

Разделение наночастиц по размерам

Уменьшение дисперсности частиц какого-либо вещества может приводить к заметным изменениям их свойств. Так, углеродные наночастицы – фуллерены и нанотрубки, своими удивительными свойствами подтверждают тот факт, что многие вещества в наноформе не ведут себя так же, как в привычном для нас виде. Это объясняется тем, что с уменьшением размеров частиц увеличивается интенсивность их взаимодействия с окружающей средой, что приводит к изменению их свойств по сравнению со свойствами тех же материалов в обычной форме.

Для многих прикладных задач требуется монодисперсные наночастицы. Большинство свойств наночастиц, таких как газонасыщенность, окисленность, токсичность, взрывоопасность, плотность, плазмонный резонанс и т.д., зависят от их размера. Однако разделение наночастиц сопряжено с рядом трудностей, обусловленными малой массой и размерами частиц. Обычные физические и физико-химические способы разделения дисперсных материалов непригодны для нанопорошков. Нужны новые методы и приборы для выполнения поставленных задач, чему и посвящена данная работа.

В данном школьном проекте предполагается изучение методики разделения наночастиц на фракции с помощью эффекта, связанного с фигурами Хладни. Логическим продолжением исследования является анализ различий в физических и химических свойствах фракций (анализ влияния размерного эффекта).

Цель: экспериментальное исследование возможности получения наночастиц с узким распределением по размеру путем их разделения на фигурах Хладни, полученных на кварцевых пластинах.

Задачи:

1. Анализ литературы по методам разделения наночастиц, по механическим колебаниям пьезоэлектрических кварцевых элементов.
2. Создание экспериментальной установки для исследования разделения микро- и наночастиц методом фигур Хладни.
3. Проведение серии экспериментов, модернизация экспериментальной установки.
4. Анализ распределения наночастиц по размерам в фракциях с помощью зондового микроскопа Солвер Некст в ВУЗе.
5. Анализ свойств фракций наночастиц.

6. Обобщение экспериментальных данных и сравнение с теоретическими ожиданиями, выяснение роли размерного фактора.

1. Сепарация на пьезоэлементах. Условия образования фигур Хладни и их интерпретация

В 1787 г. немецкий физик Хладни показал, как частицы песка могут самоорганизоваться в симметричные фигуры [2]. После возбуждения металлической пластины с помощью смычка скрипки песок на пластине группируется вдоль линий узлов. Фигуры, которые меняются в зависимости от различных мод резонанса, назвали фигурами Хладни. Хладни также показал, как мелкие частицы перемещаются к пучностям. Последнее явление было объяснено Фарадеем, что такое поведение вызвано воздушными потоками, теперь известно как акустическое течение.

Акустическое течение - устойчивый циркулирующий поток, который может быть произведен в колеблющихся жидкостях. Колебание может происходить в звуковой области, в сжимаемой среде ("кварцевый ветер") или колеблющейся поверхностью в вязкой среде ("течение границы"). Это есть следствие конвективного движения по инерции согласно уравнению Стокса, в котором среднее время отлично от нуля.

В статье [1] фигуры Хладни впервые представлены в микромасштабе. Показано, что наноразмерные колебания кантилевера в жидкости двигают частицы или к узлам, или к пучностям, в зависимости от их размера. Эта зависимость от размера следует из граничного течения.

В их экспериментах микрочастицы собрались в пучностях, тогда как наночастицы двигались к узлам. Данное явление объясняется возникновением вихря в среде, контактирующей с колеблющейся поверхностью (рис. 1).

Используя обычную формулу Стокса для толщины граничного слоя, авторы получили высоту внутренней циркуляции, или критический диаметр, от которого зависит направление движения частиц

$$\delta = \sqrt{\frac{2\nu}{\omega}} \quad (1.1)$$

где ω - радиальная частота колебания, ν - кинематическая вязкость среды. ведет колебательный поток в пределах граничного слоя. На рис. 1 можно заметить, что

наночастицы меньше, чем критический диаметр частицы, тогда как микрочастицы больше чем критический размер. При разделении меньшие критические размеры можно достигнуть при более высоких частотах.

