒之質量造成的影響，壓在大顆粒上面的小顆粒越多，其上升速率越慢。下列表格為三個大顆粒的比較，取每三個實驗的中間值，來比較三種顆粒的上升情形，可以得知體積越大，上升的速率越快。



橫座標為時間，單位為秒；縱坐標為大顆粒底部與圓筒底部的距離，單位為公分

模擬器實驗中，我們固定齒輪的轉速、小顆粒體積與數目、彈簧彈性、數、容器物理數值，藉由此模擬器，我們因此得知，體積大的球上升速率較快，這與我們自己動手做實驗的結果相符。我們認為是因為大顆粒上升到一定高度時，周圍小顆粒數目減少，體積大的大顆粒與小顆粒會因碰撞次數的減少而導致上升速度變快。

## 玖、未來展望

- 一、巴西堅果效應即是從穀物分離衍伸而來，觀察固體顆粒之間的交互作用，並得知其上升時，可以幫助在不同的材料分離上。
- 二、位於地震帶的國家，多半發生過土壤液化的現象。土壤液化的條件為地表下多含砂質土壤，且多具有高水位的地下水。在受外力期間，砂粒的重量會由地水承擔而造成土壤液化。例如：921 集集大地震之後，許多地區的上冒出泥水、日本 311 地震因地層下陷造成房屋下沉倒塌。所以我們希望未來實驗可以從固體與固體之間的交互作用，更進一步探討液體與固體的作用，藉此來觀察因地震造成的土壤液化現象，並期望找出解決辦法。
- 三、實驗中我們使用電池馬達，但是由於電池的損耗會造成馬達頻率上的改變。所以我們希望以後實驗可以將馬達接上直流電源，這樣頻率會固定，實驗會更精確。

## 拾、參考資料：

1. 石明鑫(民 94)。垂直振動下顆粒材料分離行為之研究，國立暨南國際大學土木工程學系，碩士論文。
2. 陳昭雄(民 98)。蛋形顆粒和多面體塊體之數值模擬，國立中央大學土木工程研究所，博士論文。
3. [http://fractal.phys.nchu.edu.tw/?page\\_id=257](http://fractal.phys.nchu.edu.tw/?page_id=257)  
顆粒的集體行為，非線性物理研究中心。
4. 陳銘鴻。土壤液化成因、災害與復建，國家地震工程研究所。