

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

第三名

031606

利用顆粒對流搖出疏密波

臺中縣立大雅國民中學

作者姓名：

國二 張俊堯 國二 高齊偉 國二 紀驊峰
國一 賴佳柔

指導老師：

詹錫欽

中華民國第 45 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：理化科

組 別：國中學生組

作品名稱：**利用顆粒對流搖出疏密波**



關 鍵 詞：顆粒對流、疏密波、顆粒的分離。

編 號：

壹、摘要：

將大小不同的顆粒放入容器中，一般而言經過搖動後大顆粒會浮出，我們發現上寬下窄的容器經上下搖動，大顆粒則會下降。而當浮出物顆粒較大、密度較小時，浮出速率較快。將米和沙分佈在一個長條軌道上，左右搖動，會出現一節一節的分離現象，每一節中的排列則是細沙在中間，粗沙在其兩側，米粒分佈在最外層，整體像疏密波一樣，也是顆粒對流作用的結果，且依搖動的振幅不同，所產生的節數也有所不同。

貳、研究動機

有一天回家發現調皮的弟弟把米、沙混合在一起，他將那些混合物放到軌道上搖動，結果分成很像疏密波的樣子，沙一節米一節，看到這現象，我聯想到今天在學校做的一個實驗，它說將乒乓球放到一些米中，再置於圓柱中左右搖動後，乒乓球會浮出，沒想到有些同學實驗的結果跟原本不一樣，有人做出不浮出反而往下沉，有人是做出浮出又沉下去。雖然兩種都是關於分離顆粒但結果都不同，兩者之間到底有沒有關係？於是找了幾位好友討論，展開深入的實驗與了解。

參、研究目的

- 一.探討顆粒會上浮下沉的原因。
- 二.探討物質分爲一節一節的原因。

肆、研究設備及器材

四角柱、四角椎、六角柱、圓柱、圓椎、BB 彈（直徑 0.6cm）、大小彈珠（大直徑 2.44cm 小直徑 1.1cm）、鋼珠（直徑 1.1cm）、乒乓球（直徑 3.94cm）、沙子（直徑 0.03cm）、彈簧秤、量筒、漏斗、大小寶麗龍球（大直徑 3.72cm 小直徑 2.44cm）、米（寬 0.21cm、長 0.52cm）、鋁條、四輪轉動車、綠豆、震盪機（按摩機）、游標尺。



【震盪機（按摩機）】



【四輪轉動車】



【實驗容器】

伍、研究過程

實驗一

前言：在一開始，我們無法知道顆粒上浮下沉等特殊現象的原因，所以我們將課本所說的乒乓球使用成別種物質。而且乒乓球是較大的顆粒，由這點我們先從顆粒大小這方面切入。

目的：探討顆粒大小對顆粒上浮下沉的影響。

- 步驟：1.將一顆大彈珠放入 400 立方公分的 BB 彈中。
2.將一顆小彈珠放入 400 立方公分的 BB 彈中。
3.將一顆大保麗龍球放入 400 立方公分的 BB 彈中。
4.將一顆小保麗龍球放入 400 立方公分的 BB 彈中。
5.將每一種物質分別放入圓柱形容器中。
6.以 1.2 為一組 3.4 為一組做對照，上下搖動，觀察是大顆粒較快浮出，還是小顆粒較快浮出。

結果：

種類 \ 次數	浮出所需的搖動次數	備註	直徑比例	
大彈珠	35 下	成功浮出	112:55	
小彈珠	47 下	成功浮出		
大保麗龍球	13 下	成功浮出	93:61	
小保麗龍球	26 下	成功浮出		

討論：此實驗發現較大的顆粒比較容易上升，我們根據顆粒佔有空間這點推論，因為搖動時小顆粒產生空隙，上方小顆粒會往下掉。而顆粒愈大所佔空間愈大，搖動時與小顆粒產生更大空隙，上方顆粒向下掉的量越多越能將大顆粒擠出。

