

Бразильские орехи

Выполнил:

Евланов Алексей Андреевич,

10 А класс

Научный руководитель:

Матюк Анатолий Эдуардович, учитель

физики ГУО «СШ №1 г. Лиды»

Оглавление

Введение	3
Основная часть	5
Заключение	10
Литература	10
Приложение	11

Введение

При встряхивании смеси гранулированных частиц частицы большего размера оказываются выше частиц меньшего размера.

Наша цель: исследовать и объяснить это явление. И определить, при каких условиях можно наблюдать обратное распределение частиц.

С энергетической точки зрения центр масс смеси гранулированных частиц должен располагаться как можно ниже, так как при этом потенциальная энергия системы частиц будет минимальной.

При гравитационном осаждении на дно будет опускаться фракция смеси, имеющая максимальную плотность упаковки. Под упаковкой частиц мы понимаем совокупность касающихся друг друга шаров, занимающих некоторую область пространства.

В качестве модели гранулированных частиц возьмем шары двух разных диаметров одинаковой плотности. В зависимости от соотношения количества шаров малого и большого диаметра мы можем получить прямое или обратное распределение частиц.

Рассмотрим в качестве примера два частных случая распределения смеси частиц [2].

Первый случай: одна частица малого диаметра находится среди множества частиц большого диаметра. Пусть вначале малая частица находится сверху (рис.1). При встряхивании она будет стремиться опуститься ниже, так как ее плотность может оказаться больше средней плотности фракции смеси больших частиц, если она окажется рядом с пустотой (рис.2). В этом случае при встряхивании малая частица проваливается в пустоты между большими частицами, и в итоге может оказаться на дне сосуда.

Второй случай: одна частица большого диаметра находится среди множества частиц малого диаметра. Допустим, первоначально большая частица находится сверху (рис.3). При встряхивании она

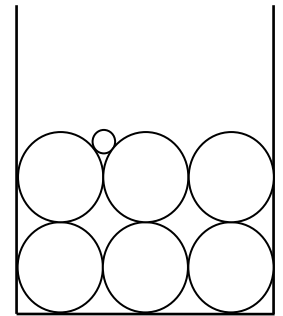


Рис. 1. Частица малого диаметра находится среди частиц большого диаметра сверху

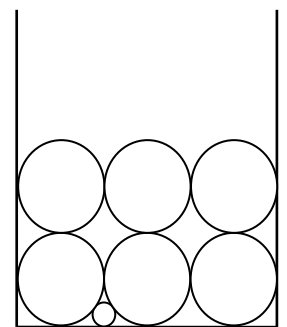


Рис. 2. Частица малого диаметра проваливается в пустоты между большими частицами

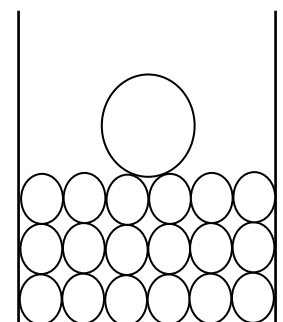


Рис. 3. Частица большого диаметра находится среди частиц малого диаметра сверху

будет стремиться опуститься ниже, так как ее плотность больше средней плотности фракции смеси мелких частиц, между которыми есть пустоты (рис.4). Как видим, при этом наблюдается обратное распределение частиц.

Таким образом, для частиц одинаковой плотности, но разного размера мы можем получить как прямое, так и обратное распределение частиц по объему. Результат зависит от соотношения количества частиц разного размера.

Если взять частицы разной плотности, то конечный результат не изменится, так как главным фактором в данном случае является средняя плотность фракции смеси.

Принцип разделения смеси гранулированных частиц при встряхивании применяется в вибрационном сепарировании при разделении продуктов крупяного производства [1].

