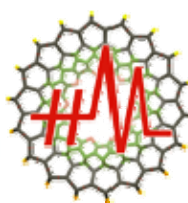


# Всероссийские Интернет-Олимпиады «Нанотехнологии – прорыв в будущее!»



**Нанометр**  
Нанотехнологическое  
Сообщество

**Москва - 2008**

## Приветствия организаторам и участникам Олимпиады

### Обращение к участникам Олимпиады Ректора МГУ академика В.А.Садовниченко (2007 г.)



Дорогие друзья! Приветствую участников Первой Всероссийской Интернет-олимпиады по нанотехнологиям! Развитие нанотехнологий в России, как и во всем мире, приобретает все большее значение. Возникновение нанотехнологий означает качественно новый скачок в философии получения практически важных веществ - создание невидимых простым глазом сложных устройств и систем, размеры которых находятся в диапазоне размеров надмолекулярных образований. "Обычная" химия работает с молекулами и атомами, в этом уже давно нет ничего необычного.

"Обычная" промышленность работает с тоннами и кубометрами, к этому тоже все привыкли. Наноматериалы - продукт нанотехнологий - есть нечто особое, что гораздо сложнее атомов и молекул, но как продукт высоких технологий не требует многотоннажного производства, поскольку даже один грамм такого "умного" вещества способен решить множество проблем. Это - пример современной "гомеопатии", которая поставлена на вполне научную основу и глубоко продумана.

Во всем мире происходит своеобразная нанотехнологическая революция. Сейчас уже все – от школьника, студента, аспиранта и академика до Российского Правительства и Президента Российской Федерации - осознают то стратегическое, предопределяющее значение, которое имеет это приоритетное направление науки и техники, открывающее воистину новые, фантастические перспективы. Можно с уверенностью сказать, что XXI век будет веком наноматериалов и нанотехнологий. Нанотехнологии – это большой шаг, прорыв в Будущее!

В то же время, не надо забывать, что создание нанотехнологий – это борьба, это труд, это сложно и наукоемко. Московский Университет на протяжении ряда лет успешно развивает исследования в области наноматериалов. Нам удастся не только создавать оригинальные курсы лекций в лучших традициях классического университетского образования, но и проводить фундаментальные и прикладные исследования с использованием самого современного научного оборудования. В этой многоплановой, междисциплинарной области невозможно предложить блестящие идеи, основываясь на старых знаниях и старом менталитете научного исследования. В области нанотехнологий невозможно победить и стать успешным и конкурентоспособным лишь на одном желании и удаче. Создать новые наноматериалы и устройства невозможно с использованием только отработанных годами традиционных подходов. Именно университетский дух является тем катализатором, который помогает реализовать уникальные экспериментальные находки, поскольку для нанотехнологий, как нигде и никогда, жизненно необходимо уникальное сочетание фундаментальных знаний, современных навыков научной работы, молодой энергии, умения нетривиально мыслить и действовать.

Именно поэтому Московский Университет уже второй год проводит подготовку принципиально новых, инновационных образовательных программ, которые призваны

дать толчок к профессиональной подготовке новой генерации исследователей, которые будут всесторонне подготовлены к развитию нанотехнологий в нашей стране и коммерциализации полученных научных и прикладных разработок. Это еще одна, может быть, самая важная, самая острая, самая востребованная сейчас и в ближайшем будущем область деятельности для МГУ и других ВУЗов, развитие которой оправдывает любые вложенные в нее усилия и средства.

Самое лучшее средство найти таланты – это честное соревнование. В этом году Московский Университет впервые проводит Всероссийскую Интернет-олимпиаду "[Нанотехнологии – шаг в Будущее!](#)", целью которой является привлечение талантливой молодежи к инновационным образовательным программам и профессиональной переподготовке в области наноматериалов и нанотехнологий - приоритетной области науки и образования. В Олимпиаде может принять участие любой пользователь всемирной сети Интернет в возрасте до 27 лет включительно – школьник, студент, аспирант, молодой ученый, инженер, менеджер. Мы не ограничиваем желание никого, кто хотел бы принять участие в Олимпиаде. В жюри Олимпиады включены видные ученые и специалисты в области наноматериалов и нанотехнологий, члены Российской Академии Наук, профессора МГУ, руководители инновационных компаний. Все это предопределяет и создание интересных задач, и беспристрастную оценку решений участников Олимпиады.

Реализация этой идеи стала возможной в этом году благодаря созданию универсального Интернет-портала [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru), который и послужит отправной точкой для всех, кто готов принять участие в этой необычной олимпиаде с множеством планируемых призов и поощрений, в том числе тем молодым людям, которые готовы связать свою судьбу с Московским Университетом.

Я искренне желаю всем участникам творческих успехов, удачи, смекалки и веры в светлое будущее нашего образования и науки!

## Обращение Ректора МГУ академика В.А.Садовниченко к участникам Олимпиады (2008 г.)



Я хочу поприветствовать участников второй Интернет - олимпиады по нанотехнологиям, проводимой Московским Университетом! Это очень хорошая идея, которую выдвинул декан факультета наук о материалах МГУ академик Юрий Дмитриевич Третьяков и который организовал проведение первой Интернет - олимпиады. Результаты первой Интернет-олимпиады оказались удивительными. В Олимпиаде участвуют молодые ребята, школьники, студенты, они хотят показать, что они идут в науку. Вторая Интернет-олимпиада будет еще более массовой и она отражает то положение, когда у нас в стране нанотехнологии и нанонаука становятся приоритетом. Мы надеемся, что вы предъявите хорошие знания, продемонстрируете хорошие результаты и будете победителями. Интернет – олимпиада имеет для Московского университета особое значение, потому что среди участников – школьники.

Конечно, мы были бы очень рады, если бы школьники – победители Олимпиады приходили поступать в Московский государственный университет. Я знаю, что среди участников Олимпиады будут и те, кто имеет высшее образование. Мы предлагаем магистерские программы, дальнейшее обучение и повышение квалификации в Московском университете. За нанотехнологиями и нанонаукой – будущее, в нашей стране и в мире, поэтому вы находитесь на самом переднем крае научных исследований! Я еще раз желаю вам успехов, побед и надеюсь на встречу с вами в Московском университете в качестве студентов, магистрантов, аспирантов, на повышение квалификации. Успехов вам!

## Обращение к участникам олимпиады Генерального Директора Государственной Корпорации «Российские нанотехнологии» Л.Б. Меламеда (2008 г.)

Уважаемые участники II Всероссийской Интернет-олимпиады по нанотехнологиям!

Я рад приветствовать всех молодых людей, проявивших интерес к сложной, но в то же время очень интересной теме. Точкой отсчета в развитии нанотехнологий часто считают знаменитую лекцию нобелевского лауреата Ричарда Фейнмана "Там внизу еще много места". С тех пор прошло уже почти 50 лет, и я должен признаться, что места все еще очень много. Управление структурой вещества на уровне атомов и молекул будет оставаться одной из главных проблем на стыке физики, химии и биологии в обозримом будущем. В будущем, которое предстоит создавать вам.



Следующему поколению россиян предстоит жить в совершенно новом, удивительном мире: добывать энергию из воды и солнечного света, создавать сверхпрочные, сверхлегкие, сверхэкономичные материалы, лекарства, которые будут лечить пораженные клетки без оперативного вмешательства.

Молодые и увлеченные профессионалы, выбравшие в качестве направления своей деятельности нанотехнологии, в перспективе станут самыми востребованными специалистами, и, я уверен, смогут обеспечить достойное существование себе и своей стране.

Участие [ГК «Роснанотех»](#) в проведении [Всероссийской Интернет-олимпиады](#) по нанотехнологиям не случайно - инвестиции в будущее являются одним из важнейших направлений деятельности нашей корпорации. В России уже сегодня создаются технологические, научно-исследовательские и внедренческие центры, в которые в свое время придут работать молодые и талантливые кадры. Надеюсь, среди них будет и вы! Хочется пожелать всем

участникам Интернет-олимпиады удачи, упорства в предстоящем решении задач. Дерзайте!

## Поздравление участникам Олимпиады Заместителя Председателя Государственной Думы С.С. Журовой (2008 г.)



Дорогие участники Олимпиады! Поздравляю вас с открытием уже [второй Всероссийской Интернет - Олимпиады](#) по нанотехнологиям «Нанотехнологии – прорыв в будущее!» Может показаться удивительным, что задачи, которые кажутся сложными для многих взрослых, опытных исследователей, становятся предметом изучения для юных дарований. Тем не менее, это совершенно правильно и естественно, ведь новые материалы - основа технологий 21-го века, века, в который вы вступаете полноправными хозяевами Будущего, а нанотехнологии – одно из приоритетных направлений в развитии науки и техники.

Разработка нового – это всегда ответственная задача, предполагающая серьезную научно-исследовательскую работу, которая не может происходить в отрыве от образования. Я думаю, что начинающаяся Олимпиада станет хорошим стимулом для тех, кто с оптимизмом смотрит в светлое будущее своей страны, готов работать не только ради своих успехов, но и процветания

России. Как недавно заметил избранный президент России Дмитрий Медведев говоря об образовании, «наша задача сейчас... стимулировать тех, кто завершает учебный процесс. Стимулировать, чтобы они оставались в нашей стране, получали достойные деньги...».

И в завершении хочу сказать, что в соревнованиях, конечно, очень важна победа, но победа - это всегда результат и серьезной работы, и воли случая. Поэтому я считаю, что участники Олимпиады в такой сложной и новой научной области - все уже заранее победители, и я желаю вам успеха, хорошего настроения и удовольствия от работы!

## Приветствие участникам Олимпиады заместителя генерального директора Национальной Инновационной Компании "Новые Энергетические Проекты" В.Л.Туманова (2008 г.)

...Проведение различных конкурсов и олимпиад, таких как вторая Всероссийская Интернет-олимпиада по нанотехнологиям, играет важную роль в формировании новых кадров. С точки зрения нашей фирмы хотелось бы несколько расширить область проводимой Олимпиады и посвятить ее не только нанотехнологиям, но также энергетике и экологии. Эти три понятия должны образовывать крепко увязанный треугольник. На мой взгляд, переход в шестой технологический уклад без нанотехнологий невозможен.



Поэтому, действительно, очень важна подготовка специалистов в области нанотехнологий. И то, что сейчас через Олимпиаду привлекается молодежь, – это очень важный фактор, который подготовит наше общество к тем задачам, которые ставит перед нами руководство страны и общество в целом. Мы должны превратить свою страну из сырьевой в инновационную с соответствующим уровнем интеллектуального продукта. К сожалению, мы “проспали” 20 лет и вместе с ними пятый технологический уклад. Но у нас есть все возможности ворваться в шестой технологический уклад. А для этого, прежде всего, нужно готовить кадры. Поэтому Олимпиада – это тот серьезный

плацдарм, который позволит решить на ближайшие годы проблему подготовки кадров. И надо далее заниматься этим вопросом, расширять зону и базу этой Олимпиады, и не только в области нанотехнологий, но и других областях инновационных проектов. Нет сомнений, что и частный бизнес будет поддерживать подобные начинания.

## Основные сведения об Олимпиаде

В конце июня 2007 г. произошло уникальное событие – Московский Государственный Университет решил на проведение Первой Интернет-олимпиады в области нанотехнологий «Нанотехнологии – прорыв в Будущее!». Целью Олимпиады являлся поиск и поощрение молодых талантов, желающих участвовать в развитии нанотехнологий в России. Идея Олимпиады была очень проста – провести своеобразную «разведку боем» и выяснить, кто, где и как сильно интересуется в России нанотехнологиями и насколько наиболее активная, молодежная (до 27 лет по условиям участия в Олимпиаде) часть нашего российского общества готова воспринять «нанотехнологические» идеи, которые пропагандируются сейчас на самом высоком уровне. Кроме того, конечно, Олимпиада должна была выступить мощным стимулом, который привлечет бы внимание к современным проблемам развития науки вообще и к необходимости повышения уровня образования – в частности. В каком-то смысле Олимпиада выступила также в виде своеобразной дистанционной формы самообразования, которая должна была позволить молодым людям и девушкам, потенциально – будущим ученым или организаторам науки – вступить на трудный, но благородный путь получения знаний в новой, очень сложной и междисциплинарной области, связанной с наносистемами, нанотехнологиями, наноматериалами и методами их исследований. Этой тактике и отвечали задачи олимпиады. Они были оригинальными, но в то же время требующими и усидчивости, разноплановыми, что позволяло, с одной стороны, соблюсти междисциплинарный подход, свойственный нанотехнологиям, а также решить по крайней мере часть задач людям с разным уровнем подготовки и специализации (химия, физика, математика, материаловедение).

Так, первая задача была фактически впервые проведенным в **такой интереснейшей** аудитории **сфокусированно** составленным статистическим опросом по поводу роли и значения нанотехнологий (что не скрывалось и поощрялось небольшим количеством призовых баллов). Вторая задача – шарада была по сути историко – лингвистической, в ней требовалось знание о происхождении приставки «нано-» («гном»).

Параллельно в этой же задаче обсуждался «тайный» смысл эмблемы Олимпиады. Третья задача, несомненно, проверяла пространственное мышление и стереометрию, четвертая задача тоже была математической, она была тесно связана с комбинаторикой. Пятая задача была комплексной и ее можно было бы смело отнести и к области материаловедения нелинейных диэлектриков (сегнетоэлектрики и их доменная структура), и к области современных аналитических методов (сканирующая зондовая микроскопия). Шестая задача была связана со знанием особенностей синтеза специфических наноматериалов (аэрогелей) с помощью специфических методов химической гомогенизации (гелеобразование и сверхкритическая сушка). Седьмая задача развеивала миф об алмазах, точнее призывала к дискуссии о том, почему структурные и химические свойства наносостояния могут отличаться от свойств обычной «объемной фазы». Восьмая задача также относилась к области получения наноматериалов химическими методами, однако акценты в ней были сделаны на одну из близких возможностей применения наноматериалов – электрохимического, для создания эффективных топливных элементов. Девятая задача относилась к области научной беллетристики, в ней необходимо было выполнить так популярные сейчас в Европе и США тесты по написанию эссе на заданную тему. Можно сказать, что участники, решая эту задачу, упражнялись в научной диалектической полемике, логике, лаконичности, а также в популяризации научных знаний. Десятая задача рассматривала, как изменяются физические свойства вещества, в частности, магнитные характеристики, при переходе в наносостояние. Одиннадцатая задача была посвящена получению, а также анализу микроструктурных и механических характеристик одного из самых популярных в отношении практического использования классов материалов – нанокерамики, то есть проверяла уровень инженерно-химической (технологической) подготовки. Двенадцатая задача была тоже практико-ориентированной, в ней тестировались не только фундаментальные знания о люминесценции, но и предположения участников о перспективности развития направления, связанного с органическими светоизлучающими элементами. Тринадцатая задача была о зародышеобразовании и росте кристаллов, а также непосредственно о квантовых точках – одном из самых знаковых семейств наноматериалов. Четырнадцатая задача была минитестом общих знаний и включала 30 коротких вопросов по различным областям нанотехнологий. Наконец, последняя задача была аналитической – в буквальном смысле слова, она касалась обсуждения возможностей различных современных аналитических методов анализа наноматериалов.

В состав жюри олимпиады были включены видные ученые и специалисты в области наноматериалов и нанотехнологий, члены Российской Академии Наук, профессора МГУ, директора инновационных компаний. **30 мая** 2007 г. завершилась регистрация участников Первой Всероссийской Интернет-олимпиады. **31 мая** – была произведена рассылка информационного сообщения и инструкций к решению задач, **1 июня** – задачи были опубликованы на сайте [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru), что положило начало основному туру решения задач. Все участники имели доступ к электронной форме, в которой можно было давать и многократно редактировать ответы вплоть до 7 июня. С **8 по 20 июня** проводилась проверка заданий, в этот период жюри выставляло оценки предложенным решениям и, в ряде случаев, давало комментарии оценок. **21-25 июня** – был сформирован список победителей. **27 июня** в МГУ им. М.В.Ломоносова состоялась церемония торжественного награждения победителей и закрытие Олимпиады.

Призовой фонд Олимпиады был установлен в размере 100 000 рублей Фондом имени чл.-корр РАН Н.Н.Олейникова и инновационным образовательным проектом факультета наук о материалах МГУ. Денежные призы: 1 место (абсолютный победитель) – **30 000 руб.**, 2 место – **20 000 руб.**, 3 место – **10 000 руб.** Кроме того, чтобы расширить число победителей и повысить вероятность того, что кто-то из участников победит в своей группе, были введены специальные призы по номинациям. Номинация «Лучший школьник» – **10 000 руб.** (максимальное количество баллов среди школьников),

номинация «Лучший молодой ученый» – **10 000 руб.** (максимальное количество баллов среди студентов и аспирантов), номинация «Любитель нанотехнологий» - **10 000 руб.** (максимальное количество баллов среди «непрофессионалов»), номинация «Романтик нанотехнологий» - **10 000 руб.** (лучшее решение творческой задачи «Краткость – сестра таланта»), номинация «Знаток сканирующей зондовой микроскопии» - специальные призы компании **NT MDT** (лучшего российского производителя комплексов сканирующей зондовой микроскопии), Призеров также ожидали специальные призы компании Самсунг (MP3 плееры и фирменные часы), корпорации «Наноиндустрия» (3 годовых подписки на журнал «Нанотехника»). Уникальный поощрительный приз предоставил журнал «Наука и жизнь» - только что вышедший архив журнала за 15 лет (1990-2005) на DVD-диске. Специальным призом Международного журнала «Альтернативная энергетика и экология» являлась подписка на журнал; а вот журнал «Российские нанотехнологии» просто подарил подборку уже вышедших журналов. Факультет наук о материалах установил и свои призы: книги и учебники, информационный бюллетень «Нанометр» и др. **Всем победителям** и призерам были вручены в торжественной обстановке официальные грамоты и дипломы,

В 2008 г. Олимпиада проводилась в два этапа. Первый тур проходил дистанционно в два этапа: **с 6 по 11 апреля для школьников** и **с 12 по 20 апреля 2008 г. для остальных участников**. Всех участников ждали творческие задачи в области химии и нанохимии, физики наносистем, биологии, материаловедения. Победители первого тура (более 35 человек человек) получили приглашение на очный тур. Очный тур Олимпиады состоялся **15-16 мая 2008 г.** в Московском Государственном Университете им. М.В.Ломоносова в форме дополнительного компьютерного тестирования и ряда практических задач. 16 мая победителям и призерам Олимпиады были торжественно вручены призы, памятные дипломы, а также ценные подарки от организаторов и спонсоров Олимпиады. Организационный комитет оплатил транспортные расходы и расходы на проживание в г.Москве иногородних участников очного тура.

Призовой фонд олимпиады 2008 г. был сформирован МГУ и спонсорами Олимпиады; абсолютные победители **первой степени** (премия 50`000 руб.), **второй степени** (премия 30`000 руб.) и **третьей степени** (премия 20`000 руб.), победители по номинациям **«лучший школьник»** и **«лучший молодой ученый»** были определены по общей совокупности баллов заочного и очного туров. Призы по **номинациям** («Нанохимия и наноматериалы», «Физика наносистем», «Конструкционные и строительные наноматериалы», «Нанотехнологии в биологии и медицине», «Дизайнер нанороботов», «Победитель конкурса инновационных идей», «За лучшее решение задач по альтернативной энергетике», не менее 10`000 руб. за каждую) были установлены Оргкомитетом для участников, набравших при решении различных блоков задач наибольшее число баллов, но не ставших абсолютными победителями в общем зачете. Номинация **«Добрососедство»** была установлена [Фондом содействия развитию международных связей и социальных систем](#) для лучших участников, представляющих страны СНГ или русскоязычные диаспоры за рубежом. Победители в номинации **«За волю к победе»** были определены по выбору Оргкомитета. Отдельно было также установлено поощрение за победу **в конкурсе инновационных идей**. Призеры Олимпиады были дополнительно отмечены благодарственными письмами, направленными по месту учебы или работы участников. Победители и призеры Олимпиады с целью своего карьерного роста смогли в ряде случаев установить контакты с компаниями – работодателями, спонсорами Олимпиады.

Олимпиада уже имеет традиции, к которым можно отнести сочетание теоретических заданий и творческого тура, горячих споров во время апелляции, "оседлость" Олимпиады на сайте "Нанометр", широкий охват возрастов и географических регионов для участников Олимпиады (в какой-то мере ее приходится считать международной), междисциплинарный нанотехнологический характер.



В 2008 году для Олимпиады было сделано много нововведений, в частности:

- введен специальный (отдельный) тур для школьников и абитуриентов,
- возможности участия в Олимпиаде расширены за счет введения большего количества задач, разбитых на блоки с более узкой специализацией,
- введен очный тур с проверочным компьютерным тестированием и экспериментальным "квестом" на сканирующих зондовых микроскопах компании [НТ МДТ](#),
- найдены надежные [спонсоры и партнеры](#) для Олимпиады,
- расширено сотрудничество с другими ВУЗами и институтами РАН,
- демократическим путем ([конкурса](#)) введена символика Олимпиады.

На второй Олимпиаде появились:

- специальные папки с материалами для участников,
- значки с оригинальными эмблемами Олимпиады,
- специальные дипломы и "корочки" для победителей и призеров,
- банковские карточки VISA-electron с символикой Олимпиады ("[Юниаструм - банк](#)").

На сайте была оформлена галерея участников, электронная форма регистрации, шифрование поданных работ-решений, увеличено количество вариантов разрешенных форматов файлов, в которых можно было посылать решение, рассылка по участникам была организована с помощью системы электронной почты.

*(по материалам публикаций на сайте [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru) и журнале «Альтернативная энергетика и экология», н.1, 2008 г.)*

## Организационная структура Олимпиады

### ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ Первой Всероссийской Интернет-олимпиады в области наноматериалов и нанотехнологий (2007 г.)

#### **Почетный председатель:**

Ректор МГУ им. М.В.Ломоносова, академик РАН В.А.Садовничий

#### **Сопредседатели:**

Проректор МГУ, профессор А.М.Салецкий

Академик РАН Ю.Д.Третьяков, декан Факультета наук о материалах МГУ

#### **Заместитель председателя Организационного комитета:**

Чл.-корр. РАН Е.А.Гудилин, зам. декана ФНМ МГУ

#### **Ученый секретарь:**

к.х.н. Е.А.Киселева (ФНМ МГУ)

#### **Члены Оргкомитета:**

Проректор МГУ, профессор П.В.Вржещ

Академик РАН В.В.Лунин (Химический ф-т МГУ)

Академик РАН Ю.А.Золотов (Химический ф-т МГУ)

Академик РАН А.Ю.Цивадзе (ИФХЭ РАН)

Академик РАН Н.Т.Кузнецов (ИОНХ РАН)

Академик РАН В.М.Бузник (ИПК РАН)

Академик РАН М.В.Алфимов (Центр фотохимии РАН)

Чл.-корр. РАН М.В.Ковальчук (РНЦ «Курчатовский ин-т»)

Чл.-корр. РАН В.М.Иевлев (Воронежский ГУ)

Чл.-корр. РАН И.В.Мелихов (Химический ф-т МГУ)  
Чл.-корр. РАН Е.В.Юртов (РХТУ им. Д.И.Менделеева)  
Чл.-корр. РАН А.Б.Ярославцев (ИОНХ РАН)  
Академик РАЕН, профессор М.И.Ананян, генеральный директор концерна  
«Наноиндустрия»

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ Второй Всероссийской Интернет-олимпиады в области наноматериалов и нанотехнологий (2008 г.)

Председатель Оргкомитета: Ректор Московского Государственного Университета имени  
М.В.Ломоносова, академик РАН **В.А.Садовничий**

Первый заместитель председателя: Декан ФНМ МГУ, зав. каф. неорганической химии  
химического ф-та МГУ, академик РАН **Ю.Д.Третьяков**

Заместители Председателя:

проректор МГУ профессор **Э.Е.Антипенко**,

проректор МГУ профессор **П.В.Вржещ**,

проректор МГУ профессор **В.В.Белокуров**,

проректор МГУ профессор **А.В.Михалев**

Члены организационного комитета:

академик РАН **В.В.Лунин** (декан химического факультета МГУ),

академик РАН и РАНМ **В.А.Ткачук** (декан факультета фундаментальной медицины МГУ),

академик РАН **М.П.Кирпичников** (декан биологического факультета МГУ),

профессор **В.И.Трухин** (декан физического факультета МГУ),

академик РАН **В.П.Скулачев** (декан факультета биоинженерии и биоинформатики МГУ),

профессор **Ю.П.Зинченко** (декан факультета психологии МГУ),

профессор **П.К.Кашикаров** (заведующий кафедрой общей физики и молекулярной  
электроники физического факультета МГУ),

член-корреспондент РАН, профессор **Е.А.Гудилин** (заместитель декана факультета наук о  
материалах МГУ),

пресс-секретарь МГУ **С.В.Решетникова** (МГУ),

ассистент **Е.А.Киселева** (ФНМ МГУ) - секретариат,

ассистент **Е.А.Померанцева** (ФНМ МГУ) - секретариат,

аспирант **А.Е.Чеканова** (ФНМ МГУ) - секретариат,

**А.Б.Тарасов** (ФНМ МГУ) – секретариат,

доцент **А.В.Лукашин** (ФНМ МГУ) - секретариат,

доцент **Е.А.Еремينا** (химический факультет МГУ) - секретариат,

начальник научного отдела **Е.А.Якубович** (химический факультет МГУ) – секретариат.

## СОСТАВ МЕТОДИЧЕСКОЙ КОМИССИИ И ЖЮРИ (2008 г.)

Методическая комиссия:

профессор **В.В.Еремин** (химический факультет МГУ),

профессор **Е.А.Гудилин** (химический факультет, факультет наук о материалах МГУ),

к.х.н. **И.В.Гольдт** (ГК «РоснаноТех»),

профессор **В.Ю.Тимошенко** (физический факультет МГУ),

профессор **А.М.Рубцов** (биологический факультет МГУ),

Жюри:

член-корреспондент РАН О.А.Шпигун (химический факультет МГУ),

член-корреспондент РАН Л.Б.Бойнович (ИФХЭ РАН),  
 профессор А.Р.Кауль (химический факультет МГУ),  
 профессор М.В.Коробов (химический факультет МГУ),  
 профессор Л.Н.Сидоров (химический факультет МГУ),  
 профессор А.В.Перцов (химический факультет МГУ),  
 профессор Ю.Л.Словохотов (химический факультет МГУ),  
 профессор А.А.Карякин (химический факультет МГУ),  
 профессор В.И.Тишков (химический факультет МГУ),  
 доцент В.И.Путляев (химический факультет МГУ),  
 доцент Р.Б.Васильев (ФНМ МГУ),  
 ассистент А.А.Елисеев (ФНМ МГУ),  
 ассистент С.Савилов (химический факультет МГУ),  
 профессор А.М.Скундин (ИФХЭ РАН),  
 профессор С.П.Губин (ИОНХ РАН),  
 к.х.н. Ю.А.Добровольский (зав. лаб. ионики тв. тела, ИПХФ РАН, г.Черноголовка),  
 профессор М.И.Алымов (ИМЕТ РАН),  
 профессор С.М.Баринов (ИФХПКМ РАН),  
 А.Г.Вересов (ФНМ МГУ– ГК РоснаноТех),  
 профессор А.А.Вертегел (США),  
 профессор В.В.Петрыкин (Япония),  
 профессор И.С.Безверхий (Франция),  
 профессор С.В.Калинин (США).

## СОСТАВ НАБЛЮДАТЕЛЬНОГО СОВЕТА (2008 г.)

<b>Академик РАН С.М.Алдошин</b>	Директор Института проблем химической физики РАН, член Бюро Комиссии РАН по нанотехнологиям
<b>Академик РАН Н.П.Алешин</b>	Заведующий кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана, Президент Национальной ассоциации контроля сварки, заслуженный деятели науки и техники РФ
<b>Академик РАН Ж.И.Алферов</b>	Лауреат Нобелевской премии, вице-президент РАН
<b>Академик РАН М.В.Алфимов</b>	Директор Центра Фотохимии РАН, руководитель бюро рабочей группы Научно-координационного совета ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» по приоритетному направлению «Индустрия наносистем и материалов», член НТС ГК «РоснаноТех»
<b>Академик РАН М.А. Ананян</b>	Генеральный директор Концерна "Наноиндустрия"
<b>Академик РАН А.Л.Асеев</b>	Директор Института физики полупроводников СО РАН, руководитель секции «Нанoeлектроника» Комиссии РАН по нанотехнологиям
<b>Академик РАН В.М. Бузник</b>	Главный научный сотрудник Института металлургии и материалов им. А.А.Байкова РАН, директор Инновационно- технологического центра РАН, секретарь семинара РАН по нанотехнологиям
<b>д.т.н. В.А.Быков</b>	Генеральный директор ЗАО «Нанотехнология МДТ»
<b>Академик НАНБ П.А.Витязь</b>	Первый заместитель Председателя Президиума НАН Беларуси

<b>Академик РАН В.Л.Гинзбург</b>	Лауреат Нобелевской премии, Советник РАН, Физический институт им.П.Н.Лебедева РАН
<b>Академик РАН И.В. Горынин</b>	Директор <u>Центрального научно-исследовательского института конструкционных материалов "Прометей"</u>
<b>Академик РАН Е.М. Дианов</b>	Руководитель секции наук о материалах отделения химии и наук о материалах РАН, руководитель семинара РАН по нанотехнологиям, член Бюро Комиссии РАН по нанотехнологиям
<b>С.С.Журова</b>	Заместитель председателя Государственной Думы, Чемпион Олимпийских игр – 2006
<b>Академик РАН Е.Н. Каблов</b>	Генеральный директор Всероссийского института авиационных материалов, руководитель секции «Наноматериалы» Комиссии РАН по нанотехнологиям
<b>канд. пед. наук И.И.Калина</b>	Заместитель Министра образования и науки РФ
<b>д.т.н. Ю.С. Карабасов</b>	Первый заместитель Председателя Комитета по образованию Государственной Думы РФ
<b>Академик РАН В.В.Козлов</b>	Вице-президент РАН, директор Математического института им. В.А.Стеклова, член Совета по науке, образованию и технологиям при Президенте РФ
<b>Академик РАН А.А.Кокوشин</b>	Первый заместитель председателя Комитета Государственной Думы РФ по науке и наукоемким технологиям,
<b>д.т.н. Б.Л.Красный</b>	Генеральный директор ЗАО «НТЦ «Бакор»
<b>член-корреспондент РАН М.В.Ковальчук</b>	И.о. вице-президента РАН, директор РИЦ "Курчатовский институт" и ИК РАН, зав. кафедрой «Физика наносистем» физического факультета МГУ, ученый секретарь Совета при Президенте РФ по науке, технологиям и образованию, член коллегии Министерства образования и науки
<b>Академик РАН Н.Т.Кузнецов</b>	Заведующий лабораторией Института общей и неорганической химии им. Н.С.Курнакова РАН, главный редактор журнала «Неорганическая химия»
<b>Академик РАН Г.А.Месяц</b>	Вице-президент РАН, директор ФИАН им. П.Н.Лебедева РАН
<b>к.э.н. Л.Б.Меламед</b>	Генеральный директор Государственной корпорации «Российские нанотехнологии»
<b>А.А.Мордашов</b>	Генеральный директор ОАО «Северсталь», член рабочей группы Правительственного Совета по нанотехнологиям
<b>Академик РАН О.М.Нефедов</b>	Руководитель Высшего химического колледжа РАН, Главный редактор журналов "Успехи химии", "Известия Академии наук, серия химическая," "Mendeleev Communications". Председатель Попечительского совета РХТУ им. Д.И.Менделеева.
<b>Академик РАН В.В. Осико</b>	Директор Научного центра лазерных материалов и технологий Института общей физики РАН
<b>Академик РАН В.Н. Пармон</b>	Директор <u>Института катализа им. Г.К. Борескова СО РАН</u> , член Бюро Комиссии РАН по нанотехнологиям
<b>Академик РАН и НАНУ Б.Е.Патон</b>	<u>Президент Национальной академии наук Украины</u>
<b>Академик РАН</b>	Президент Торгово-промышленная палаты РФ

<b>Е.М.Примаков</b>	
<b>М.Д. Прохоров</b>	Президент Группы ОНЭКСИМ
<b>Академик РАН П.Д. Саркисов</b>	Президент РХТУ им. Д.И.Менделеева
<b>Академик РАН К.А.Солнцев</b>	Заместитель Президента РАН, директор Института металлургии и материалов им. А.А.Байкова РАН
<b>профессор М.Н.Стриханов</b>	Ректор Московского инженерно – физического института, заместитель директора Департамента государственной научно - технической и инновационной политики Министерства образования и науки Российской Федерации
<b>Академик РАН В.А.Тартаковский</b>	И.о. академика-секретаря отделения химии и наук о материалах РАН, член Бюро Комиссии РАН по нанотехнологиям
<b>член – корреспондент РАН И.Б. Федоров</b>	Ректор МВТУ им. Н.Э.Баумана, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, Президент Ассоциации технических университетов РФ
<b>Академик РАН А.Ю. Цивадзе</b>	Директор Института физической химии и электрохимии им. А.Н.Фрумкина РАН, главный редактор журнала "Коррозия; защита и материалы", член Президиума Российского химического общества им. Д.И.Менделеева
<b>Академик РАН В.А. Черешнев</b>	Председатель Комитета по науке и наукоемким технологиям Госдумы РФ, председатель УрО РАН
<b>Академик РАН В.Я.Шевченко</b>	Директор Института химии силикатов имени И.В.Гребенщикова РАН, главный редактор журнала «Физика и химия стекла»

*Спонсоры Олимпиады:* [Группа ОНЭКСИМ](#) совместно с ГК "Норильский Никель" при поддержке [Российской Академии Наук](#) и Национальной Инновационной Компании «[Новые энергетические проекты](#)», Государственная корпорация «[Российские нанотехнологии](#)», компании [NT MDT](#), [ОАО "Сибур холдинг"](#), [Tokyo-Boeki](#), ЗАО «[НТЦ Бакор](#)».

*Информационная поддержка:* [НТ-Информ](#), [CNEWS](#), [Центр СМИ МГУ](#), «[Альтернативная энергетика и экология](#)», «[Водород](#)», «[Поиск](#)», «[Российские Нанотехнологии](#)», «[Наноиндустрия](#)», "[NanoNewsNet](#)", «[Популярная механика](#)», «[Наука и жизнь](#)», «[Информнаука](#)», «[Информика](#)», «[Химик](#)», «[Алхимик](#)», «[Открытая экономика](#)», «[Cooler](#)».

## Календарь событий

### Олимпиада 2007 г.

**30 мая** - окончание регистрации участников Первой Всероссийской Интернет-олимпиады.

**31 мая** – рассылка информационного сообщения и инструкций к решению задач, проверка на сайте [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru) правильности регистрации в [списке участников \(http://www.nanometer.ru/olymp.html\)](http://www.nanometer.ru/olymp.html). Если Вы не обнаружили себя в списке участников, зарегистрируйтесь (это будет также возможно и 31 мая для тех, кому не удалось этого сделать до 30 мая) или обращайтесь 30-31 мая в службу поддержки [support@nanometer.ru](mailto:support@nanometer.ru). "Самопроверка" будет продолжаться **в течение 31 мая**.

**1 июня** – публикация на сайте [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru) **15 задач** Олимпиады и начало основного тура решения задач. Все участники получают доступ к электронной форме, в которой можно будет давать и многократно редактировать ответы вплоть до 7 июня. По всем

возникающим техническим вопросам, связанным с оформлением решений, следует обращаться по электронной почте [support@nanometer.ru](mailto:support@nanometer.ru).

**Почтой и факсом решения не принимаются!**

**7 июня** (до 24 часов по Московскому времени) – окончание приема решений. С 8 июня решения не принимаются ни в каком виде, а все участники, не приславшие решения вовремя, исключаются из рассмотрения.

**8-20 июня** – проверка заданий, в этот период жюри будет выставлять оценки предложенным решениям и, в ряде случаев, давать комментарии оценок. После получения оценки за задание Вы сможете подать апелляцию (прокомментировать оценку).

**21-25 июня** – формирование списка победителей и публикация решений задач.

**27 июня** – торжественное награждение победителей в МГУ им. М.В.Ломоносова и закрытие Олимпиады.

## Олимпиада 2008 г.

до **5 апреля** включительно - [регистрация](#) участников Олимпиады на сайте Нанометр

с **6 по 11 апреля** – заочный тур Олимпиады для школьников на сайте Нанометр (участие в этом туре засчитывается только школьникам)

с **12 по 20 апреля** – заочный тур Олимпиады на сайте Нанометр, рассчитанный на всех участников не старше 27 лет

**30 апреля** – объявление результатов заочного тура;

с **15 по 16 мая** – очный тур Олимпиады с общими заданиями для всех участников – победителей первого тура (включая школьников) в [МГУ](#);

**16 мая** – публичная церемония торжественного награждения победителей Олимпиады в МГУ.

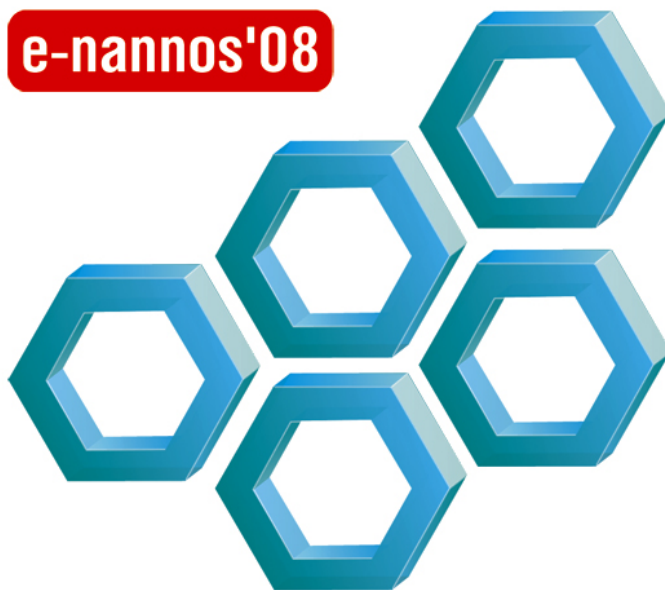
## Символика Олимпиады



Эмблема Олимпиады 2007.



**e-nannos'08**



Нанотехнологии – прорыв в будущее!



Победители конкурса эмблем 2008 г.





Форма дипломов Олимпиады – 2008 г.



