

# Эффект бразильского ореха

*Морозов А.А.*

*Физика*

*10 класс, МБОУ «СОШ №106» Челябинская обл., г. Трехгорный*

*Научный руководитель: Загидулина М.Р., МБОУ «СОШ №106» Челябинская обл., г. Трехгорный*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Эффект «бразильского ореха» в физике называется сегрегацией или гранулярной конвекцией. Конвекция происходит в жидкостях или газах, однако существует такой тип этого процесса, который происходит и в твердых сыпучих веществах. Суть конвекции в жидкостях или газах заключается в том, что более теплые потоки перемещаются вверх, а более холодные вниз. Этот процесс легко увидеть в повседневной жизни. Но, переходя к гранулярной конвекции, которая происходит в твердых сыпучих телах, довольно сложно просто предположить как будут вести себя эти так называемые "потоки".

Актуальность проекта обусловлена малой информационной доступностью о таком полезном и очень интересном процессе, как сегрегация. Гранулярная конвекция бесспорно очень полезный механизм в разных сферах нашей жизни. Сегрегация применяется в геологии и астрономии, и даже в сельском хозяйстве, строительстве и других сферах жизнедеятельности. Так что знакомство с сегрегацией может стать очень важным фактором для моей будущей профессии. Объект исследования: Сегрегация.

Предмет исследования: процессы, связанные сегрегацией в сыпучих материалах.

Цель: исследование поведения крупноразмерных объектов в гранулированной среде.

Задачи:

1. Изучить понятие «Сегрегация» и ее отличия от привычной конвекции;
2. Дать физико-механическое описание эффекта;
3. Выделить основные механизмы, приводящие к сегрегации частиц;
4. Провести экспериментальную проверку эффекта.

Методы исследования: Теоретический (изучение и анализ справочной, энциклопедической, научно-популярной литературы, интернет-источников, обобщение и систематизация полученных результатов). Практический (проведение исследовательской работы)

**Гипотеза:** несмотря на тот факт, что самые крупные частицы в гранулированной среде оказываются сверху при воздействии вибрации или встряски, влияние гравитации так же существенно.

## **ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

### 1. Изучение понятия «Сегрегация» и ее отличий от привычной конвекции

Сам процесс сегрегации довольно сложен и состоит из нескольких ступеней, зависящие от многих факторов.

Во-первых, сегрегация, или гранулярная конвекция - явление, наблюдаемое в сыпучих материалах, таких как песок или зерно. В отличие от жидкостей и газов, где конвекция вызвана разницей температур, а следовательно и плотностей, в гранулярных системах конвекция возникает из-за механических взаимодействий между частицами.

Гранулярная конвекция отличается от конвекции жидкостей, по нескольким критериям:

1. Гранулярная конвекция возникает из-за механических взаимодействий между частицами твердого вещества. Движение может быть вызвано уплотнением, вибрацией или другими внешними воздействиями. Частицы могут перемещаться только в определенных направлениях, что ограничивает типы потоков.

2. Конвекция в жидкостях вызвана разницей температур и плотностей, что приводит к образованию восходящих и нисходящих потоков. Жидкости текут более свободно, а их движение более однородно, нежели в твердых телах.

3. В гранулярных системах частицы могут находиться в состоянии метастабильного равновесия, где они не полностью упакованы (есть «пустоты»), что позволяет им перемещаться при малейших волнениях, а в жидкостях

частицы обычно находятся в более стабильном состоянии равновесия, где движение молекул происходит более равномерно.

Тем не менее внешние факторы влияют как на гранулярную конвекцию, так и на обычную. Однако при гранулярной конвекции поведение частиц может значительно меняться под воздействием внешних факторов, таких как вибрация или изменение давления, в отличие от жидкостей, где их поведение менее чувствительно к механическим воздействиям.

Вывод: сегрегация во многом отличается от конвекции, происходящей в жидкостях и газах, хотя определенные сходства есть. [1]

## 2. Физико-механическое описание эффекта

Основными аспектами гранулярной конвекции является то, что гранулы могут быть различной формы и размера, что влияет на их взаимодействие. При уплотнении или перемешивании гранулы могут образовывать структуры, которые способствуют или препятствуют движению. Гранулярная конвекция может зависеть от таких факторов, как влажность, температура и механические воздействия (например, вибрация). Эти факторы могут изменять динамику частиц и их способность к перемещению.