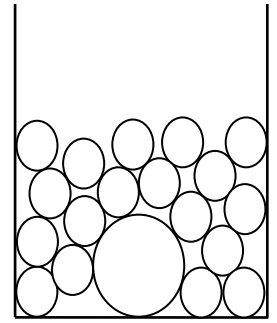


Рис. 4. Частица большого диаметра среди частиц малого диаметра опускается вниз

Основная часть

При проведении экспериментов для моделирования гранулированных частиц были взяты пластмассовые шарики диаметром 25 мм и 15 мм. Эти шарики помещались в пластиковую бутылку цилиндрической формы с диаметром основания 80 мм. Бутылку с шариками встряхивали рукой.

Вначале мы поместили в бутылку 40 шариков диаметром 25 мм и сверху положили один шарик диаметром 15 мм (рис. 5).

С помощью линейки определяли после каждого встряхивания высоту нахождения центра тяжести шарика меньшего диаметра.

Далее мы постепенно (по одному) увеличивали число шариков меньшего диаметра, не изменяя при этом количество шариков большего диаметра (приложение 1). После каждого встряхивания находили высоту центра тяжести $h_{ц.т.}$ системы шаров меньшего диаметра по формуле:

$$h_{ц.т.} = \frac{h_1+h_2+h_3+\dots+h_n}{n},$$

где n – количество шариков меньшего диаметра; h_1, h_2, \dots, h_n – высоты центров тяжести отдельных шариков меньшего диаметра.

В таблице 1 и на диаграмме 1 представлены зависимости положения центра тяжести системы шаров от количества встряхиваний для разного числа (от одного до пяти) шариков малого диаметра.



Рис. 5. Шарик диаметром 15 мм находится сверху среди шариков диаметром 25 мм

Таблица 1. Зависимости положения центра тяжести системы шаров от количества встряхиваний для разного числа шариков малого диаметра

Количество шариков малого диаметра	Количество встряхиваний										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Высота центра тяжести, мм										
1	105	90	65	45	15	0	–	–	–	–	–
2	92	71	55	46	33	27	23	12	8	6	0
3	107	77	67	67	48	46	25	15	12	10	9
4	106	94	85	82	71	66	54	45	40	38	35
5	106	104	101	98	77	69	65	58	45	48	44