實驗二

前言：爲了更深入了解顆粒上浮下沉的原理，我們仔細觀察乒乓球的性質，發現乒乓球除了體積大外，因裡面是中空的所以密度小，於是我們研究顆粒密度對顆粒上浮下沉的影響。

目的：探討顆粒密度對大顆粒上浮下沉的影響。

- 步驟：1.將一顆大彈珠放入 400 立方公分的 BB 彈中。
2.將一顆保麗龍放入 400 立方公分的 BB 彈中。
3.將一顆鋼珠放入 400 立方公分的 BB 彈中。
4.將一顆小彈珠放入 400 立方公分的 BB 彈中。
5.將每一種物質分別放入圓柱形容器中。

6.以 1.2 一組 3.4 一組，上下搖動，觀察是密度大容易浮出，還是密度小的，【每一組 2 種顆粒大小一樣。】

結果：密度小的比密度大的易浮出

種類	次數	浮出所需的搖動次數	備註
大彈珠		36 下浮出	成功浮出
保利龍球		26 下浮出	成功浮出
鋼珠		78 下浮出	成功浮出
小彈珠		69 下浮出	成功浮出



討論：因顆粒大小相同搖動時產生的空隙大小都是一樣的，所以將大顆粒往上推的力也是相同，物體體積相同重量較重的，浮出時須要較大的向上推力，比較不容易浮出。

實驗三

前言：實驗完改變浮出顆粒的性質後，我們還是無法找到顆粒下沉的原因，於是我們改變浮出顆粒旁的顆粒來做實驗。

目的：探討浮出顆粒旁的顆粒大小對顆粒上浮下沉的影響。

步驟：1.將一顆保麗龍球放入 400 立方公分 BB 彈裡。

2.將一顆保麗龍球放入 400 立方公分沙裡。

3.將每一組放入圓柱形容器中。

4.上下搖動觀察是在沙中較快浮出還是在 BB 彈較快浮出。

結果：乒乓球在沙浮出的速率比在 BB 彈浮出的快。

置於種類	次數	浮出所需的搖動次數	備註	直徑比例
沙		6 下浮出	成功浮出	1:20
BB 彈		8 下浮出	成功浮出	



討論：搖動時產生的空隙是大小是一樣的，而沙的顆粒比 BB 彈小，比較容易擠進空隙中，將乒乓球拱出分離出來。

實驗四

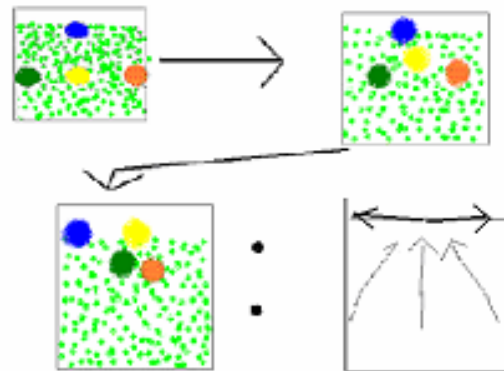
前言：實驗一、二、三，我們之所以利用上下搖，是因我們一開始還有做個小實驗，得知上下搖比左右搖還容易浮出，於是我們利用上下搖動，有助我們數據快速產生，但我們並沒有仔細觀察上下與左右搖動，對顆粒浮出的情形，於是展開上下搖動與左右搖動的實驗。

目的：探討上下搖動與左右搖動的差別。

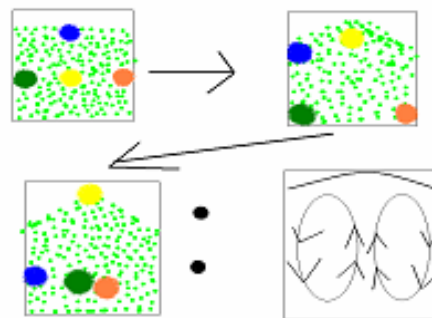
- 步驟：1.將 4 小顆彈珠放進 400 立方公分 BB 彈裡（1 顆粒最上方中間、3 顆放至顆粒 3 分之一的地方【左.中.右 各一顆】）。
- 2.將兩種物質放進柱形容器中。
- 3.上下搖動觀察結果。
- 4.左右搖動觀察結果。