Папка участника очного тура с символикой Олимпиады (брошюры и значки)



Банковская карточка с символикой Олимпиады для перечисления призов победителям, призерам и лауреатам

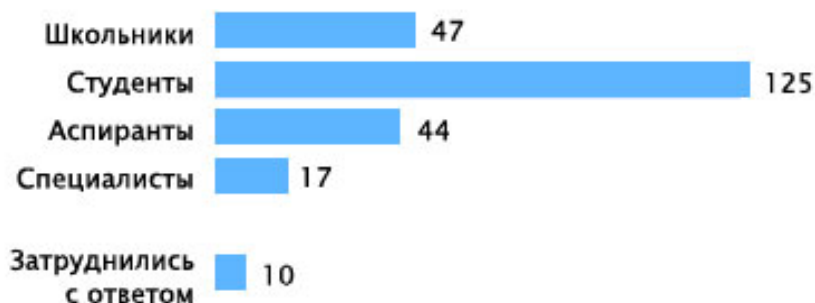
## Статистика Олимпиады

### Данные об участниках интернет – олимпиады (2007 г.)

Для участия в олимпиаде зарегистрировалось **1063** человека, в качестве активных участников выступали **243** человека, то есть около 23% от числа зарегистрировавшихся.  
*Юношей оказалось в 2,5 раза больше чем девушек:*



*Из них больше половины составили студенты вузов:*



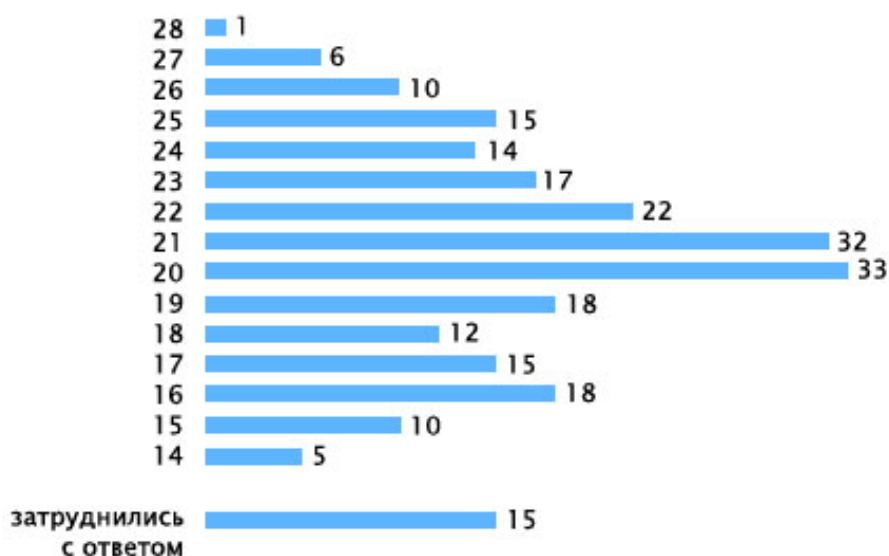
*Олимпиада получилась международной*



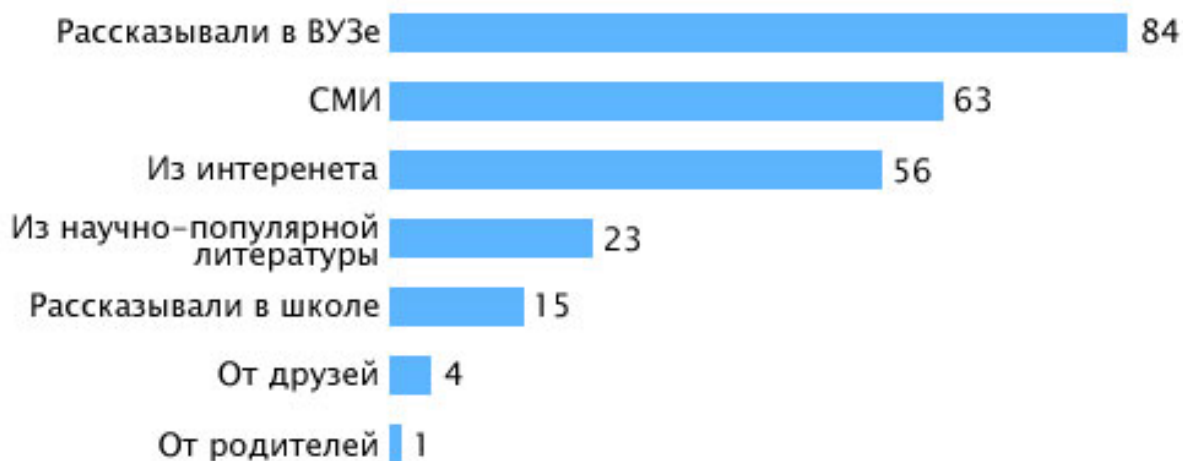
**и с очень широкой географией:**

Абакан:	1 Калининград:	1 Рязань:	1
Аликанте:	1 Керчь:	1 Самара:	1
Алматы:	3 Киев:	1 Самарканд:	1
Архангельск:	1 Ключи-1:	1 Санкт-Петербург:	13
Астрахань:	2 Королёв:	1 Саратов:	5
Баку:	1 Краснодар:	1 Саров:	2
Балашиха:	1 Красноярск:	1 Северск:	1
Барнаул:	2 Лабытнанги:	1 Сулгаччы:	1
Белорецк:	1 Ловокумское:	2 Сургут:	1
Бингхэмптон:	1 Липецк:	1 Сухум:	1
Брянск:	1 Львов:	1 Сызрань:	1
Великие Луки:	1 Люберцы:	1 Сыктывкар:	1
Великий Новгород:	1 Махачкала:	1 Таганрог:	3
Владивосток:	3 Минск:	5 Тамбов:	2
Волжский:	1 Москва:	83 Ташкент:	1
Волоколамск:	1 Нальчик:	1 Тель-Авив:	1
Воронеж:	1 Новосибирск:	15 Томск:	2
Глубокий:	1 Новочеркасск:	1 Тула:	1
Гулькевичи:	1 Новый Уренгой:	1 Улан-Удэ:	3
Долгопрудный:	2 Обнинск:	2 Ханты-Мансийск:	1
Дубна:	2 Омск:	2 Харьков:	1
Екатеринбург:	5 Оренбург:	1 Цюрих:	1
Железногорск:	1 Орск:	1 Чебоксары:	1
Зеленоград:	2 Пенза:	1 Челябинск:	1
Ижевск:	1 Пермь:	3 Черкассы:	1
Иркутск:	1 Петрозаводск:	1 Черногородка:	2
Йошкар-Ола:	1 Петропавловск:	2 Элиста:	1
Казань:	1 Рига:	1 Юбилейный:	1
Кайзерслаутерн: 1	Ростов-На-Дону: 4	Ярославль: 1	

**Средний возраст участника оказался равным 20,5 лет**



**Откуда Вы слышали о наноматериалах и нанотехнологиях?**  
(многие слышали сразу из нескольких источников)



**Скажется ли и как скоро внедрение наноматериалов и нанотехнологий на Вашей жизни?**

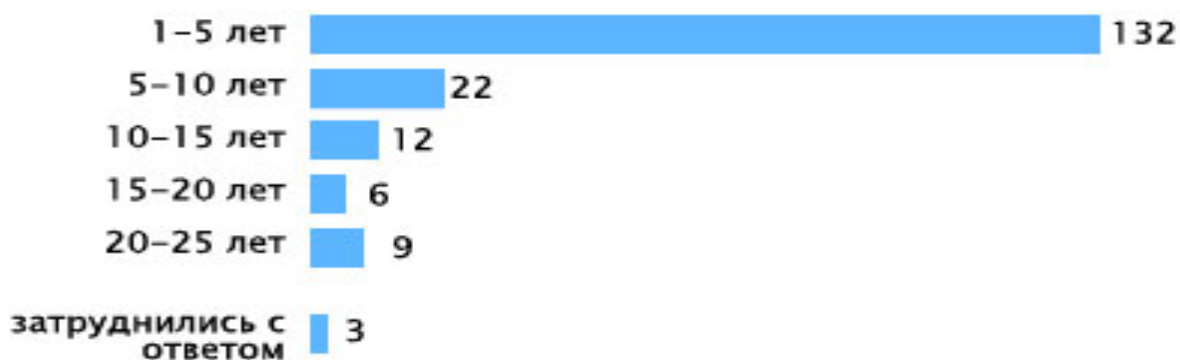
не скажется - 1

скажется, но не сильно - 1

скажется - 180

затруднились с ответом - 2

**внедрение скажется через**



**Хотели бы Вы посвятить карьеру нанотехнологиям и в какой области их приложения?**

Да - 166

Нет - 5

Не знаю - 13

Те, кто сказали "Да", планируют делать карьеру в следующих областях::

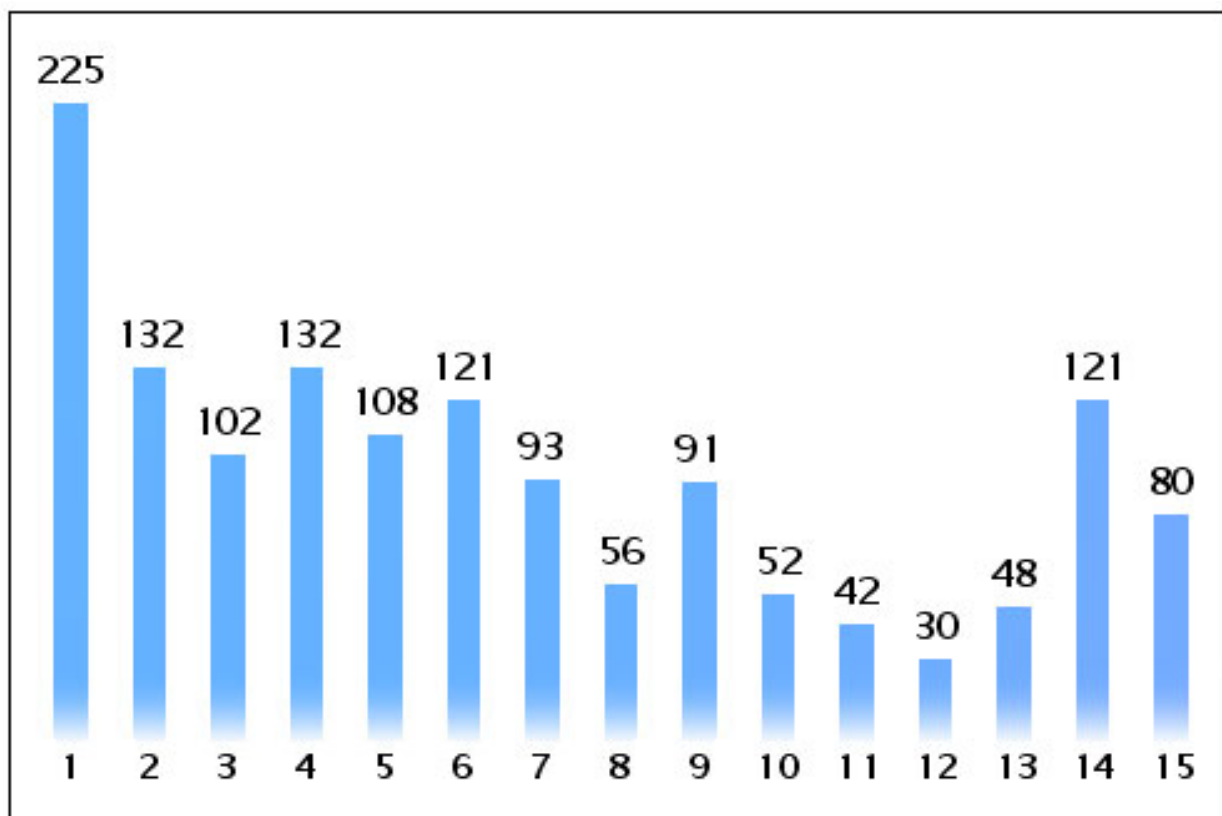


### Что бы Вы хотели узнать о нанотехнологиях и наноматериалах?

Самый популярный ответ был "хочу знать все", но поскольку все знать сложно, то мы выделили все-таки некоторые наиболее интересные для вас области:



Представить ответы на вопросы олимпиады попыталось 243 человека. Но не каждый нашел возможность ответить на все вопросы. Ниже приведен график количества решений для каждой задачи:



## Статистика Олимпиады 2008 г.:

**В Олимпиаде принимало участие 2373 зарегистрированных участника из около 20 государств СНГ и дальнего зарубежья, более 170 городов и населенных пунктов Российской Федерации, среди которых 27,5% составляют школьники в возрасте от 11 лет; 52% - студенты; 12,5% - аспиранты; 4% - молодые ученые в возрасте до 27 лет; 4% - прочие участники.**

Олимпиада состояла из заочного школьного и основного туров, включавшего более 50 задач по 5 основным блокам «нанохимия и наноматериалы», «физика наносистем», «биология и наномедицина», «конструкционные и строительные материалы», «наноматериалы в альтернативной энергетике», творческие конкурсы (эссе, конкурс инновационных идей, кроссворд-гlossарий), а также очно-экспериментального тура, прошедшего в Московском Государственном Университете и включавшего компьютерный тест-викторину и работу на сканирующих зондовых микроскопах компании НТ МДТ. Задания были опубликованы на официальном сайте Олимпиады [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru). Жюри Олимпиады, в состав которого входят профессора и преподаватели факультета наук о материалах, химического, биологического, физического факультетов МГУ, институтов Российской Академии наук результате проверки решений расчетных и творческих задач и апелляции было отобрано 30 российских и 8 зарубежных участников - талантливых юношей и девушек, которые были названы победителями и призерами Олимпиады.



Категории участников



Страны происхождения участников



## Задания олимпиады и их решения

### Примеры заданий 2007 г.

**1. «Честность и справедливость»** (максимум 5 баллов, задание для всех, авторы задания – к.х.н. И.В.Гольдт, Самсунг, и проф. Е.А.Гудилин, Химфак-ФНМ МГУ):

*В одном из фильмов с актером-единоборцем Джеки Чаном герой фильма выясняет “Who am I?” («Кто я?»). Интернет – олимпиада не подразумевает в этом году очного общения с участниками (за исключением процедуры награждения призеров), но нам хотелось бы все же узнать, кто Вы. Пожалуйста, сообщите правдивую информацию о себе и Ваше мнение о наноматериалах и нанотехнологиях. Это самая простая задача. Зачем терять баллы, если каждый из них может оказаться решающим?*

**Сведения об участнике:** логин при регистрации, ФИО (полностью), страна, регион, организация (в том числе, для школьников – номер школы, для студентов и аспирантов -институт, кафедра), адрес организации, сайт организации, класс / курс / год обучения (для школьников, студентов или аспирантов), ФИО и телефон учителя / куратора / научного руководителя, телефон для связи, почтовый адрес для переписки, адреса электронной почты для связи (альтернативные).

#### Минианкета

1. Откуда Вы слышали о наноматериалах и нанотехнологиях?
2. Скажется ли и как скоро внедрение наноматериалов и нанотехнологий на Вашей жизни?
3. Хотели бы Вы посвятить карьеру нанотехнологиям и в какой области их приложения?
4. Что бы Вы хотели узнать о нанотехнологиях и наноматериалах?



**Обработка данных анкетирования дана выше в разделе статистики Олимпиад**

**2. «Подтемы эмблемы»** (максимум 5 баллов, задание для всех, автор доц. А.В.Лукашин, ФНМ МГУ)

Обычно эмблемы различных соревнований имеют определенный смысл. Мы попытались сделать эмблему Олимпиады в качестве «героя» будущей задачи, вложив в ее название и графические элементы определенное историческое содержание. Предложите объяснение взаимосвязи графической части эмблемы олимпиады и ее названия e-NANOS (3 балла). Что именно, как Вам кажется, изображено на заднем фоне эмблемы и каким методом могло быть получено это изображение (2 балла)?



Эмблема олимпиады. В чем ее "секреты"?

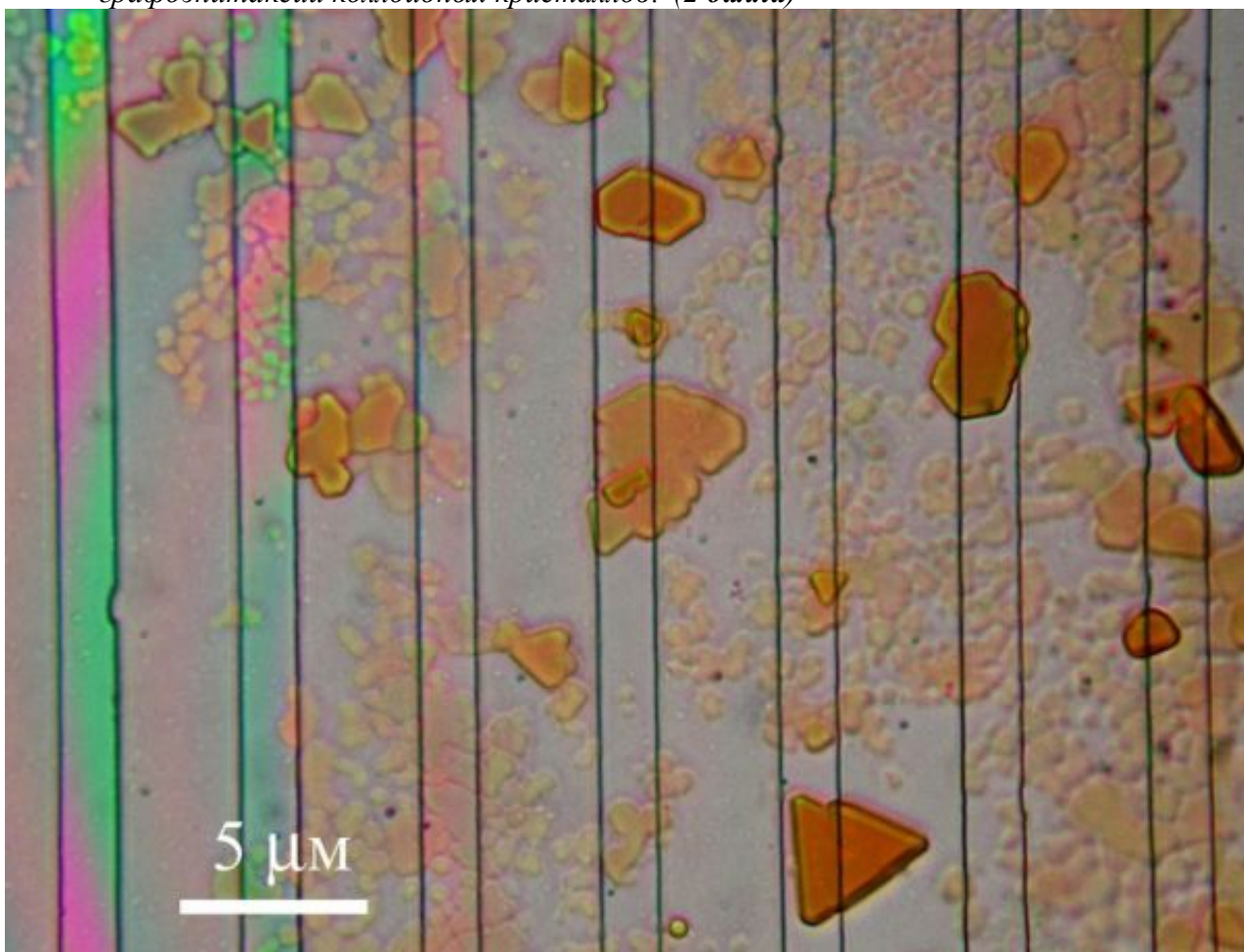
**Типичное решение**

Приставка «nano» («нано») - произошла от греческого слова «nannos», что означает карлик. На эмблеме изображён не просто карлик, а гном (есть длинная борода, кирка, кольчуга). Гномы - хранители кладов, они неохотно уступают свои сокровища людям с корыстными помыслами. В данном случае клад гнома - нанотехнологическое знание. Изображение на заднем плане получено методом атомно-силовой микроскопии. На изображении видны отверстия диаметром около 40 нм. Возможно это система упорядоченных пор, которые перпендикулярны поверхности. Такую структуру можно получить, например, анодным окислением алюминия.

**3.«Сверхрешетка»** (максимум 5 баллов, студенческий уровень, автор асп. Л.Бурова, ФНМ МГУ, дополнительные задания – проф. Е.А.Гудилин, Химфак-ФНМ МГУ)

Достаточно часто наночастицы могут самопроизвольно формировать пространственно-упорядоченные агрегаты - «сверхрешетки» - и даже видимые невооруженным глазом коллоидные кристаллы достаточно большого объема (по сравнению с объемом частицы). Предположим, что сверхрешетка состоит из сферических наночастиц: **A**, которые образуют гранецентрированную кубическую плотноупакованную решетку, и **B**, меньших по размеру, которые занимают 25 % тетраэдрических пустот в плотноупакованной структуре наночастиц **A**.

1. Напишите эмпирическую формулу для сверхрешетки ( $AB_n$ ) (1 балл)
2. Каково должно быть оптимальное соотношение между диаметрами **A** и **B** для создания такой сверхрешетки? (2 балла)
3. Каковы, на Ваш взгляд, причины возникновения ориентации отдельных коллоидных кристаллов на рисунке относительно элементов искусственного рельефа (канавок) – графозпитаксии коллоидных кристаллов? (2 балла)



"Графозпитаксия" коллоидных кристаллов, образуемых квантовыми точками селенида кадмия

**Типичное решение**

А) В ГЦК решетке на каждый «атом» **A** приходится одна октаэдрическая и две тетраэдрические пустоты. Если одна четверть из этих пустот заполнена атомами **B**, то состав можно выразить брутто-формулой  $A_2B$  или  $AB_{0,5}$ .

Б) Наночастица **B** должна полностью уместиться в тетраэдрической пустоте. Рассмотрим в заполненной тетраэдрической пустоте треугольник **ABA**: стороны **AB** равны сумме радиусов **A** и **B** ( $R+r$ ); сторона **AA** равна 2 радиусам **A** ( $2R$ ); угол **ABA** равен 109 градусов

28 минут, тогда угол ВАА равен  $(180-109.46)/2=35,27$ .  $\cos(35,27) = R/R+r$ ;  $0,816r=0,184R$ ;  $r/R=0,22$ . Более подробное альтернативное объяснение: наночастицы типа А максимально приближены друг к другу, т.к. это плотноупакованная структура, а наночастицы типа В равноудалены от наночастиц типа А, составляющих тетрапору. Рассмотрим сечение основания тетраэдра. Центры трех сферических частиц А составляют равносторонний треугольник, в центре которого находится проекция центра частицы В. Пусть радиус наночастицы А равен а, тогда сторона равностороннего треугольника равняется 2а, а расстояние от центра частицы А до проекции центра частицы В равно  $a/\cos 30^\circ$  и составляет  $2a/(3^{1/2})$ . Рассмотрим сечение в плоскости, проходящей через одно ребро тетраэдра и центры соседних граней. Ребро тетраэдра равно 2а, так как сферические частицы А касаются друг друга именно в середине ребер, а длины двух других сторон треугольника равны  $a*3^{1/2}$  (расстояние от центра частицы А до проекции центра частицы В составляет 2/3 от длины стороны треугольника, т.к. центр частицы В (обозначим S)- центр тяжести треугольника в основании тетраэдра, в котором медианы пересекаются в отношении 2:1, считая от вершины). Найдем медиану тетраэдра  $AS = 2*(2^{1/3}/3)*a$ . Медианы в тетраэдре пересекаются в одной точке и делятся в отношении 3:1 считая от вершины. Тогда сумма радиусов  $a + b = 3/4 AS$ ,  $a + b = (3^{1/3}/2)*a$ ,  $b = a((\sqrt[3]{3/2}) - 1) = 0,22a$ , то есть оптимальное соотношение между диаметрами составляет  $d_B : d_A = 0,22 : 1$ .

В) Преимущественная ориентация граней коллоидных кристаллов связана с преимущественной ориентацией осей элементарной ячейки решетки относительно канавок рельефа. Предложим возможный механизм, объясняющий причины этого явления. Из теории кинетики роста кристаллов известно, что при малых степенях пересыщения скорость-лимитирующим процессом является образование затравки – кристалла наименьшего размера, с равной вероятностью способного к дальнейшему росту или распаду на составляющие его частицы. Данный процесс можно рассматривать как энергетический барьер на пути образования кристалла. Также известно, что образование затравок меньшей размерности более выгодно, т.е. энергетический барьер на пути гетерогенного образования одномерного зародыша меньше такового для гетерогенного образования двумерного зародыша, который в свою очередь меньше барьера гомогенного образования трехмерной затравки. Следовательно, первичным процессом образования кристалла будет процесс выстраивания одномерной цепочки квантовых точек вдоль границы стенки и дна канавки. Данная цепочка является зародышем для роста двумерного кристалла на поверхности подложки, построенного по принципу слоя ПШУ. Одновременно с ростом двумерного кристалла на его границе со стенкой канавки начинается процесс роста второго слоя частиц. Результатом данного процесса является ориентация оси симметрии ячейки второго порядка параллельно стенке канавки и оси симметрии ячейки третьего порядка перпендикулярно поверхности. К другим причинам графоэпитаксии относятся: различного рода эффекты смачивания, распределения поверхностного натяжения, мениска, перераспределение компонентов (в случае нескольких сортов наночастиц), капиллярные явления, возникновение дополнительных напряжений при кристаллизации, взаимодействие с внешними полями (например, плотность-гравитационное поле; поляризация-электрическое поле).

**4. «Дендримеры – искусственные фотоантенны»** (максимум 10 баллов, задание для всех, автор проф. В.В.Еремин, Химфак МГУ)

Помните ли вы, чем грозили ужасные, зловередные семена баобабов планете Маленького Принца из сказки Антуана де Сент-Экзюпери? Один лентяй на своей планете не выполол вовремя всего три кустика баобабов и... согласно сказке из этих кустиков выросли огромные деревья, которые завладели всей планетой и разорвали ее. Дендримеры, конечно же, не столь ужасны и даже полезны, хотя само слово «дендример» и происходит от греческого: «*dendron*» - дерево. Дендримеры относятся к классу полимерных соединений, молекулы которых имеют большое число разветвлений. При их получении с каждым элементарным актом роста молекулы количество разветвлений увеличивается. В результате, с увеличением молекулярной массы таких соединений изменяются форма и жесткость молекул, что, как правило, сопровождается изменением физико-химических свойств дендримеров, таких как характеристическая вязкость, растворимость, плотность и др.

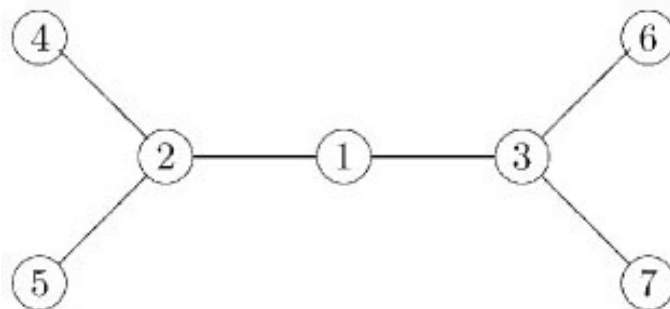
Одни из наиболее эффективных природных наноструктур – светособирающие фотоантенны, которые играют ключевую роль на ранних стадиях фотосинтеза. Антенны состоят из нескольких десятков пигментов порфиринового типа, находящихся в белковом окружении. При поглощении света антенна переходит в возбужденное состояние и направляет полученную энергию к реакционному центру фотосинтеза, где она используется для последующих окислительно-восстановительных реакций.

В искусственных фотосинтетических устройствах роль фотоантенн играют супермолекулы-дендримеры, имеющие иерархическую структуру. Рассмотрим один из классов дендримеров. Молекулы этого класса состоят из одного реакционного центра (РЦ) и некоторого количества пигментов, причем РЦ соединен с двумя пигментами, а каждый пигмент (кроме внешних) – с тремя соседями.

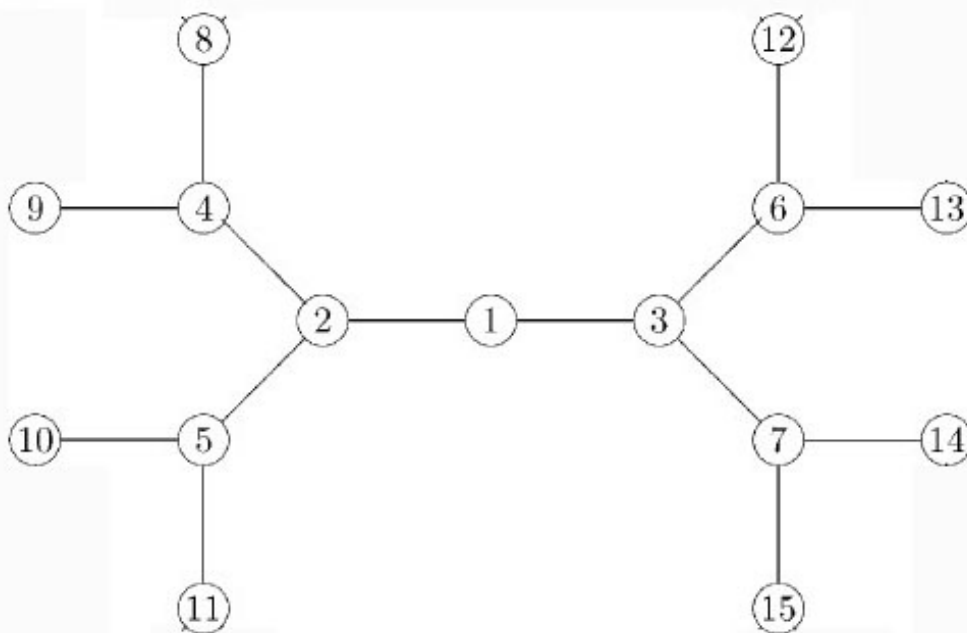
1. Сколько пигментов включает дендример  $n$ -го поколения? (2 балла)
2. Будем считать, что при поглощении света с равной вероятностью возбуждается любой из пигментов, а миграция энергии происходит только в сторону РЦ по кратчайшему пути, причем время миграции между любыми двумя элементами структуры – одно и то же, обозначим его символом  $t$ . Рассчитайте среднее время, за которое возбуждение дойдет до РЦ в дендримере  $n$ -го поколения. (2 балла)
3. При миграции энергии от пигментов к РЦ часть энергии теряется. Эффективность фотоантенны определяется долей энергии, дошедшей от исходного возбужденного пигмента до РЦ. Пусть доля энергии, которая передается на каждом шаге, равна  $p$  ( $p = 1$ ). Рассчитайте среднюю эффективность дендримера  $n$ -го поколения, считая, что все маршруты миграции энергии равновероятны. (2 балла)
4. Пусть пигменты – это бензольные кольца, соединенные тройной связью. Сколько поколений пигментов уместятся в супермолекуле диаметром 10 нм, если диаметр РЦ составляет 4 нм (размерами РЦ пренебрегаем)? Каково среднее время возбуждения РЦ в такой молекуле, если  $t = 5$  пс? Чему равна эффективность такого дендримера, если  $p = 0.95$ ? (4 балла)



Баобабы, разрывающие корнями небольшую планету (сказочн.)



Дендример 2-го поколения. 1 – реакционный центр.



Дендример 3-го поколения. 1 – реакционный центр.

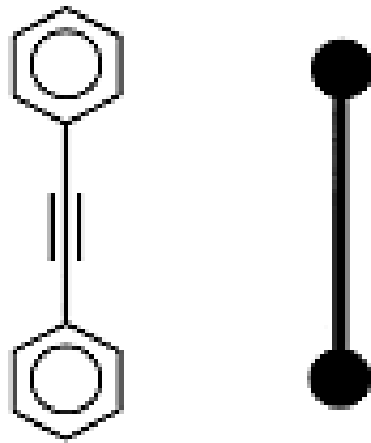


Схема строения "пигмента"

### Авторское решение

1.  $n$ -е поколение –  $2^n$  пигментов.

2. Время по пути от пигмента  $m$ -ого поколения равно  $mt$ . Среднее время по всем пигментам ( $n$  поколений):

$$\langle t \rangle = \frac{\sum_{m=1}^n mt2^m}{\sum_{m=1}^n 2^m} = \frac{2^n(n-1)-1}{2^n-1}t$$

При больших  $n$ ,  $\langle t \rangle \rightarrow (n-1)t$

3. На маршруте длиной  $mt$  (от пигмента  $m$ -го поколения до РЦ) доля переданной РЦ энергии составляет  $p^m$ , число таких маршрутов равно числу пигментов, то есть  $2^m$ . Средняя доля энергии, дошедшей до РЦ:

$$\langle E \rangle = \frac{\sum_{m=1}^n p^m 2^m}{\sum_{m=1}^n 2^m} = \frac{(2p)^{n+1} - 2p}{(2p-1)(2^{n+1} - 2)} = \frac{p}{2p-1} \frac{(2p)^n - 1}{2^n - 1}$$

С увеличением размера молекул дендримеров скорость и эффективность передачи энергии уменьшаются.

4. Расстояние между центрами бензольных колец составляет:

$$r = 2 \cdot 0.140 + 2 \cdot 0.154 + 0.120 = 0.708 \text{ нм}$$

(0.140 нм – радиус бензольного кольца, 0.154 нм – длина одинарной, 0.120 нм – длина тройной связи). За два поколения расстояние между РЦ и граничным пигментом увеличивается на  $1.5r$ , то есть на 1 нм. На расстоянии  $(10-4)/2 = 3$  нм уместятся 3 пары, то есть 6 поколений пигментов.

Среднее время переноса:

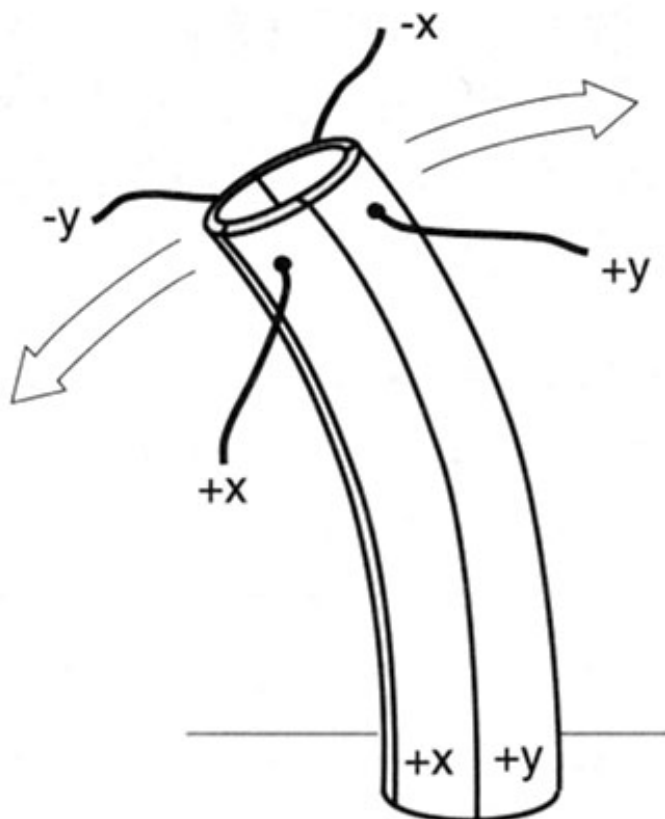
$$\langle t \rangle = \frac{2^6(6-1)-1}{2^6-1} \cdot 5 = 25 \text{ пс.}$$

Средняя эффективность:

$$\langle E \rangle = \frac{0.95}{2 \cdot 0.95 - 1} \frac{(2 \cdot 0.95)^6 - 1}{2^6 - 1} = 0.77$$

**5. «Сердце атомно-силового микроскопа»** (максимум 10 баллов, студенческий уровень, автор проф. Е.А.Гудилин, Химфак-ФНМ МГУ)

Альфа – кварц – самый известный пьезоэлектрик, в котором прикладываемое напряжение вдоль определенных граней кристалла вызывает его направленную деформацию. Это явление лежит в основе работы пошаговых двигателей, кварцевых резонаторов и пр. Однако при использовании поликристаллического материала (керамики), полученного из кварца, суммарное перемещение будет равно нулю, так как при случайной ориентации кристаллитов суммарный вектор, складывающийся из отдельных хаотических векторов перемещений, будет ничтожно мал. Титанат бария – тоже пьезоэлектрик, однако керамическая трубка из твердых растворов на основе  $BaTiO_3$  может служить сердцевиной пьезодвигателя зонда. Опишите кристаллическую структуру альфа-кварца и титаната бария (1 балл). В чем принципиальная разница между этими материалами (1 балл)? Как именно нужно «обработать» керамический титанат бария, чтобы керамическая деталь смогла работать в самом сердце атомно-силового микроскопа (5 баллов)? В чем причина так называемого «крипа» при получении АСМ изображений (3 балла)?



Схематическое изображение пьезотрубки





*Сканирующий зондовый микроскоп NT-MDT NTEGRA Aura (NT-MDT, Россия)*

### **Решение**

$\alpha$ -кварц ( $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>) образует каркасную кристаллическую структуру с гексагональной элементарной ячейкой, обладающую параметрами:  $a = 4.91 \text{ \AA}$ ,  $c = 5.40 \text{ \AA}$ ,  $Z = 3 (\text{SiO}_2)$ ,  $V = 113 \text{ \AA}^3$ . (пространственная группа  $P3_121$ ). Основным мотивом заполнения являются тетраэдры [SiO<sub>4</sub>], каждый атом О одновременно является вершиной двух тетраэдров (рис.1, вид структуры правовращающего  $\alpha$ -кварца вдоль оси  $z$ ). В структуре  $\alpha$ -кварца можно выделить несколько уровней структурной организации. Тройки тетраэдров образуют однократные спирали, параллельные оси  $z$  (рис.2). На более высоком уровне организации каждый тетраэдр участвует в образовании двух трехкратных и двух шестикратных спиралей, обладающих противоположной закрученностью (рис.3). Спирали образуют каналы в структуре кварца, сама структура (Рис.4) обуславливает наличие двух энантиомерных модификаций – право- и левовращающей.  $\alpha$ -кварц – пьезоэлектрик.

Титанат бария (BaTiO<sub>3</sub>) имеет пять полиморфных модификаций: ромбоэдрическую, ромбическую, тетрагональную, кубическую и гексагональную. При обычных условиях стабильной является тетрагональная структура ( $a = 3.99 \text{ \AA}$ ,  $c = 4.04 \text{ \AA}$ ,  $V = 64.4 \text{ \AA}^3$ , пространственная группа  $P4mm$ ), имеющая искаженную структуру перовскита (рис.5). Атом Ti может смещаться внутри кислородных октаэдров на огромные величины  $\sim 0.013 \text{ \AA}$ . Титанат бария – (многоосный) сегнетоэлектрик, то есть может «разбиваться» при определенных условиях (ниже температуры Кюри) на сегнетоэлектрические домены, в результате чего возникающая спонтанная поляризация не приводит к возникновению макроскопически разделенных зарядов. В зависимости от того, какая из кристаллических модификаций охлаждена ниже температуры Кюри, возникшие домены симметрично располагаются по принципу «глова к хвосту» так, чтобы «замкнуть», компенсировать электрическое поле. Неискаженная кубическая модификация титаната бария, имеющая центр инверсии, не является сегнетоэлектриком. Сегнетоэлектрики являются подклассом

пьезоэлектриков, то есть далеко не все пьезоэлектрики могут одновременно быть и сегнетоэлектриками, однако все сегнетоэлектрики – это пьезоэлектрики.

Пьезоэлектрический эффект – явление возникновения электростатических зарядов под действием механических напряжений, причем величина этих зарядов обычно пропорциональна механическому напряжению и меняют знак вместе с ним, исчезая при его снятии. Наряду с прямым существует обратный пьезоэлектрический эффект, заключающийся в возникновении механических деформаций материала под действием приложенного к нему электрического поля, причем величина механической деформации пропорциональна напряженности электрического поля. Пьезоэлектрический эффект появляется только в том случае, когда упругая деформация кристалла сопровождается изменением взаимного положения структурных элементов элементарной ячейки кристалла, вызывая в силу такого перемещения возникновение дипольных моментов и затем макроскопической электрической поляризации. В структурах, имеющих центр симметрии, деформация не может нарушить внутреннее равновесие кристаллической решетки, и, следовательно, пьезоэлектрическими свойствами обладают только материалы, в кристаллической ячейке которых отсутствует центр симметрии. Отсутствие центра симметрии является необходимым, но недостаточным условием существования пьезоэлектрического эффекта. Пьезоэлектрические эффекты не могут наблюдаться в твердых порошкообразных материалах, так как частицы порошка имеют случайную ориентацию. Именно по этой причине поликристаллический кварц не обладает свойствами пьезоэлектрика.

По тем же самым причинам поликристаллический титанат бария без специальной обработки также не может работать в качестве пьезоэлектрика. Однако различие между титанатом бария и  $\alpha$ -кварцем заключается в том, что первый является сегнетоэлектриком (и поэтому и пьезоэлектриком тоже), а последний – не сегнетоэлектрик, а «только» пьезоэлектрик. Рассмотрим подробнее процесс спонтанной поляризации титаната бария. Маленький  $Ti^{4+}$  в кислородных октаэдрах имеет некоторую «свободу» перемещения в кислородном октаэдре путем проскока через метастабильное симметричное положение в центре октаэдра в равновесное положение «вверху» или «внизу» искаженного октаэдра (бистабильная система). При достаточно высоких температурах тепловая энергия иона титана достаточна для того, чтобы он непрерывно мигрировал внутри кислородного октаэдра, поочередно приближаясь то к одному, то к другому концу октаэдра. Усредненное положение иона титана находится в центре октаэдра, поэтому элементарная ячейка является симметричной – кубической.

Понижение температуры ведет к снижению тепловой энергии колебаний титана, и ниже температуры Кюри он локализуется ближе к одному из концов кислородного октаэдра. В результате элементарная ячейка приобретает дипольный момент. Тем не менее, макроскопически материал не становится однородно поляризованным, а состоит из доменов – областей с различными направлениями спонтанной поляризации. Таким образом, при отсутствии внешних воздействий суммарный электрический дипольный момент образца в целом практически равен нулю.

Для того, чтобы поликристаллический образец титаната бария приобрел свойства пьезоэлектрика, его необходимо поместить в сильное внешнее электрическое поле. Во внешнем электрическом поле домены, направление поляризации которых совпадает с направлением поля, имеют более низкую энергию. Происходит процесс смещения доменных границ, домены, поляризованные по полю, растут за счет доменов, поляризованных против поля: микросталл  $BaTiO_3$  целиком поляризуется по полю и становится однодоменным. Если говорить точнее, они получают так называемую сегнетоэлектрическую текстуру, сохраняющуюся частично после снятия поля, поскольку для титаната бария достаточно велика остаточная поляризация, а для того, чтобы образец вновь приобрел равное количество противоположно направленных доменов, необходимо приложить «разъэлектризующее» поле, равное величине так называемой коэрцитивной

силы (сегнетоэлектрики характеризуются гистерезисом поляризации, поскольку для «перезлектризации» доменов необходимо совершить работу за счет внешних сил). Для ускорения процесса создание пьезоэлектрической текстуры его проводят следующим образом: нагревают керамическую пьезотрубку выше температуры Кюри, помещают в сильное внешнее электрическое поле (около 3 кВ/см), а затем медленно охлаждают.

Крип-эффект (от англ. creep - ползти, медленно продвигаться) заключается в запаздывании реакции (изменении размеров) на изменение величины управляющего электрического поля. На рис. 6 схематически показаны приложенное напряжение и размер пьезоэлектрика в зависимости от времени. Из рисунка видно, что изменение напряженности электрического поля характеризуется быстрым первичным изменением размеров образца, однако затем наступает фаза медленного изменения его размера. Крип всегда наблюдается в направлении, совпадающем с направлением основного изменения размера. Типичные величины крипа варьируются от 1 до 20% с характерными временами релаксации 10-100 секунд. Возможное объяснение крип-эффекта заключается в том, что реальный пьезоэлектрик всегда частично деполяризован – имеется небольшая часть доменов с поляризацией против поля. Переход  $-180^\circ \rightarrow +180^\circ$  происходит через энергетически невыгодную  $90^\circ$  поляризацию, приводя к запаздыванию отклика пьезокерамики.

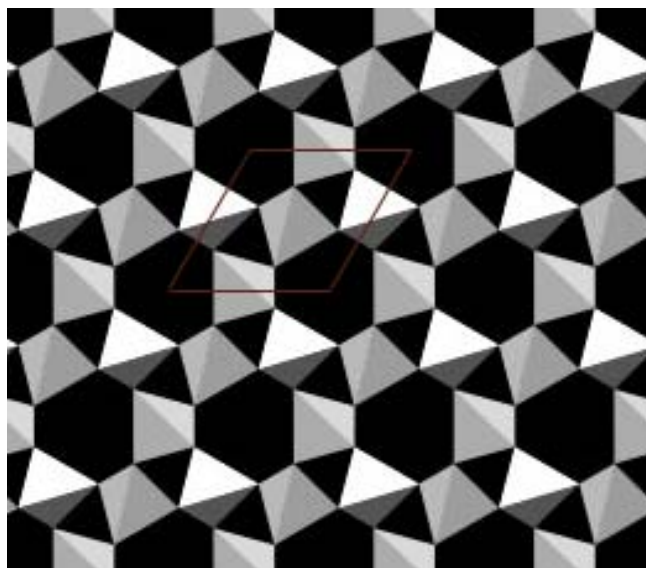


Рис.1. Вид структуры правовращающего  $\alpha$ -кварца вдоль оси z.

