



七龍珠：振動與分層的秘密

高雄市岡山區前峰國中

「你的手速，真的夠快嗎？搖得出來，才叫真本事！」傳說中，集滿七顆龍珠可以向神龍許願實現夢想！快來挑戰我們的科學關卡，利用巧妙的搖晃技術，讓隱藏的龍珠浮出表面！這不只是科學遊戲，還有體驗駕馭顆粒的力量、解開巴西果效應的修煉！難怪悟空和比克都有強壯的手臂，搖完七龍珠實驗後，我的手臂肌肉都變粗了呢！

1.動機：

本關卡「七龍珠」的設計靈感來自於漫畫《七龍珠》，我們希望透過一個有趣且富有挑戰性的活動，讓參與者了解「巴西果效應」這一物理現象，同時建立對顆粒分層和土壤液化等自然現象的認識。

「巴西果效應」它的名稱來源於一種有趣的觀察：在混合堅果的包裝中，最大的巴西堅果總是出現在頂部。這種現象在日常生活中隨處可見，從早餐麥片到工業生產中的顆粒分離，都體現了這一物理原理。

2.闖關過程：

參與者先挑戰簡單難度，成功後可選擇繼續挑戰更高難度。搖晃時間有限制 1 分鐘，成功將大顆粒搖至頂部即可過關。

3.實驗材料與配置：

我們準備了三種不同配置，以展示不同條件下的巴西果效應：

大顆粒種類	小顆粒種類	容器
大彈珠(玻璃)：直徑 2 cm	米	350 ml 寶特瓶（小型）
彈力球(橡膠)：直徑 2.5 cm	綠豆	1 L 寶特瓶（中型）
泡綿球：直徑 2.5 cm	黃豆	6 L 寶特瓶（大型）