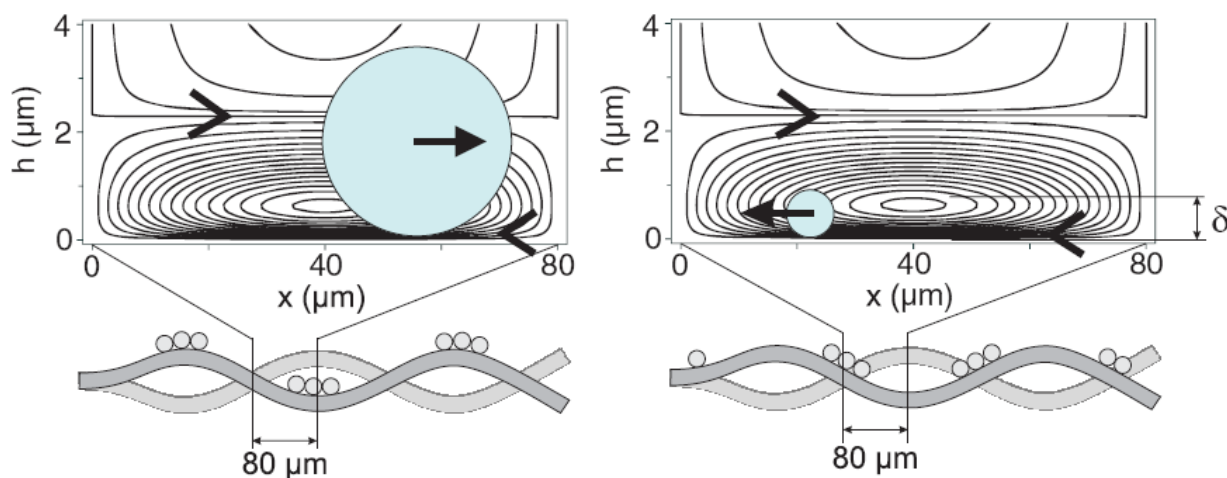
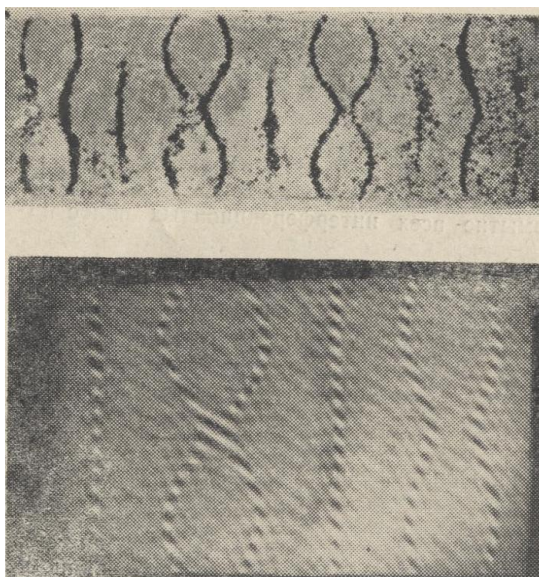


Рис. 1. Механизм действия вихря на частицы малого и большого диаметра

Парадоксальное, на первый взгляд, движение частиц к пучностям было заме-



чено и в более ранних работах, посвященных изучению колебаний пьезокварцевых элементов. Например, на рис. 2 вверху колебания, полученные на поверхности пьезопластины АС-среза кварца, совершавшей колебания на частоте 211,827 кГц визуализированы с помощью фигур Хладни, внизу – с помощью интерференционного метода [2]. Хорошо заметно, что частицы на верхней фотографии располагаются не строго на узловых линиях, выявленных на нижней фотографии, а несколько размыто.

Рис. 2

2. Экспериментальные исследования

Для исследования возможности разделения наночастиц с помощью фигур Хладни нами была использована экспериментальная установка, состоящая из генератора стандартных сигналов, оптического микроскопа для удобства наблюдения и пьезоэлемента (рис. 3).

