

Автор:

Войнов Дмитрий Евгеньевич, ученик 9 класса

Руководитель: Лаврентьева С.В., учитель физики

Муниципальное казённое общеобразовательное учреждение Новосибирского района Новосибирской области – Плотниковская средняя общеобразовательная школа № 111

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ВИБРИРУЮЩИХ СЫПУЧИХ ТЕЛ

В последние два десятилетия исследование поведения гранулированных материалов стало одной из центральных проблем нелинейной динамики.

Сыпучие (или гранулированные) материалы, вроде песка или сахара, окружают человека повсюду - и в повседневной жизни, и в природе (геологические и тектонические процессы). Они широко применяются в технологии. Но свойства и поведение сыпучих тел ученые начали всерьез изучать только недавно. Долгое время физики-теоретики не обращали внимания на динамику сыпучих веществ, считая их неким "приземленным" материалом, неинтересным с точки зрения теории. И как оказывается в последнее время, совершенно напрасно.

Сыпучие материалы имеют некоторые свойства как твердых тел, так и жидкостей и газов, а в некоторых условиях ведут себя совершенно особым образом.

Например, звуковые волны способны заставить гранулированный (сыпучий) материал рисовать сложные геометрические орнаменты! Узоры, нарисованные песком под действием звука, называются фигурами Хладни. Оказалось, что при различных параметрах вибрации могут возникать различные по форме фигуры: от спиральных до ячеистых структур.

Автор настоящей работы поставил перед собой задачу экспериментального наблюдения подобного многообразия структур в сыпучих веществах при их вибрации.

Фигуры Хладни применяются для изучения собственных частот диафрагм телефонов, микрофонов, громкоговорителей, используются в дефектоскопии (топографический метод) для исследования изделия в целом (например, пластинки или оболочки).

При более подробном изучении фигуры Хладни могут быть использованы при прогнозировании и анализе природных катаклизмов в горных и песчаных районах, а также в промышленности, использующей различные сыпучие материалы.

Цель исследования - исследовать эффект пространственной организации изначально хаотичных гранулированных (сыпучих) систем с помощью вибрации.

Мы предположили, что расположение частиц сыпучего тела зависит от частоты звуковых волн, вызывающих вибрацию: чем выше частота звуковых колебаний, тем сложнее «картинка» расположения частиц сыпучего тела.

Задачи исследования:

- подобрать и проанализировать теоретический материал по теме;
- воспроизвести опыты Хладни;
- провести эксперимент по получению фигур Хладни с помощью программного генератора сигналов звуковой частоты;
- получить фигуры Хладни, экспериментируя с различными сыпучими телами.

Объект исследования – вибрирующие гранулированные (сыпучие) тела.

Предмет исследования – пространственное расположение частиц гранулированного (сыпучего) тела под воздействием звуковых волн.

Методы исследования

- ⊙ теоретические (сбор информации, анализ литературы, обобщение);
- ⊙ эксперимент по получению фигур Хладни;
- ⊙ наблюдение;
- ⊙ работа с программным генератором сигналов звуковой частоты.

В качестве основного объекта исследований был выбран тонкий речной песок. Также в ряде экспериментов использовалась манная крупа, сахарный песок и сахарная пудра. Материал рассеивался с помощью сита на пластину из стекла толщиной 2 мм. Лист стекла помещался на динамик звуковой колонки.

Для получения звуковых колебаний был использован программный генератор звуковых сигналов, который позволяет регулировать амплитуду и частоту вибрации. Параметры вибрации:

частотный диапазон вибрации – 200 - 4600 Герц,

амплитуда вибрации – менее 10 мм,

толщина слоя песка – не более 1 мм.

Визуальные данные регистрировались с помощью цифровой видеокамеры.

Практическая значимость работы

В результате проведенных исследований показана возможность пространственной организации изначально хаотичных гранулированных систем с помощью их вибрации. Эффект обоснован теоретически. Результаты могут быть использованы при организации дополнительных занятий по физике, на факультативе.

Глава 1. Обзор литературы

1.1. Краткая история вопроса

В 1680 году Роберт Гук посыпал тарелку мукой, а потом провел скрипичным смычком по краю тарелки. И он увидел, что от резонирующей тарелки мука принимает удивительные геометрические формы (Рис.1).