Говоря более простым языком, сегрегация - процесс, зависящий от многих разнообразных факторов, которые могут способствовать или замедлять данный процесс.

Роль внешних факторов:

### 1. Влажность

Влажность может как способствовать сегрегации, так и замедлять ее. Например, при замешивании бетона, повышение уровня влажности улучшает перемешивание смеси, что делает будущий бетон крепче. А вот повышение уровня влажности в мелких зернах, наоборот, заставляет слипаться частицы, что ухудшает способность к перемешиванию.

### 2. Температура

Температура в зернистых веществах только улучшает способность к сегрегации. Повышение градуса совершенствует эффект перемешивания за счет того, что

температура увеличивает скорость флуктуации частиц и среднее расстояние между ними.

### 3. Механическое воздействие

Механическое воздействие далеко не главный фактор сегрегации, однако оно ускоряет перемешивание в разы. При правильных движениях, гранулярная конвекция способна произойти за секунды, а не часы, которые понадобились бы для такого эффекта без механического воздействия.

Если изучать сегрегацию с точки зрения физики, то можно найти ряд объяснений этого процесса, противоречащих друг другу. В данном проекте будет рассмотрена лишь одна из них, которая гласит, что в неоднородной смеси те частицы, что помельче, при каждом встряхивании проникают в пустоты, образуемые под более крупными частицами. Поэтому с течением времени все гранулы крупных размеров постепенно поднимаются в смеси наверх.

Излагая с точки зрения физики, когда орехи встряхиваются, то гравитация старается опустить центр масс всей системы, а достигается это тем, что крупные орехи смещаются вибрацией вверх. Однако данное объяснение справедливо не для 100% ситуаций, поэтому в данном проекте будут рассмотрены только ситуации, когда это работает.

Вывод: скорость сегрегации зависит от многих внешних факторов, которые могут способствовать или наоборот замедлять процесс перемешивания, а также нет точного объяснения самого процесса.

### 3. Основные механизмы, приводящие к сегрегации частиц

В ходе ряда экспериментов было установлено, что существует порог температуры, при котором гранулы "выпадают в конденсат". Причем этот порог не является константой, а напрямую зависит от массы и диаметра частиц. При критической температуре гранулы перестают перемешиваться.

Некоторые механизмы, приводящие к сегрегации:

#### 1. Перколяция

Процесс, происходящий из-за значительной разницы в диаметре частиц, и приводит к тому, что более мелкие частицы просеиваются сквозь более крупные.

## 2. Флотация

Она возникает при вибрациях, и в результате более большие частицы выталкиваются вверх за счет того, что мелкие просеиваются вниз.

## 3. Элютриация

В этом механизме более легкие и мелкие частицы образуют так называемый "псевдооживленный слой", который по свойствам чем-то похож на поверхность жидкости. Из-за этой невысокой плотности более тяжелые и большие частицы проникают выше, а остальные остаются внизу.

## 4. Транспорт

Данный способ работает при наличии воздушного потока. Более мелкие частицы за счет своей малой массы удаляются от места осаждения, когда более крупные, наоборот, стремятся к этой точке.

Вывод: как можно заметить разные механизмы приводят к разным последствиям: где-то более тяжелые и крупные гранулы оказываются сверху, а где-то снизу. В данном проекте будут рассмотрены случаи, когда бóльшие частицы оказываются наверху.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Чтобы проверить принцип сегрегации на практике было взято два одинаковых по форме и объему шарика с различными массами. Масса шарика один была равна 31,19 грамма, а масса шарика два - 2,63 грамма. (приложение 1)

Эксперимент был проведен в пластиковом прозрачном стакане, чтобы наглядно был виден процесс сегрегации.

Проверка сегрегации была проведена в разных веществах:

1. Рис
2. Гречневая крупа
3. Горох
4. Фасоль
5. Смесь риса, гречневой крупы и гороха

Засыпать вещества я начал в том же порядке, как указано в списке. Сначала проведя эксперименты на тяжелом, а затем на легком, каждый раз я клал шарики на дно стакана и засыпал тем или иным веществом. То, как это выглядело, можно посмотреть в приложении 2.