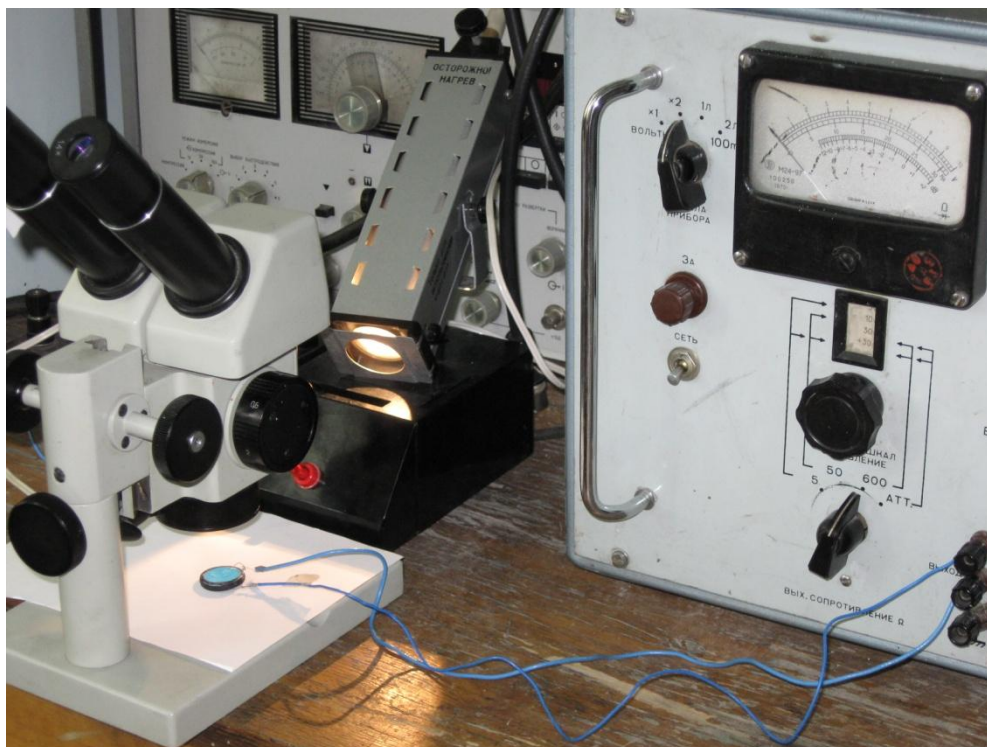


Рис. 3. Экспериментальная установка

В исследованиях было показано, что при использовании смеси микро- (кварцевый песок, 20-50 мкм) и наночастиц (диоксид кремния SiO_2 , 20-100 нм) (рис. 4) в суспензии этилового спирта на поверхности пьезоэлемента происходит их разделение. Микрочастицы собрались в пучности колебаний, а наночастицы – в узлах (рис. 5, после испарения спирта).



Рис. 4. Смесь микро- и нанопорошка на поверхность пьезоэлемента

Вышеуказанное исследование подтверждает возможность сепарирования частиц с помощью пьезоэлемента.



Рис. 5. Расположение частиц после разделения

Для проведения исследований только с нанопорошком, потребовалась модернизация установки. Она состояла в использовании другого генератора, позволяющего проводить эксперименты с более высокими частотами и применении широкополосного усилителя для увеличения амплитуды колебаний пьезоэлемента.

Примеры фигур, полученных с нанопорошком диоксида кремния приведены на рис. 6.



Рис. 6. Примеры фигур, полученных с нанопорошком диоксида кремния. Внизу - в подкрашенной воде. (Частота- 32 кГц)

Однако исследование фракций, взятых с разных областей поверхности, произведенные на сканирующем зондовом микроскопе Солвер Некст, не выявили какой-либо корреляции между расположением частиц на пьезоэлементе и их размером. На рис. 7 показан один из полученных атомно-силовых изображений наночастиц диоксида кремния. Образцы для исследования на атомно-силовом микроскопе подготавливались по методике, разработанной в лаборатории наносистем Бурятского госуниверситета. Наночастицы осаждались на слюдяную подложку методом осаждения из суспензии.