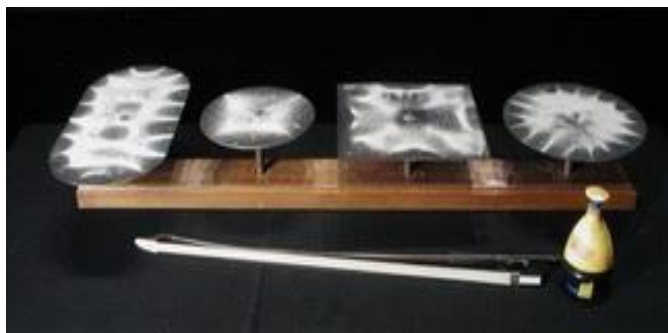
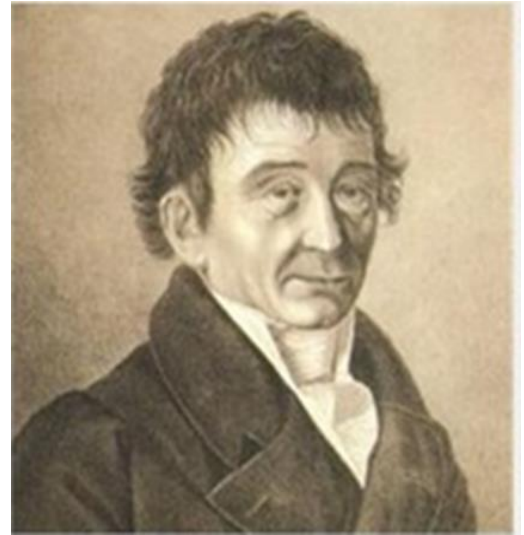


Рис.1. Формы сыпучего вещества, полученные с помощью смычка.

Немецкий физик Эрнст Хладни повторил эти эксперименты в XVIII веке и опубликовал результаты в работе "Открытия в теории звука" в 1787 году. Сегодня такие фигуры известны как фигуры Хладни. Приступив к изучению музыки, когда ему было уже девятнадцать лет, он обратил внимание на то, что теория звука была в то время менее выработана, чем другие отрасли физики.



Хладни Эрнест Флоренс Фридрих (30.11.1756—03.07.1827)

В те времена в театрах, чтобы представить на сцене звон церковных колоколов, употребляли длинные стальные пруты или свободно висящие листы железа. Звучание этих железных листов заинтересовало Хладни.

Вот как рассказывал сам Хладни о своих опытах: «Я нигде не мог найти научного объяснения разного рода колебаниям и звучности тел. Между прочим, я заметил, что маленькая стеклянная или металлическая пластинка, подвешиваемая в разных точках, издавала различные звуки, когда я ударял по ней. Я захотел узнать причину этого различия звуков. Должен добавить, что тогда никто еще не производил исследований в этой области. Я зажал в тиски латунный кружок от шлифовальной машины за находившийся посередине него шип и заметил, что скрипичный смычок заставляет его издавать различные звуки в зависимости от места, где прикасается смычок.

Наблюдения Лихтенберга над узорами смоляной пыли, получающимися на стеклянных или смоляных пластинках под влиянием электричества, навели меня на мысль, что различные колебания моего кружка тоже обнаружатся, если посыпать его песком или чем-нибудь вроде этого. Когда я привел свою мысль

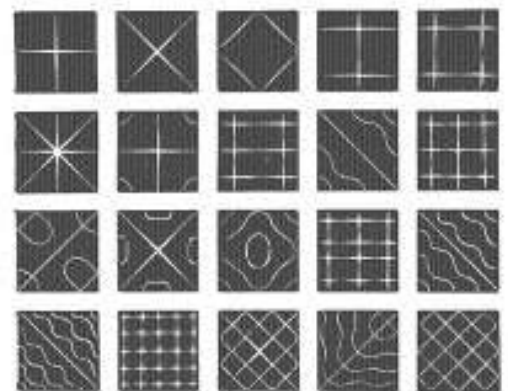


Рис. 2. Фигуры Хладни.

в исполнение, то действительно получил при таких опытах звездообразные фигуры» [5].

В 1802 вышел труд Хладни «Акустика», где он дал систематическое изложение акустики. Его экспериментальные исследования поставили новую задачу математической физики — задачу о колебаниях мембраны.

Лекции и опыты Хладни возбуждали всеобщий и живой интерес; ученые и любители с увлечением повторяли его опыты. Когда Хладни в 1809 г. представил свои фигуры членам Французского национального института, все смотрели на них с изумлением. Наполеон пожелал видеть повторение этих опытов в своём дворце и отпустил Хладни 6000 франков для перевода его «Акустики» на французский язык.

1.2. Звуковые фигуры Хладни.

Фигуры Хладни — фигуры, образуемые скоплением мелких частиц вблизи узловых линий стоячих волн на поверхности упругой колеблющейся пластинки; каждому собственному колебанию пластинки соответствует своё расположение узловых линий.