結果：

一.柱形容器左右搖動路徑：
最上方的大顆粒左右方滾動，三分之一位子大顆粒往中間聚集然後浮出。



二.柱形容器上下搖動路徑：
最上方的大顆粒由旁邊下降，三分之一靠壁位置的兩大顆粒往下，中間的往上浮出，最上方大顆粒往左或往右移動。



討論：1.左右搖動：所有在 BB 彈中的彈珠都往中間浮出，而我們為了解這個現象，於是仔細觀察左邊的大顆粒，並用乒乓球重做此實驗。當我們搖向右邊時，大小顆粒會往右跑，這時會發現乒乓球因搖動向右移動了，乒乓球左邊兩旁的下方出現了小空隙，旁邊 BB 彈往下補，當乒乓球搖動往回跑時，之前空間已被佔去，無法回到原來位置，此動作持續進行，BB 彈愈補愈多，乒乓球愈往中間移動浮出，而浮出的乒乓球，會在方上左右滾動而不會再往下沉。

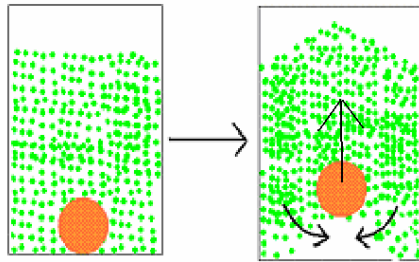


【旁邊小顆粒往下補】



【大顆粒往中間聚】

- 2.上下搖動：產生中間上升，旁邊下降的對流，我們用力學分析，當顆粒搖動時，大顆粒往中浮出，因為要從靠壁上升時，除了有上面的顆粒在壓之外，還要加上與容器壁摩擦的力，這就跟河流流動時靠岸的水流會比中間水流速度來的慢的意思是一樣的，所以是往中浮出，而不是靠壁浮出，當大顆粒浮到中間最高時，BB 彈就產生了中間突起的現象，當我們繼續搖動時，中間 BB 彈愈來愈高，高到一個程度，會造成顆粒崩塌，大顆粒往旁邊滾，再來 BB 彈也往旁邊滾，將大顆粒蓋住，此動作持續進行，大顆粒也愈埋愈深，到最後回到起點，展開第 2 次循環。
- 3.我們仔細觀察上下搖動時產生的空隙，發現在中間顆粒往上時，下方會產生空隙，而加上旁邊與容器壁摩擦力大，旁邊顆粒較不易上升，旁邊顆粒往中間下方補，將大顆粒拱出。



【柱形上下搖動顆粒互補情形】

- 4.左右搖動，大顆粒不會再下沉，因為它搖動時並不會像上下搖動一樣，顆粒產生互補的情形（旁邊小顆粒往中間空隙補），所以當左右搖動大顆粒浮出時，顆粒只會跟隨著慣性左右搖動，並不會像上下搖動時產生顆粒互補。