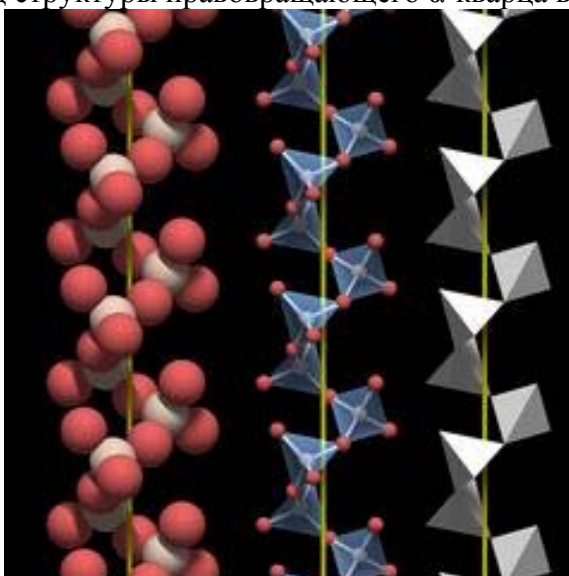


Рис.2. Строение единичной спирали в структуре  $\alpha$ -кварца

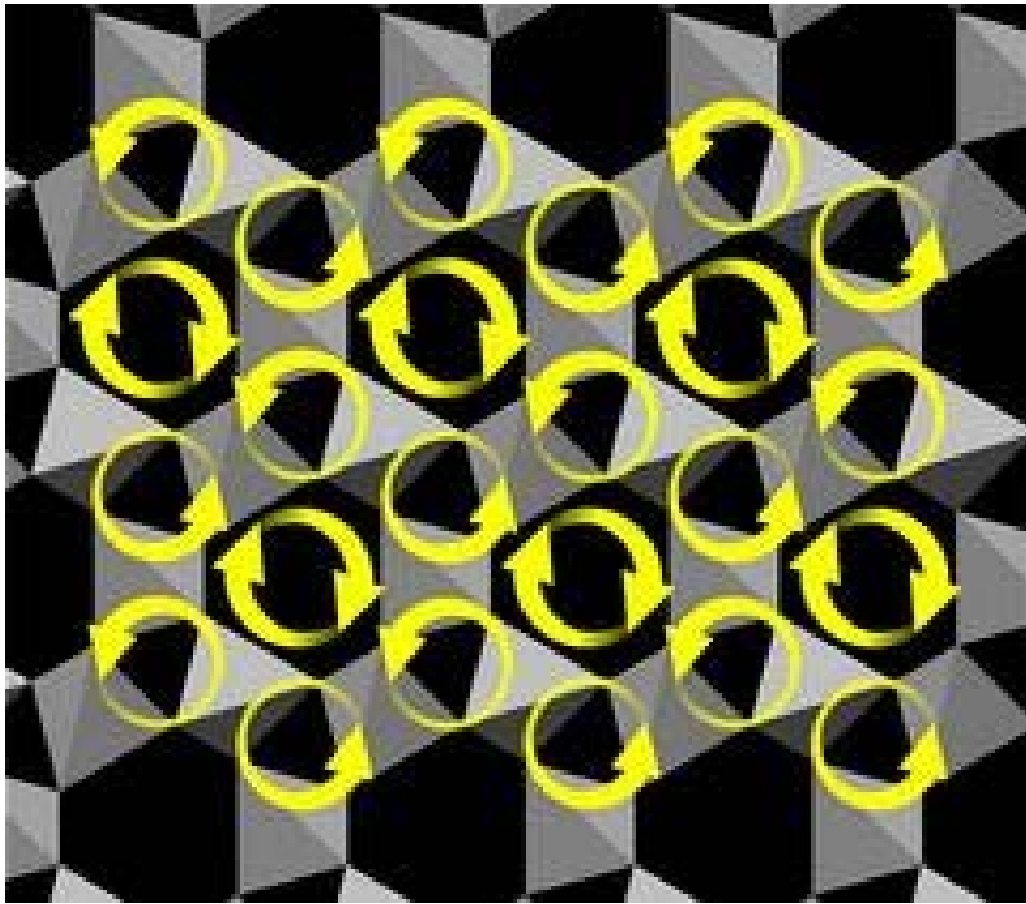


Рис.3. Вид структуры правовращающего  $\alpha$ -кварца вдоль оси z, стрелками показано направление закручивания тройных и шестикратных спиралей

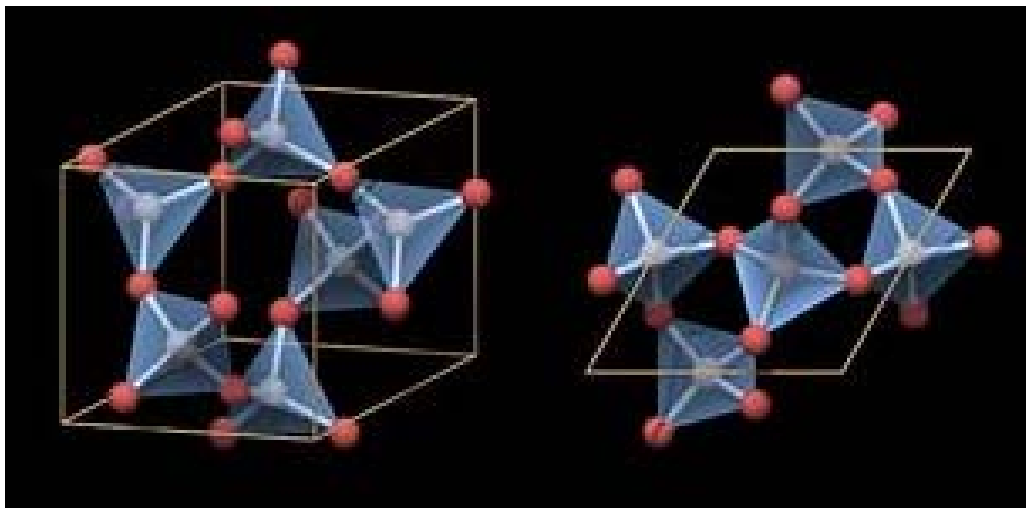


Рис.4. Элементарная ячейка правовращающего  $\alpha$ -кварца

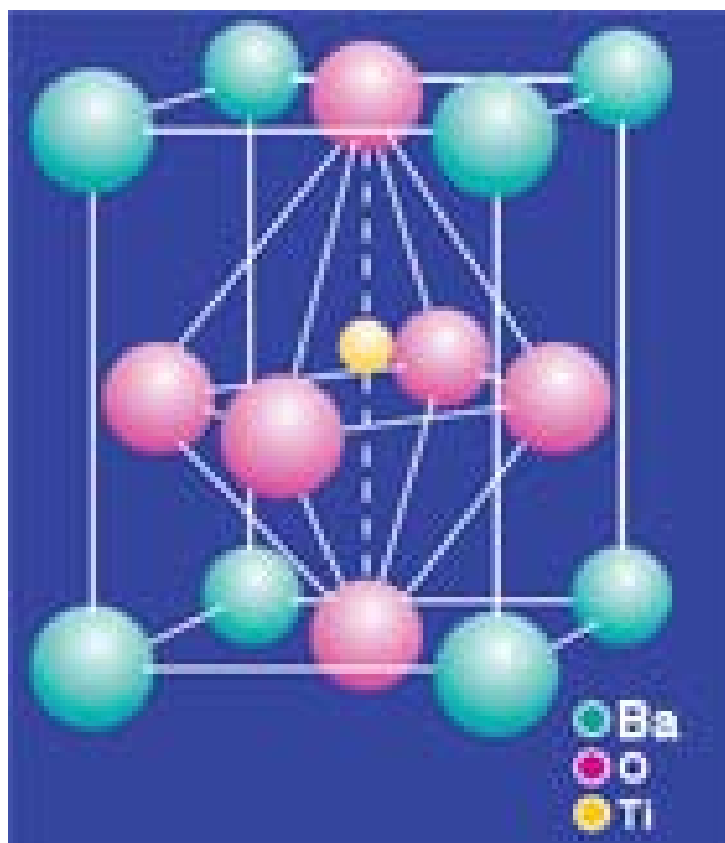


Рис. 5. Элементарная ячейка тетрагонального титаната бария

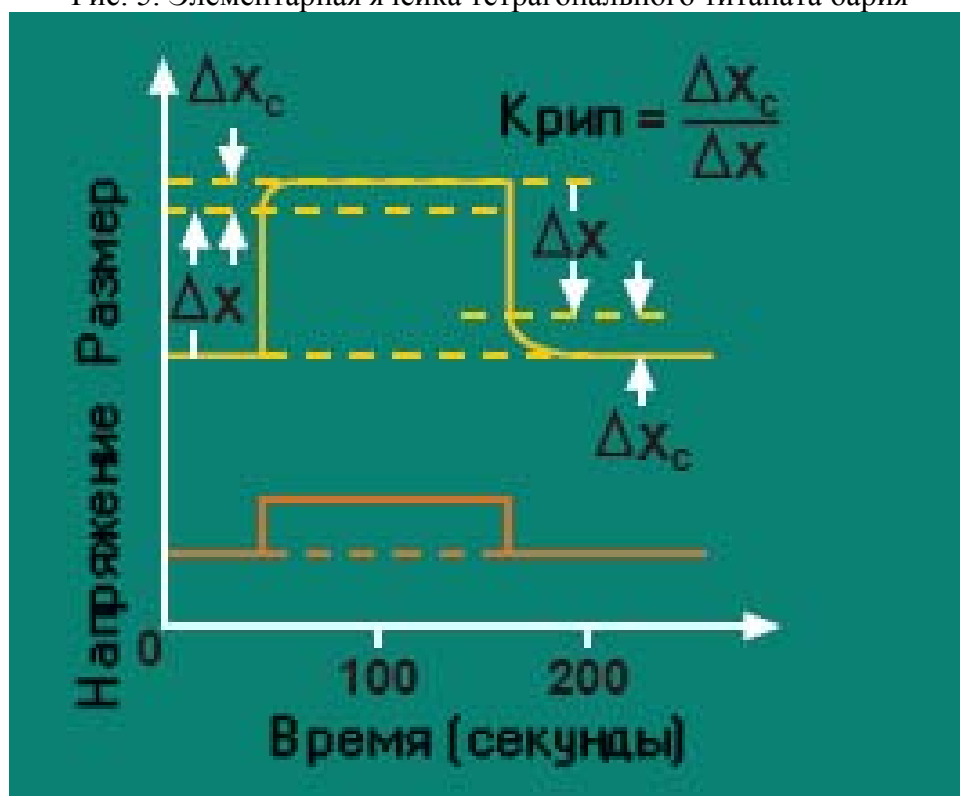


Рис. 6. Крип-эффект - явление запаздывания реакции (изменении размеров) на изменение величины управляющего электрического поля

(основано на решении победителя Интернет-олимпиады по данной номинации асп. МГУ Е.Г.Евтушенко)

Примечания к задаче 5.

Указанные ниже иллюстрации не требовались в качестве обязательной части решения, тем не менее, они приводятся здесь для того, чтобы более детально ознакомиться с существом обсуждаемого вопроса.

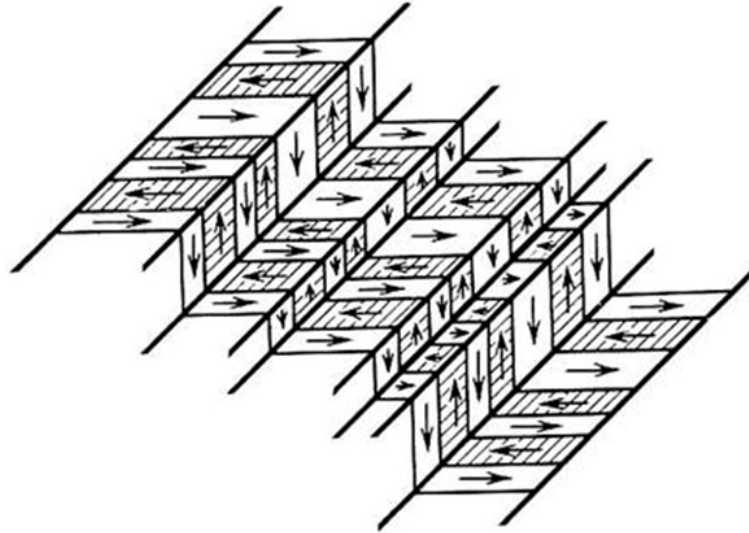
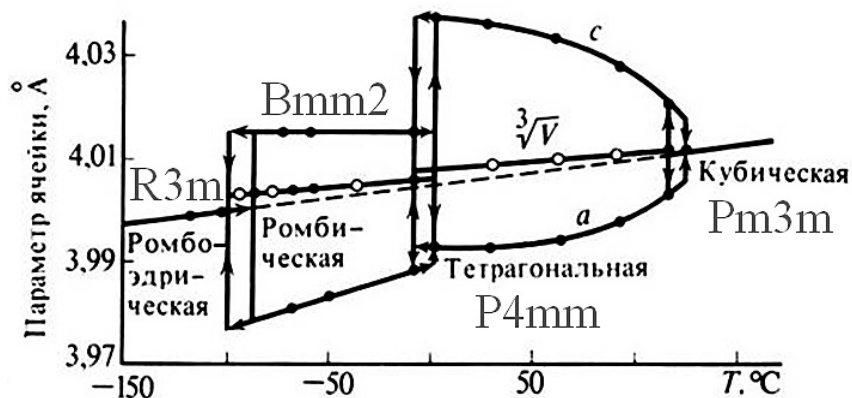
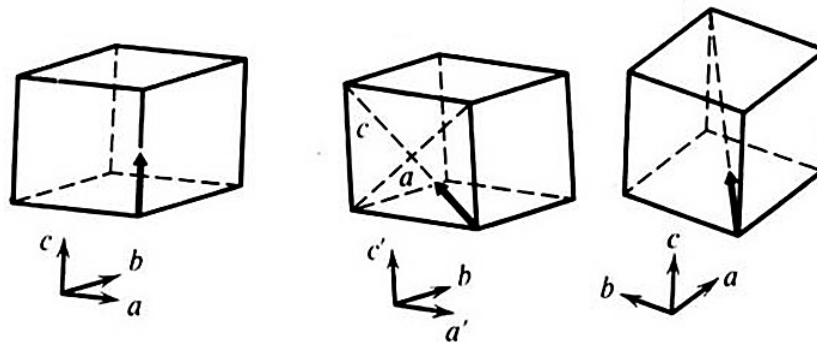
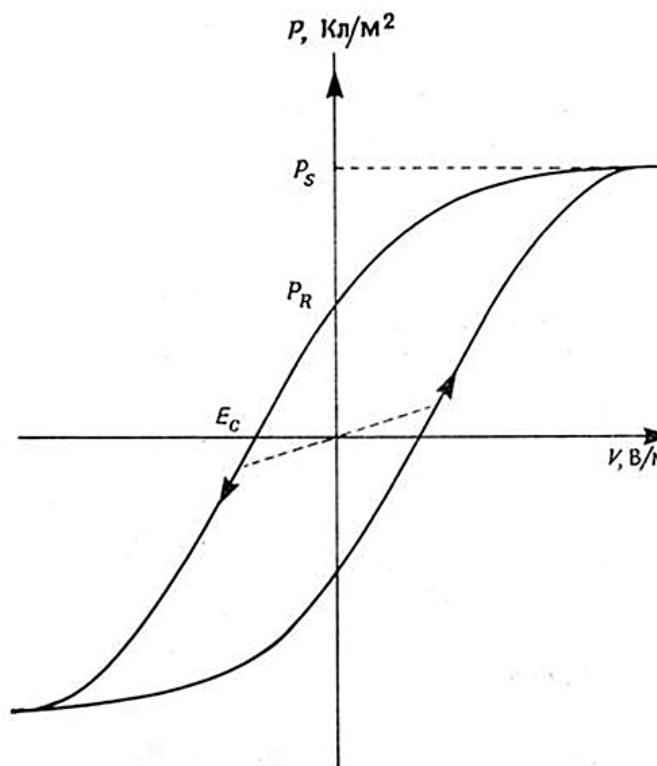


Схема строения одной из возможных доменных структур в титанате бария (видна в оптическом микроскопе в поляризованном свете в виде «двойников»).

a. б. в.



Кристаллические модификации, сегнетоэлектрические переходы и направления спонтанной поляризации в титанате бария как многоосном сегнетоэлектрике (а. тетрагональная модификация, поляризация вдоль одной из осей, ребер элементарной ячейке, б. ромбическая модификация, поляризация вдоль диагонали грани, в. ромбоэдрическая модификация, поляризация вдоль объемной диагонали).

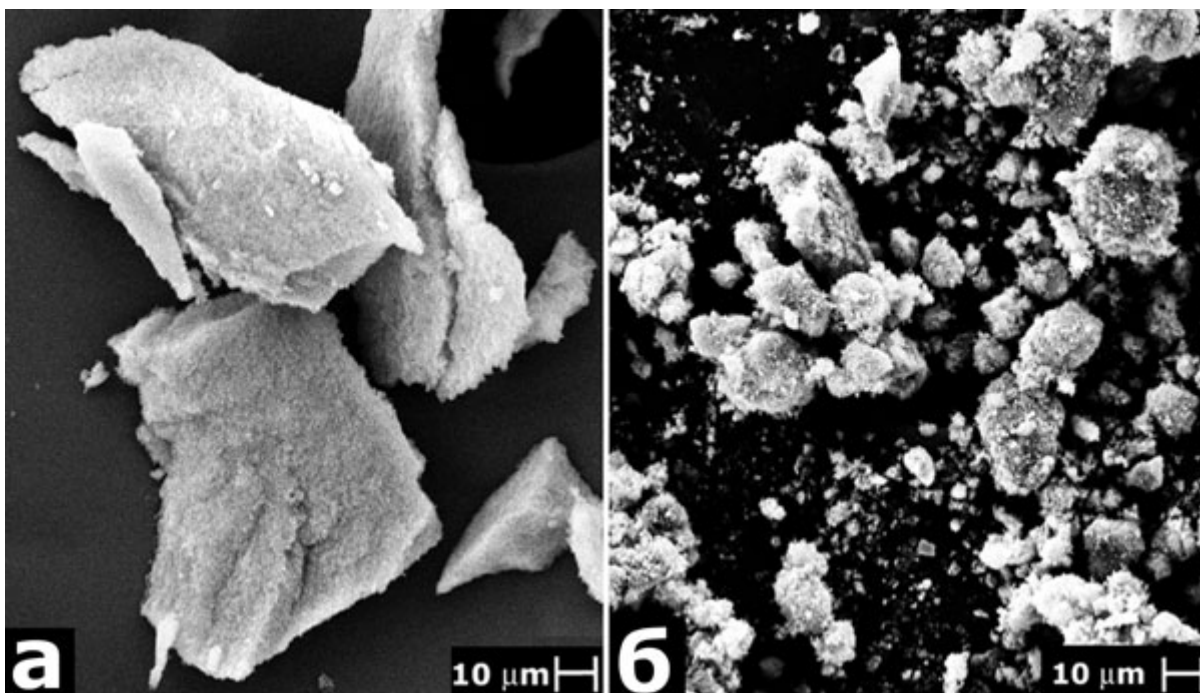


$P_S$  – поляризация насыщения,  $P_R$  – остаточная поляризация (после снятия поля),  $E_C$  – коэрцитивная сила («стирание» остаточной поляризации)

Поляризация сегнетоэлектриков – особый тип поляризации (формирование доменов). Приложение поля вызывает рост доменов, ориентированных по полю, макрополяризацию, то есть поляризацию всего образца. Разбиение на домены происходит за счет понижения энергии всей системы в целом при «внутреннем» замыкании поля за счет возникновения противоположно ориентированных доменов, в стенках доменов запасается в основном упругая энергия.

**6. «Лунный воздух»** (максимум 10 баллов, задание для тех, кто знает основы химии, авторы проф. Е.А.Гудилин, проф. Б.Р.Чурагулов, дополнительные вопросы – акад. Ю.Д.Третьяков, Химфак-ФНМ МГУ)

*Аэрогели – удивительный класс нанопористых материалов, которые на 99% состоят из воздуха (99% пористости, соответствует площадь поверхности до  $1000 \text{ м}^2/\text{г}$ , плотность около  $0.05 \text{ г}/\text{см}^3$ ). Они очень красивы внешне – похожи на «лунный камень». Традиционным способом получения аэрогелей является использование приема так называемой сверхкритической сушки. В чем сущность и практическая значимость этого приема (2 балла)? Как с помощью сверхкритической сушки получить аэрогели  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$  (3 балла)? Для чего можно использовать полученные материалы (2 балла)? Почему такие материалы на ощупь кажутся «горячими»? (1 балл) В чем отличие структуры аэрогелей от структуры «обычных» гелей? (2 балла)*



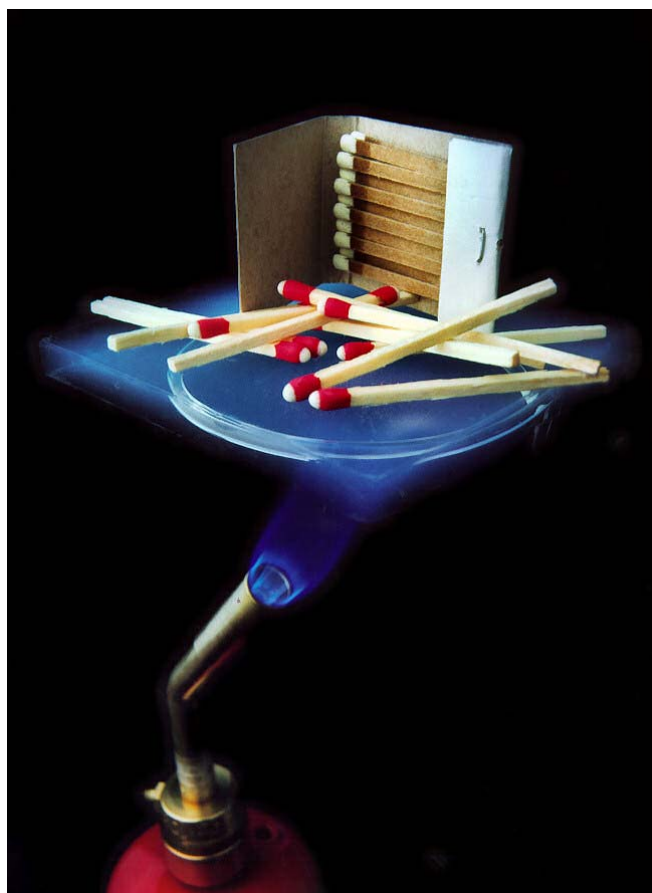
Внешний вид кусочков аэрогеля под электронным микроскопом (фото - Химический факультет МГУ)

### Решение

Аэрогели, будучи внешне похожи на «лунный камень» из-за рассеяния света на микроскопических неоднородностях, являются одним из самых удивительных примеров неупорядоченных пористых материалов, размер пор в которых сопоставим с размером структурных полостей в гелях. Это весьма своеобразный материал с большим количеством потенциальных практических применений, который представляет собой фактически макроскопический (иногда говорят, что фрактальный) кластер, состоящий из жестко связанных наночастиц (обычно размером около 2-10 нм), при этом сам каркас занимает малую часть объема, и почти весь объем приходится на поры размером менее 100 нм (до 99% пор). Первая часть названия «аэро» как раз и характеризует малую плотность аэрогелей. Уже первые образцы аэрогеля двуокиси кремния, полученные Самюэлем Кистлером в конце 1920-х г.г. XX века, имели плотность всего  $20 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Для известных аэрогелей эта величина варьируется в пределах 1 -  $150 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Несмотря на это в целом аэрогель весьма прочный материал — образец аэрогеля может выдержать нагрузку в 2000 раз больше собственного веса



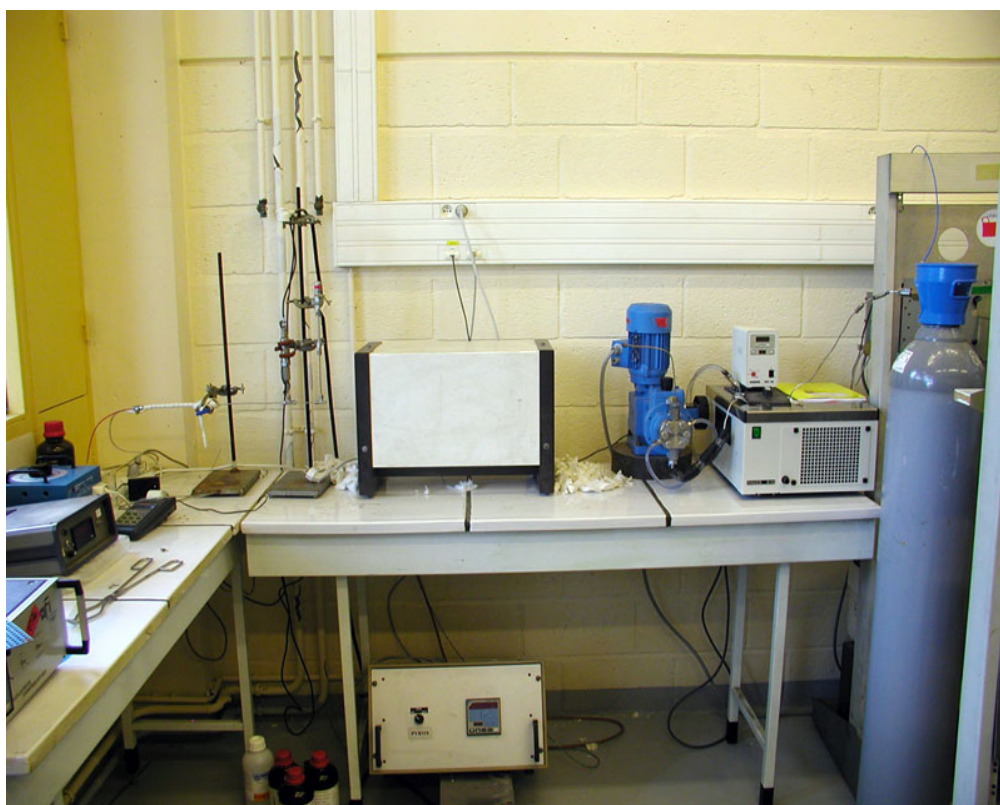
Аэрогели известны уже давно, однако интерес к ним сильно повысился в последние время в связи с отдаленными перспективами практических применений. Так, будучи высокопористым веществом с большой площадью поверхности (достигающей часто  $1000 \text{ м}^2/\text{г}$ ) аэрогели могут быть использованы в качестве катализаторов (носителей катализаторов) в тонкой химической технологии. Кроме того, большая внутренняя емкость аэрогеля может быть использована для хранения различных газов и жидкостей. Основная часть получаемого аэрогеля двуокиси кремния используется в качестве материала в черенковских детекторах. Например, детектор на ускорителе DESY (Гамбург) включает в себя 1700 л аэрогеля двуокиси кремния. Из-за очень низкой теплопроводности аэрогеля, которая сравнима с теплопроводностью газа, его можно использовать в качестве высокоэффективного изолятора. В силу своей структуры аэрогель характеризуется низким модулем Юнга и малой скоростью распространения звука в нем, которая даже ниже скорости звука в газах. Это представляет интерес для различных акустических применений— в разработках линий задержки звука, звуконепроходимых и звукоотражающих перегородок и т. д. Аэрогели обладают низкими диэлектрическими константами, и использование их, например, в качестве изоляционных слоев в многослойных печатных платах позволяет значительно повысить быстродействие электроники. Благодаря большой суммарной площади пор аэрогеля на его основе можно изготавливать высокоэффективные фильтры и сорбенты различного назначения. Из некоторых типов аэрогелей можно делать несмачивающиеся полупрозрачные тигли для плавления металлических сплавов. Аэрогель оксида ванадия было предложено применять в качестве электродного материала в химических источниках тока, в том числе в составе композитного материала с углеродными нанотрубками, с полипирролом. Есть попытки применения аэрогелей в фотокатализе ( $\text{TiO}_2$ ). Аэрогель титаната бария интересен как материал с сегнетоэлектрическими свойствами, на его основе создан композитный материал с проводящим полимером.



Демонстрация низкой теплопроводности аэрогеля.

При обычном способе удаления растворителя из геля, представляющего собой трехмерный каркас из коллоидных частиц, заполненный растворителем, структура геля, как правило, разрушается. Это, в частности, происходит при нагревании, ведущем к испарению растворителя. Чтобы этого избежать, используют метод сверхкритической сушки, который основан на «неразрушающем» удалении растворителя из структуры геля при температуре, выше так называемой критической температуры (растворителя). Дело в том, что выше критической точки не существует различий между жидким и газообразным состоянием вещества. Поэтому метод сверхкритической сушки позволяет избежать процесса испарения растворителя с частиц геля, который разрушает систему пор геля.

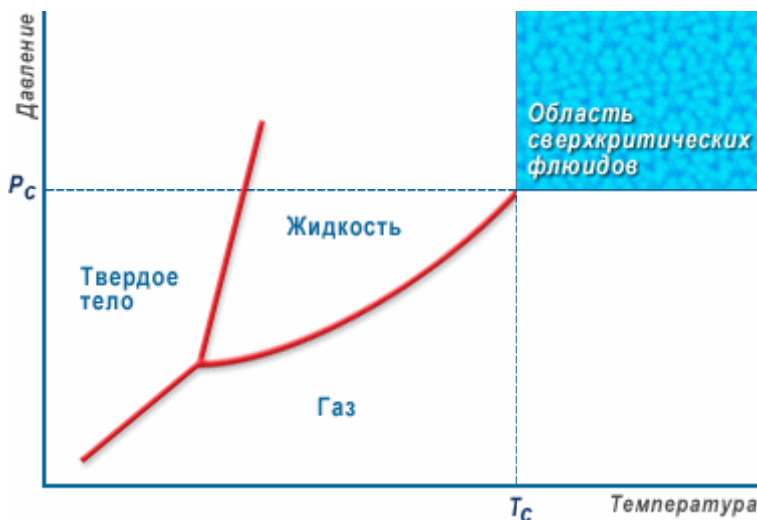
Выделяют высокотемпературную и низкотемпературную сверхкритическую сушку. Удаление смешанного растворителя, например, вода - спирт методом высокотемпературной сверхкритической сушки осуществляется при температуре около 250°C и давлении 5 – 8 МПа. Этому процессу сопутствует процесс старения и деградации структуры геля. При низкотемпературной сверхкритической сушке исходный растворитель замещают (экстрагируют), например, на жидкую двуокись углерода. Нагревание под давлением 8 МПа до температуры выше критической точки CO<sub>2</sub> (это всего лишь 30 – 40°C) приводит к переходу CO<sub>2</sub> в «текущее» состояние, и он легко покидает поры геля (то ли как газ, то ли как жидкость), так что при снятии внешнего давления в них оказывается только газ (остатки CO<sub>2</sub>) – получается аэрогель, сохранивший каркас своего прародителя-геля. Коэффициент диффузии сверхкритического газа более чем в десять раз выше, чем у жидкости. Этот метод применяют и для неорганических, и даже для органических материалов с целью получения аэрогелей.



Установка для сверхкритической сушки (кафедра неорганической химии, Химический факультет МГУ им.М.В.Ломоносова)

Таким образом сверхкритический газ / жидкость может лучше, чем классический растворитель, проникать в экстрагируемый материал, поглощать и транспортировать его составляющие. Применение углекислого газа позволяет в щадящем режиме полностью

отделять его от экстракта и материала - носителя в противовес классическим растворителям, выведение которых не всегда оказывается полным. Сверхкритические газы обладают высокой экстрагирующей способностью и, при соответствующих условиях, достаточной селективностью; простое изменение параметров давления и температуры как во время экстракции, так и при процессе отделения позволяет регулировать концентрацию веществ в экстракте.



Типичная диаграмма состояния растворителя с критической точкой

Наименование газа	Температура критической точки (°C)	Давление критической точки (атм)	Критическая плотность (г/см <sup>3</sup> )
Трифторметан	25.9	46.9	0.52
<b>Углекислый газ</b>	<b>31.0</b>	<b>72.9</b>	<b>0.47</b>
Этан	32.2	48.2	0.2
Гексафторид серы	45.6	37.7	0.73
Пропилен	91.9	45.4	0.22
Пропан	96.8	42.4	0.22

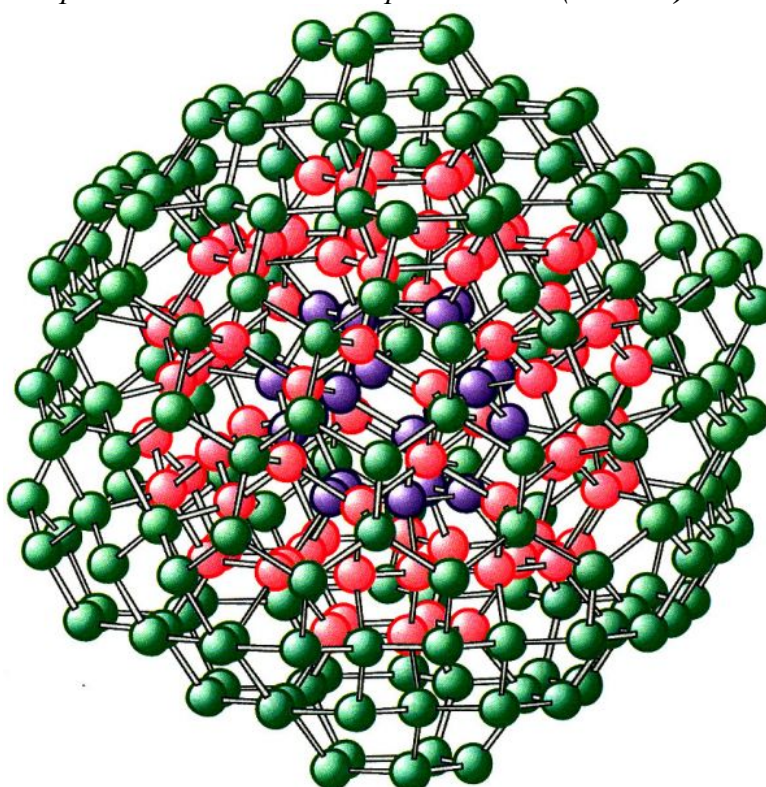
Синтез аэрогелей осуществляют из гидрогелей, которые обычно получают по золь-гель технологии. Аэрогель SiO<sub>2</sub> можно получить высушиванием геля SiO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O, формирующегося при гидролизе тетраэтоксисилана или даже обычного силиката натрия. Эти гели имеют достаточно крупные поры, что делает их структуру стабильной в условиях сверхкритической сушки. Аэрогель состава BaTiO<sub>3</sub> может быть, например, получен золь-гель методом из коммерчески доступного алкоголята Ti(OC<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>4</sub> и алкоксида бария после их контролируемого гидролиза. Синтез аэрогелей оксида ванадия осуществляется из гидрогеля V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·nH<sub>2</sub>O, который обычно получают гидролизом алкоксидных прекурсоров состава VO(OR)<sub>3</sub>, взаимодействием оксида ванадия (V) с перекисью водорода, кислотной «полимеризацией» метаванадата аммония, приводящей к формированию изополиванадиевых кислот и, в конечном итоге, геля V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·nH<sub>2</sub>O.

При соприкосновении с поверхностью кожи, аэрогель, обладающий очень низкой теплопроводностью и очень малой площадью контакта с кожей, «обманывает» тактильные и температурные рецепторы, благодаря чему он воспринимается как «горячий» материал.

**7. «Изысканные формы наномира»** (максимум 10 баллов, студенческий уровень, автор проф. Е.А.Гудилин, дополнительные вопросы акад. Ю.Д.Третьяков)

Кубическая структура алмаза (одного из самых твердых веществ в мире, твердость 10 по шкале Мооса) – один из самых известных структурных типов. Тем не менее, оказывается, что при переходе к «наноалмазу» атомы углерода с легкостью изменяют своей обычной упаковке, в результате чего наночастицы приобретают икосаэдрическую форму.

- Опишите, как устроена кристаллическая решетка алмаза в объемном состоянии (1 балл)?
- Опишите, как может быть устроена «кристаллическая решетка» икосаэдрического наноалмаза (2 балла)?
- Какая из решеток стабильнее и почему (3 балла)?
- Как изменятся химические, механические и электрофизические свойства наноалмаза по сравнению с объемным кристаллом? (4 балла)



Строение нанокластера (из работ академика РАН В.Я.Шевченко)

**Решение участников**

Алмаз образует гранецентрированную кубическую решетку. Параметр ячейки:  $a = 3.56 \text{ \AA}$ ,  $Z = 4 (C)$ ,  $V = 45.1 \text{ \AA}^3$ . Пространственная группа  $Fd\bar{3}m$ . Элементарная ячейка кристаллической решетки алмаза (рис.1) представляет собой гранецентрированный куб, в котором в четырех секторах, расположенных в шахматном порядке, находятся атомы углерода. Иначе алмазную структуру можно представить как две кубических гранецентрированных решетки, смещенных друг относительно друга по главной диагонали куба на четверть её длины. В результате возникает структура, в которой каждый атом углерода окружен по тетраэдру четырьмя соседями. Отметим одну важную особенность структуры алмаза. Если повернуть структуру алмаза таким образом, чтобы одна из осей третьего порядка приняла вертикальное положение (рис.2), можно заметить сходство строения алмаза и графитового слоя (но не структуры графита в целом, так как в его структуре графитовые слои сдвинуты друг относительно друга). Алмазные «слои»

складчаты, связи углерод-углерод между слоями имеют ту же длину ( $1.54 \text{ \AA}$ ), что и внутри слоев. Графитовые же слои плоские и расстояние между слоями больше, чем длина связи углерод-углерод внутри слоя.

Имеющий икосаэдрическую симметрию кластер наноалмаза можно представить как набор оболочек (естественно, между оболочками имеются связи углерод-углерод той же длины  $1.54 \text{ \AA}$ ). Стоит отметить, что для образования выпуклой замкнутой структуры, состоящей из пяти- и шестиугольников, количество пятиугольников должно равняться точно 12, следовательно, простейшей оболочкой является додекаэдр. Общая формула для количества атомов в таких оболочках  $C(k) = 20 \cdot k^2$  (20, 80, 180, 320, 500, ...), общее количество атомов в нанокластере  $20 \cdot k \cdot (k + 1) \cdot (2k + 1) / 6$  (20, 100, 280, 600, 1100, ...). Экспериментальные данные рассеяния электронов и рентгеновских лучей на икосаэдрических кластерах наноалмаза показывают, что они всегда имеют внешнюю фуллереноподобную оболочку (точнее, переходную между алмазоподобной с гибридизацией орбиталей  $sp^3$  и фуллереноподобной с гибридизацией  $sp^2$ ) толщиной 2-3 слоя. Это происходит из-за энергетической невыгодности существования неспаренных электронов в  $sp^3$ -гибридизации. Поэтому без разрыва каких-либо связей внутри слоя происходит переход нескольких внешних слоев в фуллереноподобную конфигурацию. Взаимная топологическая эквивалентность алмазоподобных и фуллереноподобных оболочек пояснена на рис.3.

Наночастицы (и наноалмаз в том числе) являются неравновесным состоянием вещества. Если говорить о структурных особенностях, то более стабильной является структура обычного алмаза. Во-первых, на поверхности алмазных нанокластеров существуют некомпенсированные, оборванные связи (данный вклад несколько ослаблен за счет образования внешних фуллереноподобных оболочек), во-вторых, структура содержит пятичленные плоские кольца, образование которых связано с возникновением существенных торсионных и валентных напряжений в структуре.

Поскольку для частицы размером, например,  $\sim 4$  нм (средний размер алмазных нанокластеров) доля атомов, находящихся на поверхности, составляет более 15%, то состояние поверхности существенно сказывается на свойствах такого кластера. А поскольку структура поверхности сильно зависит от способа получения, то нанокластеры, полученные различными способами, могут иметь разные свойства. Общей чертой всех наноалмазов является тенденция к агрегации. Стоит ожидать, что материал, состоящий из частиц наноалмаза, будет химически активен, возможно, химическое поведение будет сходно с полиароматическими соединениями.

Кажущаяся величина твердости наноалмазов зависит от величины приложенной силы. Поскольку верхние слои наноалмаза фуллереноподобны, то при малой силе твердость такого материала будет значительно ниже твердости нормального алмаза за счет того, что при приложении небольшой внешней силы будут деформироваться внешние оболочки. Более того, наноалмазом не получится «поцарапать» какую-либо поверхность при малых силах, наоборот, внешние рыхлые оболочки придают таким наночастицам свойства смазки. Если же прикладываемая сила будет велика, то внешние оболочки полностью деформируются и выше некоторого предела дальнейшая деформируемость материала резко уменьшится, сравниваясь с таковой для обычного алмаза. В результате ультрадисперсные алмазы могут использоваться, как ни странно, в качестве компонентов смазок. Наноалмаз является также полупроводником с большой шириной запрещенной зоны. Как и другие наноструктурированные углеродные материалы, частицы наноалмаза, нанесенные на поверхность вольфрама, могут быть использованы в качестве полевого электронного эмиттера (field electron emitter), работающего при низких напряжениях (порядка 200 В) и относительно низком вакууме. Ультрадисперсные алмазы могут использоваться в гальванических покрытиях, для модифицирования пластмасс, в качестве специального класса сорбентов, для векторной доставки лекарств.

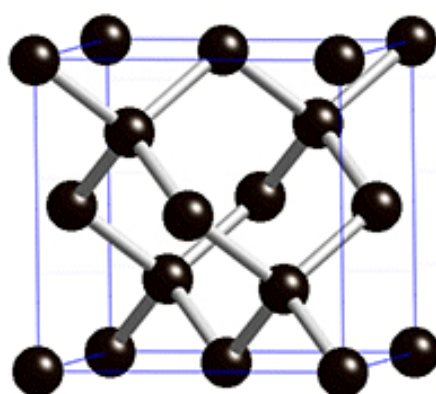


Рис. 1. Элементарная ячейка алмаза

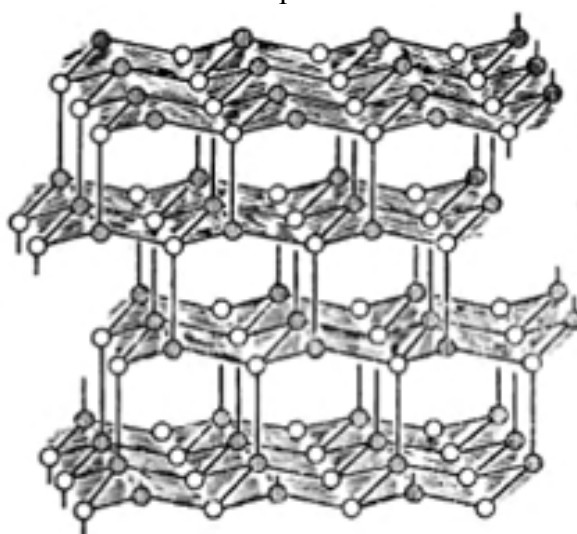


Рис. 2. Вид структуры алмаза перпендикулярно оси третьего порядка

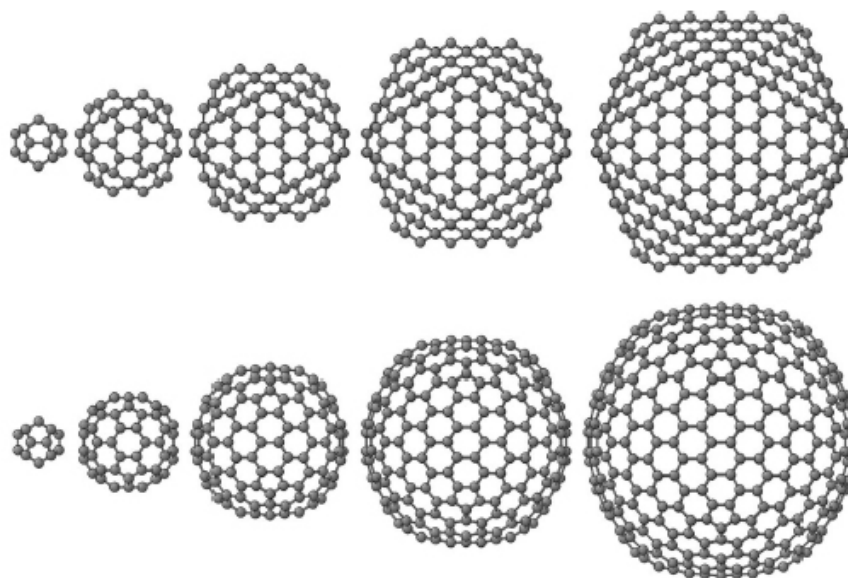
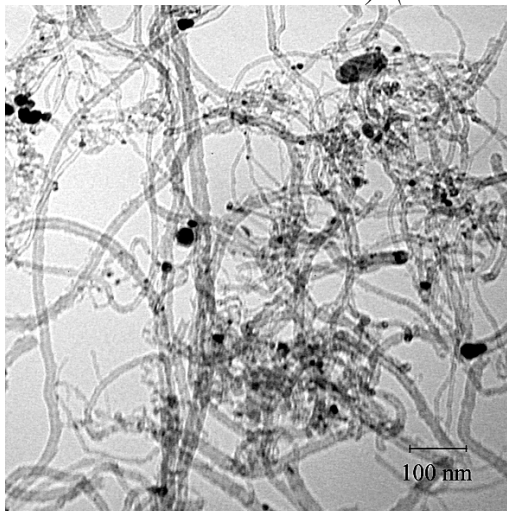


Рис. 3. Топологическая эквивалентность алмазоподобных и фуллереноподобных оболочек

**8. «Платинированная углеродная бумага»** (максимум 15 баллов, студенческий уровень, автор к.х.н. О.А.Брылев, оформление проф. Е.А.Гудилин)

Для создания каталитического слоя низкотемпературного топливного элемента обычно используют газопроницаемую углеродную бумагу, состоящую из углеродных волокон, на которую нанесены наночастицы платины. Предположим, что платину наносили электроосаждением из электролита состава  $0.1 \text{ M HClO}_4 + 2 \text{ mM H}_2\text{PtCl}_6$  (площадь электрода  $A_g = 1 \text{ cm}^2$ , потенциал  $0.1 \text{ В}$  относительно стандартного водородного электрода) в течение  $t = 4 \text{ мин}$ .