В случае круглой пластинки узловые линии могут быть круговыми или радиальными; в случае прямоугольной или треугольной пластинки они имеют направление, параллельное сторонам или диагоналям (Рис. 3).

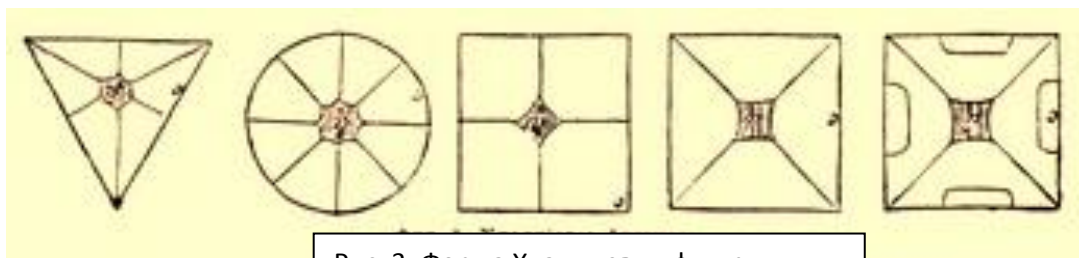


Рис. 3. Форма Хладниевых фигур.

Меняя точки закрепления и места возбуждения, можно получить разнообразные фигуры Хладни, соответствующие различным собственным колебаниям пластинки. Самое удивительное - это симметричность и повторяемость узоров из мелких частиц. Простые фигуры образуются под

воздействием звуков низкой частоты (басовыми нотами); более сложные образуются при высоких частотах.

Относительно крупные частицы собираются в узловых линиях стоячих волн, где амплитуда колебаний нулевая или относительно мала (это явление наблюдал Хладни). Если частицы относительно малы, то они собираются не в узлах, а в пучностях (это явление было замечено Саваром и объяснено Фарадеем как следствие акустических течений в окружающей пластинку среде, например, воздухе). В случае микро- и наночастиц, не видимых невооружённым глазом, также установлена зависимость места концентрации частиц от их размера.

1.3. Стоячие волны как основа фигур Хладни.

Стоячие волны — колебания в колебательных системах с характерным расположением чередующихся максимумов (пучностей) и минимумов (узлов) амплитуды, возникающие в результате отражения бегущих (незатухающих) волн от границ системы и наложения падающих и отражённых волн (Рис.4).

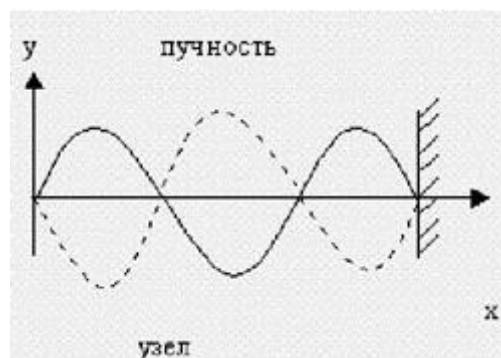


Рис.4. Образование стоячей волны.

Примерами стоячей волны могут служить колебания струны, колебания воздуха в органной трубе.

Стоячие волны могут получаться в телах любой формы, а не только в сильно удлинённых телах наподобие струны. Неподвижные места стоячей волны - ее узлы — представляют собой поверхности, рассекающие объем тела на участки, в середине которых наиболее сильные колебания (Рис.5).

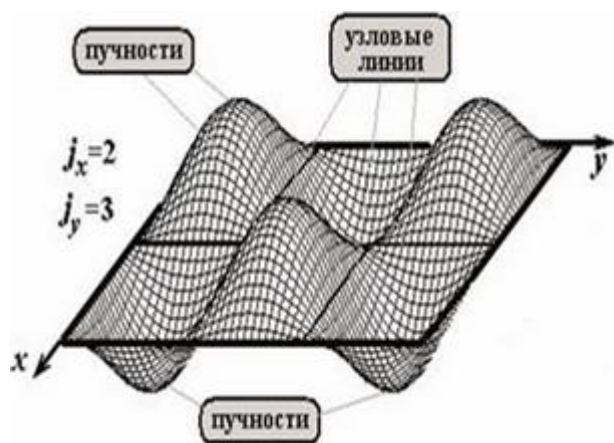


Рис.5. Стоячие волны в плоской пластине

2. Результаты исследований

2.1. Получение фигур методом Хладни

Для получения фигур тем способом, каким их получал Хладни, мы взяли металлический диск от прибора «Диск вращающийся с принадлежностями», толщиной 1 мм. Закрепили его посередине на штатив.

Насыпали через сито на диск манную крупу тонким слоем. Для возбуждения колебаний медленно водили смычком по краю диска.