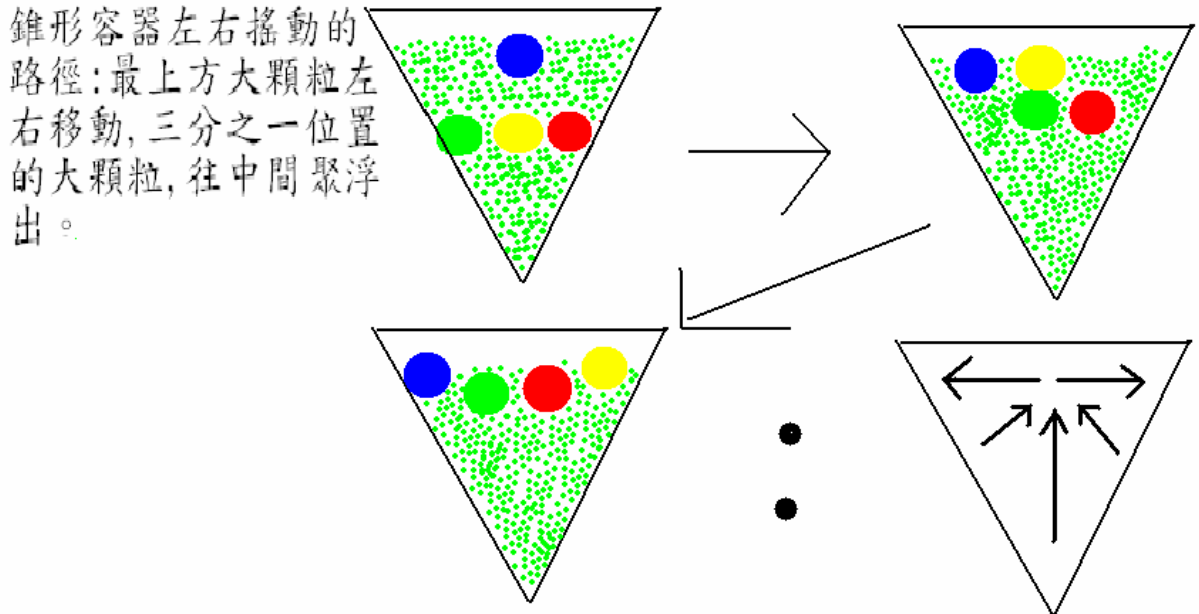
實驗五

前言：實驗到前上一個實驗，我們已經了解課本裡大顆粒上浮的原因，但還未明白大顆粒下沉原因，而之前我們都是做柱形的容器，就有人提出如果換成錐形容器結果會不會有所不同。

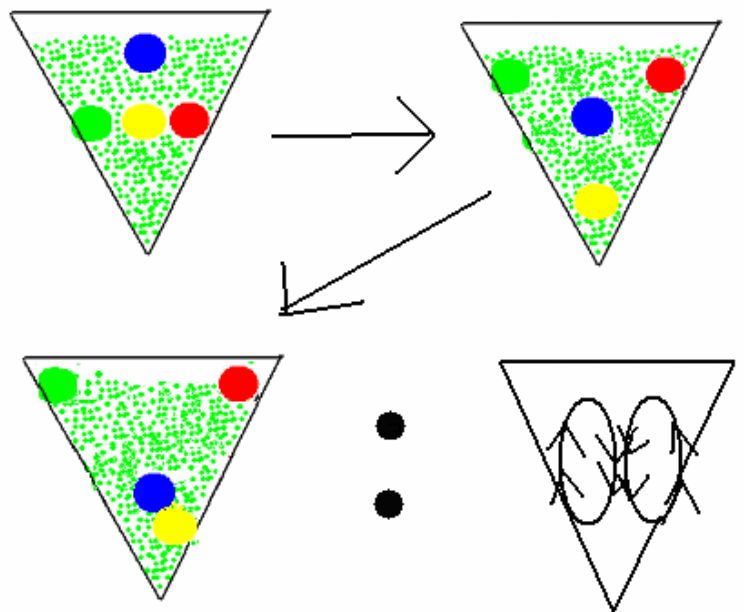
目的：探討錐形容器對顆粒上浮下沉的影響。

- 步驟：1.將 4 小顆彈珠放進 400 立方公分 BB 彈裡（1 顆粒最上方中間、3 顆放至顆粒 3 分之一的地方【左.中.右 各一顆】）。
- 2.將兩種物質放進錐形容器中。
- 3.上下搖動觀察結果。
- 4.左右搖動觀察結果。