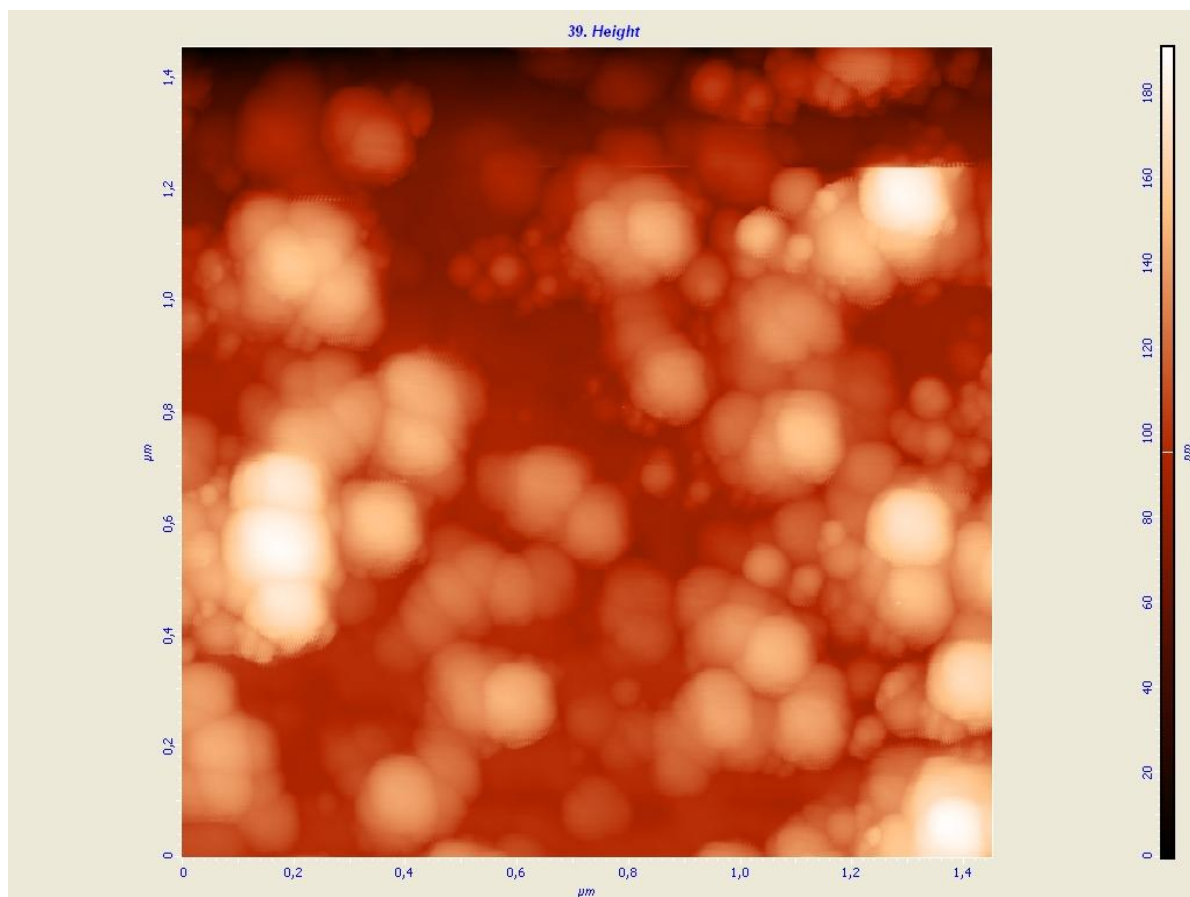


Рис. 7. Атомно-силовое изображение наночастиц диоксида кремния

Из проведенного анализа множества полученных атомно-силовых изображений можно сделать следующий вывод: эффективному процессу разделения препятствует конгломерация наночастиц, хорошо видная на рис. 7, другими словами сила взаимодействия слипшихся наночастиц превышает аэродинамические силы, способствующие их разделению. Для «чистоты» эксперимента необходим больший процент свободных, изолированных частиц. Другими причинами отрицательного результата мы считаем нечеткие формы колебаний поверхности пьезоэлемента и недостаточную частоту колебаний (не более 40 кГц).

Для устранения вышеназванных причин мы решили использовать в качестве колеблющейся пластины пьезокристалл кварца, а также использовать нанопорошок с разрушенными конгломератами [3].

В новой экспериментальной установке использованы резонансные методы возбуждения и регистрации колебаний пьезопластин. В необходимом диапазоне возбуждение пьезопластин производилось генератором стандартных сигналов ГЗ-7А. Структурная схема использованной экспериментальной установки показана на рис. 8.