Эксперименты на обоих шариках были поставлены в одинаковых сосудах и условиях. Объем смеси, в которой поднимаются шарики не играет роли. Также все эксперименты были зафиксированы на видео.

#### 1. Рис

Тяжелый шарик поднимался очень долго, так и не выскочив полностью. Легкий шарик же поднялся очень быстро, полностью выйдя наверх. Процесс осуществляется при помощи флотации.

Гранулы риса достаточно маленькие и обтекаемые, поэтому конвекция в них идет очень хорошо.

#### 2. Гречневая крупа

Процесс и результат очень схож с экспериментом с рисом. Хотя гранулы гречневой крупы меньше риса, однако тяжелый шарик также поднимался долго, а легкий легко.

#### 3. Горох

Гранулы гороха заметнее крупнее риса и гречневой крупы. Именно это повлияло на процесс конвекции. Тяжелый шарик практически не сдвинулся с места относительно дна, а вот легкий все также без проблем выскочил.

#### 4. Фасоль

Самые крупные гранулы, с которыми были проведены эксперименты, именно у фасоли. Отталкиваясь от эксперимента с горохом, легко догадаться, что в фасоли тяжелый шарик сдвинулся еще меньше. Легкий поднялся без проблем.

#### 5. Смесь риса, гречневой крупы и гороха

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ**

В данном эксперименте нельзя было точно предсказать поведение шариков, так как из-за того, что конвекция происходит в смеси, а не в однородной среде, то

потоки могут быть разными. Также на дно были добавлены несколько фасолин, чтобы параллельно с шариками доказать эффект бразильского ореха. В результате первыми наверху появились фасолины, а затем оба шарика. Таким образом, в чистом горохе тяжелый шарик не поднялся, а вот в его смеси с гречневой крупой и рисом вышел наверх.

К механизму флотации добавился механизм перколяции.

После всех экспериментов можно сказать, что сила тяжести действительно играет свою роль в гранулярной конвекции. Получилось так, что шарик с меньшей массой поднялся во всех веществах, а тяжелый нет.

Также этими экспериментами было доказано, что эффект бразильского ореха действительно существует.

#### Затраты на эксперимент:

№	Статья расходов	Требуется, руб.	Итого, руб.
1.	Гречневая крупа	33,59	33,59
2.	Рис	29,99	29,99
3.	Горох	29,99	29,99
4.	Фасоль	179,99	179,99
5.	Пластиковый стакан	3,92	3,92
6.	Шарик №1	Взят в кабинете физики	0
7.	Шарик №2	Взят в кабинете физики	0
8.	Весы	Взяты в кабинете физики	0
	Итого, руб.:	277,48	277,48

## ВЫВОДЫ

Подводя итог, хочу отметить, что мы изучили гранулярную конвекцию, используя знания школьного уровня. Данная работа будет понятна любому, кто обратит внимание на то, почему более крупные орехи оказываются наверху

пачки. Сам процесс очень сложен и стоит учитывать, что с багажом знаний школьной физики очень тяжело глубоко разобраться всю сегрегацию. Из-за этого упор проекта был сделан именно на визуальные наблюдения и сравнения, чтобы показать сам процесс, а не его причины. Экономический расчет затрат на эксперимент показал, что любой может увидеть эффект «бразильского ореха» у себя дома.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1) Эффект бразильского ореха [Электронная публикация] // [https://revengerists.fandom.com/wiki/Brazil\\_nut\\_effect](https://revengerists.fandom.com/wiki/Brazil_nut_effect)
- 2) Бразильский орех и калибровочная сепарация, или Как это всплывает? [Электронная публикация] // <https://kniganews.org/2020/09/06/brazilnut/>
- 3) Granular segregation under vertical tapping [Электронная публикация] // [https://www.academia.edu/61376753/Granular\\_segregation\\_under\\_vertical\\_tapping](https://www.academia.edu/61376753/Granular_segregation_under_vertical_tapping)
- 4) А. Б. Капранова, В. Е. Мизонов - СЕГРЕГАЦИЯ И МИГРАЦИЯ В ГРАВИТАЦИОННЫХ ПОТОКАХ ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ: МЕХАНИЗМЫ, ИНТЕНСИФИКАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИИ, Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ» 2019

## **Приложение 1**



## Приложение 2