結果：



錐形容器上下搖動的路徑：中間的大顆粒往下移動，左右兩旁的大顆粒由旁邊浮出，形成中間向下旁邊向上的對流。

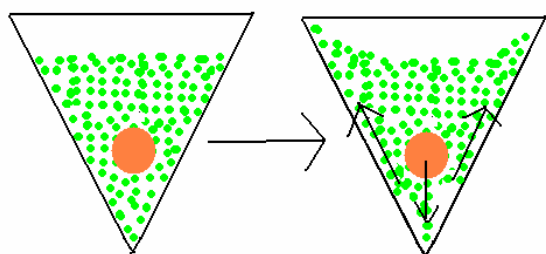


討論：1.左右搖動：我們發現搖動產生空隙的位置，與在柱形容器中一樣，浮出情形也一樣，所以浮出的原因是一樣的。

2.上下搖動：產生旁邊上升中間下降的對流，到此我們終於發現我們要尋找的大顆粒會往下這個現象，我們用力學分析：當顆粒搖動時，大顆粒往旁浮出，是因靠壁上升時，大顆粒將本身的重量，分在容器的斜面上，我們稱之為分力，顆粒浮出到旁間時，BB 彈就產生了中間凹陷的現象，當我們繼續搖動時，四周顆粒愈來愈高，高到一程度，

會造成顆粒崩塌，大顆粒往中滾，再來 BB 彈也往中滾，將大顆粒蓋住，此動作繼續進行，大顆粒也愈埋愈深，到最後回到起點，展開第 2 次循環。

3.我們仔細觀察上下搖動，旁邊顆粒往上時下方會產生空隙，中間的顆粒往下並往兩邊補，當繼續搖動旁邊顆粒一直上升，旁邊產生高起，中間凹陷，使顆粒往中間移動，逼使中間的顆粒往下移動，行成中間顆粒下降，旁邊顆粒上升的對流。



【錐形上下搖動顆粒互補情形】

實驗六

前言：因以前沒有人提出顆粒也能對流，爲了證明我們實驗四、五是不是做對了，我們將用彈簧秤測各部上升所需的力，驗證的結果是否正確。

目的：確認實驗四、五實驗結果。

步驟：1.將保麗龍球穿線並掛在彈簧秤上

2.將保麗龍球放置裝有 17 公分沙的錐、柱形容器中（中央底部、靠壁底部）

3.再將保麗龍球拉出觀察所需的力。

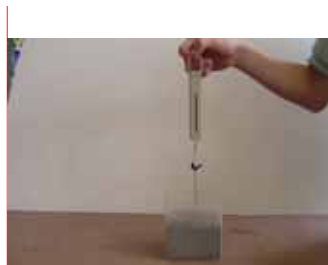
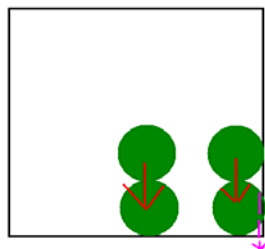
結果：柱形容器所需的力（g）

拉出位置-中央	190g	200g	210g	200g	190g
拉出位置-靠壁	220g	210g	220g	230g	220g

錐形容器所需的力

拉出位置-中央	200g	230g	200g	220g	200g
拉出位置-靠壁	160g	190g	160g	160g	170g

討論：1.柱形容器旁邊的拉起的力會大於中間拉起的力，是因阻力大小不同。

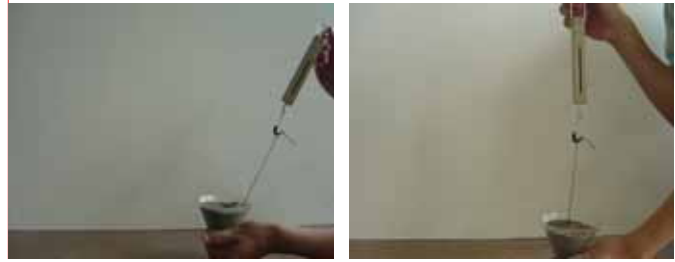
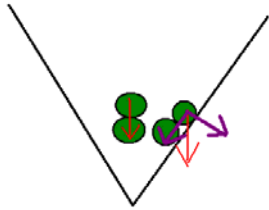


【紅色箭頭上方顆粒向下的壓力，粉紅色箭頭是與容器壁的摩擦力】

上面的力圖是柱形容器中間上升與旁邊所受的阻力，圖中中間顆粒上升的阻力，是上方顆粒的正向力，而圖中旁邊上升的阻力，除了上方顆粒的正向力外，還要加上與容器壁摩擦產生的摩擦力，所以搖動時中間受到的阻力較小，會比旁邊容易上升，由這力圖和