Изменение частоты колебания кварцевой пластины 3 совершалось путем изменения частоты генератора 1, диапазоном частот 20 *гц* до 10 *Мгц*. Амплитуда напряжения, подаваемое на кварцевый элемент, повышалось с ~30В до ~300В с помощью усилителя, 2 собранного по транзисторной схеме. Для исследования формы электрических колебаний кварца использовался осциллограф 4 типа ЭО-7. Частота этих колебаний измерялась с помощью электронносчетного частотомера ЧЗ-34. Для подачи напряжения на пьезопластину и регистрации ее колебаний были применены две пары электродов, которые для исключения влияния на движение расположены с некоторым зазором относительно кварцевой пластины (рис. 9).

Общий вид экспериментальной установки показан на рис. 10.

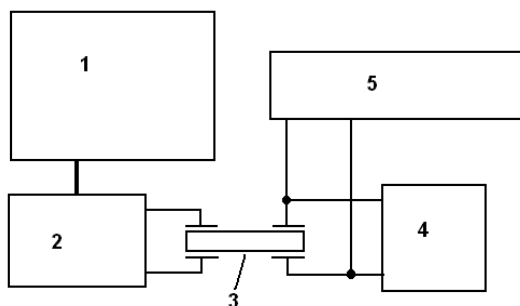


Рис. 8. Структурная схема экспериментальной установки

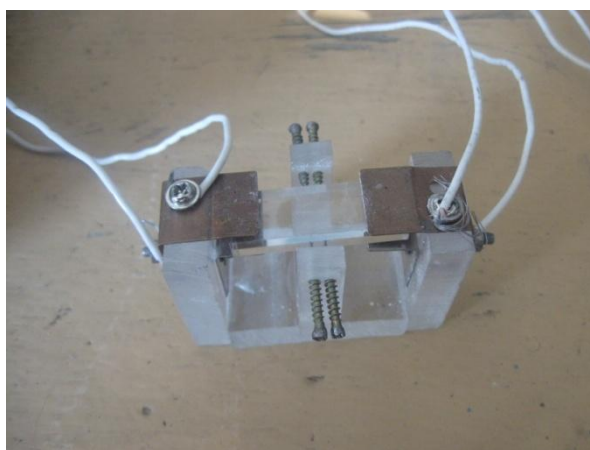


Рис. 9. Пьезокварцевый элемент в оправе с электродами

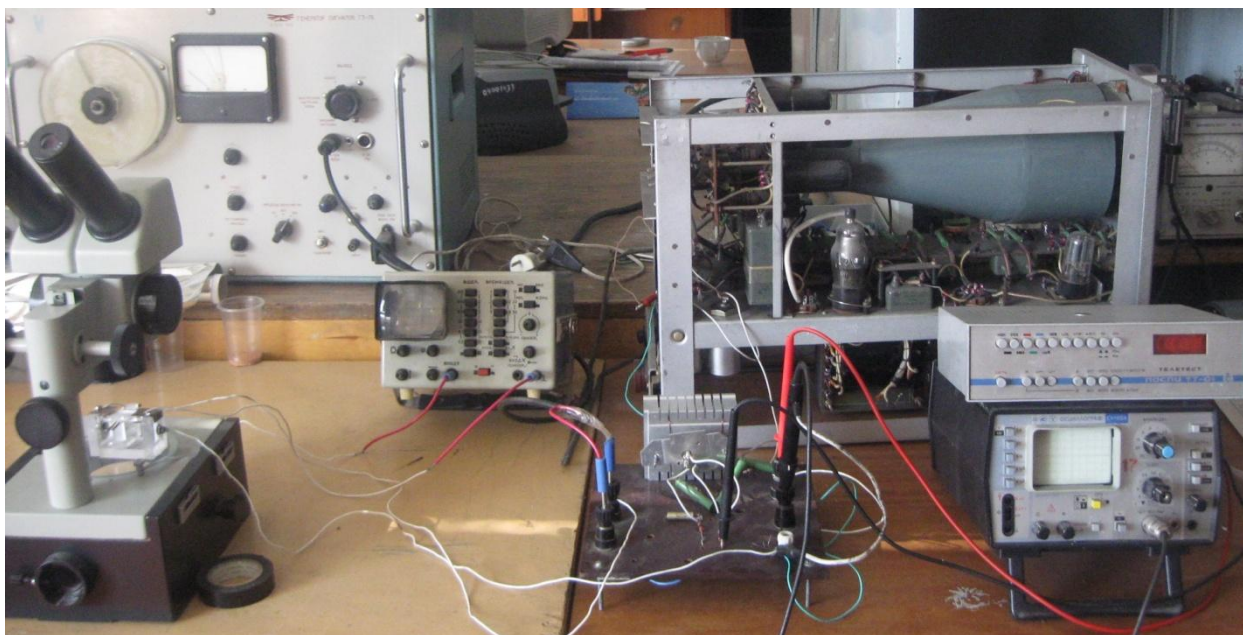


Рис. 10. Общий вид экспериментальной установки

Перед проведением экспериментов по проверке возможности разделения наночастиц на пьезоэлементе были установлены резонансные частоты использовавшегося пьезокристалла кварца, которые указаны в табл. 2.1.

Табл. 2.1

№ п. п.	Частота, кГц	Напряжение сигнала, снимаемого с пьезопластины, В
1	79	0,5
2	260	1
3	308	0,5
4	315	0,9
5	340	1,25
6	366	0,75
7	430	1

Дальнейшие исследования проводились только на резонансных частотах.

Эксперименты, проведенные нами по сепарации наночастиц диоксида кремния на воздухе имели отрицательные результаты, т.е. частицы не образовывали фигур Хладни. Как следует из формулы (1.1) критический размер частиц, а следовательно-

но и эффективность сепарации изменяется от вязкости среды в которой находятся эти частицы. Поэтому мы провели опыт по сепарации наночастиц диоксида кремния, предварительно смешав их с дистиллированной водой.