1. Рассчитайте удельную массу осажденного металла ( $W$ , в  $\mu\text{кг}$  на  $1 \text{ cm}^2$  подложки), если средняя сила тока  $I$  при электролизе составила  $0.09 \text{ мА}$ . (2 балла)
2. Реальная поверхность полученного платинового покрытия  $A_r$ , определенная электрохимически, составила  $1.9 \text{ cm}^2$ . Рассчитайте его удельную поверхность  $S$  ( $\text{m}^2/\text{g}$ ). (1 балл)
3. Предполагая, что частицы платины имеют сферическую форму и образуют монослой на подложке, рассчитайте их средний диаметр  $d$  (нм) и плотность  $N$  ( $\text{cm}^{-2}$ ). (1 балл)
4. Крайне важной характеристикой каталитической активности является отношение активной поверхности катализатора  $A_{rk}$  занимаемому им объёму ( $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ ). Рассчитайте его: (а) для данного случая, (б) для монослоя атомов платины на поверхности подложки, (в) для платинового шара объёмом  $1 \text{ cm}^3$ . Как Вы считаете, почему именно электроосаждение широко применяется для получения покрытий металлов платиновой группы? (2 балла)
5. Для чего, помимо основного компонента  $\text{H}_2\text{PtCl}_6$ , в электролите присутствует и  $\text{HClO}_4$ ? (1 балл)
6. Как, на Ваш взгляд, изменится плотность частиц платины  $N$  при уменьшении потенциала электроосаждения? (1 балл)
7. Как на размере частиц платины  $d$  отразится увеличение концентрации  $\text{H}_2\text{PtCl}_6$  в электролите (при отсутствии перемешивания во время электроосаждения)? (1 балл)
8. Зачем «углеродную бумагу» для каталитического слоя топливных элементов платинируют? (1 балл) Предложите способы платинирования и напишите уравнения реакции (1 б.). Опишите детально с помощью химических реакций работу метанольного топливного элемента – события происходящие на различных границах раздела (частях топливного элемента). (4 балла)



"Нано"кластеры платины на углеродных волокнах по данным просвечивающей электронной микроскопии (фото института проблем химической физики Российской Академии Наук, г.Черноголовка)

### Авторское решение

1) Согласно первому закону электролиза Фарадея, масса вещества, выделившегося на электроде прямо пропорциональна электрическому заряду, прошедшему через электролит:  $m = I \cdot t \cdot M / n \cdot F = 1.09 \cdot 10^{-5} \text{ г} = 11 \text{ мкг}$ . Удельная масса осажденной Pt  $W = m / A_g = 11 \text{ мкг/см}^2$ .

2)  $S = A_r / m = 17 \text{ м}^2/\text{г}$ .

3) Считая, что при переходе от объемного образца платины к наночастице плотность ее не изменится, суммарный объем осажденной платины  $V_r = m / \rho = 5.1 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3$ . Для частицы диаметром  $d$  отношение объема к поверхности  $V_1 / S_1 = [1/6 \cdot \pi \cdot d^3] / [\pi \cdot d^2] = d/6$ . Для ансамбля одинаковых частиц  $V_1 / S_1 = V_r / A_r = 2.7 \cdot 10^{-7} \text{ см} = 2.7 \text{ нм}$ . Отсюда  $d = 16 \text{ нм}$ . Вычислим объем единичной наночастицы  $V_1 = 2.2 \cdot 10^{-18} \text{ см}^3$ . Отсюда поверхностная плотность расположения осажденных частиц  $N = V_r / (V_1 \cdot A_g) = 2.3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ .

4) Используем ранее выведенную формулу для сферических частиц  $S/V = 6/d$ .

а)  $S/V = 3.7 \cdot 10^6 \text{ см}^3/\text{см}^2$ .

б) Рассмотрим слой атомов толщиной  $2 \cdot r = 2.6 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ . Объем  $dV$  части слоя, ограниченного внешней поверхностью  $dS$   $dV = 2 \cdot r \cdot dS$ . Отношение  $S/V = dS/dV = 1/2 \cdot r = 3.9 \cdot 10^7 \text{ см}^3/\text{см}^2$ .

в) вычислим диаметр такой сферы:  $d = [6 \cdot V / \pi]^{1/3} = 1.24 \text{ см}$ . Отсюда  $S/V = 4.8 \text{ см}^3/\text{см}^2$ .

Применение метода электроосаждения для получения покрытий металлов платиновой группы основано на том, что их потенциал восстановления положителен и возможно осаждение металла без побочного выделения водорода (в отличие от многих более активных металлов). Кроме того, возможности данного метода подробно изучены, понятны механизмы процессов и возможные мешающие факторы. Таким образом, электрохимическое осаждение платины на твердых подложках является дешевым, простым и эффективным методом получения наночастиц. Основным параметром, «контролирующим» процесс, является потенциал восстановления. А в целом, можно получать наночастицы платины на углеродных подложках и иными методами, например восстановлением водородом ацетилацетоната платины в метаноле, однако данный метод родился сравнительно недавно и пока «далек от совершенства».

5) В электролите для проведения электроосаждения платины необходимо поддерживать значение pH около 1 для предотвращения образования гидроксокомплексов платины (IV). Ионы  $\text{ClO}_4^-$  слабо адсорбируются на центрах восстановления платины (в противоположность ионам  $\text{Cl}^-$ ), вместе с тем, выполняя роль вспомогательного электролита, понижают скачок потенциала на внешней плоскости Гельмгольца (эффект Фрумкина), понижая перенапряжение восстановления ионов  $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ . Таким образом,  $\text{HClO}_4$  как и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , используемые в качестве вспомогательного электролита, ускоряют реакцию электроосаждения платины на углеродных подложках.

б) Изучение процессов электроосаждения металлов на поверхностях с низкой поверхностной энергией методами SEM и AFM показывает, что на ранних стадиях они протекают по модели Волмера-Вебера, то есть модели островкового роста. В данной модели предполагается, что на поверхности существует фиксированное число равноценных сайтов нуклеации, количество растущих затравок достигает насыщения во времени по экспоненциальному закону:

$N(t) = N_0 [1 - \exp(-A \cdot t)]$ , где  $N_0$  – поверхностная плотность доступных сайтов нуклеации,  $A$  – константа скорости нуклеации.

Согласно модели зародышеобразования, предложенной Scharifker & Hills, зародышеобразование в процессе электрохимического осаждения металлов, может происходить в двух режимах: быстрое зародышеобразование, когда  $N(t) \approx N_0 (A \cdot t \gg 1)$ , или прогрессирующее, когда  $N$  развивается во времени. Из экспериментов по электроосаждению платины из растворов  $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$ , содержащих или не содержащих  $\text{HClO}_4$  в качестве сопутствующего электролита, известно, что при положительных



потенциалах процесс нуклеации идет по прогрессирующему механизму, при переходе в отрицательные потенциалы – по быстрому, следовательно, при понижении потенциала перенапряжения за одно и то же фиксированное время будет образовываться большее количество затравок.

7) Поскольку при положительных потенциалах скорость процесса лимитируется скоростью электровосстановления, а не диффузии, увеличение концентрации  $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$  существенно не изменит размер получаемых наночастиц.

8) Поясним принцип работы прямого метанольного топливного элемента. Он состоит из двух разделенных мембраной частей. В одной из них происходит электрохимическая реакция окисления метанола:  $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$ . Ионы водорода диффундируют через ионопроницаемую мембрану во вторую часть, где происходит электрохимическое восстановление кислорода (из воздуха):  $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$ . Электроны от анода к катоду транспортируются через внешнюю цепь, выполняя требуемую работу при замыкании цепи. Общая реакция для топливного элемента:  $\text{CH}_3\text{OH} + 1.5\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ .

«Углеродную бумагу» платинируют, поскольку платина является катализатором обеих протекающих полуреакций. Платину на поверхность углеродной бумаги можно наносить как электрохимически, так и обычными химическим методами. При этом в обоих способах возможно использовать целый спектр соединений платины в качестве прекурсоров. Электрохимические методики:

- Уже упомянутое в задаче электровосстановление  $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$ :  
 $[\text{PtCl}_6]^{2-} + 4\text{e}^- \rightarrow \text{Pt} + 6\text{Cl}^-$

- Электровосстановление цис-динитродиминокомплекса платины (II)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2(\text{NO}_2)_2]$  в электролите, содержащем нитрат натрия, нитрит аммония и аммиак:  
 $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2(\text{NO}_2)_2] + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pt} + 2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{NO} + \text{NO}_2$

Химические методики:

- Восстановление ацетилацетоната платины (II) водородом в метаноле:  
 $\text{Pt}(\text{AcAc})_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{Pt} + 2\text{HAcAc}$ , где  $\text{AcAc} = \text{CH}_3\text{-CO-CH}_2\text{-CHO-CH}_3$

- Фотохимическое разложение органических комплексов платины под действием ультрафиолетового излучения:  
 $(\text{CH}_3\text{-C}_5\text{H}_4)\text{Pt}(\text{CH}_3)_3 \rightarrow \text{Pt} + \text{C}_2\text{H}_6 + (\text{CH}_3)_2\text{C}_5\text{H}_4$

**9. «Краткость – сестра таланта». За и против нанотехнологий** (максимум 20 баллов, задание для всех творчески настроенных участников, автор тем проф. Е.А.Гудилин, подборка эссе – по рекомендациям демократического большинства членов жюри, комментарии – Е.А.Гудилин).

На сайте Нанометр ([www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru)) порой разворачивались горячие дискуссии по поводу опубликованных заметок. Теперь у Вас есть шанс поспорить не только со своими оппонентами, но и с самим собой. Наши предки считали, что тот мудрец, кто сможет дважды доказать, что белое – это черное, а черное – это белое. Представьте на мгновение, что перед Вами – совершенно неподготовленный человек. Докажите ему важность (научную, практическую, социальную или любую другую) одной из тем, которые приведены ниже. А потом убедительно опровергните свое же собственное мнение. **На это своеобразное эссе у Вас не больше 4000 знаков** (считая пробелы и знаки препинания). Факты приветствуются, для ссылок на любые источники (книги, журналы, сайты) отводится не больше одной страницы текста, которая не входит в зачет. **По этой задаче назначена отдельная премия за лучшее эссе!**

Тема на выбор:

1. «**Эта музыка будет вечной, если я заменю батарейки**» (наноэнергетика и наноионика),
2. «**Труба зовет**» (углеродные и неуглеродные нанотрубки),
3. «**Точка, точка, запятая...**» (получение и использование квантовых точек),
4. «**Ау, Демоны Максвелла!**» (нанороботы и наномедицина),
5. «**Атом – это сила!**» (атомно-силовая микроскопия)
6. «**Гремучий газ**» (водородная энергетика)
7. «**Да здравствуют киборги!**» (биоматериалы и имплантанты на основе наноматериалов)
8. «**Там внизу – много места**» (социальные аспекты нанотехнологий.)
9. «**Вспомнить все... по нанотехнологически**» (наноматериалы информационных технологий)
10. «**Встал утром – приberi Планету**» (наноматериалы и экология)



## Решение

Задание «За» и «Против» нанотехнологий было достаточно провокационным. С одной стороны, мы хотели, чтобы участники попробовали свои силы в жанре научно-популярной литературы. Это совсем непросто – объяснить другим «на пальцах» свою сложную, глубинную мысль, причем так, чтобы слушатель действительно понял и сказал «Эврика!». Ведь, в какой-то степени, любой будущий ученый, и тем более - любой будущий преподаватель, политик, маркетолог «хай-тека» должен уметь объяснять и убеждать. Поэтому и те, кто собирается связать свою судьбу с нанотехнологиями – одной из самых междисциплинарных областей знаний – должен, как минимум, уметь писать «сочинения», и хорошо, если еще и ораторский талант при этом присутствует. С другой стороны, смысл задания, помимо прочего, был в том, чтобы разобраться для себя самого в том, что никакие нанотехнологические достижения не могут быть однозначными, что везде есть несомненные «плюсы», иногда уживающиеся, а когда и – нет, с «минусами». Поэтому мы считали данное задание важным, более того, раскрывающим творческие наклонности и личность участника. Именно поэтому за него отводилось столько много баллов.

**Большинство участников справилось с заданием достаточно успешно, и поэтому мы приводим ниже подборку из запомнившихся членам жюри эссе (в авторской редакции) по основным темам «микросочинений».**

**Кабаченко Л.А.**

**«Эта музыка будет вечной, если я заменю батарейки» (наноэнергетика и наноионика)**

*Часть членов жюри считало, что в этом эссе не раскрыта тема. Но, на самом деле, если писать о «нанобатареях» по сути, могло бы получиться полезно, но скучно. Да, это не идеальный вариант, но написан с душой, за что мы его и отметили.*

### ПОЧТИ «ЗА»

Хочется вечной музыки? Пожалуйста. А какой именно из музык? Известно, что Боэций, философ времен античности, разделил понятие «музыка». Он выделил космическую музыку - "musica mundana" (музыка мироздания), человеческую музыку - "musica humana" (гармония духа и тела (поступков и убеждений)) и инструментальную музыку - "musica instrumentalis". При этом «...инструментальную музыку Боэций признавал самой низкой и наименее важной частью музыки»[1]. Если оттолкнуться от этой теории, так мы отлично звучим и без батареек! Космос – звучит сам по себе где-то там потихонечку, дух и тело современного человека в вечном противоборстве и поиске гармонии надрывается не своим голосом, а вот инструментальная музыка, музыка, созданная человеком... Да, тут загвоздка. А как Вам хотелось бы? Чтобы она звучала в прямом смысле? Или в переносном? В переносном, предположим, «мелодия» продолжает звучать в воспоминаниях человека, в его памяти. Другое дело, если у человека плохая память и нет внутреннего слуха. Новое поколение элементов питания максимально продлит удовольствие таким меломанам, только нужно ли это? Представьте, Вас положат в гроб с плеером в ушах, и вы будете гнить годами под музыку «Beatles». А запрограммированная скрипка, лежащая в ваших ногах, будет вечно из под земли наигрывать «Лунную сонату», чтобы ваши потомки могли легко найти вас. Пессимизм, конечно. Но есть и оптимистичное. К примеру, заблудились вы в тайге или вас захватили в заложники, а электронная атрибутика (телефон в сережке или плеер, встроенный в сандалии) бесконечно работает. Тогда вас легко найти и спасти вам жизнь.

### СОВСЕМ «ПРОТИВ»

Абсолютная вечность действия технических и творческих процессов понадобится только тогда, когда в один прекрасный день появится бессмертный Нанон Нанович Нанберг. Но и он, думаем, будет рад чему-то конечному, хотя бы для разнообразия. В современном развивающемся мире стремление человека к бесконечности звучания музыки когда-нибудь обязательно сменится желанием посидеть в тишине, и задуматься над тем, что передозировка не только наркотиков, но и музыки - тоже несчастье. Вот, вечной молодости люди хотят, о вечной любви мечтают, о вечном везении, о вечном состоянии покоя, о неумещающихся деньгах. Люди мечтают, но не задумываются, что к Вечному они не готовы. А спросил ли человек своих потомков, хотят ли они вечного звука в ушах (хоть песни Агузаровой, хоть звуков трубы Амстронга), да еще и не живого звука, а электрического, пусть и музыкального? Ведь мало кому нравится жить на космодроме или жить под вечный шум дождя. Всегда должен быть выбор, в том числе и в том, какую батарейку зарядить. Человечество борется одновременно и за универсализацию бытия и за индивидуальность, какие же мы смешные, так противоречивые с батарейкой за щекой и умрем. А пока, будем ценить все, что имеем и не имеем, перефразируя слова известной песни «Если у Вас нету Нанобатарейки, то неизвестно кому повезло...».

---

[1] Герцман Е.В Музыка Древней Греции и Рима. - М.: Аллетей, 1995. – С. 110.

#### **Список использованной литературы**

Адорно Т.В. Избранное: Социология музыки. – СПб.: Унив. книга, 1998. – 445 с.

Герцман Е.В. Музыкальная Боециана.

Иванченко Г.В. Психология восприятия музыки, проблемы, перспективы. – М.: Смысл, 2001. – 264 с.

Розинер Ф. Ахилл бегущий // Нева. – 1994. – №7. – С. 7 – 122, №8. – С. 5 – 145.

#### **Романов А.С.**

##### **«Труба зовет» (углеродные и неуглеродные нанотрубки)**

*Это эссе правильное, но какое-то оно... немножко суховатое. К сожалению, именно так пыталось писать большинство участников, что было их упущением. Это ведь был, в отличие от других заданий, не экзамен на знания, а тест на эмоции и силу убеждения. Все равно спасибо большое автору!*

#### **«ЗА»**

Углеродные нанотрубки – одна из форм существования углерода. Они представляют из себя протяженные молекулы, напоминающие трубку, диаметр которых - порядка десятков нанометров. Впервые были обнаружены в продуктах горения вольтовой дуги. Стенка этих трубок может быть однослойной или многослойной и состоит из правильных шестиугольников. Концы НТ могут быть закрыты полусферическими крышечками.

Нанотрубки - очень прочный материал. Они в 50 раз прочнее и в 6 раз легче стали, при этом они обладают большой гибкостью. Под действием больших нагрузок они не ломаются и не рвутся, а перестраивают свою структуру. Нить диаметром один миллиметр, состоящая из нанотрубок, могла бы выдержать груз в 20 тонн. Это единственный материал, из которого можно сделать трос для лифта в космос. Из них можно создавать легкие и прочные композитные материалы.

Электропроводность нанотрубок может быть очень велика. Из них можно делать сверхпроводящие кабели, позволяющие передавать энергию без потерь. Также, можно создавать транзисторы, память для компьютеров и плоские дисплеи высокой четкости.

Нанотрубки обладают капиллярным эффектом, т.е. могут втягивать в себя вещество и хранить его. После заполнения, концы нанотрубки запаиваются, и вещество не

может выйти наружу. Из них можно сделать контейнер для безопасного хранения водорода или химически активных веществ, что позволит создавать экологически-чистый транспорт. При помощи этой технологии можно осуществлять адресную доставку лекарств, увеличивающую их эффективность.

Помимо углеродных нанотрубок возможно их создание из других материалов, например, протеиновые нанотрубки могут служить заменителем гемоглобина.

#### «ПРОТИВ»

Длина получаемых нанотрубок составляет около 4 мкм и эти нанотрубки содержат большое количество дефектов, что снижает их прочность. Поэтому трос из такого материала будет не достаточно прочен для поднятия грузов и, возможно, не выдержит даже сам себя. Дефекты в нанотрубках очень сильно снижают ее проводящие свойства, поэтому невозможно создание длинных сверхпроводящих кабелей. Также получаемые нанотрубки очень сильно отличаются по диаметру друг от друга. Массовое производство одинаковых по свойствам транзисторов, необходимых для электронных схем, дисплеев и памяти на их основе, будет невозможно. В местах соединений нанотрубок с металлами возникают значительные потери энергии.

Для хранения водорода и других веществ необходимы нанотрубки с относительно большим диаметром внутренней полости. Такие нанотрубки получить не удастся.

Для осуществления адресной доставки лекарств необходим механизм, который позволит точно направлять их к больному органу, а после доставки открывать их. Этого механизма не существует. Также после доставки лекарства может происходить накопление их в организме, что при большой химической активности нанотрубок может приводить к заболеваниям.

Диаметр капилляров в организме человека может быть около 5 нм и протеиновые нанотрубки будут перекрывать их.

Производство нанотрубок требует больших энергозатрат и времени. Очистка и разделение нанотрубок еще больше усложняет этот процесс. Поэтому их цена очень велика, что не позволит применять их повсеместно.

П.Н. Дьячков «Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применения» 2006.

<http://old.nanonewsnet.ru/index.php?module=Pagesetter&func=viewpub&tid=4&pid=200>

<http://www.nanometer.ru/2007/06/02/nanotubes.html>

[http://www.cnews.ru/news/top/index.shtml?2006/04/03/198929\\_2](http://www.cnews.ru/news/top/index.shtml?2006/04/03/198929_2)

<http://www.cnews.ru/news/top/index.shtml?2006/04/03/198929>

<http://journal.issep.rssi.ru/page.php?year=1999&number=3&page=111> (111-115)

**Кушнир С.Е.**

**«Ау, Демоны Максвелла!» (нанороботы и наномедицина)**

*Это эссе написано по сути и со знанием дела. Про нанороботов писало большинство участников, не задумываясь, будут ли они созданы на самом деле или нет. Это и не важно. Нанороботы – символ и, можно даже сказать, футуристический жупел нанотехнологий. Как бы хотелось, чтобы они были! И к чему это приведет? Впрочем, смотрите эссе...*

Чтобы говорить о нанороботах и наномедицине, надо сначала определить эти понятия. Попробуем это сделать.

#### «ЗА»

Наномедицина – слежение, исправление, конструирование и контроль над биологическими системами человека на молекулярном уровне, с использованием наноустройств и наноструктур [1]. Т.е. наномедицина – медицина использующая достижения нанотехнологии. Однако, наномедицина должна не просто улучшить

существующие методы лечения, но и привнести качественно новые методы лечения. Этот качественный скачок в медицине должен воплотиться за счёт использования нанороботов.

Наноробот, во-первых, должен быть роботом, т.е. электронно-механическим устройством, которое способно к целесообразному поведению в условиях изменяющейся внешней обстановки и выполняющим рабочие операции со сложными пространственными перемещениями [2]. А во-вторых, наноробот должен быть «нано», т.е. его размер должен быть от 1 до 100 нанометров. В-третьих, понятие наноробота связывают с манипуляцией отдельными атомами [3], благодаря которым можно собирать из атомов различные предметы (в том числе и свою копию), а также разбирать предметы на отдельные атомы.

Нанороботы смогут самостоятельно передвигаться в организме человека. При этом они будут исправлять повреждённые клетки, очищать организм от микробов, молодых раковых клеток и отложений холестерина [4]. Внося изменения в ДНК, нанороботы смогут вылечивать патологии. Нанороботы станут универсальным лекарством, которое сможет лечить любые заболевания вирусного, бактериального или генетического происхождения [5]. Кроме того, нанороботы позволят расширить человеческие способности. Они улучшат человеческое мышление и память [6].

#### «ПРОТИВ»

После описанных возможностей можно задуматься о том, насколько безопасны будут нанороботы для человека и человечества, не приведёт ли создание нанороботов к появлению ещё более страшного и разрушительного оружия массового поражения. Но сейчас это лишь философские вопросы фантастического мира, т.к. на сегодняшний день нет ни одного наноробота или даже его проработанной модели. Составим список основных частей наноробота, необходимых для его работы [7]:

1. средства приёма и передачи информации;
2. устройства получения и/или аккумуляции энергии;
3. вычислительная система достаточной мощности, оборудованная достаточной памятью;
4. сенсоры для навигационной системы и определения атомов и молекул;
5. манипуляторы для перемещения и выполнения технологических операций.

И всё это должно уместиться в пределах одного наноробота! Т.е. примерно в одном миллиарде атомов. Реализация каждого пункта представляет собой огромную проблему не только для прикладной, но и фундаментальной науки. Можно с большой долей уверенности сказать, что перед тем, как будут созданы нанороботы, станет обычным использование беспроводных систем передачи информации с сверхвысокой пропускной способностью в нано- и субнанометровом диапазоне, один «размер» бита информации уменьшится до одного атома, появятся нанометровые квантовые компьютеры, произойдёт качественный скачок в аналитической химии. Нет уверенности в том, что на пути к созданию частей наноробота не возникнут фундаментальные ограничения.

Однако даже создание всех компонентов наноробота не откроет его создателям лёгкого пути к конечной цели. Диффузия атомов, силы поверхностного натяжения, силы Ван-дер-Ваальса, броуновское движение, собственные колебания, локальные электромагнитные поля, вездесущий ядерный распад, «горячие» частицы – неполный список «мелких» проблем наноробототехники.

Если создание нанороботов маловероятно, то не является ли наномедицина столь же эфемерной? Помимо нанороботов у наномедицины есть в запасе реально существующие квантовые точки для диагностики заболеваний, наночастицы для адресной доставки лекарств, гипертермия и бактерицидных средств на их основе.

Таким образом, несмотря на то, что нанороботы остаются пока лишь фантастическими персонажами, медицина начинает использовать достижения нанотехнологии, и появляется её новый раздел – наномедицина.

- [1] <http://ru.wikipedia.org/wiki/Наномедицина>  
[2] [http://slovari.yandex.ru/art.xml?art=gl\\_natural/136/136\\_223.HTM&encpage=gl\\_natural&mrk p=http%3A//hghltd.yandex.com/yandbtm%3Furl%3Dhttp%253A//encycl.yandex.ru/texts/gl\\_natural/136/136\\_223.HTM%26text%3D%25F0%25EE%25E1%25EE%25F2%253A%253A35498%26%26isu%3D20%25EE%25E1%25EE%25F2%253A%253A35498%26%26isu%3D2](http://slovari.yandex.ru/art.xml?art=gl_natural/136/136_223.HTM&encpage=gl_natural&mrk p=http%3A//hghltd.yandex.com/yandbtm%3Furl%3Dhttp%253A//encycl.yandex.ru/texts/gl_natural/136/136_223.HTM%26text%3D%25F0%25EE%25E1%25EE%25F2%253A%253A35498%26%26isu%3D20%25EE%25E1%25EE%25F2%253A%253A35498%26%26isu%3D2)  
[3] <http://www.membrana.ru/articles/global/2002/01/04/215000.html>  
[4] <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2007/nanoroboty-mogut-stroit-mogut-razrushat>  
[5] <http://itc.ua/article.phtml?ID=17200&IDw=60>  
[6] <http://www.cbio.ru/modules/news/article.php?storyid=520>  
[7] <http://www.old.nanonewsnet.ru/index.php?module=Pagesetter&func=viewpub&tid=6&pid=24>

**Горлачев Е.С.**

**«Атом – это сила!» (атомно-силовая микроскопия)**

*Это эссе подкупает тем, что у автора уже есть установка, мотивация на дальнейшую деятельность, причем эта установка осознанная и основанная на необходимом минимуме знаний, которые позволяют уже почти свободно, и в то же время без внутренних профессиональных ограничений судить о теме «микросочинения».*

Я решил посвятить свое эссе атомно-силовой микроскопии (АСМ), потому что в моей учебе и работе я непосредственно имею дело с этим методом. Это технология, которой я не устаю восхищаться!

«ЗА»

Прошло всего 20 лет с момента изобретения АСМ Биннигом, но этот метод получил широчайшее применение, потеснив ветерана – электронную микроскопию. И это при том, что АСМ был всего лишь ответвлением СТМ. Первоначальной идеей был именно туннельный эффект, но со временем АСМ начал играть главную роль. Во многом, благодаря огромному числу «мод»: контактная и резонансная, магнитная, электро-силовая, даже электрохимическая! Соответственно, и материалы исследований – от биообъектов до магнитных доменов. Масштаб исследований при этом простирается от истинного атомарного уровня (сверхрешетки Si, HOPG) до микрохиллоков. Такого широкого спектра не предлагает ни один другой метод исследования. Выпущенные российской компанией НТ-МДТ новые зонды с алмазными DLC-иглами позволили не много ни мало отсканировать молекулу ДНК! А огромная область исследования гетероэпитаксиальных наноструктур (Ge/Si, PbSe/PbEuTe etc.) просто обязана своим существованием АСМ и СТМ методикам. Проводя АСМ-измерения, мы имеем на руках не картинку (как с РЭМ), а массив данных с огромным разрешением, позволяющий детальнейшим образом анализировать особенности рельефа (или магнитных, электрических свойств материала), проводить статистическую обработку, получать актуальные изображения.

АСМ прочно вошел в экспериментальную технику, но перспективы только начинают разворачиваться! Теперь реально исследуется возможность не только микроскопии как таковой, но и создания наноструктур, рабочих наноэлементов. Прототипы создаются в лабораториях по всему миру, включая Россию. Суть метода в том, что рисунок создается прямым рисованием зондом, который локально окисляет Si. Главной задачей является постановка такой техники на поток. Принципиальное решение уже найдено – это использование «многоножек» – мультикантилеверных систем. Традиционная литография как известно уже подошла к своим физическим пределам. А что же предлагает АСМ? Мы можем строить необходимые элементы с точностью до атома! Действительно, АСМ – это сила!

«ПРОТИВ»

Но есть ли у АСМ недостатки? Конечно, и гораздо больше, чем хотелось бы... Да и по сути своей метод не так уж хорош и универсален. «Мод» много, но они все носят лишь вспомогательный характер, а по сути дела АСМ это всего лишь сверхвысокотехнологичный инструмент для определения шероховатости поверхности. АСМ остается *bona fide* профилографом-профилометром.

Но и после получения «скана» поверхности задача не решена. Нет ни одного другого метода исследования с таким набором ошибок-артефактов. Большая часть АСМ-измерений состоит не в сканировании, а в попытках «отфильтровать» результат. Прилипание зонда к грязной поверхности, нелинейность и крип пьезокерамики, а также вездесущие вибрации делу явно не помогают. Оказывается, и форма острия зонда определяет получаемую картину, и разработчики прикладывают большую часть усилий не на «нанотехнологии», а на элементарные острия!

Много говорится сейчас о «революционной» технологии построения наноструктур поатомно на СТМ/АСМ. Все знают о логотипе IBM из атомов – больше PR-ходе, чем научном достижении. Действительно, подобные «прототипы» создаются, однако дальше дело не идет. О воспроизводимости и говорить не приходится. Соединение кантилеверов в «многоножки» – решение, лежавшее на поверхности – и не выдерживающее никакой критики!

В выводе позволю себе вернуться все-таки к плюсам. Да, недостатки и артефакты есть, но все они конечно же учитываемы и преодолимы. Метод уже позволил сделать очень многое, доселе недоступное. Создание новых зондов, сканеров, мультикантилеверных систем открывает широчайшие перспективы для исследовательских и производственных задач. Приятно осознавать присутствие российской науки/технологии в лице НТ-МДТ в этом деле. Уверен, что АСМ/СТМ будет играть одну из ведущих ролей в грядущей нанореволюции!

**Василега И.М.**

### **«Гремучий газ» (водородная энергетика)**

*Сколько же копий было сломано в извечном вопросе «быть» или «не быть» водородной энергетике! Да, не так уж это все однозначно. И в этом эссе коротко и ясно (то есть, по сути, талантливо) схвачены нужные ракурсы и очерчены нужные аспекты проблемы.*

#### «ЗА»

Наш организм для поддержания жизнедеятельности тратит энергию, он берёт её из пищи, а конкретней из глюкозы ( $C_6H_{12}O_6$ ). Без участия кислорода у этого процесса чистый выход 4 молекулы АТФ (универсальный носитель энергии в нашей клетке), но если окислить выделившийся водород от этого процесса, то только это реакция даст 34 АТФ (в 8.5 раза больше)!

Как мы видим живые организмы посредством эволюции перешли на своего рода водородный двигатель, почему бы нам не заменить уже практически израсходованную нефть на такой прекрасный источник энергии? У него есть ряд преимуществ:

1) Его очень много на нашей планете.

2) Водородное топливо очень эффективно: из литра водорода получается столько же энергии, сколько из трех литров бензина, теплота его сгорания составляет 143 кДж/г, то есть примерно в 5 раз выше, чем у углеводородов (29 кДж/г).

3) Это – экологически чистый продукт, отходы водородного двигателя есть вода. Даже при смешанном питании двигателя водородом и бензином выбросы оксида углерода снижаются в 10 раз, выбросы несгоревших углеродов – в 2-3 раза, окислов азота – в 2 раза.



4) Он не требует гигантских затрат на переоборудование инфраструктуры, т.к. газ как топливо уже используется, т.е. технологии передачи и хранения газа в сжатом виде уже испытаны.

Основное условие перехода к водородной энергетике – создание надежных и экономически выгодных топливных элементов на основе водорода. В таком элементе химическая энергия, высвобождающаяся в реакции водорода с кислородом, превращается непосредственно в электрическую. Коэффициент полезного действия топливного элемента может достигать 90%!

#### «ПРОТИВ»

Преыдушие 1618 знаков рассказывали о том, как прекрасен водород, но в каждом пункте есть масса трудностей и не выгоды данного вида топлива, т.е. водорода:

1) Да, его очень много, но его практически нет в чистом виде, следовательно, его придется вытаскивать из других веществ (в настоящее время единственным промышленно возможным способом является электролиз воды), что приведёт к дополнительным энергозатратам.

2) Да, по энергоотдаче он превосходит бензин, но чтобы получить топлива, заменяющего один литр бензина, требуется потратить энергию, выделяемую при сжигании шести литров бензина.

3) Водород – экологически чистый продукт, но всё таки и тут есть свои минусы: во-первых водород в свободном состоянии очень взрывоопасен, во-вторых если будет авария или утечка, то этот газ легко поднимется на уровень озонового слоя (т.к. водород самый легкий из газов), где привычная формула  $O_3$  разложится на привычный нам  $O_2$  и свободный (очень активный)  $O$ , с которым легко соединится водород, образуя воду, это приведёт к исчезновению озонового слоя.

4) Казалось бы, чем водород отличается от метана? Почему бы его также не транспортировать, как метан? Потому что молекула  $H_2$  очень мала и при очень больших давлениях она просто «просачивается» через стенки баллона/газопровода. Т.е. использовать существующую инфраструктуру транспортировки газа применительно в водороду не получится без серьезной модернизации.

Как мы видим, это топливо превосходит наши современные энергоносители, но приняв его как источник энергии мы столкнемся и с бо́льшими проблемами.

**Семакина К.Э.**

**«Да здравствуют киборги!» (биоматериалы и имплантанты на основе наноматериалов)**

*Кто такой «киборг» (кибернетический организм)? Да кто ж его знает! Нет их пока, но вот биоматериалы и наноустройства для создания современных франкенштейнов уже небезуспешно делают, а в кино – в кино показывают «Звездные войны» от Лукаса!*

#### «ЗА»

Человечеству всегда приходилось делать выбор: развиваться по эволюционному или революционному пути, вести войну или жить мирно, осваивать Космос или лишь родную планету? Но сейчас пришло время принять такое решение, которое не касается ни одной из сфер человеческой деятельности. Это решение о судьбе людей, как расы.

Выбор будто заключен между двумя обширными комнатами – настоящим и будущим. Эти комнаты отделяет дверь, в которую можно либо войти, попав в великое будущее, либо остаться в настоящем.

Раньше такой возможности выбора не представлялось, будущее можно было только предсказывать, подсмотрев через замочную скважину некоторые детали комнаты. А сейчас появился ключ к двери, и таким ключом является нанотехнология. Возможно,

она позволит превратить все фантастические представления о будущем в реальность. Например, может осуществиться то, что люди станут обладать огромным жизненным потенциалом, способностью восстанавливать утраченные органы, как в фильмах «Пятый элемент» Люка Бессона или «Звездные войны» Джорджа Лукаса.

По-моему, это просто замечательно! Нужно, несомненно, переходить в будущее! Ведь если только представить, проблемы скольких людей разрешатся при использовании биоматериалов и имплантантов на основе наноматериалов...

Самой очевидной и значимой пользой н материалов является то, что при их применении станет гораздо легче устранить две глобальные проблемы человечества – демографическую и проблему здоровья. Инвалиды смогут почувствовать себя полноценными членами общества, многие болезни просто вычеркнут из списка опасных заболеваний, все будут наслаждаться жизнью намного дольше, а может, и бесконечно. Так, американская компания Applied Digital Solutions уже подготовила комплект чипов, предназначенных для вживления в организм человека и способных определять его координаты по сигналам навигационной системы GPS. За первый месяц после анонса комплекта компания получила 2 тысячи заказов. Ученые компании Neural Signals активно занимаются созданием технологий соединения нервных волокон с электроникой. Это облегчит жизнь пациентов, потерявших контроль над своим телом после инсульта или имеющих прогрессирующие заболевания, такие как боковой амиотрофический склероз.

#### «ПРОТИВ»

Все эти разработки, безусловно, очень интересные, но, возможно, стоит призадуматься над пословицей научных горьким опытом предков? «Семь раз отмерь, один раз отрежь» – гласит она. И хотя многие измерения покажут, что нужно как можно быстрее начинать масштабное использование биоматериалов и имплантантов на основе наноматериалов, другие, которые покажут обратное, не менее важны. Разве может человек изменять свою сущность, ведь, по религиозным воззрениям, он – лучшее создание Бога? А если все станут бессмертными, и население будет только расти, то как же Земля, запасы которой уже итак исчерпываются очень высокими темпами, сможет обеспечить его всем необходимым?

В любом случае, независимо от выбора, который сделают люди, хорошо, что существуют реальные нанотехнологические решения многих вопросов.

**Дьяченко Е.Н.**

**«Там внизу – много места» (социальные аспекты нанотехнологий.)**

*Жюри долго спорило, дать ли приз за это эссе по номинации «Романтик нанотехнологий», или нет. В конце концов выбор пал на другого человека. Но присмотритесь к этому эссе – оно написано замечательно! И даже трудно понять, где переплетаются «за» и «против» нанотехнологий. Поздравляем автора с очень удачной жанровой зарисовкой!*

– Добрый день, – спокойным и добродушным голосом сказал пожилой человек.

– Такой же добрый, как и все в здешних краях, – с еле заметным немецким акцентом ответил человек в немного устаревшем сером пиджаке и не очень приветливым лицом.

– Приветствую Вас, – ответил второй господин на образцовом английском языке.

– Друзья мои, все больше и больше меня забавляет то, что я выдумал. Слишком часто я становлюсь не в состоянии понять и разобраться с происходящим в мире, и уже ни раз я обращался к вам за советом и разъяснениями. Пожалуйста, объясните мне, что за суета возникла вокруг слова «нанотехнологии».

– О! – Воскликнул англичанин, но запнулся, – Альберт, ты позволишь?

– Конечно, Исаак, рассказывай, мне тоже интересно твое мнение.

– Нанотехнологии – это последнее чудо цивилизации. Вы только представьте, люди пытаются научиться управлять отдельными атомами и молекулами, создавая из них необходимые для себя устройства. И у них уже даже кое-что получается. В наше время о таком даже и не мечтали.

– И к чему это может привести? – Задумчиво задал вопрос старик.

– Нанотехнологии изменят облик земли и образ жизни людей, населяющих ее. – Продолжил англичанин. – Представьте себе роботов, которые в тысячи раз меньше вашего волоса. Эти роботы смогут проникать в организм человека и действовать в нем по заданной программе: доставлять лекарства к нужным клеткам или, наоборот, удалять из организма вредные вещества или вирусы, наблюдать за состоянием отдельных клеток и органов и оповещать о необходимости принятия различных мер по поддержанию здоровья. При этом можно будет полностью отказаться от хирургического вмешательства в организм человека – все будет быстро, безболезненно и своевременно. Я считаю, нанороботы позволят продлить срок жизни людей до двух сотен лет, а, может быть, и вообще исполнят заветную мечту живущих людей – бессмертие.

Нанотрубки могут осуществить другую мечту человечества – колонизацию космоса, других планет и звезд. Наш друг Константин, – англичанин оглянулся по сторонам, будто ища глазами, – еще в свое время предложил проект космического лифта – троса в космос, который легко позволит доставлять любые грузы и людей на орбиту. Тогда эта затея провалилась, так как стальной трос не выдержал бы и собственного веса, но сейчас нанотехнологии позволяют создать трос из углеродных нанотрубок, который будет в тысячи раз прочнее при той же массе. Это звучит невероятно, но возможно даже удастся построить лифт между Землей и Луной, а, возможно, и другими планетами.

И еще много полезных вещей способны дать нанотехнологии: новые более долговечные источники энергии и элементы питания; более объемные хранилища информации; материалы, прочность которых во много раз превосходит имеющиеся сейчас; безвредные для планеты технологии, которые позволят сохранить ее красивой и здоровой.

– Альберт, а что ты думаешь – расскажи мне. – Обратился пожилой человек к господину в сером пиджаке.

– У меня несколько более сдержанная точка зрения. Сказанные слова звучат, конечно, впечатляюще, но есть проблемы. Для начала, заметьте: слов много, а сделано пока крайне мало в областях наномедицины, нанороботов, внедрения нанотрубок и других. И, что самое главное, пока не видны пути воплощения задуманного в реальность. Это напоминает мне недавнюю ситуацию с исследованием высокотемпературной сверхпроводимости. Вроде бы и результаты в этом направлении были замечательные, и перспективы огромные, а до применения на практике дело так и не дошло – сейчас почти и не вспоминают об этом явлении. Еще мне кажется странным ажиотаж вокруг слова «нанотехнология»: ведь микропроцессорная техника уже давно создается по технологическим нормам десятков нанометров... Но, в любом случае, тут надо быть осторожнее; сложно определить важность и перспективность нанотехнологий: ведь и я, и ты, Исаак, ни раз ошибались в своих умозаключениях.