用彈簧秤實驗結果，我們更可確定實驗五結果。

2.錐形容器中，中間拉起的拉起顆粒的力會大於旁邊拉起顆粒的力。



【紅色箭頭上方顆粒向下壓的力，紫色箭頭是指旁邊顆力正向力的分力（一為水平分力，一為垂直分力）】

上面的力圖是錐形容器中間上升與旁邊所受的阻力，圖中中間顆粒上升的阻力，是上方顆粒的正向力，而圖中旁邊上升的阻力，不是上方顆粒的正向力，只有上方顆粒正向立之水平分力，所以搖動時中間受到的阻力較大，會比旁邊不易上升，由這力圖和用彈簧秤實驗結果，我們更可確定實驗五結果。

實驗七

前言：到上幾個實驗我們終於找到顆粒下沉的原因，但還未找到為什麼弟弟做會一節一節的。

我們就有人想到，前面我們所做的都是放到垂直容器中，再搖晃，如果改為水平分佈，再搖晃，於是我們將顆粒不放到容器中，放到一個條狀東西裡面顆粒水平分佈，並用左右搖動結果是否有不同。

目的：探討水平分佈對物質分離影響。

步驟：1.將米、沙混合。

2.將米、沙放到一個長條軌道容器裡。

3.將整體放在可左右移動的四輪轉動車上。

4.左右搖晃觀察結果。

結果：實驗前米、沙混合均勻；實驗後米、沙分做一節一節的，每一節中的排列則是細沙在中間，粗沙在其兩側，米粒分佈在最外層，整體像彈簧**疏密波**一樣疏密有序。



【實驗前】



【實驗後】

討論：

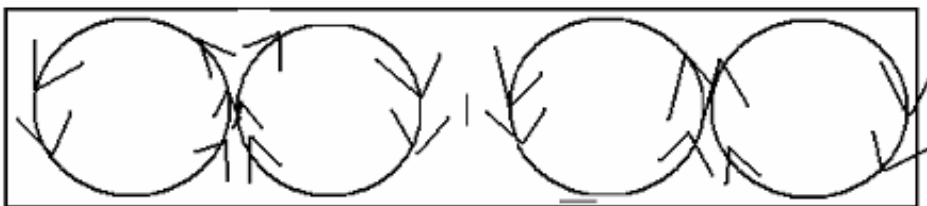
- 1.在仔細觀察下，我們發現其實搖動時，第一個產生的現象是我們實驗四做到的，大顆粒的米先浮出，再繼續搖動大顆粒會往左右兩邊跑，當某相鄰兩部的大顆粒相遇，互擠後往下移動，造成分成一節一節的，每一節中的排列則是細沙在中間，粗沙在其兩側，米粒分佈在最外層。因搖動幅度一定大顆粒往左右跑距離有一定距離，也就是說長條型搖動時會產生許多的小對流。



(上圖為多個對流圖、下圖為分節樣子)

- 2.當幅度愈大時，大顆粒浮出後所跑距離較遠，產生的對流相對的也較少，分出節數也較少。

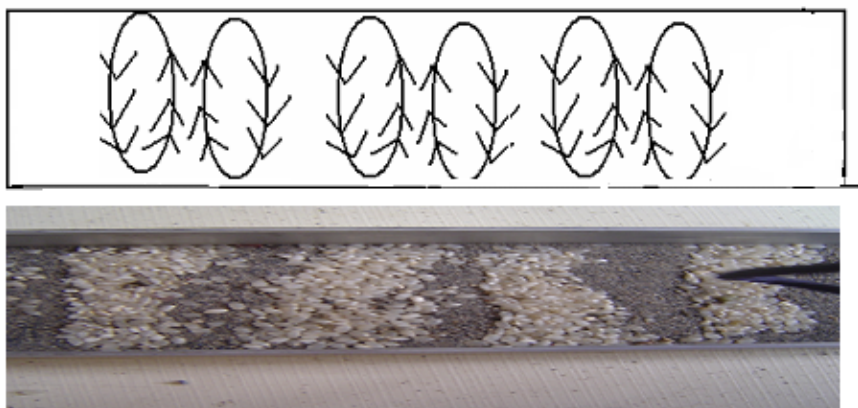
【幅度較大】



(上圖為多個對流圖、下圖為分節樣子)