Диоксид кремния марки Таркосил разбавлялся в дистиллированной воде. Образовавшаяся суспензия нанопорошка помещалась на горизонтальную поверхность кварцевой пластины. В результате воздействия высокочастотных (в диапазоне от 20 кГц до 1МГц) электрических колебаний создаваемых генератором сигналов ГЗ-7А на пьезокварцевую пластину, в этой пластине создаются связанные колебания. Эти связанные колебания имеют разные резонансные частоты.

Фигуры Хладни во 2-ом опыте зарегистрированы нечеткие ввиду несовершенства оправы и электродной системы пьезокристалла кварца, а также малой амплитуды механических колебаний элемента, несмотря на высокое напряжение, подаваемое на электроды (амплитудой 300 В). Пробы фракций, взятых в этой серии экспериментов, еще не исследованы на атомно-силовом миктроскопе.

В дальнейшем нами планируется организация колеблющейся системы в виде кантелеверов, возбуждаемых пьезоэлементом с одной из их сторон, аналогично [1].

Вывод

В рамках проведенного исследования нами показано, что разделение наночастиц с помощью фигур Хладни принципиально возможно. Несмотря на некоторые неудачи во 2-й и 3-й серии проведенных экспериментов, исследование нужно продолжать. Все отрицательные результаты имеют явные причины, которые устранимы в ходе модернизации экспериментальной установки и методики проведения экспериментов.

К тому же, в последующем необходимо исследование свойств различных фракций наночастиц в зависимости от их распределения по размерам.

Список цитируемой литературы

1. Dorrestijn M., Bietsch A., Raman A., Hegner M., Meyer E., Ch. Gerber. Chladni Figures Revisited Based on Nanomechanics // Physical Review Letters. 2007. Т. 98.
2. Зонхийев М.А. Связанные механические колебания пьезоэлектрических кварцевых элементов. – Улан-Удэ: Бурятское книжное издательство, 1975.
3. Калашников С.В., Номоев А.В. Исследование конгломератов нанодисперсного диоксида кремния методом атомно-силовой миктроскопии // Инновационные технологии в науке и образовании. Сборник трудов международной научно-практической конференции (г. Улан-Удэ, 16-18 сентября 2011 года) – Улан-Удэ: издательство Бурятского госуниверситета, 2011.

Сотников Владислав Олегович, ученик 9 кл. МАООУ гимназии №33 г. Улан-Удэ.