

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ НАНОЧАСТИЦ

Грачёва М.А.

Научный руководитель канд. филос. наук Жирнова Е.А.

*Сибирский государственный аэрокосмический
университет имени академика М.Ф. Решетнева*

В настоящее время, одним из наиболее перспективных и востребованных направлений развития современной науки является разработка нанотехнологий - совокупности методов получения и использования наночастиц, что послужило стремительному использованию в нашей лексике ряда новых слов с префиксом «нано»: наночастица, наноструктура, нанотехнология, наноматериал, нанокластер, нанохимия, наноразмерный материал, нано-коллоиды, нано-реактор и т.п.

Итак, прежде всего, рассмотрим некоторые общие понятия:

Нано-объект - это физический объект исследований (и разработок), размеры которого принято измерять в нанометрах. Нано-объекты делятся на 3 основных класса: трёхмерные частицы, получаемые взрывом проводников, плазменным синтезом, восстановлением тонких плёнок и т. д.; двумерные объекты - плёнки, получаемые методами молекулярного наслаивания, CVD, ALD, методом ионного наслаивания и т. д.; одномерные объекты - вискеры, эти объекты получают методом молекулярного наслаивания, введением веществ в цилиндрические микропоры и т. д. Также существуют нанокompозиты - материалы, полученные введением наночастиц в какие-либо матрицы.

Нанотехнология - область фундаментальной и прикладной науки и техники, имеющая дело с совокупностью теоретического обоснования, практических методов исследования, анализа и синтеза, а также методов производства и применения продуктов с заданной атомной структурой путём контролируемого манипулирования отдельными атомами и молекулами. Нано-технология имеет дело как с отдельными нано-объектами, так и с материалами на их основе, а также процессами на нано-уровне. К нано-материалам относятся такие материалы, основные физические характеристики которых определяются содержанием в них нано-объектов.

Наноматериалы делятся на компактные материалы и нанодисперсии; к первым относятся так называемые «наноструктурированные» материалы, иными словами, наноструктурированные материалы состоят из непосредственно контактирующих между собой нано-объектов. В отличие от этого, нанодисперсии состоят из среды диспергирования (вакуум, газ, жидкость или твёрдое тело), в которой распределены изолированные друг от друга нано-объекты.

Наночастица (англ. *nanoparticle*) - это квази-нульмерный (0D), изолированный твёрдофазный нанообъект, имеющий отчётливо выраженную границу с окружающей средой, размеры которого во всех трех измерениях составляют от 1 до 100 нм. Все характерные линейные размеры наночастиц имеют один порядок величины; как правило, наночастицы имеют сфероидальную форму; если в наночастице наблюдается ярко выраженное упорядоченное расположение атомов (или ионов), то такие наночастицы называют нанокристаллитами.

В силу своих размеров и уникальных свойств наночастицы требуют тщательного изучения. Необходимо исследование процессов образования, распространения и поведения наночастиц в окружающей среде, а также оценка потенциального риска их использования в условиях непосредственного воздействия на человека, в частности, через окружающий воздух.

Классификация нанообъектов:

Квази-одномерные нанообъекты (1D)–это наностержни, нанопроволоки (nanorods, nanowires); здесь один характерный размер объекта, по крайней мере, на порядок превышает два другие; физики их называют «квантовые провода».

Другие типы нано-объектов – нанодиски, нанокораллы и т.п. в данном обзоре не рассматриваются.

Основные особенности наночастиц:

- Относительно маленькая масса
- Большая поверхностная площадь
- Быстрое рассеивание
- Образование агломератов

Основные методы измерения наночастиц базируются на определении:

- Массы, измеряется с помощью пьезобаланса и поверхностных акустических волн;
- Электрического заряда, пропорционального площади поверхности частиц, как правило определяется электронами;
- Светового рассеяния от нанометровых частиц, используется в оптических и конденсационных счетчиках частиц. [3]

Наиболее часто применяющиеся в настоящее время методы определения размеров наночастиц (Таблица - 1). [1]

Таблица 1

Методы определения размеров наночастиц

Методы анализа	Явления и процессы, лежащие в основе данного метода
Электронная микроскопия	Анализ образца с помощью пучка ускоренных электронов
Просвечивающая электронная микроскопия	Просвечивание образца пучком электронов с определением размера и внутренней структуры частиц
Сканирующая (растровая) электронная микроскопия	Сканирование поверхности образца пучком электронов с одновременной регистрацией вторичных электронов и получение объемного изображения
Сканирующая зондовая микроскопия	Анализ с помощью зонда рельефа поверхности образца
Сканирующая туннельная микроскопия	Анализ рельефа токопроводящих поверхностей путем фиксирования величины туннельного тока, возникающего между острием зонда и поверхностью образца
Атомно-силовая микроскопия	Анализ рельефа и механических свойств поверхностей путем фиксирования величины Ван-дер-Ваальсовых сил, возникающих между острием зонда и поверхностью образца
Светорассеяние (метод статистического рассеяния света)	Определение размера частиц по интенсивности рассеянного света
Фотонная корреляционная спектроскопия	Определение размера частиц по

(метод динамического рассеяния света)	коэффициенту диффузии, определяемого путем интенсивности и частотных характеристик рассеянного света
Малоугловое рассеяние (рентгеновских лучей и нейтронов)	Оценка размера частиц по угловой зависимости интенсивности диффузного рассеяния (в области малых углов)
Дифракционные методы	Дифракция излучения на кристаллической решетке образца с получением дифрактограммы и оценка размеров кристаллов по величине уширения дифракционных максимумов
Седиментация	Определения размера частиц по скорости их оседания
Адсорбционный метод (БЭТ)	Определение удельной поверхности (размера частиц) образца путем измерения величины низкотемпературной адсорбции инертных газов (азота)

Учеными Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, были проведены измерения размера частиц железа различными способами, в табл. 2 показано насколько могут отличаться полученные результаты.[1],[2].