2.當幅度愈小時，大顆粒浮出後所跑距離較近，產生的對流相對的也較多，分出節數也較多。

【幅度較小】



(上圖為多個對流圖、下圖為分節樣子)

陸、結論：

- 一、
 - 1.不管在什麼容器中，上下搖後大顆粒浮出的速率比左右搖浮出的速率來的快，是因上下搖動產生的空隙比左右搖動時產生的空隙來的大，使附近小顆粒較容易向下補。
 - 2.不管是上下搖動還是左右搖動，顆粒較大的、密度較小，浮出速率都會比較快。
 - 3.不管在什麼容器中，左右搖動大顆粒都會往中間浮出，不管是在什麼樣的容器中，產生的空隙位置都是在大顆粒左右的下方，小顆粒補入方向也一樣，造成大顆粒被拱出的位置也一樣。
 - 4.在上下搖動的**柱形容器**中，因中間阻力較小，顆粒較容易由中間上升，所以產生的空隙是在中間顆粒下方，旁邊顆粒往下方並往中間補，當繼續搖動中間顆粒上升，造成中間的顆粒往上高起，逼使兩旁的顆粒往下移動，會**產生中間往上，旁邊下降的對流**。
 - 5.一般搖動後的結果都是大顆粒往中間浮出，但在**錐形容器**中上下搖動，則大顆粒會往下，旁邊的顆粒往上的對流。是因容器旁邊阻力較小，顆粒較容易沿器壁上升，產生的空隙是在旁邊顆粒下方，中間的顆粒往下並往兩邊補，當繼續搖動旁邊顆粒一直上升，旁邊產生高起，中間凹陷，使顆粒往中間移動，逼使中間的顆粒往下移動，形成**中間顆粒下降，旁邊顆粒上升的對流**。
- 二、將米和沙分佈在一個長條軌道上，左右搖動，會出現一節一節的分離現象，每一節中的排列則是細沙在中間，粗沙在其兩側，米粒分布在最外層，整體像疏密波一樣，皆是顆粒對流的結果，且依搖動的振幅不同，所產生的節數也有所不同。

柒、未來的發展與展望

1. 利用能控制角度的錐形容器，進行實驗。
2. 利用能將振幅改變的機器，進行實驗。

捌、參考文獻與其他：

1. 郭重吉 國中自然與生活科技第三冊 南一書局
2. 許虔禎 魚目混珠如何有效分離—震動、攪動、簸動對固體對流影響之探討
32 屆科展專輯
3. 賈魯強、黎璧賢著 漫談顆粒體物理 <http://www.psroc.phys.ntu.edu.tw/bimonth/v23/503.doc>
4. 小彈珠大學問 第一版 曾志朗
5. Jim Knight Granular Convection and Size Separation
<http://mrsec.uchicago.edu/granular/convection.html>
6. James Koeppel and Michael Enz Avalanche Segregation of Granular Media
<http://groups.physics.umn.edu/sand/Papers/Avalanche/NCUR97.html>
7. Eve Andersson Sponsor: Melany L. Hunt Vibration-Induced Mixing and Segregation
Phenomena in Granular Materials September, 1994

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

國中組 理化科
第三名

031606

利用顆粒對流搖出疏密波

臺中縣立大雅國民中學

評語：

1. 主題明確、簡易的設計實驗中可看出作者頗用心觀察及歸納出有趣的實驗結果。
2. 學生能針對顆粒的運動確實研究國內外網站的內容且提出優劣及可改進的地方，且實際於研究作品中呈現，科學的研究精神相當可取。
3. 變因的控制(例如角錐的角度變化、手動的施力大小及角度上宜作改進)，物理原理的闡述及作品內容的說明上，若能再具體詳盡些會更好。