– Альберт, – улыбнулся англичанин, – ты, я помню, вообще атеистом был, а посмотри, где мы находимся и с кем беседуем...

**Харламова М.**

**«Встал утром – приberi свою Планету» (наноматериалы и экология)**

*Ну кто же не знает, что экология и медицина сейчас важны и, может быть, даже важнее всяких там нанотехнологий. Об этом говорят в школе, на улице, в газетах... Так могут ли нанотехнологии помочь? Автор верно многие вещи подметил и раскрыл!*

### Диалектическое «ЗА»

Сухие сводки радио- и телепередач то и дело сообщают о новых экологических загрязнениях: чудовищные пятна разлившейся нефти обезображивают лицо природы. Со злобещей частотой приносятся вести о разливе нефти на поверхности Ламанша, Босфора, вблизи берегов Испании, Франции вследствие очередной аварии танкера, об утечке “черного золота” из трубопровода на Дальнем Востоке.

На многие десятки километров гибнет все живое. С завидной частотой мы видим на телеэкранах животных и птиц, покрытых толстым слоем нефти и экологов, не успевающих их очищать. И дай Бог, если после этого хотя бы несколько процентов животных выживет и сможет дать здоровое потомство. Все это-обратная сторона научно-технического прогресса. Земной шар стал более доступным и уязвимым для чудовищных экологических катастроф.

Все взаимосвязано в мире: черное и белое, плохое и хорошее. Достижения науки помогают и лечить природу. Для преодоления страшных катастроф на помощь приходят разработки нанотехнологии. В течение последнего года я занимаюсь изучением, по-моему, очень интересного и перспективного материала-оксида титана. Повышенный интерес к  $TiO_2$  обусловлен его фотохимической активностью, позволяющей проводить на поверхности полупроводника окисление токсичных органических веществ до углекислого газа и воды. Под действием ультрафиолетового излучения в оксиде титана происходит образование электрон-дырочной пары, последующий выход носителей заряда на поверхность частицы и их участие в химических реакциях приводит к образованию свободных радикалов, которые могут окислить практически любое органическое соединение. Вот вам и ключ, с помощью которого можно если не избежать, то существенно снизить потери от экологических катастроф. Всю нефть собрать невозможно, но мы можем эффективно и быстро устранить остатки путем добавления несоизмеримо малых количеств фотокатализатора. И вот уже поют птички, весело шелестят листочками деревья и травы на территории, которая обычным способом очищалась бы десятки лет. Разве это не достойное приложение сил и поля деятельности?

### Диалектическое «ПРОТИВ»

Диалектика жизни такова, что одно и то же вещество может служить и лекарством, и ядом. Все зависит от того, в чьи руки оно попадет, кто воспользуется плодами цивилизации, достижениями науки. Отечественные и зарубежные блокбастеры с завидной регулярностью пугают нас негативными примерами.

В перспективе для обнаружения некоторых заболеваний человека (иммунодиагностики) планируют применять методы магнитометрического анализа. При заболевании в организме вырабатываются антитела, каждому виду антител соответствует строго определенный антиген, с которым способны связываться так называемые магнитные метки, например наночастицы маггемита или магнетита, которые обратимо влияют на свойства магнитного поля. Но в природе существует невидимое, но очень чувствительное к внешним воздействиям равновесие. В частности, для организма человека характерно постоянство свойств внутренней среды: минеральный баланс, кислотный, температурный,- так называемый гомеостаз. Данный механизм установлен природой и любое неосторожное вторжение в него чревато необратимыми последствиями. В результате мы можем получить такие болезни, о которых раньше и не подозревали. Не таким ли побочным эффектом неразумного творчества ученых являются новоявленные инфекции (СПИД и др.), природу которых ученые до сих пор не установили?

Человек при всем могуществе орудий труда и достижений разума как биологическое существо не изменился за последние десятки тысячелетий. Он хрупок и слаб, поэтому экологические нарушения, обусловленные развитием науки и техники, в частности нанотехнологии, зачастую могут привести к необратимым последствиям. Сколько новых болезней и эпидемий ожидает человечество при проникновении в

глубины, непознанные пока еще уголки природы! Так не будем же базаровыми нового времени, считающими природу не храмом, а мастерской! За самонадеянность и волюнтаризм, за неразумное вторжение в тонкие механизмы ее деятельности природа может ответить нам непредсказуемо...

**Поляков А.Ю.**

**«Точка, точка, запятая...»**

*Опять-таки, это эссе вызвало споры. С одной стороны, стихотворная форма очень подходит к форме конкурса. С другой стороны, а не легковесно ли? Впрочем, в спорах рождается истина, и жюри решило присудить премию именно за это стихотворение, тем более, что в нем есть реальные стороны физики объекта и явления, отраженные лаконично и пафосно.*

Вместо предисловия

Давным-давно, не помню в каком году я сел подписывать дневник. Это было 31 августа, на следующий день должна была быть линейка в школе, настроение было предпраздничным. Я решил, что надо чуть-чуть расслабиться и открыл форзац дневника.

И тут передо мной появилась таблица приставок СИ. Я заинтересовался:

**микро -  $10^{-6}$ ;**

**нано -  $10^{-9}$ ;**

**пико -  $10^{-12}$  ...**

Почему-то это казалось даже интересней, чем кило-, Мега-, Тера- ...

Тогда я ещё не знал, что "Там, внизу, ещё много места", и что НАНО- станет моим кумиром, моей мечтой...

\*\*\*

Мой друг, про квантовую точку  
Тебе хочу я рассказать.  
Обильем терминов, уж точно,  
Тебя не буду утруждать.

Она мала; с ней не сравнится  
И тонкий волос толщиной <sup>1</sup>,  
Но микроскоп, как сокол-птица,  
Её рассмотрит под иглой <sup>2</sup>.

Её нульмерною системой  
Иные любят величать,  
Другие "ящиком квантовым"  
Не постесняются назвать.

Числом немногим электроны  
В ней могут быть заключены,  
На разных уровнях энергий  
В ней расположены они.

На атом тем она походит,  
Но в ней ядра не отыскать.  
А электроны её могут  
Свет поглощать и излучать.

И, как ты догадаться можешь,

Люминесцирует она.  
И коль размер её меняешь,  
Меняется волны длина.

"Атом искусственный" порой  
Её ученый называет;  
Из точек делать мыслью одной  
Любое вещество желает<sup>3</sup>.

В Египте Древнем процветала  
Окраска стёкол дорогих  
Наночастицами металлов  
(Хоть мудрецы не знали их)<sup>4</sup>.

Специально точки получили  
(Впервые, для статей и книг)  
Из CdSe<sup>5</sup>. В их структуру  
Профессор Санаи проник<sup>6</sup>.

Потом на кремний научились  
Германий тонко осаждать<sup>7</sup>,  
А ныне множеством методик  
Ты можешь точки получать.

Их примененье безгранично,  
Всего, пожалуй, и не счесть,  
Но сообщу, что знаю лично, -  
Великий толк от них уж есть:

Создать помогут сверхкомпьютер  
И сделать запись поплотней,  
На нужной клетке сделать маркер,  
Рак обнаружить поскорей.

.....

Но так ли нам необходимы  
Герои квантовых миров?  
Они, быть может, очень вредны  
И для костей, и для мозгов.

Быть может, кто-то очень скоро  
Поймет их вредность на себе,  
Но спрятано от наших взоров  
Всё это в будущего мгле.

Но, что бы ни было, друг мой,  
Я рад, что радужной зарёй  
Восходит над моей страной  
НАНОисследований строй!..

1. Толщина человеческого волоса колеблется в районе 50 мкм - 100 мкм, а размеры квантовой точки не превосходят нескольких десятков нанометров.
2. Имеется в виду атомно-силовой микроскоп.
3. Планируется создание объемных структур из квантовых точек по типу кристаллической решетки полупроводника. Новый материал сможет вести себя и как проводник, и как диэлектрик. При этом такие характеристики как цвет, прозрачность, теплопроводность, и магнитные свойства вещества также могут изменяться в реальном времени.  
См. интервью с автором книги "Matter as Software", Wil McCarthy на <http://old.nanonewsnet.ru/index.php?module=pagesetter&func=viewpub&tid=9&pid=3>
4. Это была первая встреча (видимо, неосознанная) человечества с квантовыми точками.  
См. "Наноазбука": квантовые точки (А.А.Елисеев (ФНМ МГУ), Е.А.Киселева (ФНМ МГУ), С.Авдошенко (ФНМ МГУ), [http://www.nanometer.ru/2007/06/06/quantum\\_dots\\_2650.html](http://www.nanometer.ru/2007/06/06/quantum_dots_2650.html))
5. Предполагаемое прочтение CdSe - "ка'дмий се'лен" (думаю, никто не в обиде).
6. См. "Введение в нанотехнологию" (Н. Кобаяси), с. 56 и [http://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовая\\_точка](http://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовая_точка)
7. Имеется в виду начальная стадия метода приготовления эпитаксиальных структур германий- кремний с квантовыми точками.  
См. статью А. Асеева (академик, директор ИФП СО РАН) "ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ, НАНОЭЛЕКТРОНИКА И НАНОТЕХНОЛОГИИ" на [http://www.sibai.ru/index.php?option=com\\_content&task=view&id=391&Itemid=504](http://www.sibai.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=391&Itemid=504)

**Илин Э.А.**

«Там внизу – много места...» (социальные аспекты нанотехнологий)

*Это эссе уникально тем, что его написала наша бывшая соотечественница, которая сейчас работает в Германии, занимаясь наноматериалами и нанотехнологиями. Поэтому можно сказать, что стихотворное эссе написано молодым профессионалом и почти профессионально (имея в виду изящные литературные наклонности), с молодым, но по-философски углубленным задором.*

**TRAUM\***

Давно те были времена,  
как жизнь была так коротка,  
ведь первобытный человек,  
прожить мог только тридцать лет.

Не знал наш предок, к сожалению,  
к чему приводят труд с учеьем.  
Но подсознательно, наверно,  
он все же развивал себя.

Он научил письму и чтенью  
все будущие поколения.  
Он понял, что весь смысл в стремленье,  
полете мысли и влеченье.

Влеченье к новым горизонтам  
и не открытым областям.  
Наш предок развивал науку и медицину, и не в скуку,  
он научил себя лечить, чтоб дольше и красивей жить.

И вот в наш современный век  
прожить возможно сотню лет.  
Хоть медицина не для всех бед  
нам гарантирует ответ.

Есть в медицине много тем,  
что не изведаны совсем.  
Давай представим наномир,  
где жизнь кипит, как пышный пир.

Огромный наноэкскаватор, или же наномотор  
откроет вмиг любой затвор.  
Пусть то в сосудах, или боль  
пришла внезапно где-то в сердце.

А наносенсор для вас вмиг,  
напишет, прямо как в дневник,  
все об известных вам болезнях,  
чтоб за секунду, без претензий,

Вас «нанодоктор» излечил.  
Тогда б мир весел был и мил.  
Прожить смог каждый тыщу лет.  
Скажите, это ли не бред?

Мы бы пошли против природы,  
продлив же собственные годы,  
мы б заняли чужое место.  
И на планете везде вместо

Весёлых радостных детей  
встречали б пожилых людей,  
которым далеко за триста.  
И не причём «asta la vista»,

Когда естественный отбор  
смог быть нарушен, словно вор,  
всё у природы отобрав,  
лишив бесповоротно прав.

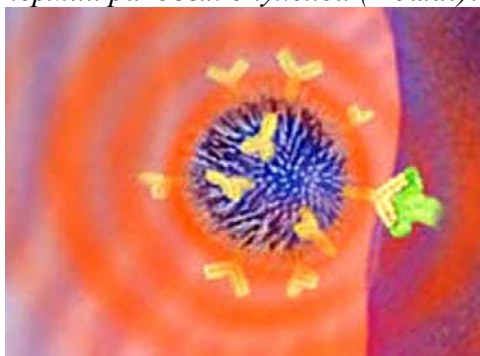
\*) нем. сон или мечта, в данном случае оба значения.



**10. «Очень маленькие магниты»** (максимум 20 баллов, студенческий и аспирантский уровень, автор д.х.н. П.Е.Казин, В.А.Амеличев)

Вы, конечно, знаете, что ферромагнитные материалы ниже температуры Кюри имеют определенную доменную структуру (приставка «ферро» означает именно это, а не часть латинского названия железа «феррум»). Если мы начнем уменьшать размер ферромагнитных кристаллов, то в диапазоне микрометров-нанометров происходят определенные качественные изменения магнитных свойств материала.

1. Опишите изменения магнитных свойств, происходящие при уменьшении размера частиц ферромагнетика (2 балла).
2. Какие параметры и как определяют эти эффекты? (3 балла)
3. Нарисуйте схематически зависимость коэрцитивной силы от размера частицы для ансамбля неупорядоченных и фиксированных в пространстве частиц, объяснив основные участки кривых в координатах «размер – индукция магнитного поля» (5 баллов).
4. Нарисуйте схематически кривую гистерезиса намагниченности от магнитного поля для подобного ансамбля частиц с размерами а) в единицы нанометров, б) десятки-сотни нанометров и в) десятки микрон (3 балла). Нарисуйте схематически кривую магнитного гистерезиса для наночастицы никеля, покрытой оболочкой из оксида никеля (1 балл).
5. Оцените время релаксации  $t$  до термодинамически стабильного состояния находящейся при  $T=300$  К системы сферических наночастиц после отключения внешнего магнитного поля (1 балл). Средний диаметр частиц принять равным  $R=30$  нм, а константу магнитной анизотропии  $K_{300}=1 \cdot 10^4$  Дж/м<sup>3</sup>. Определите критический размер наночастицы такого материала  $D_{кр}$ , при котором он перейдет в суперпарамагнитное состояние при температуре  $T=300$  К, полагая время релаксации  $t$  равным 100 с (1 балл). Время релаксации описывается следующей формулой:  $t = t_0 \exp(E/(k_B T))$ , где  $E$  – величина энергетического барьера,  $T$  – температура,  $k_B$  – постоянная Больцмана,  $t_0$  – предэкспоненциальный множитель, принимаемый равным  $10^{-9}$  с. Энергетический барьер представляет собой произведение объема частицы  $V$  на константу магнитной анизотропии  $K$  (разность энергий, затрачиваемых на намагничивание единицы объема ферромагнетика по осям трудного и легкого намагничивания).
6. При одинаковом диаметре частиц, превышающем суперпарамагнитный предел, и прочих равных условиях, какие из магнитных жидкостей будут лучше разогреваться переменным магнитным полем – содержащие частицы литий-марганцевой шпинели, ортоферрита иттрия, магнетита, маггемита, гематита, альнико, гексаферрита бария, платины или меди (2 балла)? Объясните, каковы могут быть причины разогрева таких магнитных наночастиц в адиабатических условиях (1 балл). Какие из этих частиц будут обладать наименьшей цитотоксичностью при использовании в гипертермии раковых опухолей (1 балл)?



Художественное изображение наночастицы, разогреваемой переменным магнитным полем

## Решение

1) Доменная структура объемного ферромагнетика возникает в результате минимизации суммарной энергии системы, в которую входят: обменная энергия, минимальная при параллельном расположении спинов электронов; энергия кристаллографической анизотропии, обусловленная существованием в кристалле осей «легкого» и «трудного» намагничивания; магнитостатическая энергия, связанная с наличием магнитных полюсов внутри и на поверхности образца; магнитострикционная энергия, вызванная стремлением доменов изменить свой размер. Замыкание магнитных полей доменов уменьшает число полюсов в образце и связанную с этим суммарную магнитостатическую энергию.

Домены, которые представляют собой спонтанно намагниченные области ферромагнетика, располагаются преимущественно вдоль направлений «легкого» намагничивания. При уменьшении диаметра частицы магнитостатическая энергия, пропорциональная объему, убывает быстрее, чем энергия границы между доменами, пропорциональная поверхности, поэтому достаточно малые частицы ферромагнетика должны становиться однодоменными. Однако однодоменная частица при дальнейшем уменьшении размеров продолжает сохранять однородную намагниченность, так как атомные моменты удерживаются обменными силами в параллельном расположении. Однако с уменьшением объема частицы возрастает вероятность спонтанной тепловой разориентации суммарных магнитных моментов отдельных частиц. Этот процесс характеризуется некоторым энергетическим барьером, величина которого прямо пропорциональна объему частицы. Для наночастиц малых размеров (порядка десятков нм) процесс спонтанной разориентации происходит за времена порядка миллисекунд, таким образом малые частицы ферромагнетика будут обнаруживать суперпарамагнитные свойства.

2) Рассмотрим количественные характеристики переходов, описанных в п.1.

Значение предельного, или критического радиуса,  $R_c$ , при котором еще сохраняется однородная намагниченность, имеет вид:

$$R_c \approx 0.95/I_s \cdot (10 \cdot A)^{1/2} \cdot [Q - 2 \cdot K/I_s^2 - H/I_s]^{-1/2}$$

где  $I_s$  – намагниченность насыщения;  $A$  – параметр обменной энергии;  $K$  – константа анизотропии;  $Q$  – размагничивающий фактор;  $H$  – напряженность поля.

Частица с радиусом, удовлетворяющим данному уравнению, при всех значениях поля  $H > -2 \cdot K/I_s$  остается однодоменной. Условие однодоменности:

$$R < R_c \approx 0.95/I_s \cdot [10 \cdot c \cdot z^2 \cdot A / (a_0 \cdot Q_R)]^{1/2}$$

где  $c = 1/2, 1$  и  $2$  для простой кубической, ОЦК и ГЦК решеток соответственно;  $z$  – число некомпенсированных спинов на атом;  $A$  – обменный интеграл;  $a_0$  – параметр кристаллической решетки;  $Q_R$  – размагничивающий фактор однодоменного эллипсоида вдоль короткой оси.

По мере приближения ферромагнитных частиц к однодоменному состоянию преобладающим механизмом перемагничивания становится процесс синхронного (когерентного) вращения большинства индивидуальных атомных магнитных моментов. Этому процессу препятствует кристаллографическая анизотропия и анизотропия формы частиц. Чтобы перемагнитить однодоменную сферическую частицу путем когерентного вращения, необходимо приложить обратное поле

$$H_{c,max} = 2 \cdot K_e / I_s$$

где  $H_{c,max}$  – максимальная коэрцитивная сила;  $K_e$  – эффективная константа анизотропии.

Как уже было сказано, процесс спонтанной тепловой разориентации суммарных магнитных моментов отдельных частиц характеризуется энергетическим барьером  $E$ . Вероятность такого процесса пропорциональна  $\exp[-E/(k_B \cdot T)]$ . Вектор суммарного магнитного момента отдельной частицы  $\mathbf{M} = V \cdot \mathbf{I}_s$ . Суммарная намагниченность  $\mathbf{I} = N \cdot \mathbf{M}$  ансамбля из  $N$  частиц, возникающая в поле  $H$ , после выключения этого поля стремится к нулю из-за броуновского движения ориентаций векторов  $\mathbf{M}$  отдельных частиц, следуя закону:

$$I = I_s \cdot \exp(-t/\tau)$$

где  $t$  – время;  $\tau$  – время релаксации.

Таким образом, система малых частиц ведет себя подобно ансамблю парамагнитных атомов, обладающих большим магнитным моментом  $M$ . Теория предполагает, что время релаксации  $\tau$  зависит от энергетического барьера  $E = K \cdot V$ :

$\tau = \tau_0 \cdot \exp[E/k_B \cdot T]$ , где  $\tau_0$  – частотный фактор, который в первом приближении равен частоте прецессии магнитного момента частицы, оценочно равен  $10^9$  с.

3) Коэрцитивная сила есть такое размагничивающее магнитное поле напряженностью  $H$ , которое необходимо приложить к ферромагнитному образцу, предварительно намагниченному до насыщения, чтобы довести до нуля его намагниченность. Схематическая зависимость коэрцитивной силы от диаметра частиц представлена на рис.1. Пояснения к рис.1: размагничивание многодоменного объемного материала происходит за счет движения доменных границ, поэтому для осуществления данного процесса необходимо поле относительно небольшой напряженности. При приближении к области однодоменности преимущественным механизмом размагничивания становится когерентное вращение спинов, которое для однодоменного образца становится единственно возможным механизмом размагничивания. Это процесс затруднен, т.к. ему препятствует кристаллографическая анизотропия и анизотропия формы частиц, поэтому для определенном размере наночастиц коэрцитивная сила проходит через максимум. При дальнейшем уменьшении размера, как уже было сказано, происходит скачкообразный переход к спонтанному размагничиванию образца за счет броуновской разориентации суммарных магнитных моментов отдельных частиц, т.е. образец становится «суперпарамагнитным».

4) Кривые гистерезиса схематически представлены на рис.2-4. Для суперпарамагнитных частиц петля гистерезиса при комнатной температуре отсутствует, поскольку частицы успевают разориентироваться очень быстро. Для однодоменной частицы коэрцитивность велика, что выражается в широкой петле гистерезиса. При возрастании размера частиц петля гистерезиса приближается к таковой для объемного образца. В случае наночастицы никеля (ферромагнетик), покрытой оксидом никеля (II) (антиферромагнетик) мы сталкиваемся с проявлением т.н. обменного смещения, эффекта, возникающего при контакте ферромагнетика и антиферромагнетика. Дополнительно к этому, возможно ожидать увеличения коэрцитивности такой частицы по сравнению с частицей без оболочки из NiO.

5) Используем формулу для времени релаксации:

$$\tau = \tau_0 \cdot \exp[K \cdot V / k_B \cdot T]$$

где  $V = 1/6 \cdot \pi \cdot d^3$ .

Подставляя все значения, получим  $\tau = 6.8 \cdot 10^5$  с ( $\approx 8$  сут).

Для вычисления  $D_{кр}$  перепишем эту формулу в виде:

$$D_{кр} = [6 \cdot k_B \cdot T \cdot \ln(\tau/\tau_0) / (K \cdot \pi)]^{1/3} = 2.7 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 27 \text{ нм}.$$

6) Причиной разогрева магнитных наночастиц в переменном магнитном поле является так называемый «гистерезисный нагрев» (hysteresis heating), являющийся частным случаем магнетокалорического эффекта. Суть «гистерезисного нагрева», заключается в выделении энергии частицей при смене ее ориентации с противоположного полю на совпадающее с направлением поля. С термодинамической точки зрения суть эффекта состоит в изменении энтропии образца под воздействием магнитного поля, сопровождающегося выделением теплоты (изменением внутренней энергии материала в адиабатических условиях при совершении работы перемагничивания, то есть на гистерезисные потери). При этом важным оказывается правильно подобрать температуру Кюри ферромагнетика. Выше этой температуры вещество теряет ферромагнитные свойства и перестает нагреваться в осциллирующем магнитном поле. Все перечисленные материалы относятся к разным классам магнитных материалов:

- платина - парамагнетик

- медь - диамагнетик
- $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  - фрустрированный антиферромагнетик
- $\text{YFeO}_3$  - слабый неколлинеарный ферримагнетик
- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  - ферримагнетик
- $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  - антиферромагнетик со слабым ферромагнетизмом
- $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  - ферримагнетик
- $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  - ферримагнетик
- альнико - магнитно-твердый сплав на основе Fe-Co-Ni-Al для постоянных магнитов; получают литьем, из порошков и горячей деформацией слитка (по первым буквам от названий «алюминий», «никель», «кобальт»).

Платина, медь и литий-марганцевая шпинель будут нагреваться в переменном магнитном поле ничтожно мало. Для остальных соединений необходимо привести данные по максимальной намагниченности на единицу объема, чтобы расставить их в ряд по нагревательной способности. Альнико - единственный из всех веществ магнитотвердый сплав, однако он фактически представляет собой композит и приобретает свои выдающиеся магнитные свойства после процедуры отжига в сильном магнитном поле, что невозможно сделать в случае наночастиц - они спекутся. С учетом данной оговорки ряд по гипертермической активности наночастиц будет выглядеть следующим образом: альнико > магнетит > маггемит > гексаферрит бария > ортоферрит иттрия > гематит > литий-марганцевая шпинель > платина ~ медь. Практически безвредными для клеток являются магнитные наночастицы на основе оксидов железа - гематит, маггемит и магнетит.

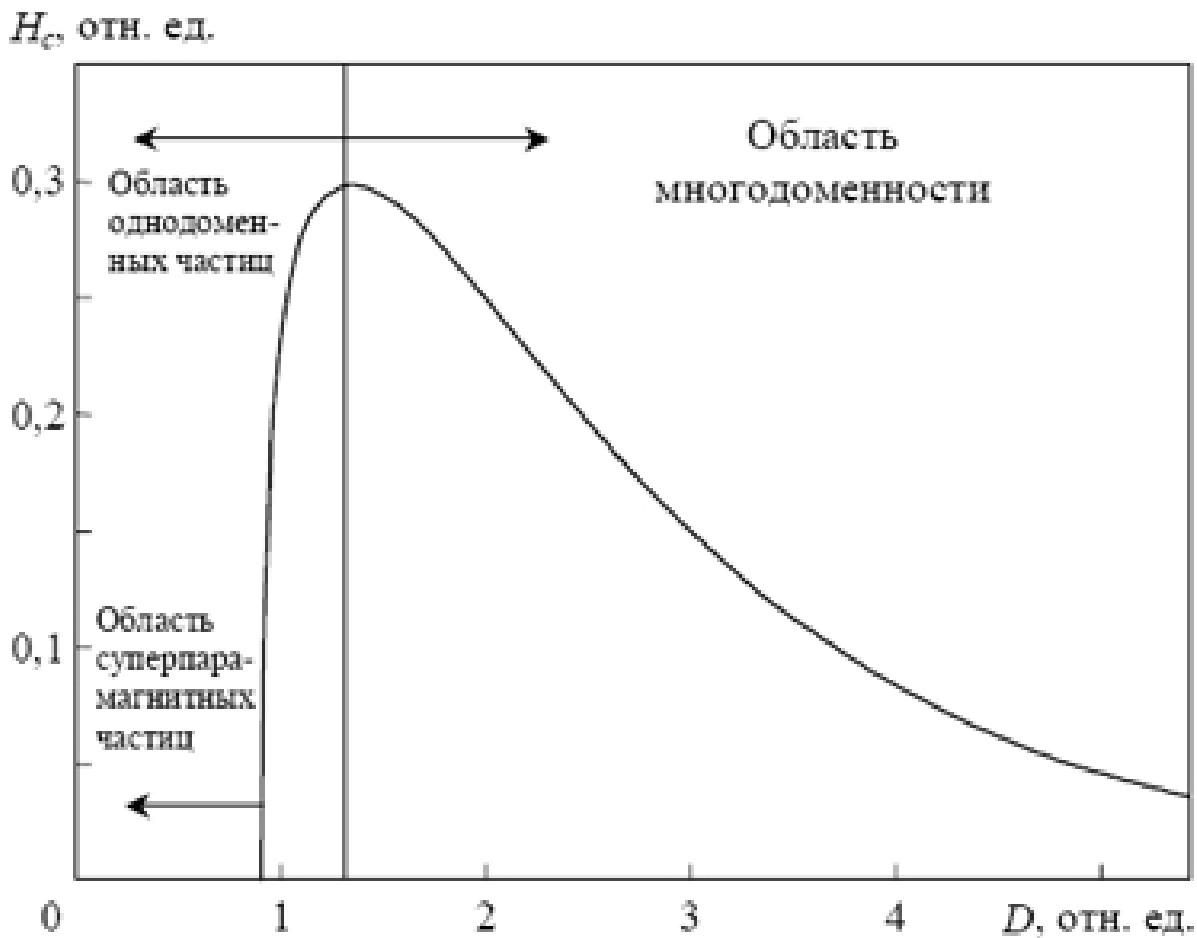


Рис. 1. Зависимость коэрцитивной силы от размера частиц

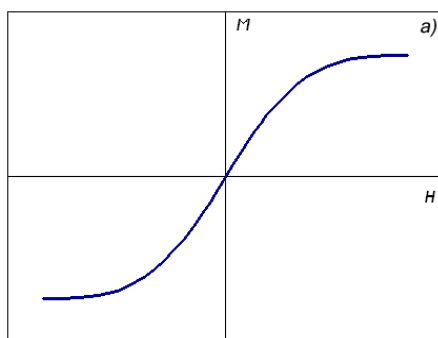


Рис. 2. Зависимость намагниченности от напряженности магнитного поля для ансамбля суперпарамагнитных частиц

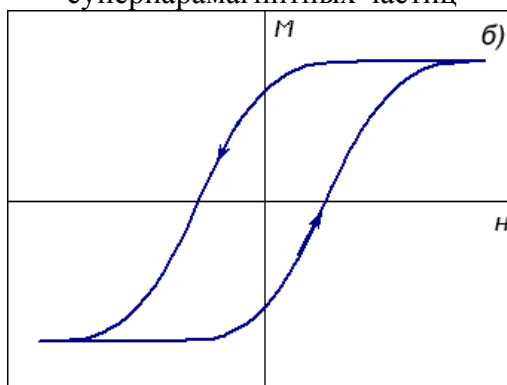


Рис. 3. Кривая гистерезиса для ансамбля однодоменных наночастиц

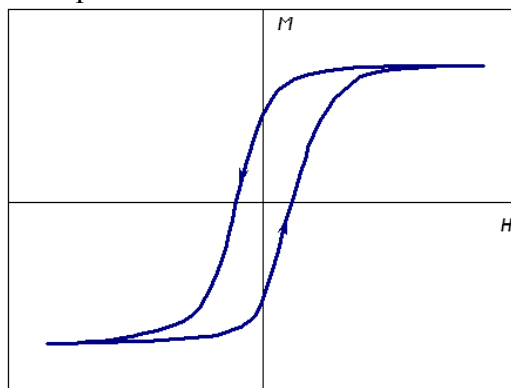


Рис. 4. Кривая гистерезиса для ансамбля мультидоменных частиц

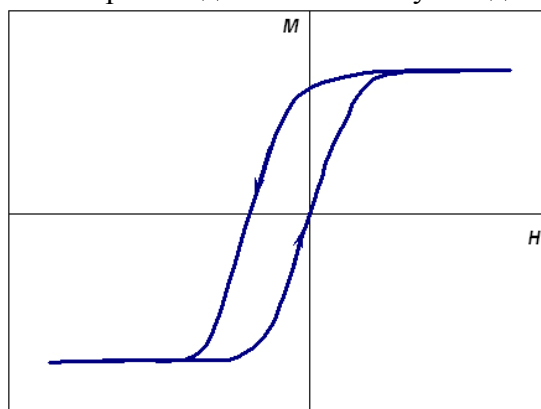


Рис. 5. Кривая гистерезиса для ансамбля ододоменных наночастиц Ni, покрытых оболочкой NiO (масштаб по оси H больше, чем для всех предыдущих рисунков, то есть коэрцитивность такой частицы будет выше, чем коэрцитивность такой же однодоменной частицы никеля без покрытия NiO)

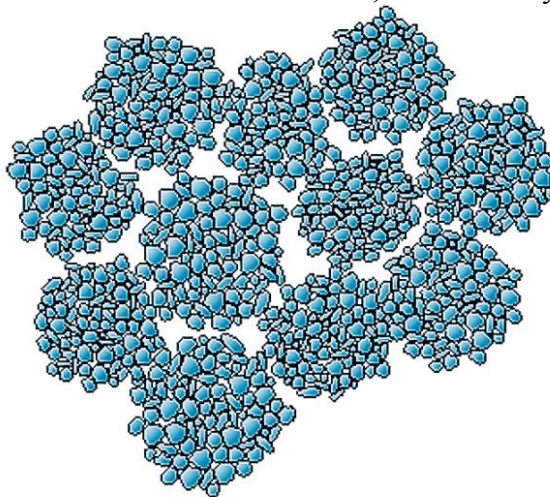
**11. «Делаем нанокерамику»** (20 баллов, студенческий и аспирантский уровень. автор д.х.н.О.Ю.Горбенко, Химфак МГУ)

Усилия многих исследователей-материаловедов сосредоточены на разработке топливных ячеек, которые превращают энергию химической реакции непосредственно в электрическую энергию. В топливной ячейке реагенты разделены многослойной мембраной, внешние поверхности которой играют роль анода и катода, а пространство между ними заполняет твердый электролит, способный переносить катионы или анионы. Запишите уравнения реакций, протекающих на электродах топливной ячейки в случае реакции между кислородом и водородом, если электролит является переносчиком ионов кислорода  $O^{2-}$  или ионов  $H^+$  (**3 балла**). Что изменится, если вместо водорода использовать  $CO$ ? (**1 балл**)?

В разработке эффективных топливных ячеек свое весомое слово призвана сказать нанотехнология. Ниже описана методика получения материала анода для топливной ячейки, представляющей собой наноструктурированный композит металлический  $Ni - ZrO_2(Y_2O_3)$ , т.е. оксид циркония, легированный оксидом иттрия. Какие функции выполняют компоненты композита при работе топливной ячейки? (**3 балла**). Напишите уравнения химических реакций, отвечающих разным стадиям синтеза и объясните, как поэтапно формируется структура нанокompозита.

1.  $Zr(OC_2H_5)_4$  и 2-х кратное количество  $NaOH$  растворяют совместно в избытке этиленгликоля  $(CH_2OH)_2$ , затем этиленгликоль отгоняют в вакууме. Какая реакция происходит? Какова роль этиленгликоля? (**2 балла**)
2. Полученный продукт прибавляют к избытку воды с добавками бромида  $N$ -цетил- $N,N,N$ -триметиламмония  $[(CH_3)_3N(CH_2)_{14}CH_3]Br$  (3 весовых %) и эквивалента  $NaOH$ . Все перемешивают длительное время. Что происходит? (**2 балла**)
3. Туда же добавляют раствор нитрата никеля в этиленгликоле. Все перемешивают при комнатной температуре. Запишите уравнение реакции (**2 балла**). Где выделяется продукт реакции? (**1 балл**)
4. Далее смесь перемешивают при  $80^\circ C$ . Что происходит? (**1 балл**)
5. Продукт отделяют фильтрованием и нагревают на воздухе до  $450^\circ C$ . Что происходит? (**1 балл**)
6. Полученный материал выдерживают в токе водорода при  $400^\circ C$ . Что происходит? (**1 балл**)

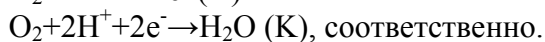
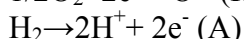
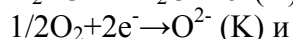
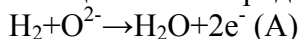
В результате мы получаем нанокompозит, содержащий упаковку ажурных горизонтальных трубок из диоксида циркония с внутренним диаметром и толщиной стенок 3-5 нм, свободно пропускающих газообразный водород, и начиненных нанокластерами металлического никеля. Объясните, как это получилось? (**3 балла**)



Агрегатная структура керамики

### Авторское решение

Реакции на электродах

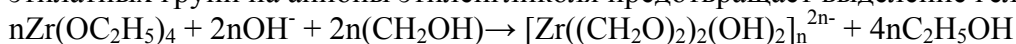


В случае СО будет работать только первая ячейка.

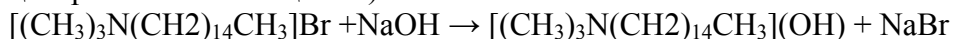
В композите:  $\text{ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$  служит для транспорта ионов  $\text{O}^{2-}$ , увеличения реакционной поверхности, металлический Ni необходим для отвода электронов и, в некоторой степени, для атомизации молекулярного водорода, он также должен находиться в высокодисперсной форме для увеличения реакционной поверхности.

Этапы формирования нанокompозита:

1. Происходит образование золя, содержащего полимерные анионные цепи гидроксоэтиленгликолята циркония (соединение через мостиковые  $\text{OH}^-$  группы). Замена этилатных групп на анионы этиленгликоля предотвращает выделение геля.



2. Катионы цетилтриметиламмония при достаточно высокой концентрации формируют в водном растворе мицеллы гидрофильного золя (цетильные радикалы ориентированы к центральной оси мицеллы).



В двойном электрическом слое мицеллы внутреннее ядро заряжено положительно, а внешнюю оболочку занимают анионы полимерных цепей гидроксоэтиленгликолята циркония, которые вытесняют в водный раствор простые анионы за счет энтропийного вклада.

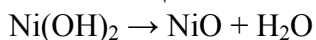
3. Сначала происходит образование гидроксонитрата никеля, то есть катионов  $\text{Ni}_4(\text{OH})_4^{4+}$ , которые втягиваются под отрицательную внешнюю оболочку мицеллы (энтропийный и электростатический факторы):



4. При нагревании гидролиз доходит до образования  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  на поверхности положительно заряженного ядра мицеллы (под Zr-содержащей оболочкой).



5. При высушивании происходит агрегация мицелл в виде параллельных трубок (мицеллярные ряды). Органическая часть мицеллы окисляется кислородом воздуха до летучих продуктов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ), внутри трубок оксида циркония образуются наночастицы NiO.



6. Наночастицы NiO восстанавливаются до металлического никеля.

Таким образом, используя палочковидные мицеллы СТАБ (цетилтриметиламмоний бромид) в качестве шаблона, удалось на их поверхности «выстроить» гликолятные комплексы цирконила и частицы золя гидроксида никеля. Далее гель гликолята был «состарен» и образовал жесткий каркас, в котором по-прежнему находился мицеллярный шаблон из СТАБ, не позволяя гелю занять свое место. Фильтрация и отжиг на воздухе (в окислительной атмосфере) способствовали переводу металлов в оксидную форму, упрочнению каркаса, выгоранию ПАВ, потере образцом воды и оставшегося этиленгликоля. При этом, однако, температура была явно недостаточна для «залечивания» мезопористой структуры, что потенциально может произойти только при высокотемпературном спекании. Поэтому после отжига остается только оксидный композит, представляющий собой пористый материал, фактически, упаковка ажурных горизонтальных трубок из оксида циркония, начиненных нанокластерами оксида никеля. При восстановительном отжиге в водороде оксид никеля переходит в металлическую форму и получается требуемый кермет.

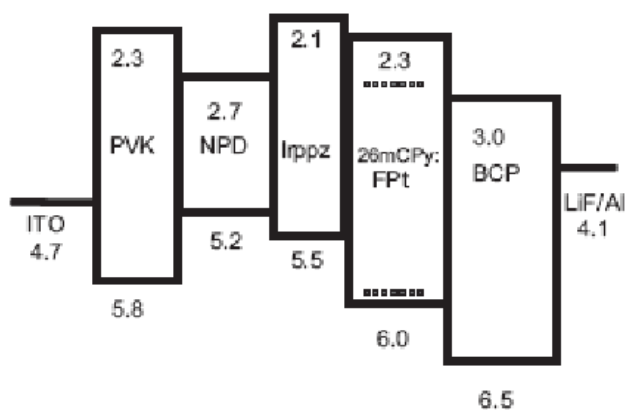
**12. «Органические светодиоды»** (максимум 20 баллов, аспирантский уровень, авторы к.х.н. О.В.Котова, С.В.Елисеева)

Недавно ученые из университета Аризоны объявили о создании «белого» органического светодиода (OLED) (*Adv. Mater.* **2007**, *19*, 197–202) с высокой квантовой эффективностью.

1. Почему именно при использовании фосфоресцентных молекулярных материалов существует принципиальная возможность добиться 100% внутренней квантовой эффективности в OLED (1 балл)? Какие существуют альтернативы электролюминесцентным материалам на основе фосфоресцентных комплексов иридия(III) и платины(II), для которых также теоретически возможно достижение 100% внутренней квантовой эффективности (3 балла)?
2. Можно ли создать «белые» OLED с использованием в качестве эмиссионных слоев электролюминесцентных материалов на основе квантовых точек селенида кадмия (2 балла)? Предложите методы их получения (2 балла).
3. Каковы основные ограничения на внешнюю квантовую эффективность OLED (2 балла)? Можно ли добиться ее увеличения в предложенных авторами OLED без изменения общей структуры и состава слоев (2 балла)?
4. Предложите материалы, которые могут заменить наиболее широко используемый в настоящее время материал анода – «индий-оловянный оксид» (ITO) (3 балла)? Какой технологической стадии это позволит избежать (1 балл)?
5. Почему в OLED необходимо использовать тонкие, «наноразмерные» пленки (4 балла)?



Картинка из будущего (фото сайта Трансгуманизм)



Гетероструктура OLED



## Предисловие к решению

Проблема создания высокоэффективных «белых» светодиодов является в настоящей момент важной и с фундаментальной, и с прикладной точек зрения. «Белые» светодиоды уже производятся коммерчески и находят применение в большом количестве устройств. Белое светодиодное освещение используется в разных областях: многоцветные табло и дисплеи; наружная реклама; интерьерная подсветка домов или освещение ландшафта; "здоровое" освещение, устраняющее некоторые из побочных физиологических и психологических эффектов, вызываемых традиционным освещением; подсветка дисплеев портативных электронных приборов; освещение транспортных средств, карманные фонарики, автомобильное освещение и даже... прожектора. Особенности светодиодов позволяют производить не только белый свет, но и широкую смесь цветовых оттенков с использованием специального управления, тем самым создавая различные цветовые эффекты. В настоящее время потребление белых светодиодов составляет более 50% от общего потребления светодиодов высокой яркости. Световая эффективность, измеряемая в люменах на ватт (лм/Вт, lm/W) - величина, используемая для определения эффективности преобразования энергии в свет. Обычные лампы накаливания работают в диапазоне 10-15 лм/Вт. Эффективность светотдачи новейших светодиодов достигает 150 лм/Вт (световой поток ~10 лм с цветовой температурой 4600 К при силе тока 20 мА). Это более, чем на порядок, выше по сравнению с лампами накаливания, в ~ 2 раза выше, чем у современных люминесцентных ламп и даже лучше соответствующих показателей натриевых ламп высокого давления, до сих пор являющимися рекордсменами по эффективности источниками света среди традиционных ламп. Основными преимуществами белых светодиодов как новых источников белого света являются:

- долговечность и рекордные коэффициенты полезного действия,
- малое тепловыделение и низкое рабочее напряжение;
- высокая механическая прочность и надежность;
- отсутствие разогрева или высоких пусковых напряжений при включении, безынерционность включения / выключения;
- регулировка яркости и цвета в полном динамическом диапазоне;
- компактность и удобство в установке;
- не применяется опасных веществ (ртути и пр.).

Американские специалисты подсчитали, что при переходе на светодиодные источники света будет ежегодно экономиться около 170 млрд кВт\*час электроэнергии, совокупная экономия к 2025 году может составить \$87 млрд, а сэкономленная мощность — 17,2 ГВт, что эквивалентно 29 новым электростанциям по 600 МВт.

