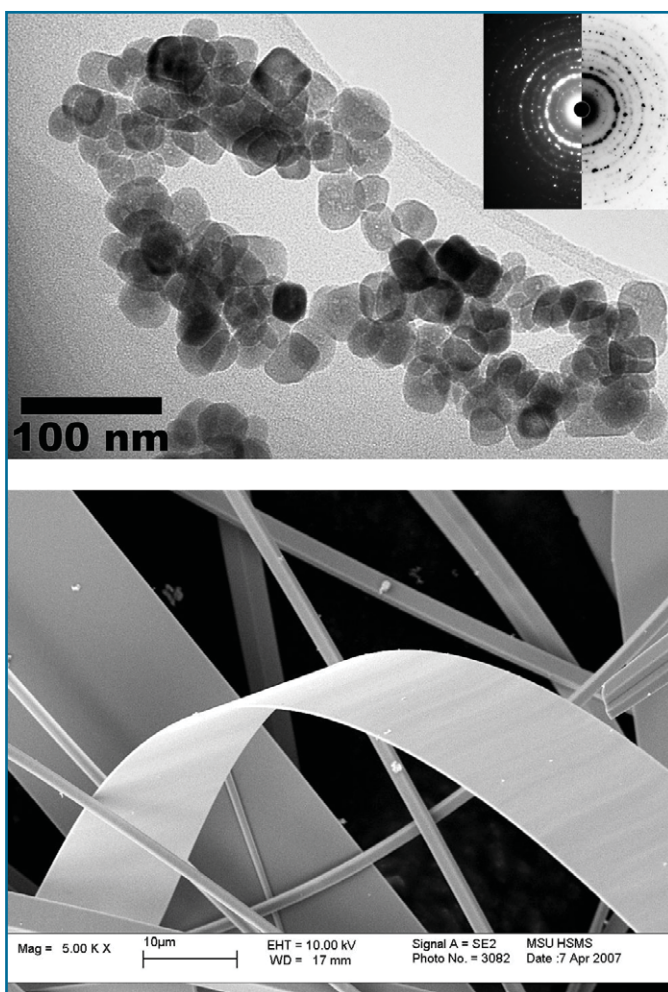


## НАНОЧАСТИЦЫ (Nanoparticles)

*Стеклом познали мы толики чудеса,  
Чем он наполнил понт, и воздух, и леса.  
Прибавив рост вещей, оно, коль нам потребно,  
Являет трав разбор и знание врачебно;  
Коль много Микроскоп нам тайностей открыл,  
Невидимых частиц и тонких в теле жил!*

*М.В. Ломоносов.*

*«Письмо о пользе стекла...»*



Такие разнообразные наночастицы: «нановосьмерка» из частиц  $\text{BaTiO}_3$  (вверху) и «тонкие» ленты  $\text{SnO}_2$  (внизу)

Термин «наночастица» или «наноразмерная частица» прочно вошел в научный лексикон около 20 лет назад, однако критерий наноразмерности до сих пор является предметом многих научных дискуссий. Согласно международной конвенции IUPAC, предельный (максимальный) размер на-

ночастиц соответствует 100 нм, хотя эта величина является чисто условной и необходима только для формальной классификации. Последнее время определение наночастиц связывают не с их размером, а с проявлением у них новых свойств, отличных от свойств объемной фазы. Действительно, при переходе вещества от макроразмеров к размерам, всего на один-два порядка больше молекулярных, резко меняются его свойства – с увеличением удельной поверхностной энергии изменяется его поверхностное натяжение, температура плавления и температуры структурных переходов, может измениться сама структура, его электронные характеристики, то есть весь спектр физико-химических свойств, становится иным, чем для веществ в макросостоянии. Поэтому критерием принадлежности частицы того или иного вещества к классу наночастиц правильнее считать сопоставление ее размера с корреляционным радиусом того или иного физического явления (например, с длиной свободного пробега электронов или фононов, длиной когерентности в сверхпроводнике, размерами магнитного домена или зародыша твердой фазы).

Различают два типа наночастиц: **нанокластеры**, или **нанокристаллы**, и собственно **наночастицы**. К первому типу относят частицы упорядоченного строения (часто centrosymmetric) размером 1–5 нм, содержащие до 1000 атомов, ко второму – собственно наночастицы размером 5–100 нм, состоящие из  $10^3$ – $10^8$  атомов. Нитевидные и пластинчатые частицы могут содержать гораздо большее количество атомов и

иметь один или даже два линейных размера, превышающих пороговое значение, но их свойства в определенном направлении остаются характерными для вещества в нанокристаллическом состоянии. Если наночастица имеет сложную форму и строение, то в качестве характеристического рассматривают не линейный размер частицы в целом, а размер ее структурного элемента. Такие частицы, как правило, называют *наноструктурами*, причем их линейные размеры могут значительно превышать 100 нм.

Различия в линейных размерах наночастиц делают целесообразным подразделять их на нуль-, одно-, двух- и трехмерные (соответственно, 0D-, 1D-, 2D- и 3D-наночастицы). К нульмерным наноструктурам относят свободные и стабилизированные кластеры, *фуллерены* и эндофуллерены и *квантовые точки*. Класс одномерных наноструктур представлен гораздо большим разнообразием нанобъектов: это *наностержни*, *нанонити* (вискеры), *нанотрубки* и наноленты. Среди двумерных наноструктур выделяют *тонкие пленки* толщиной до сотен нанометров, *гетероструктуры*, *пленки Лэнгмюра–Блоджетт*, нанопластины, адсорбционные и *самособирающиеся монослои*, а также двумерные массивы объектов, размеры которых лежат в нанометровом диапазоне. К классу трехмерных наноструктур следует

относить как сами наночастицы и наночастицы в оболочке, так и *нанокомпози́ты* и трехмерные самоорганизованные массивы нанобъектов. При этом сами композиты могут включать нуль-, одно- и двумерные объекты, то есть представлять собой массивы квантовых точек, нитей, многослойные пленки или слоистые соединения, а также различные комбинации этих типов наноструктур. На наноуровне оказалось возможным и существование структур промежуточной размерности, т.н. *фракталов* и *дендримеров*, обладающих самоподобием и рассматривавшихся ранее лишь в качестве математических моделей.

В последние годы большие усилия исследователей направлены на получение наночастиц заранее заданных формы и размера, а следовательно, обладающих определенными физико-химическими свойствами – описано множество различных синтетических подходов, каждый из которых обладает своими преимуществами, но и не лишен определенных недостатков. Сегодня все методы получения *наноматериалов* разделяют на две большие группы по типу формирования наноструктур: методы «снизу-вверх» («Bottom-up») характеризуются ростом наночастиц или сборкой наночастиц из отдельных атомов; а методы «сверху-вниз» («Top-down») основаны на «дроблении» частиц до наноразмеров.

#### Литература:

1. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физматлит, 2007.