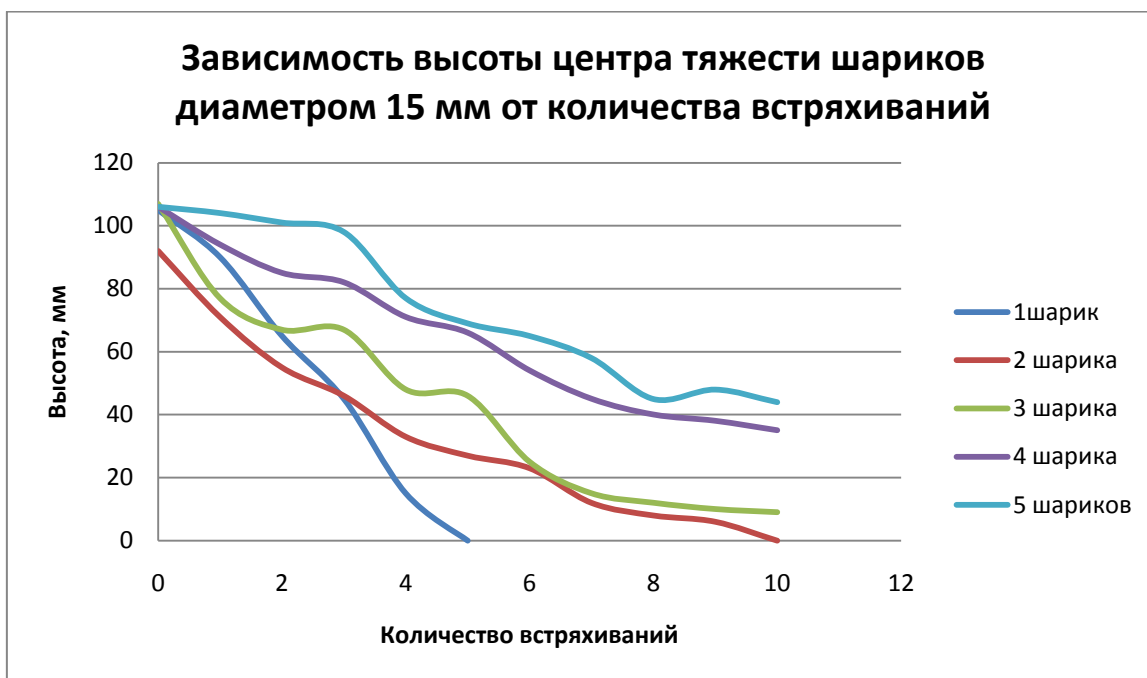


Диаграмма 1. Зависимость высоты центра тяжести шариков диаметром 15 мм от количества встряхиваний

Из диаграммы 1 видно, что центр тяжести шариков меньшего диаметра при встряхивании постепенно понижается. Причем, с увеличением количества шариков меньшего диаметра (при неизменном количестве шариков большего диаметра), скорость понижения их общего центра масс уменьшается.

Одному шарiku меньшего диаметра достаточно было пяти встряхиваний, для того чтобы достичь дна сосуда. Два шарика меньшего диаметра также достигли дна сосуда, однако для этого понадобилось уже 10 встряхиваний. При увеличении количества шариков уменьшается вероятность их одновременного попадания на дно сосуда.

В следующем эксперименте мы поместили шарики большего диаметра (25 мм) на дно сосуда, а сверху насыпали шарики меньшего диаметра (15 мм). При встряхивании шарики большего диаметра



Рис. 6. Пластмассовый шарик диаметром 15 мм находится среди металлических шариков диаметром 25 мм до встряхивания (слева) и после двух встряхиваний (справа)

перемещались вверх, а шарики меньшего диаметра, соответственно, опускались. Результаты данного эксперимента аналогичны результатам предыдущего.

Далее мы попробовали получить обратный эффект распределения гранулированных частиц, взяв шарики разной плотности: металлические шарики большего диаметра и пластмассовые шарики меньшего диаметра. Мы помещали маленькие пластмассовые шарики сверху больших металлических и встряхивали (рис. 6). Однако обратного эффекта добиться не удалось: шарики меньшего диаметра при встряхивании перемещались вниз, хотя и медленнее, чем в опыте с большими пластмассовыми шариками.

Далее от модели мы перешли к исследованию распределения натуральных гранулированных частиц. В качестве маленьких частиц мы взяли перловую крупу, а в качестве больших частиц – фасоль.

На дно стеклянного стакана диамет-

ром 40 мм мы помещали фасоль, сверху насыпали слой перловой крупы высотой

$h = 2$ см и помещали стакан на диффузор громкоговорителя, который в свою очередь подключался к звуковому генератору (рис. 7). Генератор вырабатывал сигнал синусоидальной формы частотой 100 Гц и амплитудой напряжения 5 В.

В результате вибрации фасоль, как более крупная частица, постепенно поднималась со дна и через некоторое время появлялась на по-

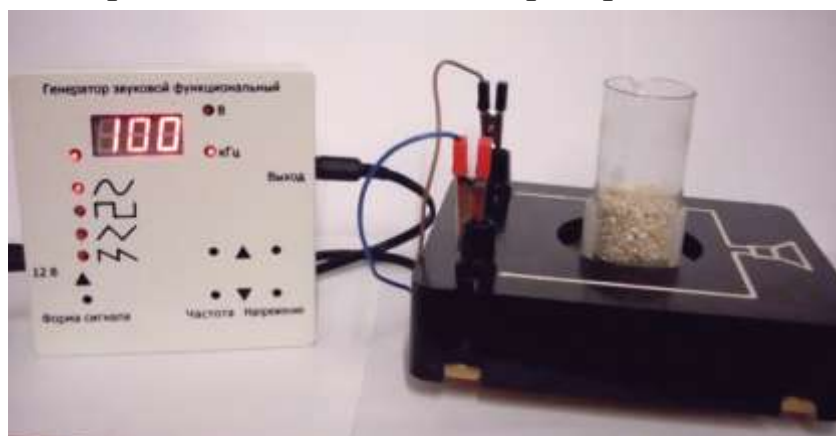


Рис. 7. Установка для исследования распределения гранулированных частиц разного размера (перловая крупа и фасоль) при вибрации