Таблица 2

Результаты определения размера частиц Fe, полученных различными методами

Методы анализа	Размер частиц, нм
Сканирующая электронная микроскопия	50-80
Просвечивающая электронная микроскопия	300-1000
Рентгенография	20
Малоугловое рассеяние: нейтрография	24-64
Низкотемпературная адсорбция (БЭТ)	60
Статическое светорассеяние	500-8000
Динамическое светорассеяние	70

Общепринятым способом определения размеров наночастиц является их изучение с помощью просвечивающей электронной микроскопии. Полное представление о дисперсности наночастиц дает знание таких характеристик как размер частиц, их полная удельная поверхность и морфология. Существует множество методов определения размера частиц, использующих различные физические принципы, например лазерная дифракция светового потока на частицах, седиментация части по весу в дисперсионной среде. Существенное дополнение в исследование размера, геометрии и морфологии частиц дает метод определения их удельной поверхности, а также сканирующая электронная микроскопия. [1]

Расстояние между нано-объектами в нанодисперсиях может меняться в достаточно широких пределах от десятков нанометров до долей нанометра; в последнем случае мы имеем дело с нанопорошками, где нано-объекты разделены тонкими (часто – моноатомными) слоями из лёгких атомов, при этом не всегда различные по принципам методы дают сходные результаты, что и было показано выше. Сложность определения размеров частиц заключается еще и том, что они склонны к агломерации (Рис. 1).

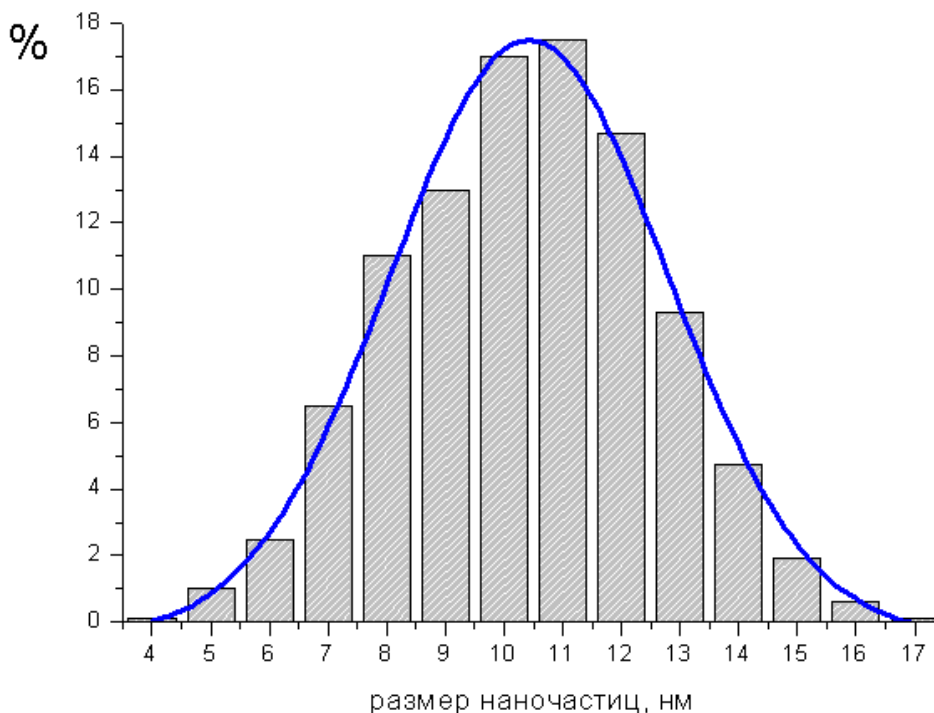


Рис. 1 Гистограмма распределения по размерам наночастиц

В заключении хотелось бы отметить, поскольку многие физические и химические свойства наночастиц, в отличие от объемных материалов, сильно зависят от их размера, в последние годы проявляется значительный интерес к методам измерения размеров наночастиц в растворах, вследствие этого необходима разработка комплекса методов анализа для измерения параметров наночастиц.

Библиографические ссылки

1. Крушенко Г.Г., Решетникова С.Н. Проблемы определения размеров наночастиц // Технологические процессы и материалы. Вестник СибГАУ 2011. №2. С. 167-170.
2. Пименова Н.В. Порошки вольфрама, полученные различными способами // Технология металлов. 2011. №2. С. 25-27.
3. Гусев А.И., Ремпель А.А. Нанокристаллические материалы. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.