Когда свет от всех частей цветового спектра накладывается друг на друга (то есть все цвета присутствуют), совокупная смесь кажется белой. Это так называемый полихроматический белый свет. Основными цветами, из которых можно получить все оттенки, являются красный, зеленый и синий (RGB). На данный момент большинство выпускаемых белых светодиодов и построены по принципу сочетания синего излучения полупроводникового светодиода и излучения соответствующих люминофора(ов) / фосфоров. Естественный («холодный») белый свет с цветовой температурой выше 4000К получают применением желтого или желто-зеленого люминофора. Для того, чтобы получить «теплый» белый свет, необходимо использовать смесь желтого, зеленого и красного люминофоров или люминофора с более широким, чем обычно, спектром излучения, характеризующегося эффективной длиной волны в оранжевой области спектра.

Таким образом, существует несколько способов получения белого света от светодиодов. Первый – смешивание цветов по технологии RGB. На одной матрице размещаются красные, синие и зеленые светодиоды, излучение которых смешивается при помощи оптической системы. Во втором способе желтый (или зеленый и красный)

люминофор наносится на синий светодиод, в результате два или три излучения смешиваются, образуя белый или близкий к белому свет. Третий способ заключается в том, что на поверхность светодиода, излучающего в ультрафиолетовом диапазоне, наносятся три люминофора, излучающих, соответственно, синий, зеленый и красный свет, что. В принципе, аналогично тому, как формируется свет в люминесцентной лампе «дневного света». В основе четвертого способа лежит использование полупроводника ZnSe. Структура представляет собой синий светодиод ZnSe (и некоторые другие), "выращенный" на подложке аналогичного состава. Активная область проводника при этом излучает синий свет, а подложка - желтый.

Белые светодиоды с люминофорами (phosphor-converted LEDs) существенно дешевле, чем светодиодные RGB-матрицы (в пересчете на единицу светового потока), и позволяют получить хороший белый цвет, однако у таких светодиодов меньше, чем у RGB-матриц, светоотдача из-за потерь при преобразовании света в слое люминофора; во-вторых, достаточно трудно точно проконтролировать равномерность нанесения люминофора в технологическом процессе, в-третьих – люминофор стареет, причем быстрее, чем сам светодиод. Белые светодиоды ZnSe обладают работают при напряжении 2,7 В и устойчивы к статическим разрядам, позволяют излучать свет в гораздо более широком диапазоне цветовых температур, чем устройства на основе GaN (3500-8500 К по сравнению с 6000-8500 К).

Расширение производства и использования белых светодиодов для указанных выше целей ланируется и в Российской Федерации, что становится еще более актуальным в связи с созданием Государственной корпорации Роснотех и в связи с принятием ряда государственных программ по коммерциализации результатов внедрения нанотехнологий.

## **Решение**

*(основано на решении Е.А.Смирнова, 1 место на Интернет-олимпиаде)*

1. Стоит обратиться к механизму фосфоресценции в частности и люминесценции в общем. Люминесценция обусловлена испусканием фотонов при переходе системы (молекулы или атома) из возбуждённого состояния той же мультиплетности, что и основное состояние. Время люминесценции составляет  $\sim 10^{-9}$ с. Фосфоресценция-длительное свечение, которое возникает при переходе в основное из возбуждённого состояния иной мультиплетности. Такой переход происходит с нарушением спинового правила отбора, т.е. является запрещённым переходом. После возбуждения молекула может вернуться в основное состояние из возбуждённого двумя путями (см. рис.1), переходы 1 (с испусканием фотона) и 3 (без испускания фотона), переход 2 соответствует безизлучательному переходу на нижележащий колебательный подуровень). То есть существует некоторое количество безизлучательных переходов (переход 3), которые будут снижать внутреннюю квантовую эффективность, тогда как переход 4 (см.рис.(1) позволяет этого избежать. Таким образом, система избавляется от избыточной энергии только переходом 5. Как следствие, теоретически можно добиться 100% внутренней квантовой эффективности. Для изготовления OLED в основном используются хелаты металлов. Органической составляющей таких комплексных соединения являются гетеро-производные циклических непредельных углеводородов. Заменой выше указанных материалов могут служить соединения цинка, алюминия, галлия, тербия (например,  $Zn(BTZ)_2$ (см. рис.(2.) или  $Tb(acac)_3Ph$ ). При правильной подборке органических комплексообразователе, 100% внутренняя эффективность в принципе достижима.

*Альтернативные ответы участников:*

-При рекомбинации инжектированных носителей заряда в OLED образуется в 3 раза больше триплетных экситонов, чем синглетных. Синглетные экситоны вызывают флуоресценцию, а триплетные – фосфоресценцию. Поэтому чтобы добиться 100% внутренней квантовой эффективности, в OLED необходимо использовать фосфоресцентные молекулярные материалы, которые действуют как акцепторы

триплетных экситонов и имеют высокий квантовый выход при комнатной температуре. Указанным требованиям удовлетворяют октаэтилпорфирин платины и комплексы иридия с производными пиридина. Однако исследования переноса энергии электронного возбуждения показали, что электрофосфоресценция этих соединений не возбуждалась в результате захвата триплетных экситонов, а возникала при рекомбинации электронов с дырками, захваченными указанными молекулярными материалами. При этом существенное увеличение квантовой эффективности электролюминесценции в основном обуславливается улучшением баланса между концентрациями электронов и дырок, инжектированных в излучающий слой. В качестве альтернативы электролюминесцентным материалам на основе фосфоресцентных комплексов иридия(III) и платины(II) перспективно использовать металл-органические координационные соединения на основе редкоземельных элементов (III), например, разнолигандные комплексы тербия  $Tb(Sal)_3(TOPO)_2$  (HSal – салициловая кислота, TOPO – 3-(н-октил)-фенилоксид), а также комплекс европия с 1,3-дифенил-1,3-пропандионом и 1,10-фенантролином [Eu(DBM)<sub>3</sub>phen]. К сожалению, последний электролюминесцентный материал характеризуется невысокой стойкостью к деградации при возбуждении.

-Внутренняя квантовая эффективность определяется соотношением числа испущенных фотонов к числу инжектированных электронов. Свечение OLED возникает при рекомбинации электронов и дырок в слое электролюминесцентного вещества. Перенос электронов происходит через нижнюю свободную молекулярную орбиталь электролюминесцентного вещества (аналог зоны проводимости в полупроводниках). Перенос дырок - через высшую занятую молекулярную орбиталь (аналог валентной зоны). Подвижность электронов и дырок определяет их рекомбинацию и, в конечном итоге, внутренний квантовый выход. При создании OLED возникает проблема подбора материала электродов с работами выхода, соответствующими значениям энергии нижней свободной молекулярной орбитали и высшей занятой молекулярной орбитали. У большинства подходящих в качестве активного слоя веществ подвижности электронов и дырок сильно отличаются, и это приводит к дисбалансу их потоков и снижению квантовой эффективности. Одним из путей решения проблемы является использование фосфоресцирующих, время фосфоресценции превосходит время флуоресценции, что позволяет уменьшить дисбаланс в потоках электронов и дырок и увеличить квантовый выход.

-Можно добиться квантовой эффективности больше 100% при использовании материалов способных к «фотонному умножению» (размножение электронно-дырочных пар в полупроводниках, ступенчатые внутрицентровые или кроссрелаксационные межзонные переходы в редкоземельных ионах). При эффективности больше 100% люминесцентный материал должен охлаждаться, а путем подвода дополнительной тепловой энергии можно поддерживать высокую эффективность.

2. В принципе такое возможно, так как существуют квантовые точки с длиной волн испускаемого излучения, соответствующего синему и ближнему УФ диапазону. Так как селенид кадмия является полупроводником n-типа, то структура такого OLED будет следующей: анод - ITO-транспортный слой дырок - квантовые точки - транспортный слой электронов - катод. Таким образом, нанеся квантовые точки диаметром на подложку и покрыв получившийся OLED люминофором, получаем как раз белое (или почти белое) излучение. *{Прим. ред: в настоящее время все же рассматривают прямой, безлюминофорный вариант с использованием квантовых точек, испускающих излучение в дополнительных цветах по схеме «красный-зеленый-голубой» (см. Предисловие к решению), при этом академик Ж.И.Алферов считает, что это будет сделано в течение ближайшей пятилетки. Получение квантовых точек рассмотрено в следующей задаче}*

*Альтернативные ответы участников:*

-Создание «белых» OLED с использованием в качестве эмиссионных слоев электролюминесцентных материалов на основе квантовых точек селенида кадмия

возможно. Для этого нужно взять смесь квантовых точек с разным диаметром, что при люминесценции даст практически весь спектр видимого излучения на одном и том же веществе. Квантовые точки CdSe можно получить, например, методом коллоидной химии путем конденсационного роста фазы CdSe в присутствии поверхностно-активного вещества (ТОРО), адсорбированного на поверхности растущих частиц и регулирующего скорость их роста. Оболочка из ТОРО в дальнейшем может быть удалена отмывкой в пиридине и вакуумной сушкой. Так можно осадить квантовые точки и прочно связать их с твердой подложкой. Можно получать квантовые точки и наносить многослойные пирамидальные слои методом молекулярно-лучевой эпитаксии.

*{Прим. ред.: в принципе необходимо будет брать смесь квантовых точек, но, возможно, различного состава, поскольку точки должны излучать не только в дополнительных цветах и при соответствующих интенсивностях, что в той или иной мере достигается за счет изменения их диаметра, но и делать это при возбуждении в «близких условиях», например, при одном и том же напряжении на электродах. Спектры возбуждения даже у квантовых точек одного и того же состава, но различного размера, могут не совпадать}*

3. Одним из основных ограничений является недостаточная прозрачность материалов, из которых состоит светодиод, вследствие чего часть излучения поглощается. Другой причиной является недостаточно гладкая, дефектная поверхность слоёв, что может очень сильно снижать эффективность OLED. Третья причина - вероятностный характер перехода с синглетного на триплетный энергетические уровни, что при большом количестве возбуждений молекулы будет влиять на квантовый выход. Возможно, что оптимизация конструкции самого диода сможет повысить квантовую эффективность.

*Альтернативные ответы участников:*

-Квантовая эффективность OLED часто ограничена из-за отсутствия достаточно сбалансированного биполярного электрон-дырочного транспорта. Это особенно относится к однослойным OLED, в которых электрон-дырочная рекомбинация происходит вблизи одного из электродов (в большинстве случаев у катода), что приводит к тушению возбужденных состояний на металлической поверхности. Предпринимаются усилия синтезировать новые электролюминесцирующие материалы с близкими подвижностями электронов и дырок в них, что имеет решающее значение для работы OLED. Эффективный биполярный транспорт электронов и дырок, удачное относительное расположение электронных уровней (HOMO, LUMO) используемых материалов, облегчающее инжекцию электронов и дырок с поверхности электродов в электролюминесцентный материал (энергетические барьеры инжекции электронов из катода и дырок из анода должны быть равны), а также возможность удержания генерированных экситонов в светоизлучающей зоне - обеспечивают высокую квантовую эффективность OLED. Без изменения общей структуры и состава слоёв повышения квантовой эффективности частично можно добиться за счёт уменьшения толщины слоёв, что уменьшит время транспорта электронов и дырок, увеличит срок службы диода. Ещё один способ – увеличить напряжение между анодом и катодом. Это приведёт к увеличению потока инжекции электронов и дырок, но может сократить срок службы диода за счет деградации электролюминесцентного материала. Внешняя квантовая эффективность определяется оптическими потерями в OLED. Ограничения на квантовую эффективность накладывает температура, конструкционные особенности и свойства используемых материалов. По конструкционным особенностям OLED после слоя электролюминесцентного материала идет слой обеспечивающий транспорт дырок, затем слой «индий-оловянного оксида», а затем стекло. Фотоны образующиеся в процессе рекомбинации электронов и дырок для выхода из OLED должны пройти 3 слоя: слой обеспечивающий транспорт дырок, затем слой «индий-оловянного оксида», а затем стекло. Соответственно снижение квантового выхода будет обусловлено потерями в этих слоях. Необходимо подбирать материалы для этих слоев не только по критериям

обеспечения необходимых характеристик процессов светоизлучения, но и исходя из уменьшения поглощения в этих слоях фотонов.

4. Недавно были получены OLED без использования ITO {Прим. ред.: к классу прозрачных проводящих оксидов кроме достаточно дорогого оксида индия, легированного диоксидом олова, ITO, относятся и другие гетеровалентно легированные оксиды, например, оксид цинка, легированный цирконием (ZZO) или галлием (GZO), индий-цинковый оксид (IZO) и др.}. Предложенный вариант заключается в использовании полупрозрачных металлических анодов, полученных с помощью "нанопечатной" литографии (nanoimprint lithography-NIL). Прозрачность и электрическая проводимость зависят друг от друга. Таким образом, при повышении проводимости снижается прозрачность и наоборот. Однако NIL-технология позволяет получать медные наносетки с достаточной проводимостью и оптимальной прозрачностью. К тому же, это ощутимо снижает стоимость таких OLED, поскольку индий - недешёвый металл. Для того чтобы работал OLED, на ITO необходима очень гладкая, ровная поверхность, без дефектов, иначе эффективность значительно снижается. Скорее всего эта "нежелательная" технологическая стадия заключается в подготовке особо чистых веществ и нанесении их в вакууме на поверхность подложки.

5. OLED состоят из фактически одного дырочного "транспортного слоя" и одного электрон-транспортного слоя, образующих так называемый гетеропереход. "Дырки" с анода и электроны с катода мигрируют в этих транспортных слоях, пока не образуют экситон, который затем релаксирует, давая электролюминесцентное свечение. Следовательно, необходимо иметь тонкие слои, иначе выход квантов света будет практически нулевым. Дырки и электроны "заблудятся" в большом, объёмном материале: произойдёт рассеивание энергии другим путём, нежели испускание фотона.

*Альтернативные ответы участников:*

-Использование тонких наноразмерных плёнок необходимо, чтобы уменьшить напряжение питания OLED для транспортирования носителей зарядов, снизить потребляемую мощность, увеличить квантовую эффективность OLED за счёт снижения тепловых потерь и безизлучательного превращения экситонов. Кроме того, при увеличении толщины OLED падает КПД за счет увеличения взаимодействий сгенерированного излучения с веществом слоёв OLED, прежде чем излучение покинет диод.

-Если слой электролюминесцентного материала будет толстым, то возрастут потери, связанные с поглощением и переизлучением образующихся при рекомбинации электронов и дырок фотонов. Поэтому этот слой должен быть по толщине таким, чтобы, с одной стороны, обеспечить оптимальную скорость рекомбинации (скорость притока электронов и дырок должна быть равна скорости их рекомбинации), а с другой стороны не давать эффекта переизлучения поглощенных фотонов. Величину слоев, обеспечивающих транспорт электронов и дырок, необходимо выбирать таким образом, чтобы обеспечить в слое электролюминесценции равенство потоков электронов и дырок, т.к. их подвижность может быть различной. Слой «индий-оловянного оксида», являясь прозрачным материалом, выполняет роль анода. И его толщину можно выбрать исходя из условия минимальности поглощения в нем фотонов.

-При уменьшении толщины пленки происходит: увеличение плотности заряда на границе ЭЛ/HTL, что приводит к увеличению вероятности туннелирования электронов, устранение тушения экситонов и захвата носителей заряда, уменьшение шероховатости пленки, также уменьшается вероятность присутствия кристаллических включений. Все эти характеристики позволяют добиться повышения квантовой эффективности OLED.

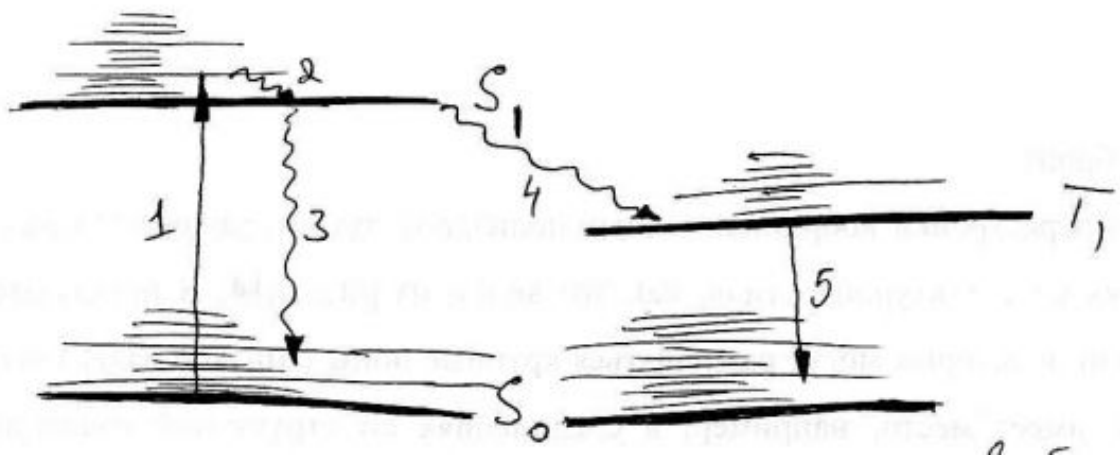


Рис.1.Схематическое изображение переходов электронов в молекуле (жирная черта означает электронный уровень, тонкие - колебательные и вращательные уровни энергии).

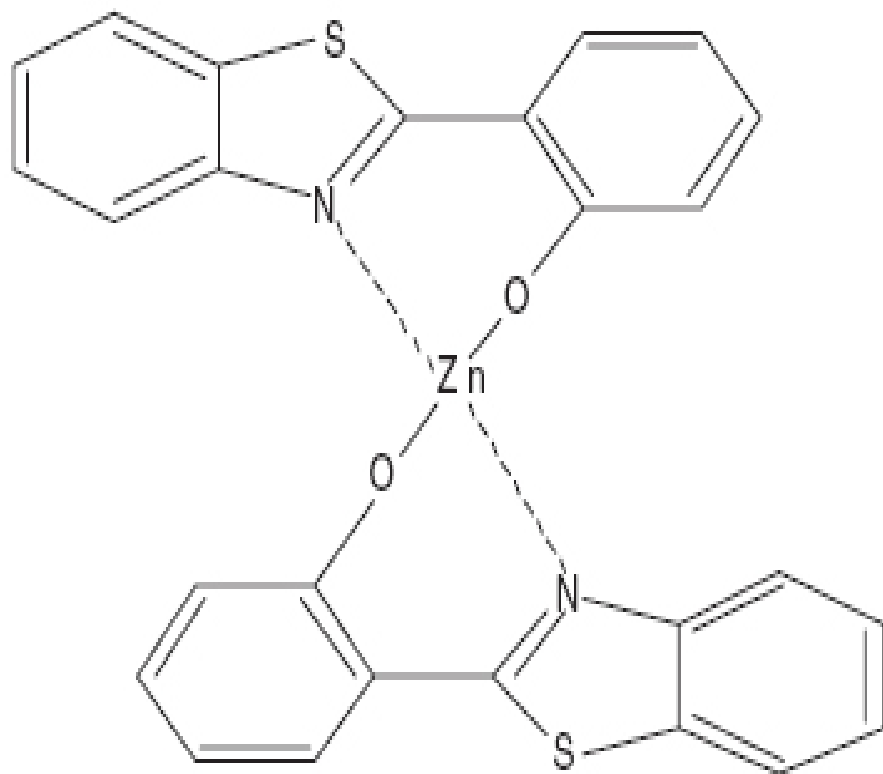
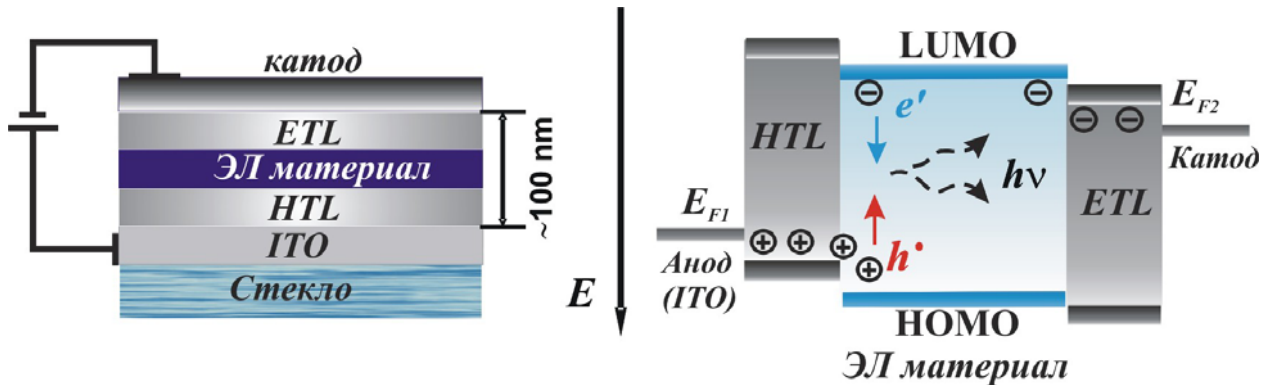


Рис.2. Строение Zn(BTZ)2.

## Примечания к задаче 12

OLED представляет собой “сэндвичевую структуру” толщиной  $\sim 100$  нм и обычно состоит, помимо электродов, из слоев материалов с электронной (Electron Transport Layer, ETL), дырочной (Hole Transport Layer, HTL) проводимостью и электролюминесцентного (ЭЛ) материала.

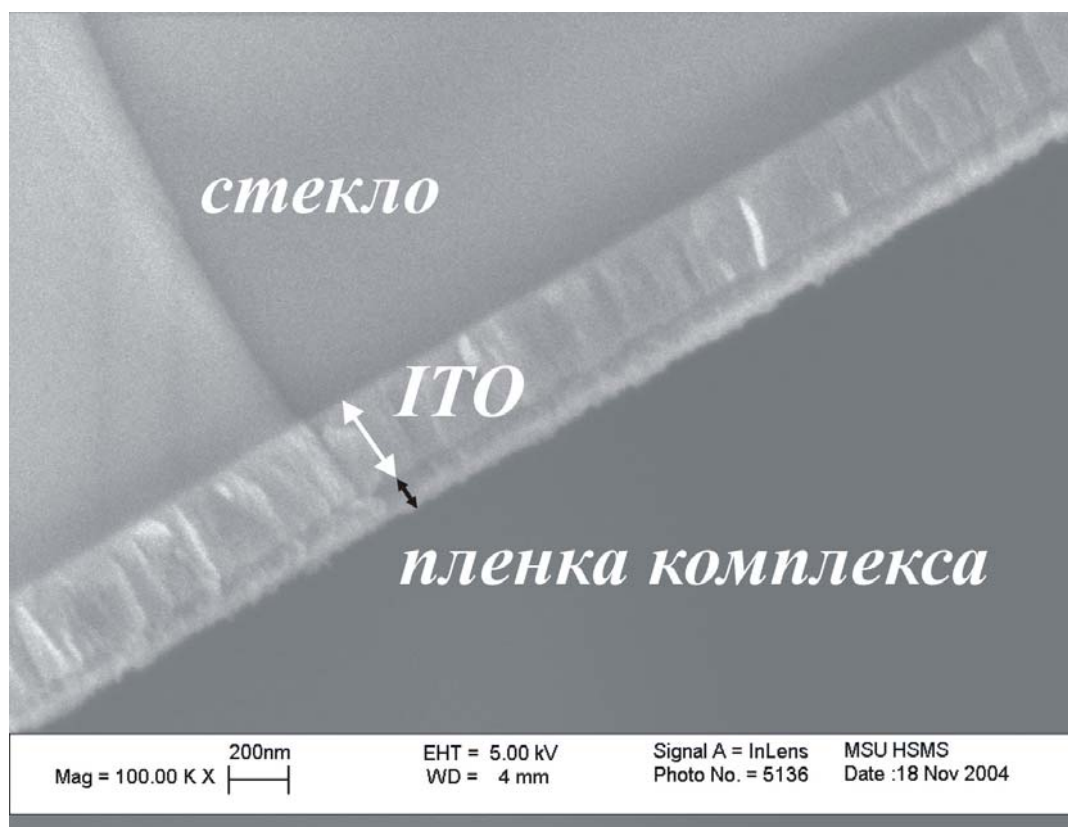


Свечение OLED возникает при пропускании электрического тока сквозь структуру устройства (электролюминесценция). Транспорт электронов происходит через нижнюю свободную молекулярную орбиталь (LUMO) вещества ЭЛ материала, которая аналогична зоне проводимости ( $E_c$ ) в полупроводниковых материалах; транспорт дырок – через высшую занятую молекулярную орбиталь (НОМО), сходную с валентной зоной ( $E_v$ ) в полупроводниках. Эффективность транспорта электронов и дырок определяется подвижностью обоих зарядовых потоков в слое ЭЛ материала, которая, в свою очередь, оказывает влияние на квантовую эффективность OLED. Достаточно часто оказывается трудным подобрать материалы электродов с работами выхода, соответствующим значениям НОМО и LUMO ЭЛ материала, что не позволяет получать OLED с высокой квантовой эффективностью люминесценции и временем жизни. У большинства же подходящих в качестве активного слоя веществ сильно отличаются подвижности электронов и дырок, что приводит к дисбалансу электронного и дырочного токов, и, как следствие, квантовая эффективность OLED оказывается низкой. Для устранения проблем, возникающих при создании однослойных OLED, структура устройства может быть дополнена введением ETL и HTL.

Преимущество использования мониторов на основе технологии OLED по сравнению с мониторами, используемыми в настоящее время, состоит в том, что они обладают высокой яркостью ( $>100000$  Кд/м<sup>2</sup>), контрастностью (1:1000), имеют широкий угол обзора ( $>170^\circ$ ), высокую эффективность электролюминесценции ( $>22$  Лм/В), низкое рабочее напряжение ( $\leq 5$  В), малое время отклика ( $\leq 1$  мсек), кроме того, такие мониторы стабильно работают в широком интервале температур ( $-20 \div 100^\circ\text{C}$ ), тонкие, легкие, прочные и удобные. Усовершенствованию технических характеристик OLED способствует не только модернизация технологий их создания, но и использование новых ЭЛ молекулярных материалов, проявляющих высокую эффективность люминесценции, термическую и химическую стабильность. Явление электролюминесценции описано для соединений различных классов. Для органических материалов ЭЛ известна с 1962 года, когда она впервые была продемонстрирована в работе *M. Pope* на кристаллах антрацена. Однако настоящий “бум” в области создания OLED на основе органических соединений начался в 1987 году с момента создания *C.W. Tang* и *S.A. VanSlyke* многослойного устройства на основе комплекса алюминия с 8-гидроксихинолином. Яркость этого устройства составляла 1000 Кд/м<sup>2</sup> при величине приложенного напряжения – 10 В, а квантовая эффективность – 1 % фотон/электрон (т. е. происходит испускание одного фотона в результате инжекции 100 электронов). В настоящее время металл-органические

координационные соединения (КС) можно считать одним из наиболее перспективных классов соединений, которые могут быть использованы как ЭЛ материалы в структуре OLED.

Для получения тонких пленок материалов слоев, входящих в структуру OLED, используют методы осаждения из газовой фазы (Chemical Vapor Deposition, CVD) в случае летучих соединений, или центрифугирования раствора комплекса на подложку для нелетучих соединений. Одной из важных характеристик OLED является время жизни, которое зависит от рабочего напряжения и качества покрытия материалов слоев, входящих в структуру устройства. К качеству поверхности тонкопленочных материалов предъявляют следующие требования: сплошность, отсутствие кристаллических включений и гладкость.



**Пленка ЭЛ материала.** Микрофотография пленки разнолигандного комплекса тербия –  $Tb(Sal)_3(TOPO)_2$  (HSal – салициловая кислота, TOPO – три(н-октил)фосфиноксид), полученной методом центрифугирования на подложке стекло/ITO, толщина пленки ~70 нм, источник зеленого света.

### Литература

S.Eliseeva, O.Kotova, O.Mirzov, K.Anikin, L.Lepnev, E.Perevedentseva, A.Vitukhnovsky, N.Kuzmina, Electroluminescent properties of the mixed-ligand complex of terbium salicylate with triphenylphosphine oxide // *Synthetic Metals*. 2004. V. 141. № 3. p. 225-230.

Н.П.Кузьмина, С.В.Елисеева Фото- и электролюминесцентные свойства координационных соединений РЗЭ(III) // *Журн. неорган. химии*. 2006. Т. 51. № 1. с. 80-96.



**13. «Происки невнимательного студента»** (максимум 25 баллов, студенческий и аспирантский уровень, автор английской версии – проф. А.А.Вертегел, Клемсон-университет, США, перевод и адаптация - проф. Е.А.Гудилин, Химфак-ФНМ МГУ, иллюстрации – доц. Р.Б.Васильев. ФНМ МГУ)

*Студент попытался приготовить квантовые точки состава CdSe с высоким выходом люминесценции. Он нагрел ТОРО («триоктил-фосфин-оксид») и растворил требуемое количество триоктилфосфина и диметилкадмия, однако совершенно случайно добавил сульфид триоктилфосфина вместо селенида триоктилфосфина. После того, как наночастицы выросли до ~ 2 нм в диаметре, студент осознал свою ошибку и попытался немедленно остановить реакцию. В попытке это сделать и спасти эксперимент он перенес наночастицы в ТОРО, добавил на этот раз правильный реагент – селенид триоктилфосфина и со спокойной совестью продолжил нагревание реакционной смеси. После того, как наночастицы доросли до ~ 4 нм в диаметре, он окончательно остановил синтез и попытался измерить квантовый выход люминесценции полученных квантовых точек. К его глубочайшему сожалению, люминесценция у полученных наночастиц отсутствовала.*

- *Каков механизм формирования квантовых точек в указанных превращениях (5 баллов)?*
- *За счет чего наблюдается люминесценция в квантовых точках (3 баллов)?*
- *Как студент останавливал реакции и почему это ему удалось сделать (2 балла)?*
- *Почему у полученных наночастиц отсутствовала люминесценция? (5 баллов)*
- *Что бы Вы посоветовали студенту, чтобы все-таки получить люминесцирующие наночастицы с высоким квантовым выходом из уже полученных им наночастиц, чтобы исправить ситуацию и получить зачет у профессора по спецпрактикуму (5 баллов)?*
- *Как можно было бы ковалентно привязать молекулу белка к таким наночастицам – маркерам (объясните коротко основные стадии предложенной Вами методики)? (5 баллов)*



Люминесценция ПРАВИЛЬНО полученных квантовых точек селенида кадмия

## Решение

*Авторское условие и решение (для американских студентов, обучающихся у проф. А.А.Вертегела (США), для них же дана и разбалловка, отличающаяся от величины баллов на Интернет-олимпиаде)*

«A graduate student attempted to prepare highly luminescent CdSe nanoparticles. He heated TOPO and dissolved the required amount of trioctylphosphine and dimethylcadmium in it but accidentally added trioctylphosphine sulfide instead of trioctylphosphine selenide as the source of selenium. After nanoparticles grew to approximately 2 nm in diameter, he noticed the mistake and immediately stopped the reaction. In attempt to save the experiment he redispersed the nanoparticles in TOPO, added trioctylphosphine selenide, and continued heating the reaction mixture. After nanoparticles grew to approximately 4 nm in diameter, he stopped the synthesis and attempted to measure the quantum yield of their luminescence; however, no luminescence has been detected. (14 points)

**A.** How the student stopped the reactions?

**B.** Why luminescence has not been observed for nanoparticles grown by the student?

**C.** If you were the student's advisor, what would you suggest him to do to obtain luminescent nanoparticles with high quantum yield from the nanoparticles he has already made?

**D.** How would you covalently attach a protein molecule to the latter nanoparticles? Describe steps of the attachment and give a brief rationale for each of the steps.»

«Solution:

**A.** He used size-selective precipitation, which involves using a new solvent which dissolves well in TOPO but does not dissolve nanoparticles. For example, methanol can be such a solvent.

**B.** The student obtained core-shell nanoparticles with CdS core and CdSe shell. Bandgap of CdS is larger than that of CdSe; thus after excitation by light all holes and electrons (= excitons) are localized near the surface of nanoparticles. These excitons can easily loose energy through collisions with stabilizer and solvent molecules present on the interface of nanoparticle with solution, rather than through emission. That results in low quantum yield (QY).

**C.** What is necessary is to add another shell with larger bandgap than that of CdSe. For instance, growing another CdS layer, as most of you suggested, will result in the increase of QY. The larger the bandgap of the material of this layer, the better, so having a ZnS shell would result in the highest QY. One person suggested to deposit ZnS – congratulations, you will make a great advisor

**D.** Covalent attachment of proteins to semiconductor nanoparticles stabilized by TOPO requires hydrophilization of their surface as the first step – otherwise, they are insoluble in aqueous solution, while protein will die in non-aqueous solvent. For example, you can achieve hydrophilization by treatment with thioacetic acid HS-CH<sub>2</sub>-COOH. It will replace TOPO stabilizer and will bind to CdSe surface through SH-groups. The surface of the nanoparticle will thus become carboxyl-terminated. On the next step, you can use carbodiimide chemistry to covalently attach NH<sub>2</sub>-groups of your protein to carboxyl groups on nanoparticles.»

## Решение участников

1) Синтез квантовых точек полупроводников типа II-VI в присутствии координирующих агентов происходит следующим образом (на примере CdSe): в триоктилфосфине [CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>7</sub>]<sub>3</sub>P (TOP) растворяют селен для получения триоктилфосфин селенида [CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>7</sub>]<sub>3</sub>PSe (TOP:Se). Полученный раствор смешивают с триоктилфосфин оксидом [CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>7</sub>]<sub>3</sub>PO (ТОРО) и кадмиевым прекурсором («предшественником») - диметилкадмием Cd(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Полученную смесь прекурсоров быстро вводят в разогретую до 360°C смесь TOP и ТОРО, через которую продувается аргон или азот. При этом происходит частичное разложение прекурсоров, раствор оказывается сильно пересыщен относительно фазы полупроводника, формирующего будущие наночастицы (в данном примере CdSe). Происходит образование большого количества зародышей CdSe

одинакового размера. При этом важную роль играют ТОРО и ТОР – они координируют продукты разложения прекурсоров и зародыши, предотвращая их «слипание» и быстрый рост. ТОРО координируется к Cd через кислород, а ТОР координирует селен в составе наночастиц. Под словом «координируют» в современном представлении о механизме данного процесса понимается динамическое тепловое равновесие, когда вся поверхность наночастицы покрыта молекулами координирующего агента, однако такие молекулы могут «уходить» на короткое время с поверхности, открывая доступ к ядру частицы для ее роста или растворения. Вслед за стадией нуклеации смесь быстро охлаждают до температуры около 300°C. При этом степень пересыщения снижается и процесс нуклеации становится кинетически невыгодным. На этой стадии происходит медленный рост уже образовавшихся зародышей. Для получения более узкого распределения частиц по размерам на этом этапе нужно по каплям добавлять раствор смеси прекурсоров. По ходу синтеза из реакционного сосуда отбирают аликвоты, для них определяют спектральные характеристики растущих наночастиц и производят исследование этих нанообъектов на ТЕМ для определения их размера. После достижения требуемых свойств синтез останавливают охлаждением смеси. При этом координирующие агенты прочно связываются с поверхностью наночастиц, полностью блокируя их дальнейший рост. Если к полученной смеси добавить другие прекурсоры и опять нагреть ее до температуры 300°C, за счет теплового движения равновесие координирующих агентов на поверхности частиц опять станет динамическим, и частицы продолжат расти. Таким способом можно получать наночастицы, состоящие из ядра одного материала и оболочки другого.

2) Для понимания причин люминесценции полупроводниковых квантовых точек рассмотрим структуру электронных уровней объемного полупроводника. В ней можно выделить полностью заполненную валентную зону, расположенную ниже по энергии, и зону проводимости, при низких температурах пустую. Величина энергетического зазора между этими зонами определяет свойства вещества – оно может быть диэлектриком или полупроводником. В наночастице, в отличие от объемного образца, электронная структура дискретна, а не непрерывно-дискретна за счет проявления запрета Хунда. Таким образом, в квантовой частице полупроводника можно четко выделить верхний заполненный энергетический уровень (ВЗЭУ, аналог ВЗМО для молекулы) и нижний свободный энергетический уровень (НСЭУ, аналог НСМО для молекулы). При поглощении кванта света с энергией больше разности между энергиями НСЭУ и ВЗЭУ происходит переход одного из валентных электронов на более высокий энергетический уровень (НСЭУ или выше). За счет безызлучательной потери энергии электрон релаксирует до НСЭУ (а образованная им дырка релаксирует до ВЗЭУ) и оттуда переходит на ВЗЭУ. Поэтому в спектрах флуоресценции однородных полупроводниковых наночастиц ширина полосы испускания, как правило, невелика. Стоит отметить, что спектры люминесценции квантовых точек всегда сдвинуты в более коротковолновую область по сравнению с объемным полупроводником, как раз из-за различия дискретной и непрерывно-дискретной электронных структур.

3) см. ответ на первый вопрос

4) В литературе описаны случаи получения квантовых точек с ядром CdS и оболочкой из CdSe. Такие квантовые точки показывают красный сдвиг полосы испускания по сравнению с точками CdS без оболочки, однако полного тушения флуоресценции не наблюдается. Тем не менее, попробуем объяснить данный результат. Отсутствие флуоресценции может наблюдаться по нескольким причинам:

а) разница в параметрах (или даже типах) решетки для материалов ядра и оболочки создает напряжения и дефекты, на которых происходит безызлучательная аннигиляция дырок и электронов. Однако, в литературе описана масса случаев усиления люминесцентных свойств частиц CdSe при нанесении на них оболочки из CdS. Более того, кристаллографические данные говорят о том, что различие параметров решеток этих двух

соединений составляет всего 5%. Следовательно, предположение о возникновении дефектов структуры неверно.

б) Для того, чтобы наночастица, построенная по принципу ядро-оболочка, показывала высокие значения квантового выхода, необходимо, чтобы электроны и дырки, возникающие в результате возбуждения, локализовались в ядре (поверхностные дефекты которого компенсированы атомами оболочки) (Рис.1), так как присутствие дефектов на поверхности оболочки опять же снижает квантовый выход. Это возможно в том случае, если ВЗЭУ для ядра будет выше по энергии, чем ВЗЭУ для оболочки, а НСЭУ для ядра будет ниже НСЭУ для оболочки. Если же в реальности мы имеем обратную ситуацию, то электрон, возбужденный в ядре, за счет безызлучательной релаксации перейдет на НСЭУ оболочки, где он безызлучательно релаксирует на дефектах поверхности оболочки.

5) Если наше предположение, высказанное в пункте 4б, о причинах низкого квантового выхода полученных наночастиц верно, то для того, чтобы повысить квантовый выход, необходимо нанести поверх оболочки из CdSe вторую оболочку, состоящую из CdS. В этом случае электроны, возникающие в результате возбуждения, будут локализованы в слое CdSe, имеющем теперь бездефектную поверхность и способном к эффективной флуоресценции.

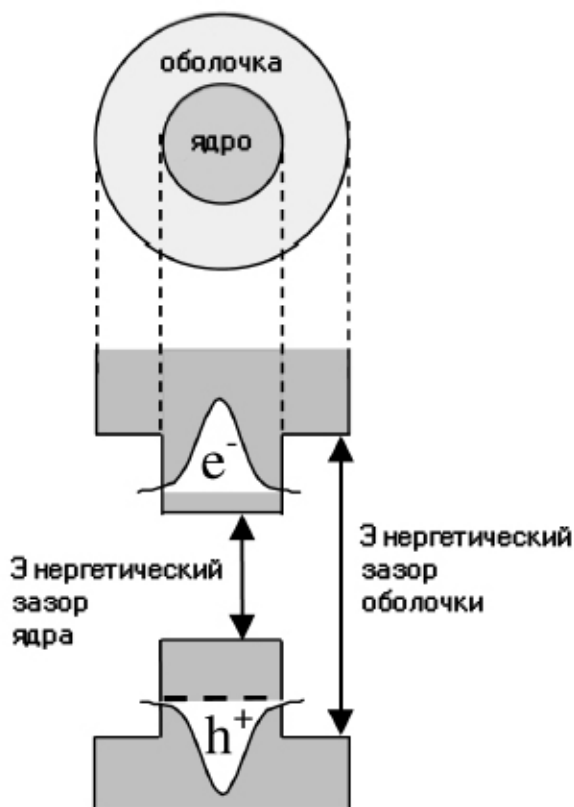
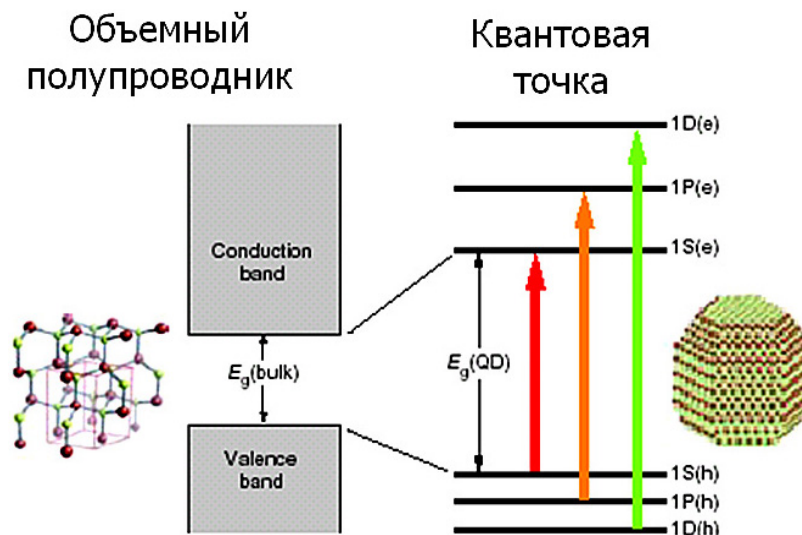


Рис. 1. Схематическое изображение энергетических уровней и плотностей распределения электронов и дырок в квантовой точке ядро-оболочка

б) Для того, чтобы осуществить пришивку чего-либо к поверхности квантовой точки, полученной в ТОР/ТОРО, необходимо осуществить частичную замену этих координирующих агентов в защитной «шубе» точек. Это можно проделать, используя высокую склонность к образованию связей Cd-S: необходимо добавить какой-либо бифункциональный агент, содержащий тиольную группу на одном конце длинной углеводородной цепи и аминогруппу на втором конце. Дополнительно необходимо добавить длинноцепочечный тиол, содержащий на втором конце цепи гидрофильную голову (например, четвертичную аммониевую группу) для того, чтобы окруженные гидрофобными оболочками квантовые точки не слипались при переведении в водный раствор за счет гидрофобных взаимодействий. Обработка смесью этих агентов приведет к тому, что часть молекул ТОРО заменится на наши бифункциональные агенты, связанные с ядром частицы связью Cd-S. Далее пришиваем белки к полученным гидрофилизированным частицам,

содержащим аминогруппы, используя классические методы пришивки белков, например первичная активация этой аминогруппы хлоридом или эфиром гидроксисукцинимидом с образованием амида  $[CdSe]_n-S-linker-NH-CO-X$ , обработка бис-имидом с образованием  $[CdSe]_n-S-linker-NH-C(NH)-CH_2-C(NH)-OCH_3$  и, наконец, пришивка к белку через аминогруппу:  $[CdSe]_n-S-linker-NH-C(NH)-CH_2-C(NH)-NH-Белок$ .