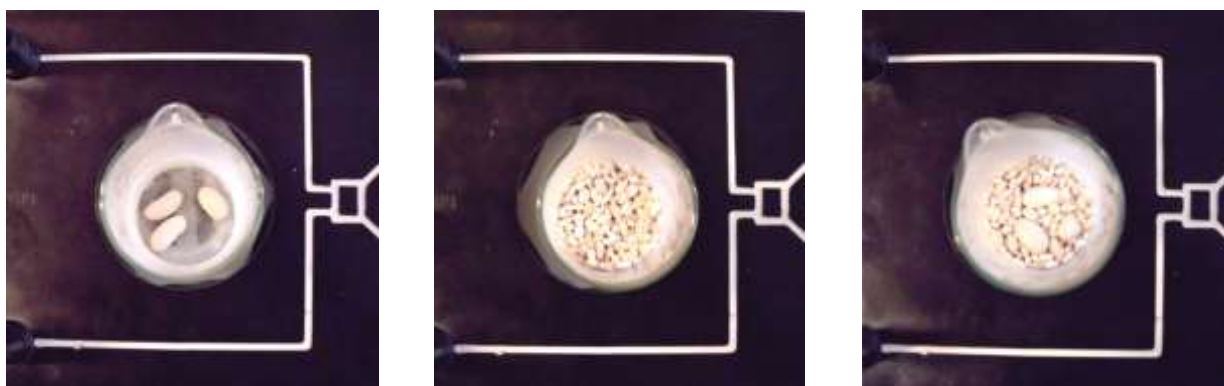


Рис. 8. Перемещение фасоли со дна сосуда на поверхность перловой крупы при вибрации

верхности перловой крупы (рис. 8). Одна фасоль перемещалась со дна на поверхность в среднем за $\Delta t = 45$ секунд.

Соответственно, средняя скорость перемещения фасоли в перловой крупе равна:

$$\langle v \rangle = \frac{h}{\Delta t} = \frac{2 \text{ см}}{45 \text{ с}} \approx 0,044 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 0,44 \frac{\text{мм}}{\text{с}}.$$

Мы постепенно увеличивали количество частиц фасоли (от 1 до 5) и измеряли время появления всех частиц на поверхности перловой крупы. Результаты приведены в таблице 2 и на диаграммах 2 и 3.

Таблица 2. Зависимость времени появления всех частиц фасоли на поверхности перловой крупы и средней скорости перемещения от количества частиц фасоли

Количество частиц фасоли	1	2	3	4	5
Время, с	45	62	75	96	115
Средняя скорость перемещения, мм/с	0,44	0,32	0,27	0,21	0,17



Диаграмма 2. Зависимость времени появления всех частиц фасоли на поверхности перловой крупы от количества частиц фасоли



Диаграмма 3. Зависимость средней скорости перемещения частиц фасоли от количества частиц

Из диаграмм видно, что с увеличением количества частиц фасоли увеличивается время их движения со дна на поверхность и, соответственно, уменьшается средняя скорость перемещения. Это происходит из-за того, что вероятность появления всех частиц фасоли на поверхности уменьшается с увеличением числа частиц. Кроме того, увеличение числа частиц фасоли ведет к процентному уменьшению числа частиц малого размера, которые при вибрации перемещаются вниз, и из-за которых частицы большего размера перемещаются вверх.

В данном эксперименте мы наблюдали не только прямое распределение частиц, но и обратное.