Красивых и чётких фигур Хладни мы не получили, но видно было, что частицы манной крупы перераспределяются по поверхности диска. В некоторых местах образовались скопления крупинок манки (Рис.6).



Рис. 6. Распределение крупинок манки на круглой металлической пластине

2.2. Получение фигур Хладни с помощью программного генератора звука.

Для получения фигур Хладни мы использовали музыкальные колонки.

На динамик колонки положили стекло толщиной 1 мм, на которое с помощью сита рассыпали тонким слоем различные сыпучие тела (речной песок, сахарный песок, манную крупу, сахарную пудру).



Для получения звуков различной частоты воспользовались программным генератором сигналов звуковых частот. Частота сигналов генератора может изменяться от 1 до 22000 Гц с шагом 1 Гц.














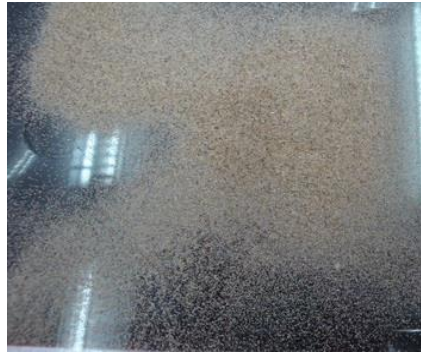
Рис.7. Внешний вид панели генератора

Предусмотрена возможность регулировки амплитуды сигнала (Рис.7).

Получающееся на стеклянной пластине распределение частиц сыпучего вещества фотографировали.



Фигуры Хладни, полученные с помощью речного песка






		
Частота звука, 4600 Гц	Частота звука, 3000 Гц	Частота звука, 2500 Гц
		
Частота звука, 2000 Гц	Частота звука, 1500 Гц	Частота звука, 1400 Гц



		
Частота звука, 1200 Гц	Частота звука, 1000 Гц	Частота звука 800 Гц
		
Частота звука 600 Гц	Частота звука 400 Гц	Частота звука 200 Гц

По фотографиям видно, что при уменьшении частоты звуковых колебаний картина распределения частиц песка становится более простой. Наиболее «интересные» фигуры получились при частоте колебаний 2500, 2000 и 1000 Гц.

2.3. Фигуры Хладни в различных сыпучих средах

	Частота звука, Гц	Фотография распределения частиц	Примечания
Манная крупа	1000		
	1500		

	2000		
	2500		
Манная крупа и песок	2500		Песок был насыпан поверх слоя манной крупы. Под действием вибрации частицы манной крупы «выбивались» из-под слоя песка на поверхность.
	1000		
Сахарная пудра	1000		Частицы сахарной пудры очень мелкие. Во время эксперимента они как будто прилипали к стеклу и почти не двигались.

Сахарный песок	1000		Частицы сахарного песка различны по размеру. Наиболее подвижными оказались крупные кристаллы сахара.
	2000		

Сравнение распределения частиц разных сыпучих тел при воздействии звука частотой 1000 Гц



Речной песок



Манная крупа



Речной песок и манная крупа



Сахарный песок



Сахарная пудра

Наиболее интересные фигуры получаются при воздействии звука на речной песок.

При наблюдении за движением частиц сыпучей среды мы увидели, что существует **зависимость области концентрации частиц от их размера**: более крупные частицы собираются в местах, где маленькая амплитуда колебаний, то есть в узлах стоячей волны. А мельчайшие частицы собираются между узлами – в пучностях. Эту зависимость можно использовать для разделения частиц по размеру с помощью звука.

Заключение

В результате работы мы исследовали эффект пространственной организации изначально хаотичных гранулированных (сыпучих) систем с помощью вибрации.

Наша гипотеза подтвердилась: расположение частиц сыпучего тела зависит от частоты звуковых волн, вызывающих вибрацию: чем выше частота звуковых колебаний, тем сложнее рисунок расположения частиц сыпучего тела.

В ходе эксперимента выяснили, что для получения красивых симметричных фигур Хладни надо тщательно подбирать сыпучий материал. Наиболее удачно опыт получился при использовании мелкого речного песка.

Источники информации

1. Перышкин А. В. , Гутник Е. М. . Физика 9 класс. М.: Дрофа, 2016.
2. Рекшинский В. А. Узоры в вибрируемом сыпучем слое // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2013. – Т. 3. – С. 2051–2055. – URL: <http://ekoncept.ru/2013/53413.htm> .
3. Физика в школе. Научно-методический журнал. № 7, 2005, стр. 74.
4. Энциклопедия юного физика. М.: Просвещение, 1985.
5. <http://class-fizika.ru/op82-30.html> Фигуры Хладни