配置 A「秒出場型」：將大顆粒*1 搖到瓶子頂端即可過關，難度：簡單。

- 大顆粒：放入 1 顆大彈珠或泡棉球作為大顆粒。
- 小顆粒：內裝白米或綠豆作為小顆粒。
- 容器：350ml 直筒瓶，填充約 60%。

配置 B「對比教學型」：需將全部大顆粒*3 搖到頂端算過關，難度：中等。

- 大顆粒：放入 3 顆彈力球或泡棉球作為大顆粒。
- 小顆粒：內裝白米或黃豆作為小顆粒。
- 容器：1L 直筒瓶，填充約 60%。

配置 C「大力士」：需將全部大彈珠*7 搖到頂端算過關，難度：困難。

- 大顆粒：大彈珠 7 顆。
- 小顆粒：綠豆半桶。
- 容器：透明廣口桶 6L，填充約 40%。

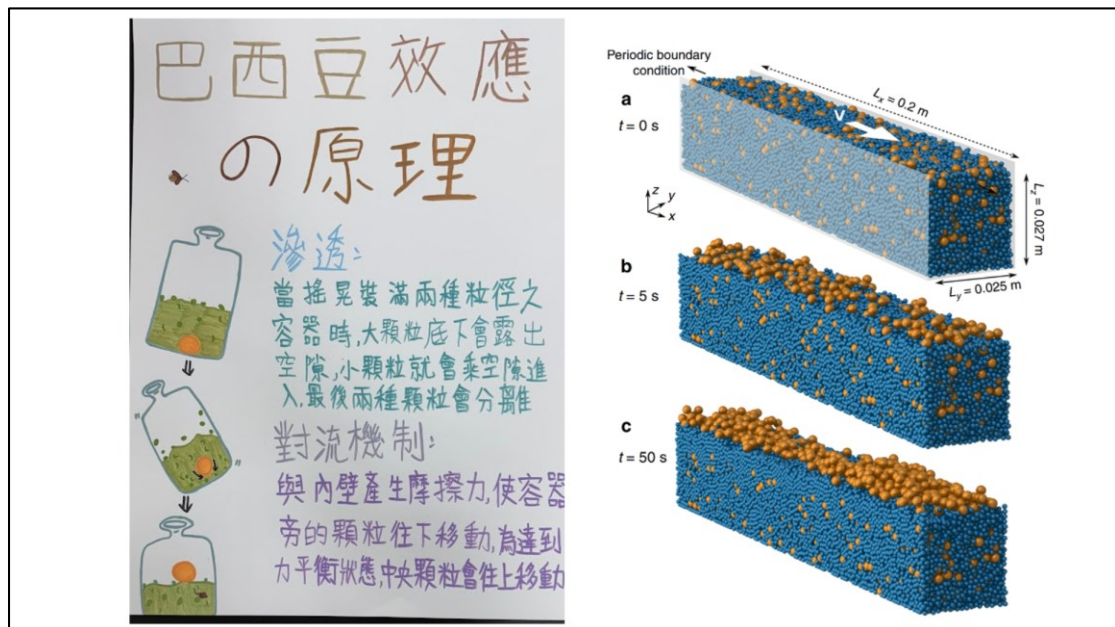


4.原理說明：

本活動主要展示了「巴西果效應」(Brazil nut effect)或稱顆粒分層現象：

1. **對流機制**：振動產生的顆粒對流使得顆粒在容器中形成環流運動。顆粒在容器中央向上運動，在邊緣向下運動。大顆粒被捲入這種對流但到達表面後，因為容器邊緣空間有限而無法下沉，只能停留在表面。
2. **滲透機制**：振動時，小顆粒能夠鑽入大顆粒下方形成的空隙中，而大顆粒則無法穿過小顆粒形成的密集區域，導致大顆粒被逐漸推向上方。
3. **空隙填充機制**：系統傾向於最小化位能，小顆粒填充大顆粒下方空隙可以降低系統的重心，使整個系統達到更穩定的能量狀態。
4. **擠壓力機制**：振動過程中，顆粒間相互碰撞產生的壓力分佈不均勻，可能導致大顆粒受到向上的淨力。
5. **粒徑比**：大小顆粒的直徑比例影響分離效率。粒徑比越大，大顆粒越容易上升。
6. **顆粒特性**：顆粒的形狀、密度、表面粗糙度等特性都會影響分離效果。

在我們的實驗中，小寶特瓶裝綠豆加大彈珠的組合最快完成分離（僅需 8 秒），這可能是因為大彈珠表面光滑、質量大，而綠豆形狀較圓，容易讓大彈珠穿過。相比之下，小寶特瓶裝米加彈力球組合表現也不錯（18 秒），但米加大彈珠反而較慢（37 秒），這與綠豆的結果正好相反，顯示小顆粒的形狀特性對結果有顯著影響。



生活應用：土壤液化現象

土壤液化是一種與巴西果效應相關但機制不同的地質現象，當含水的砂土受到震動時，水分會使砂粒間的摩擦力減少，導致土壤暫時失去承載能力，表現出類似液體的特性。這種現象在地震期間尤為常見，可能導致建築物下沉或傾斜。

巴西果效應與土壤液化的對比

- **相同點**：兩者都涉及顆粒材料在振動下的行為變化
- **不同點**：巴西果效應使大顆粒上升，而土壤液化則使物體下沉
- **液體的作用**：在土壤液化中，水起關鍵作用，減少顆粒間的摩擦；而巴西果效應通常在乾燥顆粒中觀察
- **實際影響**：土壤液化可能導致建築物災害，而巴西果效應則在工業分選中有應用價值

這個實驗能夠讓參與者直觀理解地震時土壤液化的危險性，也能對比兩種不同的顆粒行為機制，加深對振動系統中顆粒行為的理解。

生活應用

解釋地震中的土壤液化現象

在地震時，若地基是含有水分的沙土層，沙子之間的孔隙水受到震動，被擠壓到上方，土壤結構暫時失去支撐，導致地基密度改變、建物下陷。

這就像我們在搖晃裝有豆子和小球的容器一樣，震動改變了顆粒的分布，只是規模更大、影響更劇烈。



5.問題討論：

1. 為什麼有些大顆粒會浮上來，有些卻沉下去？→不同密度的顆粒流動方式不同
2. 如果大顆粒的材質更重（如玻璃、鐵珠），會發生什麼事？→更難被抬上來
3. 如果小顆粒換成更細的粉末（米、糖），會不會讓彈力球更快浮出？→會，因為顆粒更小，密度更大，下沉的力量更大

延伸討論：通過實驗，我們觀察到一些有趣的現象和問題：

顆粒特性的影響

- 為什麼相同的大顆粒在不同小顆粒中的表現不同？例如，大彈珠在綠豆中上升最快，但在米中上升較慢。
- 小顆粒的形狀（綠豆較圓，米粒細長）如何影響分離效果？
- 大顆粒的表面粗糙度如何影響上升速度？為什麼彈力球在綠豆中上升較慢但在米中表現較好？

實驗改進方向

- 如何設計實驗觀察「反巴西果效應」（大顆粒下沉）？
- 不同的搖晃方式（頻率、振幅、方向）如何影響結果？
- 溫度、濕度等環境因素是否會影響實驗結果？

6.參考文獻：

1. osato, A., Strandburg, K.J., Prinz, F. et al. (1987). "Why the Brazil nuts are on top: Size segregation of particulate matter by shaking." *Physical Review Letters*, 58(10), 1038-1040.
2. Knight, J.B., Jaeger, H.M., Nagel, S.R. (1993). "Vibration-induced size separation in granular media: The convection connection." *Physical Review Letters*, 70(24), 3728-3731.
3. Hong, D.C., Quinn, P.V., Luding, S. (2001). "Reverse Brazil nut problem: Competition between percolation and condensation." *Physical Review Letters*, 86(15), 3423-3426.
4. Hsiau, S.S., Yu, H.Y. (1997). "Segregation phenomena in a shaker." *Powder Technology*, 93(1), 83-88.

7.原理講解影片：



<https://youtu.be/oD8FCQIDxcE?si=IOFLBqlzVSwpDa9b>