## Примечания к задаче 13



Различия в энергетике уровней в объемном полупроводнике и «искусственном атоме» - квантовой точке.

- Наночастицы полупроводника, покрытые стабилизатором
- **Требования к наночастицам**
  - узкое распределение по размерам
  - отсутствие агломерации
  - пассивирование оборванных связей на поверхности
- **Требования к стабилизатору**
  - объемный "хвост"
  - прочная связь с поверхностью
  - сродство к растворителю

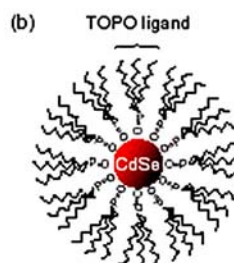
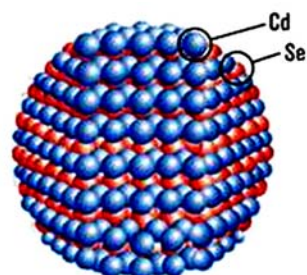
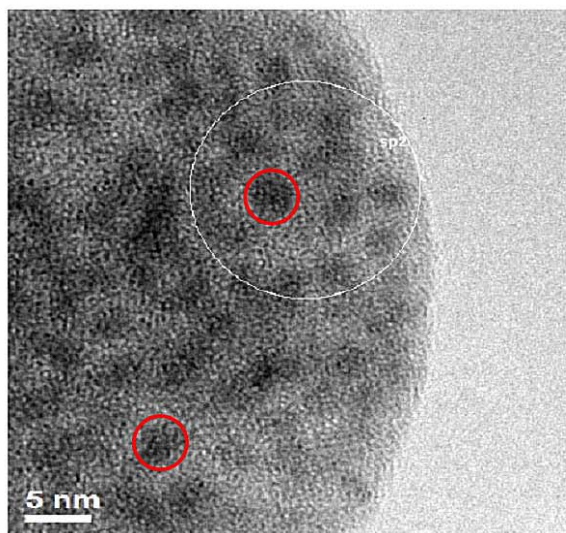
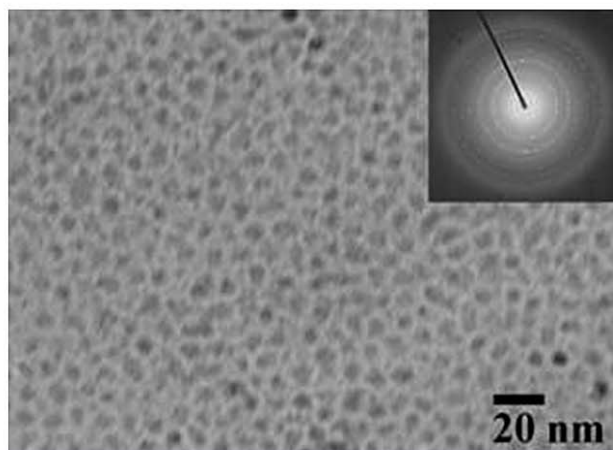


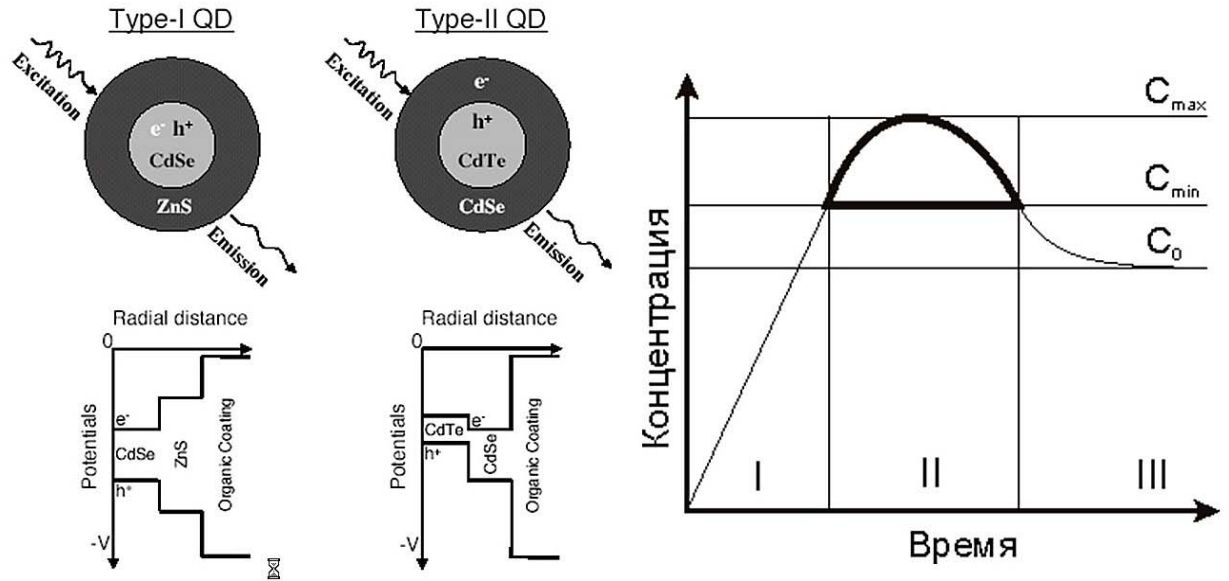
Схема строения стабилизированных поверхностно-активным веществом квантовых точек селенида кадмия.



TEM



«Внешний вид» квантовых точек (просвечивающая электронная микроскопия)



Гетеропереходы

- Квантовый выход люминесценции
- Пространственное разделение носителей заряда

Двухэтапный синтез

- Синтез ядер при высоком пересыщении
- Синтез оболочки при низком пересыщении

Выращивание двухоболочечных квантовых точек в режиме зародышеобразования (с последующим остальдовским остариванием)

V.Bulovic, 2002

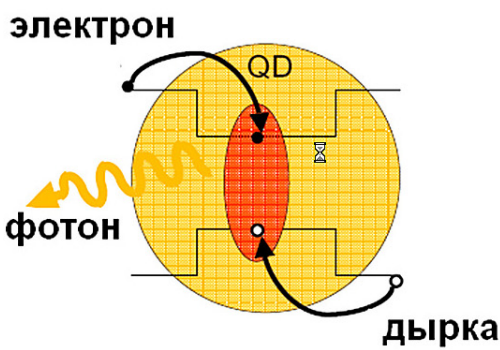
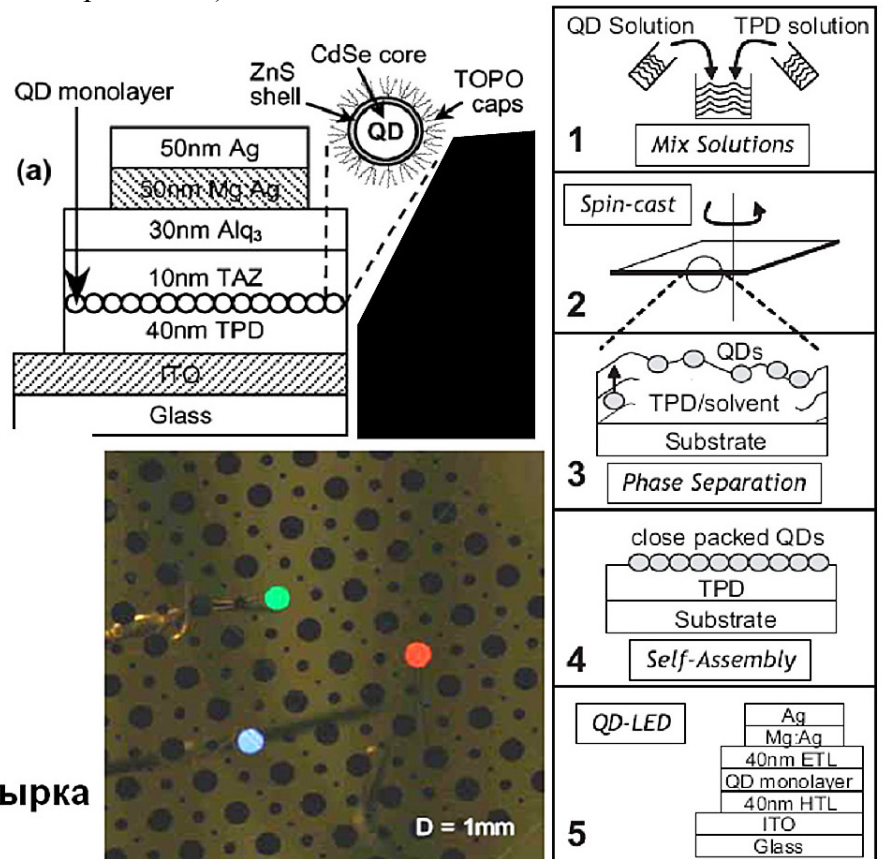


Схема использования квантовых точек в светоизлучающих светодиодах

### Белые светодиоды: эффективность, управляемость, надежность, ресурс

**Настоящее:**  
InGaN-QW/GaN/сапфир  
излучающий кристалл + YAG:Ce люминофор

Белый  
Люминофор YAG:Ce  
Сапфир  
Буфер  
n<sup>+</sup>GaN  
InGaN-QW  
p<sup>+</sup>GaN  
Ni/Ag/Au  
Ti/Ag/Au

- + простота конструкции
- потери в люминофоре

**Перспектива:**  
монокристаллический InGaN/GaN с набором квантовых ям в плоскостях пучности резонатора

Белый  
Сапфир  
Буфер  
n<sup>+</sup>GaN  
Ti/Ag/Au  
InGaN-QW  
p<sup>+</sup>GaN  
Брэгговский резонатор GaN/AlGaN  
Ni/Ag/Au

- + монолитность
- + отсутствие дополнительных потерь

Иллюстрация из доклада лауреата Нобелевской премии академика Ж.И.Алферова на Общем собрании Российской Академии Наук 19 декабря 2007 г.

**14. "Блиц-турнир"** (максимум 50 баллов, задание для всех, задание для всех, подборка и редактирование авторских вопросов – проф. Е.А.Гудилин, Химфак-ФНМ МГУ)

*В этом задании даны вопросы различного уровня и тематики. Коротко ответьте на понравившиеся Вам вопросы (не более 1000 знаков на ответ по любому из вопросов). Большое количество правильных ответов приведет к большому количеству баллов. Однако не переживайте, если Вы знаете ответы не на все вопросы!*



Сплошные вопросы, в том числе и "детские"...

(ответы основаны на работе А.В.Савостьяновой, призера Интернет-олимпиады)

*1. Предложите методы сепарации по размерам изотропных наночастиц для трех основных размерных диапазонов – менее 10 нм, от 10 до 30 нм и более 30 нм. (1 балл)*

Для самых маленьких частиц (менее 10 нм) может быть использовано размерно-селективное осаждение, основанное на разности «растворимости» наночастиц различного размера. Например размерно-селективное осаждение ацетоном квантовых точек в оболочке из органического гидрофобного поверхностно-активного вещества, растворенных в гексане: чем больше добавлено ацетона, тем меньшие по размеру наночастицы выпадают в осадок. От 10 до 30 нм – ультрацентрифуга, мембраны (разделение по диаметрам). Более 30 нм – центрифуга, седиментация (различный размер наночастиц обуславливает их разные массы, поэтому можно разделять такие частицы в поле силы тяжести). При центрифугировании можно осаждать частицы разного размера, просто изменяя скорость вращения ротора центрифуги. Для разделения может быть использована мембранная сепарация (пропускание через мембрану, например, анодированного оксида алюминия или даже мезопористого диоксида кремния, в них размеры пор можно варьировать от 100 до 5 нм, соответственно, причем диапазоны размеров пор перекрываются). Если наночастицы магнитны, то можно проводить разделение в магнитном поле (сила магнитного взаимодействия будет зависеть от размера частицы, например, она резко будет различаться для ферромагнитных и



суперпарамагнитных частиц), аналогичную сепарацию можно провести и в электростатическом поле. В последнем случае разделение возможно в цилиндрическом конденсаторе достаточной длины. К смеси наночастиц различного размера можно добавить ПАВ. Чем больше наночастица, тем с большим количеством молекул ПАВ она образует мицеллу и тем больших размеров будет мицелла. Далее можно провести разделение мицелл (центрифугирование и пр.). Можно разделять наночастицы с помощью электрофореза, т.е. направленного движения коллоидных частиц под действием внешнего электрического поля. Метод основан на том, что скорость движения частиц зависит от их размера. Методами сепарации наночастиц могут быть: хроматография, установка типа "циклон", молекулярные сита и микро- и мезопористые сорбенты. При жидкостной хроматографии с использованием высокодисперсного несорбирующего гранулированного наполнителя можно разделить все три типа частиц, используя различие в скорости прохождения их через хроматографическую колонку. В установках типа "циклон" используют центробежную силу турбулентного потока, наночастицы при этом оказываются на стенках установки, управляя скоростью турбулентного потока можно добиться разделения наночастиц по размерам. В ряде случаев для разделения наночастиц можно использовать бактерии.

*2. Что такое температура плавления в применении к наночастицам? (1 балл) Какого рода фазовый переход может быть связан с плавлением наночастиц? (1 балл)*

В этом вопросе не было и нет единства среди исследователей (и, разумеется, его не было среди участников олимпиады). Самый простой ответ заключается в том, что температура плавления для наночастиц – это температура, при которой амплитуда тепловых колебаний атомов превышает некоторое критическое значение, в результате чего происходит их разупорядочение с разрушением упорядоченности, при таком рассмотрении можно по-прежнему считать (как и для объемной фазы), что это фазовый переход первого рода. Плавление наноматериалов может происходить на сотни градусов ниже плавления макрофазы (например, температура плавления наиболее исследованных наночастиц золота с диаметром около 30 нм составляет 800 К, в то время как для объемного материала эта величина вошла во все справочники и составляет 1338 К). Однако стоит отметить, что при очень малых размерах понятие плавления вообще становится условным, т.к. трудно определить, чем принципиально кластер атомов в жидкой фазе будет отличаться от наночастицы. Согласно модели жидкой оболочки, предполагающей, что кристаллическое ядро радиуса  $r$  наночастицы окружено жидкой оболочкой толщины  $h=R-r$  ( $R$  – наружный радиус наночастицы), температура плавления – это температура (интервал температур) при которой увеличивается  $h$ . Подобные изменения в наночастицах отвечает специфическому фазовому переходу, при котором двухфазная система переходит в гомогенную систему (жидкость). Наверное, в этом случае плавление будет переходом второго рода, так как происходит сразу во всей наночастице, и никакой поверхности раздела фаз в ней ввести нельзя. Самый кардинальный ответ заключается в том, что понятие «температура» (оно является статистической величиной) вообще нельзя применить к наночастицам как таковым, поскольку в них мало атомов.

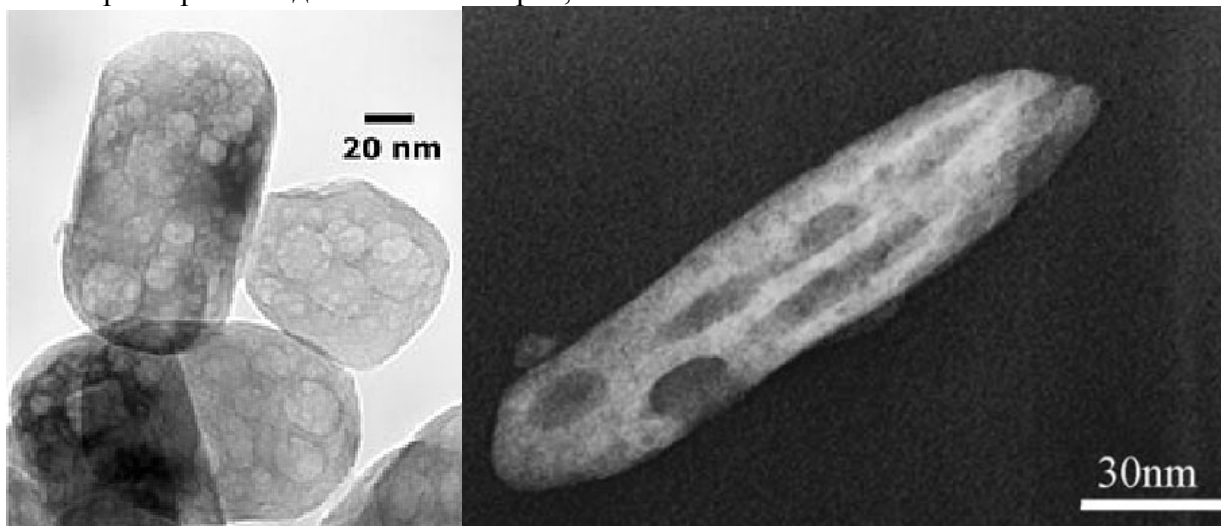
*3. Где нельзя применить наноматериалы и какие материалы вредно получать в ультрадисперсном состоянии? (2 балла)*

Вопрос, в принципе, был связан с нанотоксикологией и наличием у наночастиц чрезвычайно высокой реакционной способности. Кроме того, можно было показать, что в случае перехода к наночастицам во многих случаях теряются свойства, вызываемые доменной структурой материала (суперпарамагнетизм, падение диэлектрических характеристик сегнетоэлектриков, потеря сверхпроводимости сверхпроводниками 2 рода, требующими центры пиннинга вихрей Абрикосова и т.д.). Поэтому вредно получать материалы в дисперсном состоянии в тех случаях, когда важна химическая «инертность»

материала. В то же время, ультрадисперсные частицы (пирофорные и пр.) могут использоваться для подрыва облака вакуумной бомбы и создания взрывчатых веществ. Взрывы угольной пыли и муки в прошлом часто приводили к жертвам на шахтах и мукомольных предприятиях. Мельчайшие частицы могут попадать в лёгкие и вызывать аллергические реакции иммунной системы человека, а также возникновение раковых заболеваний (асбестоз, антрацитоз, цинкоз, силикоз и т.д.). Пока сомнительно применение наноматериалов в медицинских и биологических целях. Наночастицы имеют достаточно малые размеры для того, чтобы проникать через клеточные мембраны, и вместе с тем – достаточно большие, чтобы оказывать негативное влияние на нормальные биологические процессы. И хотя уже сейчас наночастицы начинают активно использоваться в электронике, косметике и химических производствах, сведений об их взаимодействии с клетками и окружающей средой до сих пор мало. Аналогичные проблемы возникают и при использовании наночастиц в пищевой промышленности.

**4. Может ли наночастица быть мезопористой с точки зрения терминологии IUPAC? (1 балл)**

Задача основана на существующей путанице в номенклатуре. Под мезопористостью подразумевается то, что в материале существуют поры различного размера в широком диапазоне, например, от 1 до нескольких сотен нм. Размер наночастиц составляет менее 100 нм. Поэтому наночастица, в принципе, может быть мезопористой, если мезопоры имеют размер около десятка нанометров, что вполне возможно.



Мезопористые наночастицы (ФНМ МГУ)

диоксида титана

оксида железа (III)

**5. Почему наночастицы нельзя разглядеть в оптический микроскоп? (1 балл)**

Размеры нанообъектов, как правило, меньше длин волн оптического диапазона (от 380 нм (УФ-граница) до 780 нм (ИК-граница)). Явления дифракции не позволят получить в этом случае никакого четкого изображения, поскольку предельное разрешение микроскопа не может быть лучше половины длины волны освещающего объект света. Исключением является ближнепольный «оптический» микроскоп, который использует несколько иной принцип, для него можно повысить разрешение приблизительно на порядок. Так, если заставить свет пройти через диафрагму диаметром 50-100 нм и приблизить ее на расстояние несколько десятков нанометров к поверхности исследуемого образца, то, перемещая такой «источник света» по поверхности от точки к точке (и обладая достаточно чувствительным детектором), можно исследовать оптические свойства данного образца в локальной области, соответствующей размеру отверстия. Именно так устроен сканирующий ближнепольный оптический микроскоп (СБОМ). Роль отверстия (субволновой диафрагмы) обычно выполняет оптоволокно, один конец которого заострен

и покрыт тонким слоем метала, везде, кроме небольшой области на самом кончике острия (диаметр «незапыленной» области как раз составляет 50-100 нм). С другого конца в такой световод поступает свет от лазера

*6.Какие наночастицы содержит сажа и платиновая чернь? (1 балл)*

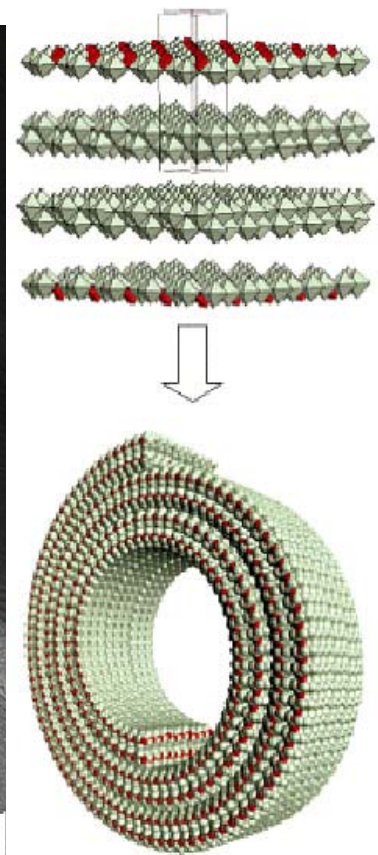
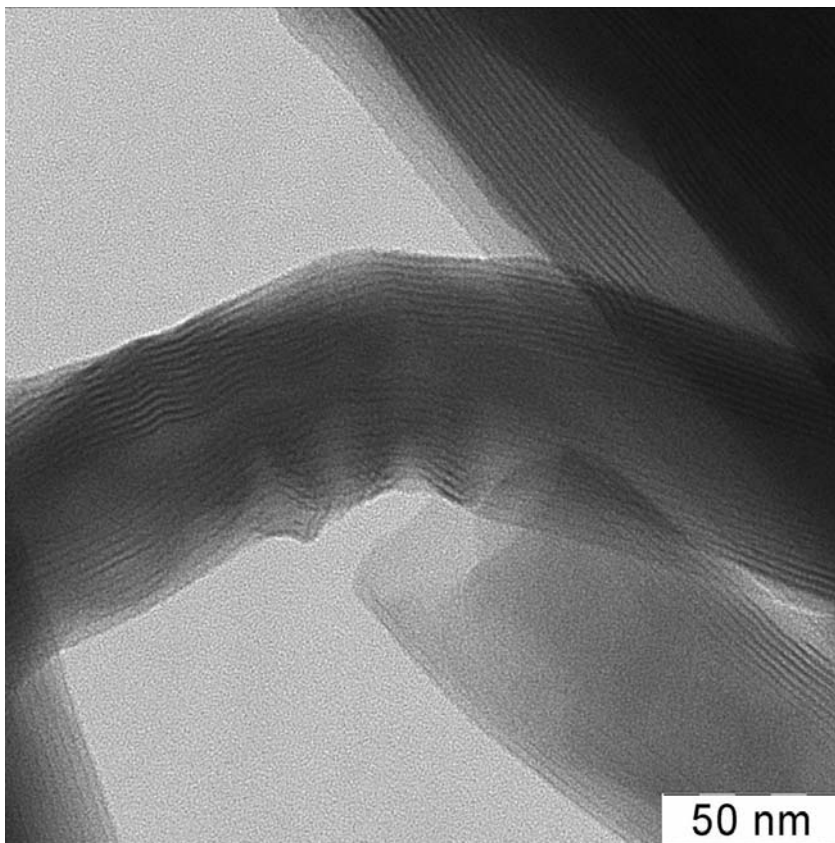
Платиновая чернь - это порошок платины с размером частиц 20-40 мкм, обычно получаемый химическим восстановлением или термическим разложением гексахлорплатиновой кислоты или ее солей, он может содержать различные кластеры платины существенно меньших размеров. Платиновая чернь находит большое количество применений – в основном каталитических. В обычной саже могут содержаться нанотрубки (в различных вариантах), фуллерены, графит, графен, карбин и т.д.

*7.Какие дефекты могут быть и какие не должны существовать в наночастицах? (1 балл)*

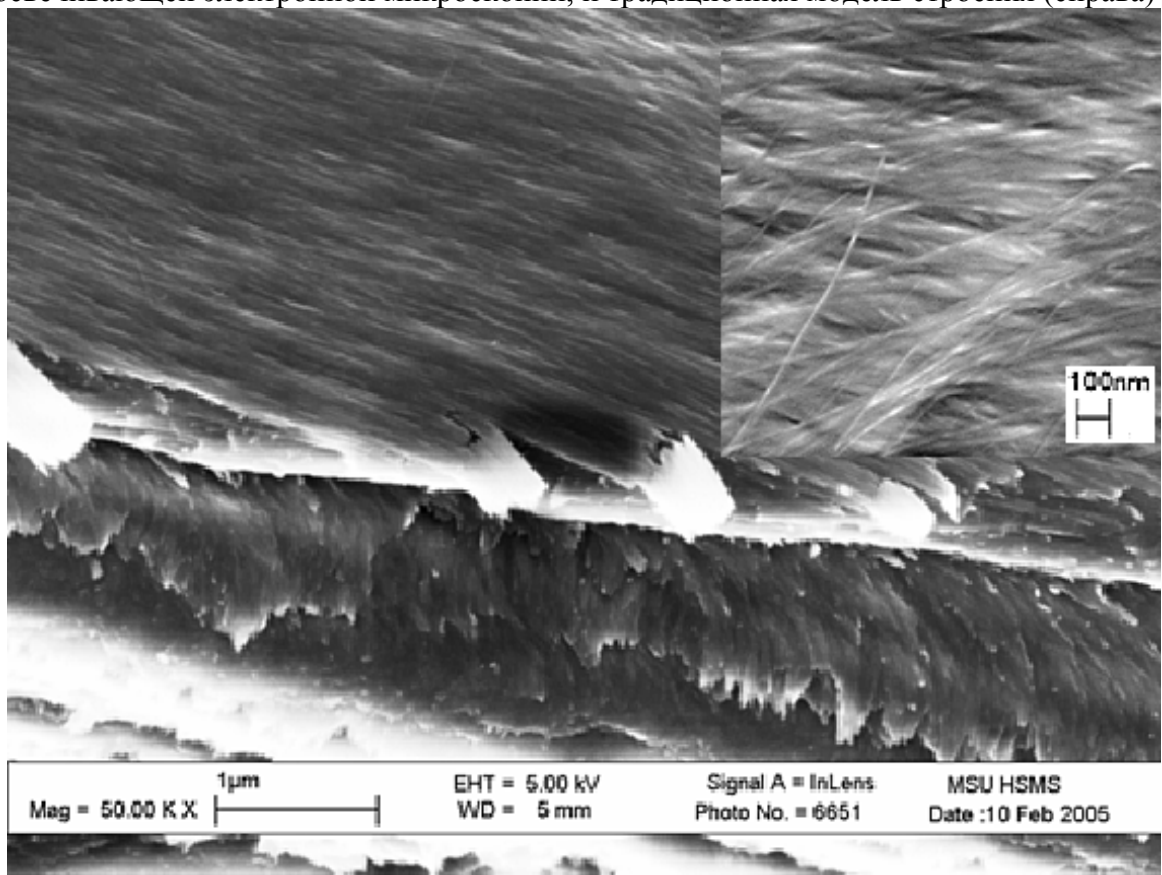
В наночастицах нет точечных дефектов, которые быстро перемещаются к поверхности – основному двумерному дефекту наночастиц. Трудно говорить применительно к наночастицам о возможности существования в них дислокаций и двойников, т.к. характерные размеры таких дефектов существенно превосходят размеры наночастиц. Таким образом наночастицы практически бездефектны, если не считать «оборванных связей» на их поверхности. Разумеется, в наночастицах могут находиться примесные атомы, однако они также могут быть локализованы в поверхностном слое, так как наличие любых дефектов еще сильнее повышает свободную энергию наночастиц, которые и так являются неравновесным состоянием вещества.

*8.Ксерогель пентоксида ванадия и нанотрубки оксида ванадия дают четкие спектры рентгеновской дифракции. Можно ли эти материалы считать моно- или поликристаллическими? (1 балл)*

Монокристаллы обладают достаточно большой по протяженности совершенной трехмерно - упорядоченной структурой. Весь образец вещества, являющегося монокристаллом, не имеет внутри себя границ раздела между отдельными частями, и может быть размножен из одной и той же элементарной ячейки с использованием операций симметрии, отражающих принадлежность кристалла к той или иной федоровской пространственной группе. Поликристаллические образцы состоят из отдельных кристаллитов («монокристалликов», блоков мозаики), разделенных границами (как правило, имеющими большое число различных дефектов). Нанотрубки состоят из ванадий-кислородных слоев, перемежающихся со стабилизирующими их молекулами поверхностно-активных веществ (темплатов), свернутых, как правило, в наносвиток, расстояние между соседними слоями в котором варьируется. Это пример гибридного органо-неорганического материала. Ксерогель – это фактически высушенный лиотропный жидкий кристалл, построенный из упорядоченно уложенных лент изополиванадиевой кислоты. В силу вышесказанного, ни то, ни другое не относится ни к монокристаллам (нет трансляционной трехмерной упорядоченности), ни к поликристаллам (нет границ раздела между зернами). В то же время, рентгеновская и электронная дифракция на таких объектах будет наблюдаться, так как определенные элементы упорядочения и в нанотрубках, и в ксерогеле присутствуют. Однако результаты дифракционных экспериментов следует трактовать с большой осторожностью, имея в виду указанные особенности строения.



Нанотрубки оксида ванадия: микрофотография, полученная с использованием просвечивающей электронной микроскопии, и традиционная модель строения (справа)



Структура ксерогеля пентоксида ванадия, построенного из упорядоченных лент изополиванадиевой кислоты (растровая электронная микроскопия)

9. Как крышечка закрытой с одного конца нанотрубки изменит ее химические, механические и физические свойства? (2 балла)

Механические свойства практически останутся без изменений, поскольку лишь малая часть нанотрубки имеет другое строение. Физические свойства изменятся, в частности, может измениться электропроводность и оптические свойства (в спектрах могут появиться новые линии), нанотрубка также перестанет быть проницаемой для посторонних молекул. Крышечки нанотрубок являются наиболее реакционноспособной ее частью, поэтому закрытая нанотрубка будет более химически активна, позволяя селективно проводить модификацию поверхностными группами. Кроме того, при окислении «крышечка» может быть вовсе удалена, после чего «открытая» нанотрубка будет капиллярным эффектом и всеми остальными особенностями «вскрытых» углеродных нанотрубок.

10. Каковы рекордные коэффициенты полезного действия солнечных батарей, использующих наноматериалы? (1 балл)

Специалисты подразделения Boeing - компании SpectroLab - недавно смогли превысить порог в 40%. Рекордной эффективности удалось достигнуть с помощью многослойной полупроводниковой гетероструктуры с использованием концентраторов солнечной энергии. В такой солнечной батарее использован так называемый феномен мультислои — в структуре из нескольких тонких пленок различных полупроводников захватываются фотоны различных длин волн, а при взаимодействии друг с другом перекрывается более широкий спектр поглощения, чем у обычных солнечных батарей. Академиком Ж.И.Алфимовым утверждалось также, что близкой эффективности на подобной же гетероструктуре удалось достигнуть и российским ученым. Пока значительно меньшей эффективностью (не выше 15%) обладают наиболее распространенные солнечные батареи на основе двуокиси титана с красителями или квантовыми точками, а также солнечные батареи, содержащие производные фуллеренов, углеродные нанотрубки, наночастицы металлов, нанопроволоку кремния или других полупроводников. В то же время, преимуществом таких солнечных батарей является их более высокая технологичность и — часто — простота в изготовлении, возможность получать гибкие солнечные батареи большой площади и т.д. Так, ячейка на основе нанокристаллических пленок полимер /  $\text{TiO}_2$  (сенситизированный красителем) имела плотность фототока  $\sim 20 \text{ mA/cm}^2$ , фотоЭДС = 0.72 В и КПД  $\sim 10 \%$ . Для ячеек на основе углеродных нанотрубок достигается КПД  $\sim 7-10 \%$ . В солнечных батареях, «усиленных» плазмонным резонансом, КПД также относительно высок. Если на поверхность кремния нанести тонкую пленку серебра и нагреть до  $\sim 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , то сплошная пленка разрушается, превращаясь в сплюснутые островки сферической формы диаметром около 100 нм. Падающий на эти островки свет вызывает в наночастицах серебра коллективные колебания свободных электронов, плазмоны «переизлучают» свет в нижележащий слой кремния, что в целом увеличивает поглощение света солнечной батареей. Данная технология позволяет в перспективе повысить эффективность тонкопленочных батарей до 15 %.



Иллюстрация из доклада лауреата Нобелевской премии академика Ж.И.Алферова на Общем собрании Российской Академии Наук 19 декабря 2007 г.

11. Что термодинамически стабильнее при нормальных условиях - графен, фуллерен, одностенная углеродная нанотрубка, наноалмаз? (1 балл)

Термодинамическая стабильность будет возрастать в ряду: графен - одностенная углеродная нанотрубка - фуллерен - наноалмаз. Наноалмаз будет превосходить по стабильности фуллерен из-за того, что большие размеры наноалмаза по сравнению с фуллереном приводят к меньшему искажению валентных углов (менее искаженная конфигурация энергетически более выгодна). Нанотрубка - это свернутый графен, в котором присутствует достаточно сильное искажение валентных углов. Фуллерен стабильнее нанотрубки из-за формирования достаточно выгодной ароматической системы пи-связей. Графен наименее стабилен из-за наличия «оборванных» связей на его краях, что приводит, в принципе, к формированию более стабильных нанотрубок или графита.

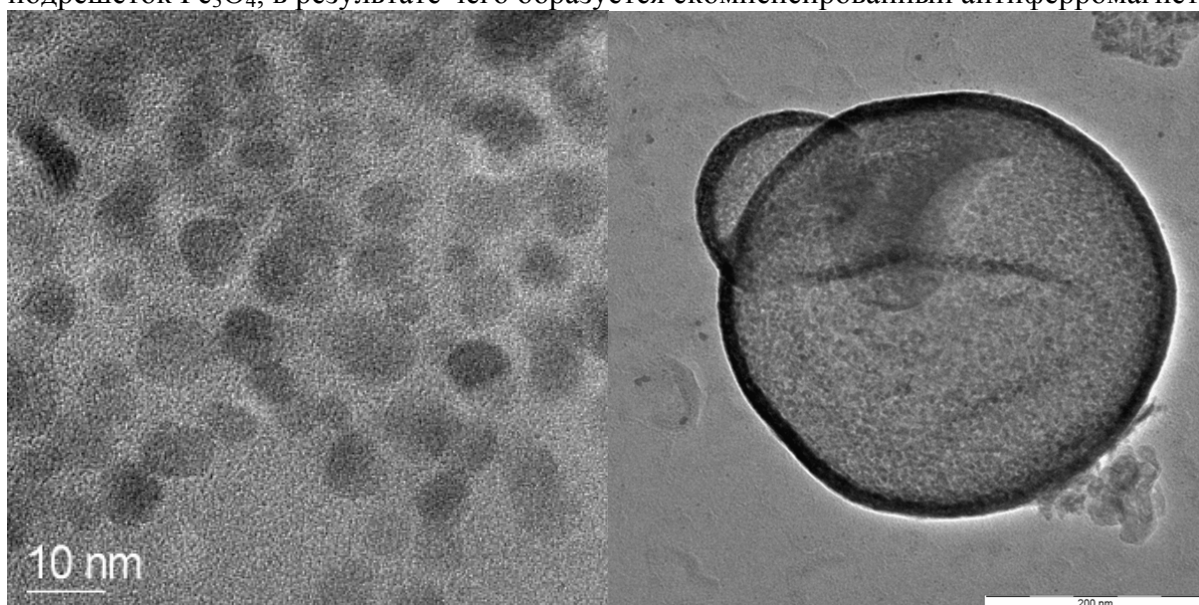
12. Назовите максимальное число способов разделения одностенных и многостенных углеродных нанотрубок. (1 балл)

К методам разделения УНТ относятся: ультразвуковое диспергирование и разделение при помощи поверхностно-активных веществ, центрифугирование, метод (конструктивного) разрушения, раздельное выращивание, пропускание суспензии УНТ через каналы заданного диаметра. Существует метод разделения нанотрубок по размерам путём взаимодействия с нитями ДНК. В процессе центрифугирования «плавающие» УНТ с малым диаметром остаются в верхних слоях смеси. Однако таким способом не удаётся разделить металлические и полупроводниковые УНТ. Гораздо лучше использовать специальные ПАВ для формирования УНТ-содержащих капсул. Крупные нанотрубки присоединяют большие молекулы ПАВ, что приводит к разделению смеси при центрифугировании.

Хиральные нанотрубки можно разделить при использовании хиральных ПАВ. Металлические и полупроводниковые нанотрубки можно разделить при пропускании тока, пережигая более проводящие металлические нанотрубки. Содержание углеродных нанотрубок в продуктах реакции можно изменять путем подбора катализатора. Одностенные нанотрубки можно вырастить с помощью специальных модификаций метода осаждения из паровой фазы. Таким образом, одностенные и многостенные нанотрубки лучше не разделять, а сразу получать целевой продукт.

**13. Предложите простейший способ получения магнитных наночастиц оксида железа. (1 балл) Почему при добавлении цинка  $T_c$  таких частиц снижается? (1 балл)**

Основным методом получения  $Fe_3O_4$  является взаимодействие щелочи со смесью солей двух- и трехвалентного железа. Хорошо закристаллизованные частицы получаются при добавлении эквимольной смеси солей железа (обычно хлориды) в водный раствор гидроксида натрия, взятый с избытком для обеспечения рН конечной смеси в районе 11–12. В результате соосаждения образуются гидратированные магнитные частицы  $Fe_3O_4$  с размером 10-15 нм. При добавлении цинка происходит снижение  $T_c$  таких частиц за счет того, что цинк, не имеющий неспаренных d-электронов, входит в одну из шпинельных подрешеток  $Fe_3O_4$ , в результате чего образуется скомпенсированный антиферромагнетик.



Магнитные наночастицы (ФНМ МГУ), полученные из высококипящего неводного растворителя, карбонила железа и олеиновой кислоты – стабилизатора. пироллизом аэрозоля нитрата железа (III) и хлорида натрия (микрогранулы NaCl, содержащие 10-30 нм частицы  $\gamma-Fe_2O_3$ )

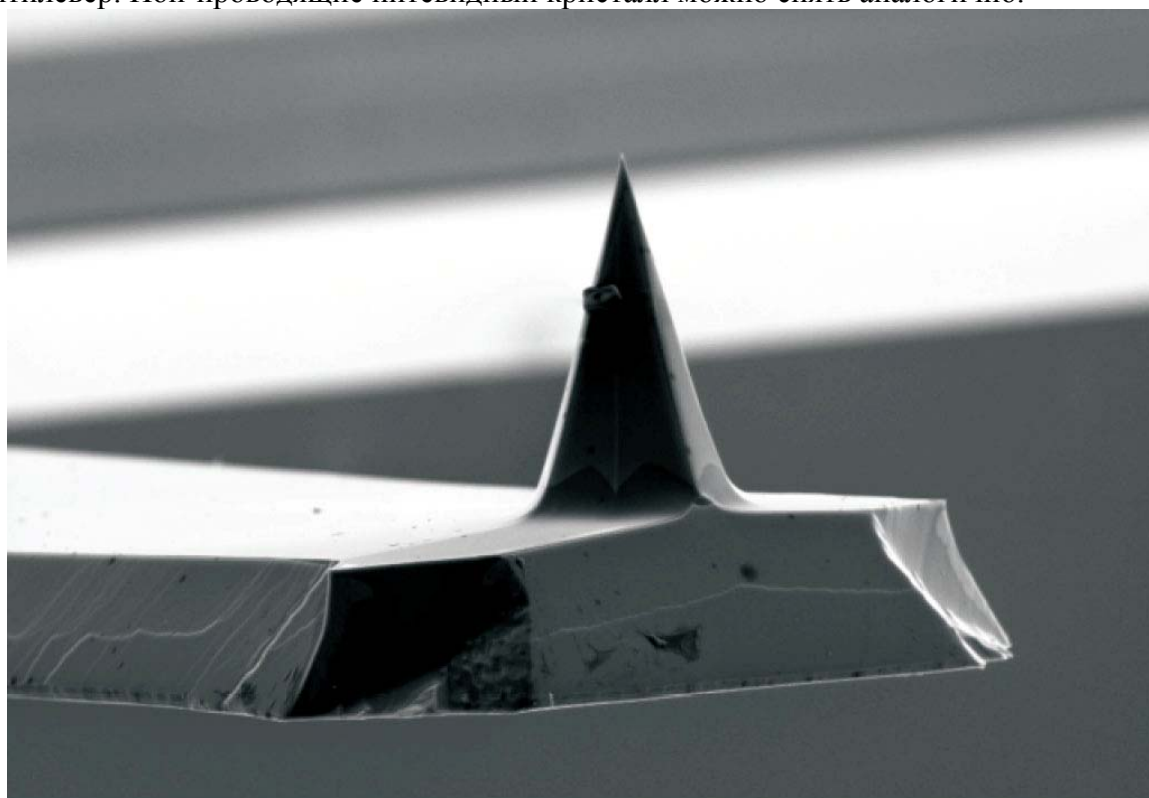
**14. Выберите лучший материал для наноиндентера – кварц, алмаз, УНТ, SiC, BN, высокоуглеродистая сталь, золото, политетрафторэтилен. (1 балл)**

Лучшим материалом именно для наноиндентера является наиболее твердый материал, поскольку он должен приводиться в контакт с подложкой и механически оставлять на ней следы (например, лунки или кратеры, по форме которых можно рассчитать локальную твердость подложки и другие ее механические характеристики). Наиболее подходят алмаз, карбид кремния и алмазоподобный нитрид бора. Не подходят мягкое золото и кварц. УНТ слишком эластичны. Из стали и политетрафторэтилена делать зонды вообще нецелесообразно.