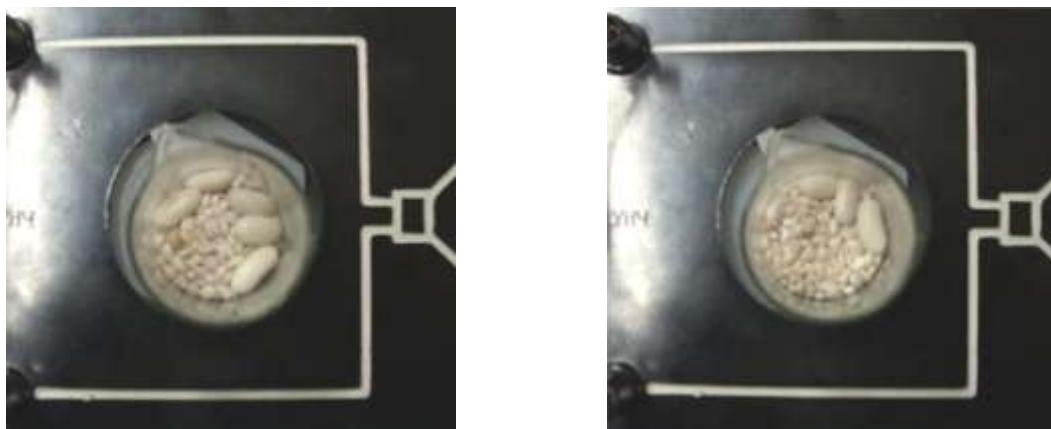


Рис. 9. Перемещение некоторых частиц фасоли с поверхности перловой крупы вниз при вибрации (слева – до вибрации; справа – после минуты вибраций)

Если положить несколько частиц фасоли на поверхность перловой крупы и производить их вибрацию, то при определенных условиях некоторые частицы фасоли будут перемещаться вниз, т.е. частицы меньшего размера оказываются выше частиц большего размера (рис. 9). Этот эффект получается в том случае, если под частицей большего размера (фасоль) появляются периодически небольшие пустоты, которые уменьшают среднюю плотность слоя перловой крупы под частицей фасоли и фасоль перемещается вниз, вытесняя частицы перловой крупы вверх.

Так как такие условия выполняются не часто, то и вероятность обратного распределения частиц меньше вероятности прямого распределения.

Заключение

В результате проведенных нами экспериментов было показано, что при встряхивании смеси гранулированных частиц частицы большего размера оказываются выше частиц меньшего размера.

При этом скорость перемещения частиц определенного размера при встряхивании зависит от числа частиц. С увеличением числа частиц скорость уменьшается.

Перераспределение гранулированных частиц разного размера при встряхивании (вибрации) носит вероятностный характер, так как нельзя заранее точно указать местоположение каждой частицы в следующий момент времени.

Вероятность того, что частицы меньшего размера будут перемещаться вниз, а частицы большего размера – вверх, оказывается достаточно высокой из-за того, что условия для такого перемещения выполняются чаще. Поэтому на практике наблюдается, в основном, прямое распределение смеси гранулированных частиц: частицы большего размера оказываются выше частиц меньшего размера, как в случае с бразильскими орехами.

Литература

1. Сепарирование и обогащение. URL: <http://proiz-teh.ru/smehivanie-sortirovka4.html>. – Дата доступа: 12.11.2012.
2. Хилькевич С. С. Как действует на смесь вибрация? / Физика вокруг нас. Серия «Библиотечка квант», выпуск 40, стр. 58-76. – М. Наука, 1985.

Приложение



Рис. 10. Три шарика диаметром 15 мм находятся на поверхности шаров диаметром 25 мм



Рис. 11. Положение шариков диаметром 15 мм после одного встряхивания



Рис. 12. Положение шариков диаметром 15 мм после двух встряхиваний



Рис. 13. Положение шариков диаметром 15 мм после трех встряхиваний



Рис. 14. Положение шариков диаметром 15 мм после четырех встряхиваний



Рис. 15. Положение шариков диаметром 15 мм после пяти встряхиваний



Рис. 16. Положение шариков диаметром 15 мм после шести встряхиваний



Рис. 17. Положение шариков диаметром 15 мм после семи встряхиваний



Рис. 18. Положение шариков диаметром 15 мм после восьми встряхиваний