**15. Какую моду и какой кантилевер СЗМ лучше всего выбрать для анализа (3 балла): поверхности алмаза, поверхности магнитной пленки, заполированных элементов флэш-**

*дискеты, пленки органического светодиода, пленки жидкости с магнитными наночастицами, поверхности графита, поверхности сверхпроводника, ион-проводящего нитевидного кристалла.*

Для анализа поверхности алмаза стоит использовать бесконтактную или полуконтактную моду, чтобы не повредить кремниевый кантилевер, если он стандартный. В качестве альтернативы следует выбрать более дорогое алмазное острие в контактном режиме. Поверхность магнитной плёнки анализируют, применяя магнитный зондовый датчик-кремниевый (или нитрида кремния) с пленкой из (ферро)магнитного материала (Co, Fe, CoCr, FeCr, CoPt, CoAu и др.), метод магнитно-силовой микроскопии (МСМ). Измерения проводят по двухпроходной методике (с использованием контактного и полуконтактного метода), чтобы отделить «магнитные» изображения от изображений рельефа. Поверхность магнитной пленки можно также анализировать с помощью МСМ, бесконтактная динамическая мода, магнитный зондовый датчик со стандартным кремниевым (или изготовленным из нитрида кремния) зондовым датчиком, покрытым пленкой из магнитного материала. Элементы флеш-памяти требуют кремниевый зонд, покрытый проводящим слоем (золотом, а также Pt, Cr, W, Mo, Ti, W<sub>2</sub>C и пр. или с наращенным вольфрамовым острием.), то есть съемку с использованием электро-силовой микроскопии (ЭСМ), «чувствующей» поверхностные заряды и сегнетоэлектрические домены. Поверхность OLED можно «посмотреть» при наличии обычного кремниевого кантилевера (бесконтактная или полуконтактная мода, чтобы не поцарапать органический слой). Магнитные наночастицы в жидкости позволяет увидеть динамическая МСМ и кремниевый кантилевер, покрытый магнитной плёнкой. Контактная мода нецелесообразна из-за наличия жидкости. Поскольку графит является мягким (и проводящим) материалом, то для изучения его поверхности можно использовать полуконтактную (или прерывисто-контактную) моду и обычный кремниевый кантилевер, удобно использовать также СТМ. Сверхпроводник - это отображение сопротивления растекания, обычный кремниевый кантилевер. Ион-проводящие нитевидный кристалл можно снять аналогично.



Mag = 5.00 K X

10µm

EHT = 5.00 kV

WD = 15 mm

Signal A = SE2

Photo No. = 9862

MSU HSMS

Date :5 Jul 2005



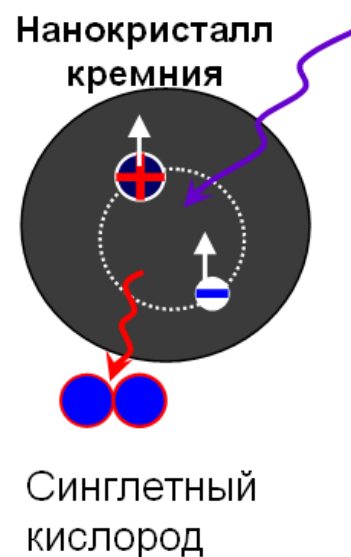
Изображение стандартного кремниевого кантилевера (компании Микромаш), полученное с помощью сканирующей зондовой микроскопии (ФНМ МГУ).

16. Что такое «кассиев пурпур»? Когда он был открыт? (1 балл) Почему он может обладать различным цветом в зависимости от способа получения? (1 балл) Где сейчас могут найти практическое применение такие системы? (1 балл)

При восстановлении растворов соединений золота хлоридом олова (II) в слабокислых растворах образуется интенсивно окрашенный темно-пурпурный раствор так называемого кассиевого золотого пурпура (он назван так по имени Андреаса Кассия, стекловара из Гамбурга, жившего в 17 в.). Впервые кассиев пурпур был изучен и описан в 1898 г. австрийским химиком Рихардом Зигмонди. При восстановлении золота из сильно разбавленных растворов оно образует интенсивно окрашенные коллоидные растворы – гидрозоль, которые могут быть пурпурно-красными, синими, фиолетовыми, коричневыми и даже черными. Так, при добавлении к 0,0075%-ному раствору золотой кислоты  $\text{H}[\text{AuCl}_4]$  восстановителя (например, 0,005%-ного раствора солянокислого гидразина) образуется прозрачный голубой золь золота, а если к 0,0025%-ному раствору  $\text{H}[\text{AuCl}_4]$  добавить 0,005%-ный раствор карбоната калия, а затем по каплям при нагревании добавить раствор танина, то образуется красный прозрачный золь. В зависимости от степени дисперсности частиц окраска золота изменяется. Так, при размере частиц золя 40 нм максимум его оптического поглощения приходится на 510–520 нм (раствор красный), а при увеличении размера частиц до 86 нм максимум сдвигается до 620–630 нм (раствор голубой). Кассиев пурпур, введенный в расплавленную стеклянную массу, дает великолепно окрашенное рубиновое стекло (кремлевские звезды), количество затрачиваемого при этом золота ничтожно. Кассиев пурпур применяется и для живописи по стеклу и фарфору, давая при прокаливании различные оттенки – от слаборозового до ярко-красного. В настоящее время модификации данного метода позволяют получать наночастицы золота, обладающие эффектом плазмонного резонанса, для фундаментальных и медицинских применений, для разделения белков, для формирования сверхрешеток и т.д.

17. Как происходит генерация синглетного кислорода при фотодинамической терапии рака с использованием нанокристаллического кремния? (1 балл)

Метод ФДТ включает четыре этапа. На первом этапе пациенту вводят, обычно внутривенно, раствор сенсibilизатора. Второй этап продолжительностью от нескольких часов до трех суток необходим для накопления сенсibilизатора в опухоли за счет поглощения его раковыми клетками. На этом этапе по флуоресценции сенсibilизатора судят о размерах опухоли и ее расположении. На третьем этапе пораженный участок облучают светом определенной длины волны в течение 15 - 20 минут. В качестве источника света обычно используется лазер и система световодов, которая позволяет доставлять свет во внутренние органы. Возбужденная молекула сенсibilизатора взаимодействует с кислородом, давая активную синглетную форму кислорода. Последняя обладает значительно большей подвижностью и более активно окисляет внутренние элементы клетки. Синглетный кислород является цитотоксическим, благодаря своему свойству сильного окислителя биомолекул. Нанокристаллы полупроводника кремния с диаметром несколько нанометров при фотовозбуждении могут выступать в роли сенсibilизаторов при генерации синглетного кислорода. Механизм фотосенсibilизации заключается в передаче энергии экситонов, возбуждаемых светом в нанокристаллах кремния, к адсорбированным на их поверхности молекулам кислорода.



Лабораторное животное (белая крыса, слева) с введенными наночастицами кремния после сеанса фотодинамической терапии, а также схема генерации синглетного кислорода (справа). (фотографии – ЦКП физического факультета МГУ).

18. Где применяют гвозди и шурупы из «нанокристаллического» титана? (1 балл) Как сделать такой гвоздь? (1 балл)

Титан и его сплавы широко используются при изготовлении медицинских имплантантов. Проведенные исследования микроструктуры и свойств титана, полученного различными методами интенсивной пластической деформации, показали, что механические свойства титана в наноструктурном состоянии достигают свойств высокопрочных титановых сплавов. При этом формирование наноструктурного состояния в титане не оказывает отрицательного влияния на его биосовместимость.

19. В чем причина упорядочения лиотропных жидкокристаллических систем, используемых для получения мезопористых матриц – так называемых одномерных нанореакторов для получения наночастиц, нанопроволок и пр.? (1 балл) Как можно контролировать диаметр пор? (1 балл)

Лиотропные ЖК самоорганизуются, чтобы свести энергию системы к минимуму. Причина в том, что в одной и той же молекуле сосуществуют гидрофильная "голова" и гидрофобный "хвост", при этом такая молекула должна взаимодействовать с молекулами растворителя, увеличивая энтропию системы (S). Такое взаимодействие в полярном растворителе происходит за счет «головы», а в неполярном – за счет «хвоста», уменьшая энтропию (H), обратное взаимодействие энергетически невыгодно (нарушается структура растворителя). Чтобы минимизировать суммарно свободную энергию системы  $G = H - TS$ , этим молекулам приходится "сворачиваться" либо в шарики, либо в цилиндры, либо в другие структуры. Таким образом, самоорганизация достигается за счет того, что лиофобные («не любящие растворитель») части молекул ЖК собираются вместе, а лиофильные части молекул находятся в контакте с молекулами растворителя (чаще всего воды) и не дают молекулам растворителя проникнуть к лиофобному скоплению. На самоорганизацию молекул ЖК влияет концентрация ЖК в системе и температура. Диаметр пор при формировании мезопористых матриц с использованием таких мицеллярных темплатов поэтому можно изменять за счёт удлинения или укорочения гидрофобных "хвостов", за счёт изменения концентрации ПАВ в растворе, а также при введении различных молекул в гидрофобную часть мицеллы.

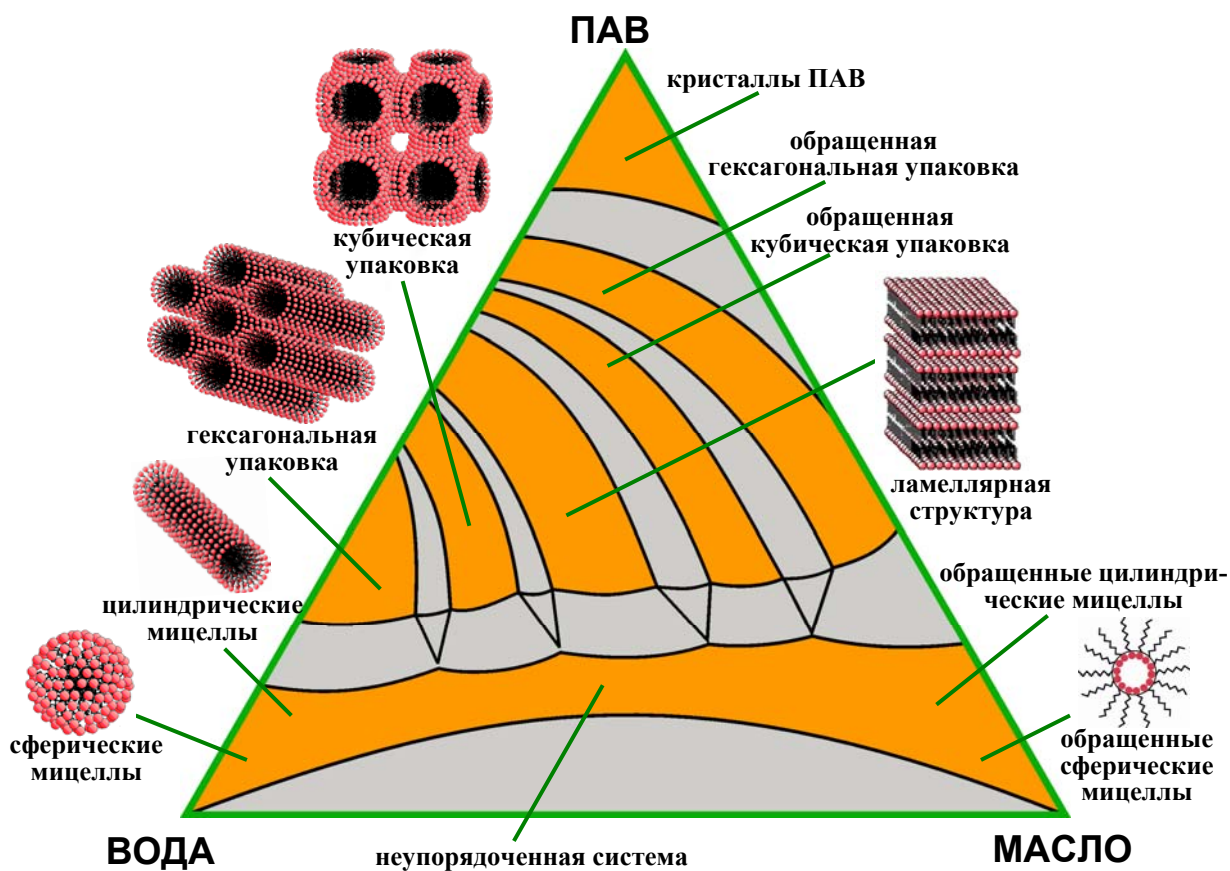


Диаграмма состояния системы вода-масло-ПАВ (ФНМ МГУ)

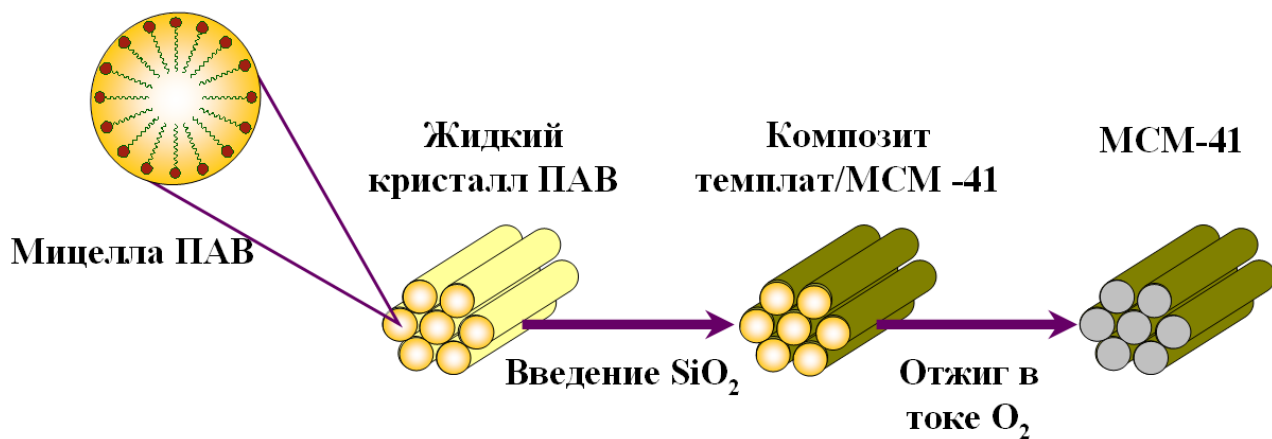
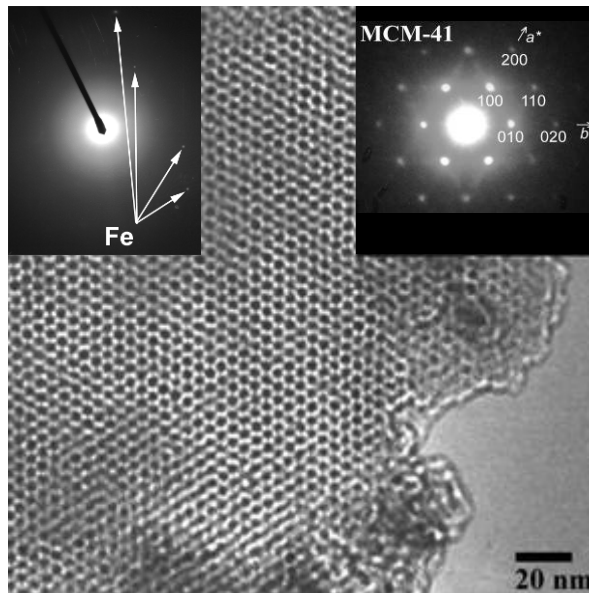


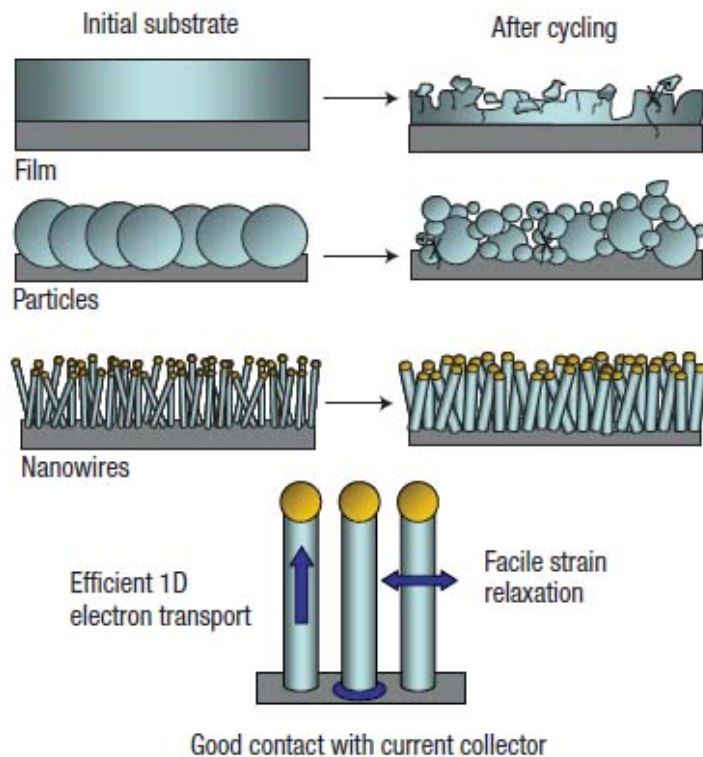
Схема получения мезопористого диоксида кремния с использованием мицеллярного темплата (ФНМ МГУ)



Микрофотография нанокompозита «мезопористый SiO<sub>2</sub>-Fe», полученная с использованием просвечивающей электронной микроскопии (ФНМ МГУ)

20. В чем плюсы и минусы использования наноматериалов для создания химических источников тока. (1 балл)

Плюсы: такие источники тока миниатюрные, более долговечные при циклировании, дают большую емкость, значительно быстрее перезаряжаются в аккумуляторах, их можно использовать в таких устройствах, как сотовые телефоны, карманные компьютеры, кардиостимуляторы, устройства «двойного назначения». Минусы: электроды могут прорасти друг в друга через разделяющую мембрану (например, «усы» и «дендриты» металлического лития), что приводит к короткому замыканию, иногда – даже к «вскипанию» аккумулятора. Из-за высокой реакционной способности наночастиц они могут необратимо реагировать с электролитом.



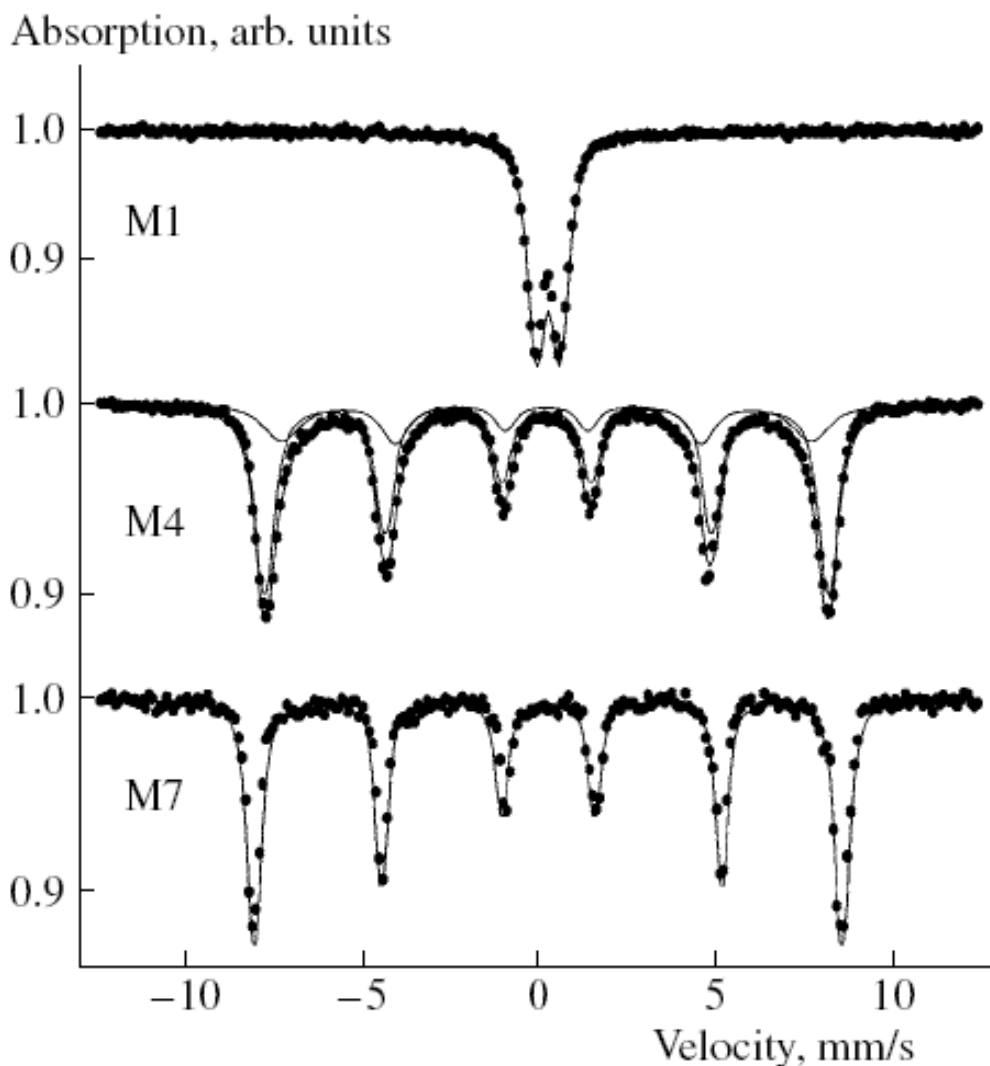
Использование «нановискеров» кремния для создания анодного материала с десятикратно увеличенной емкостью (Nature)

21. Назовите наибольшее число наноматериалов, пригодных для хранения водорода. Какие из них считаются наиболее перспективными и почему? (2 балла)

Кроме обычных способов, водород можно хранить в углеродных нанотрубках, активированном угле, производных фуллеренов, цеолитах, стеклянных микросферах, материалах на основе аэрогелей, платиновой черни, пористом никеле, металл-органических каркасных структурах (на основе терефталатов и др.). Наиболее перспективными для хранения водорода в настоящее время считают углеродные наноматериалы, в частности, фуллерены, с которыми связаны атомы переходных металлов. Экспериментально показано, что количество водорода, обратимо извлекаемого при комнатной температуре и давлении, близком к атмосферному, может достигать 9 масс.%. Кроме того, эти материалы являются относительно дешевыми и более легко возобновляемыми по сравнению с металлгидридными источниками. Углеродные наноматериалы имеют небольшой удельный вес, что также делает их весьма привлекательными. Главное же преимущество УНТ - возможность хранить водород при низком давлении. Сорбция водорода в пучках двустенных УНТ существенно выше, чем для одностенных УНТ. Считают, что повысить сорбционную емкость УНТ и других углеродных наноструктур можно с помощью добавления металлов – катализаторов диссоциации водорода, среди которых одним из лучших является *Pd*. Теоретически *SiC* нанотрубки более перспективны, чем УНТ, т.к. емкость *SiC* нанотрубок по водороду более, чем в два раза выше, чем у углеродных нанотрубок.

22. В Мессбауэровском спектре наночастиц оксида железа (III) наблюдается секстет. Означает ли это, что данную кристаллическую модификацию оксида железа можно эффективно использовать для регионарной гипертермии раковых опухолей? (2 балла)

Регионарная гипотермия раковых опухолей при введении наночастиц оксидов железа основана на эффекте разогревания таких наночастиц в переменном магнитном поле за счет магнитокалорического эффекта. Наблюдение секстета в мессбауэровском спектре наночастиц оксида железа (III) означает, что локально наблюдается магнитоупорядоченная структура, которая может относиться как к магнитной  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  со структурой шпинели, действительно используемой для гипертермии, так и к малоэффективной для гипертермии  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , обладающей структурой корунда и очень небольшой намагниченностью насыщения. В обеих фазах на зондовых атомах железа присутствует магнитное поле, создаваемое ближайшими атомами железа, окружающими зондовый атом (изотоп  $^{57}\text{Fe}$ ). Этого достаточно для появления различающихся по параметрам «секстетов» в мессбауэровских спектрах обеих модификаций. В то же время, это не означает, что структура дальнего порядка приведет к возникновению большого магнитного момента в образце. Таким образом, факт наличия секстета не является достаточным условием для эффективного использования анализируемого оксида железа для гипертермии (однако достаточно надежно позволяет идентифицировать кристаллическую модификацию оксида и даже оценить размер его частиц, поэтому является необходимым условием). Это происходит потому, что гамма – резонансная спектроскопия является эффективным методом анализа не структуры дальнего порядка, но локальной структуры материалов (в основном это касается первой координационной сферы), в то время как макроскопические магнитные свойства предопределяются коллективными взаимодействиями, то есть строением вещества на значительно больших пространственных масштабах.



Мессбауэровский спектр при комнатной температуре аморфного (суперпарамагнитного) образца гидратированного окида железа (III) (M1), а также магнитной модификации окида железа (III) (M4).

23. Как сделать диод Шоттки из одностенной углеродной нанотрубки? (1 балл)  
Объясните, почему возможно создание такого диода. (1 балл)

В зависимости от угла ориентации графитовых плоскостей относительно оси нанотрубки (хиральность нанотрубки) одностенная графитовая нанотрубка может проявлять металлические свойства, либо быть полупроводником с запрещенной зоной от 0,01 до 0,7 эВ. Соединение двух нанотрубок с различной хиральностью (а значит и различными электронными характеристиками) позволяет получить переход металл-полупроводник, что и будет диодом Шоттки. Цилиндрические неизогнутые нанотрубки состоят из повторяющихся углеродных шестиугольников. Если углеродный шестиугольник заменить, например, на пятиугольник или семиугольник, то нанотрубка изогнется. С разных сторон относительно изгиба ориентация углеродных шестиугольников оказывается различной. Но с изменением ориентации шестиугольников по отношению к оси нанотрубки меняется ее электронные свойства, поэтому с одной стороны изгиба нанотрубка будет металлической, а с другой - полупроводниковой. Таким образом, изогнутая нанотрубка будет представлять молекулярный гетеропереход металл-полупроводник. Если рассматривать данные куски нанотрубки изолированно, с разных сторон относительно изгиба, электроны на уровне Ферми обладают разной энергией. В единой системе выигрыш в энергии приводит к перетеканию заряда и образованию

потенциального барьера. Электрический ток в таком переходе течет только в том случае, если электроны перемещаются из области нанотрубки с большей энергией Ферми в область с меньшей. Иначе говоря, ток может течь только в одном направлении, как и в «обычных» полупроводниковых диодах.

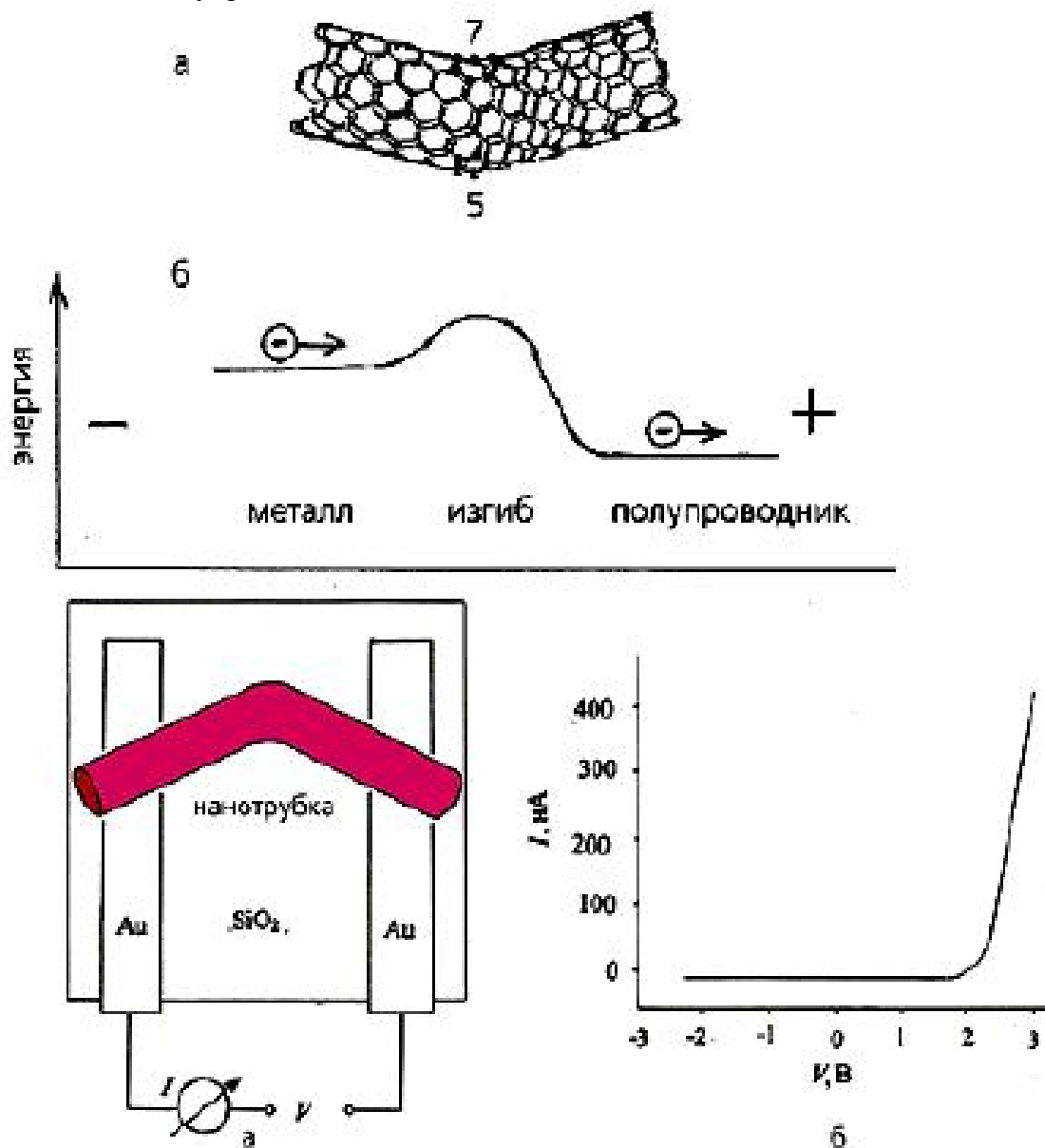


Схема устройства и характеристики диода Шоттки на основе единичной изогнутой углеродной нанотрубки

24. Почему суперпарамагнитные частицы могут разогреться в переменном магнитном поле? (1 балл)

Разогрев супермагнитных наночастиц при действии высокочастотного магнитного поля происходит из-за возникновения колебаний частиц. Поле вызывает движение частиц в определенном направлении, частицы начинают двигаться и приобретают кинетическую энергию. После того, как вектор магнитной индукции изменяет направление, частицы стремятся переориентироваться по полю и поворачиваются, при этом часть кинетической энергии передают частицам среды, их кинетическая энергия увеличивается (следовательно, увеличивается и температура). В высокочастотном магнитном поле это происходит с большой частотой, что и приводит к разогреву. Предполагается, что таким способом можно лечить рак. В настоящее время уже созданы нанобиозонды, каждый из

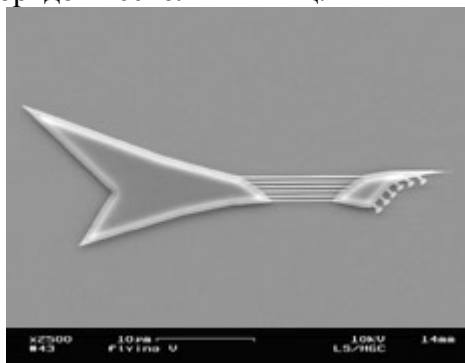
которых состоит из крошечной сферы, сделанной из намагниченного оксида железа, соединённого с моноклональными антителами. Наносферу покрывают сахара и полимеры, маскирующие её от "внимания" иммунной системы. Сферы, мигрируя по организму, в конце концов накапливались на поверхностях раковых клеток и, благодаря своим антителам, соединялись со специфическими рецепторами клеток опухоли. В результате такой векторной доставки эффективность уничтожения раковых клеток существенно возрастает.

25. Предположим, что средняя скорость дрейфа электронов в золоте – 1 м/с, а в графене – 1000 000 м/с. Рассчитайте с точностью до секунды разность по времени, когда абонент компании МГТС на Камчатке (10 000 км) услышит свою тещу, живущую в Москве, по телефонному кабелю, сделанному из графена или золота, соответственно. (1 балл)

Это задача-провокация. Дело в том, что скорость передачи сигнала от одного абонента до другого определяется не скоростью дрейфа (упорядоченного движения) электронов по проводнику, которая очень мала, а скоростью распространения электромагнитных волн, которая велика. Самый простой ответ заключается в том, что можно было бы расстояние в 10000 км разделить на скорость распространения электромагнитных волн в проводнике из золота и на скорость распространения в проводнике из графена, и затем сравнить. В принципе, с учетом скорости распространения света в вакууме (~300 000 км/с) можно утверждать, что в обоих случаях абонент услышит тещу за времена, менее 1 секунды, поэтому разность времен будет ничтожна.

26. Как звучит нанопианино и наногитара? (1 балл)

Нанопианино и наногитара звучать в обычном понимании вообще не будут, поскольку размеры звуковых волн на много порядков превышают размеры любых наноструктур, в силу этого наноструктуры просто не могут генерировать звуковые волны. Основная частота звука в струне (в трубе открытой с обоих концов) дается выражением  $v/2L$ ,  $v$  – скорость распространения волны в материале,  $L$  – длина. Примем  $L = 100$  нм,  $v = 400$  м/с, тогда частота будет иметь порядок нескольких ГГц.



Наногитара

27. Почему при растяжении золотой проволоки до определенных пределов начинает нарушаться закон Ома и как в этом случае выглядит вольт-амперная характеристика? (1 балл)

Закон Ома имеет вид:  $I=U/R$  где  $I$ -сила тока, протекающего через проводник,  $U$  – напряжение,  $R$ -сопротивление проводника. При вытягивании золотой проволоки (золото очень пластический материал и его можно растягивать до проволоки с субмикронным диаметром) диаметр проволоки будет уменьшаться, и наступит такой момент, когда протекание электрического тока начнут определять квантовые эффекты, а число электронов, проходящих через поперечное сечение, перестанет линейно зависеть от напряжения  $U$ . Таким образом, классический закон Ома нарушается за счет размерных



эффектов. При уменьшении толщины до десятков нм происходит ограничение длины свободного пробега электронов толщиной провода. При уменьшении толщины до единиц нм при низких температурах толщина сравнивается с длиной волны де Бройля электрона. Тогда могут наблюдаться одноэлектронные эффекты – так называемая "квантовая лестница". При уменьшении толщины на ВАХ появится сублинейный участок, связанный с уменьшением тока. Осцилляции тока наблюдались в экспериментах на квантовой проволоке из атомов золота между иглой сканирующего туннельного микроскопа и поверхностью золотого образца. При увеличении расстояния между иглой и поверхностью проволока становится длиннее и тоньше. Проводимость проволоки при ее растяжении изменялась скачками на квантовую единицу проводимости  $2e^2/h$ . Согласно вычислениям, проводимость квантовой проволоки при увеличении ее длины изменяется не монотонно, а колеблется. Она достигает максимумов для проволоки, состоящей из четного числа атомов, поскольку в этом случае больше число допустимых электронных состояний.

28. *Опишите качественно график изменения проводимости углеродных нанотрубок типа «кресла», «зигзага» и хиральных НТ («левых» и «правых») при изгибе, кручении и сжатии. Объясните причину изменения проводимости. Можно ли такого же эффекта ожидать от металлоксидных нанотрубок? Из каких нанотрубок лучше делать светоизлучающий элемент, основанный на электронной эмиссии – изогнутых, хиральных, одностенных, многостенных? (5 баллов)*

Трубка типа “зигзаг” и “кресло” в недеформированном состоянии являются полуметаллами. При деформациях (изгиб, кручение и сжатие) у них будет появляться запрещенная зона, величина которой будет зависеть от величины деформации и ее типа. Хиральные нанотрубки также будут изменять свои свойства в зависимости от характера и величины деформации. (см. вопрос 23) В металлоксидных нанотрубках свойства не определяются механической деформацией, поэтому от них вряд ли можно ожидать того же, что и от углеродных нанотрубок. Светоизлучающие элементы лучше делать из неизогнутых одностенных нанотрубок, т.к. эмиссия электронов определяется величиной напряженности электрического поля на конце нанотрубки. Чем выше напряженность, тем сильнее эмиссия. При прочих равных условиях (величине электрического потенциала) напряженность будет тем выше, чем острее кончик трубки (меньше радиус). Диаметр одностенных трубок меньше, чем многостенных, соответственно у них меньше радиус кончика. Прямые трубки являются полуметаллами, соответственно работа выхода из них электронов меньше, чем из изогнутых (являющихся полупроводниками).

29. *Через сколько метров оборвется под собственным весом мононить из одностенной углеродной нанотрубки для космического лифта в однородном поле земного тяготения? Принять диаметр нанотрубки равным  $D$  нм (конфигурация «зигзаг»), а энергия связи углерод-углерод -  $E$  [эрг]. (2 балла)*

Всего для этой, в общем-то, геометрической задачи было дано 3 законченных решения, ниже приводится лучшее, которое практически (оценочно) совпадает с правильным, но является более подробным. Нанотрубка, имеющая конфигурацию “зигзаг” – простейший, нехиральный, случай сворачивания графенового листа с вектором  $(N, 0)$ . Вся нанотрубка может быть получена трансляцией “элементарного” участка графеновой структуры вверх и вниз рисунка. Вдоль одного “зигзага”, например а-а, будет находиться  $2N$  атомов углерода и будет  $N$ - связей с верхним “элементарным” участком графеновой структуры. Пусть энергия одной связи равна  $10^{-7} * E$  Дж (где  $E$ -энергия в эрг, 1 эрг – одна десятимиллионная джоуля). Тогда энергия всех связей будет равна  $10^{-7} * E * N$  Дж. При образовании нанотрубки узлы 1, 3, 5, 7 и т.д. (все нечетные) сверху и снизу совместятся. Таким образом поскольку самый нижний (d-d) и самый верхний (а-а) “зигзаги” одновременно принадлежат двум “элементарным” участкам графеновой структуры, то

всего в элементарной структуре будет 3 “зигзага” по  $2N$  атомов углерода, в итоге  $6N$ , с общей массой  $6 \cdot N \cdot m_0$ , где  $m_0$  – масса одного атома углерода. Если принять длину связи С-С равной  $a_0$  то высота всего “элементарного” участка графеновой структуры (расстояние например между 1-1) составит  $3 \cdot a_0 + 4 \cdot a_0 \cdot \sin 30^\circ = 5 \cdot a_0$ . Линейная плотность нанотрубки составит:  $\rho = (6 \cdot N \cdot m_0) / (5 \cdot a_0)$  кг/м. Оценочно, нанотрубка разорвется под собственным весом тогда, когда потенциальная энергия участка трубки длиной  $L$  не станет равна энергии связей в поперечном сечении. Приблизненно (не учитывая зависимость ускорения свободного падения от высоты над поверхностью и архимедову силу, если трубка космического лифта попадает в воздушную оболочку Земли) будем считать, что вся масса оторвавшегося куска однородной нанотрубки длиной  $L$  находится в его центре  $L/2$ . Тогда потенциальная энергия равна  $mgL/2$  где  $m$  – масса куска  $m = \rho L = (6 \cdot N \cdot m_0 \cdot L) / (5 \cdot a_0)$ . Можно записать:  $6 \cdot N \cdot m_0 \cdot L \cdot g \cdot L / (5 \cdot a_0 \cdot 2) = 10^{-7} \cdot E \cdot N$ . Тогда длина обрыва не зависит от диаметра и составляет  $L^2 \sim 10^{-7} E a_0 / (6m_0)$ . Так как молярная масса углерода  $0.012$  кг/моль – это  $m_0 N_A$  ( $N_A$  – число Авогадро), то  $L^2 \sim 10^{-5} E [\text{Дж}] a_0 [\text{м}] N_A / 7 \sim E [\text{Дж}] a_0 [\text{м}] 10^{18}$ . Кстати, проверка по размерностям показывает справедливость данной формулы ( $1 \text{ Дж} = \text{кг м}^2 / \text{с}^2$ ,  $g = 9.8 \text{ м} / \text{с}^2$ ). Энергия связи С-С в слое графита равна  $167,6$  Дж/моль, а длина такой связи составляет  $0.14 \cdot 10^{-9}$  м, то есть  $L^2 \sim 23 \cdot 10^9$  м, а  $L \sim 5\,000$  м, то есть всего  $5$  км. Немало, но и не слишком много.

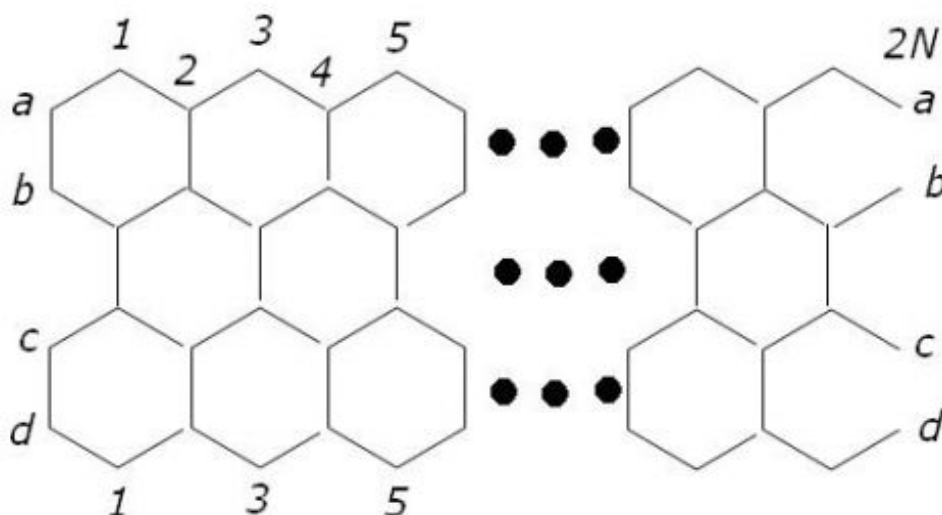


Схема строения нанотрубки типа «зигзаг»

*30. Почему крем от загара, содержащий нанокристаллический диоксид титана, может быть опасен для здоровья? (2 балла)*

Нанокристаллический диоксид титана, может быть опасен для здоровья поскольку он может быть фотосенсибилизатором УФ –излучения, способствует его поглощению и передаче клеткам, что может привести к их разрушению. При облучении на его поверхности образуются свободные радикалы высокой энергии. Пример – фотолиз воды, при котором формируются энергичные радикалы  $\text{OH}\cdot$ ,  $\text{OON}\cdot$  и др. Кроме того, из-за малого размера наночастицы диоксида титана могут проникать через кожу, попадать в кровь и разноситься по всему организму, включая печень, мозг, почки и .д. Поэтому наносить диоксид титана в составе крема, содержащего кроме воды большое количество органических веществ, может оказаться небезопасно.

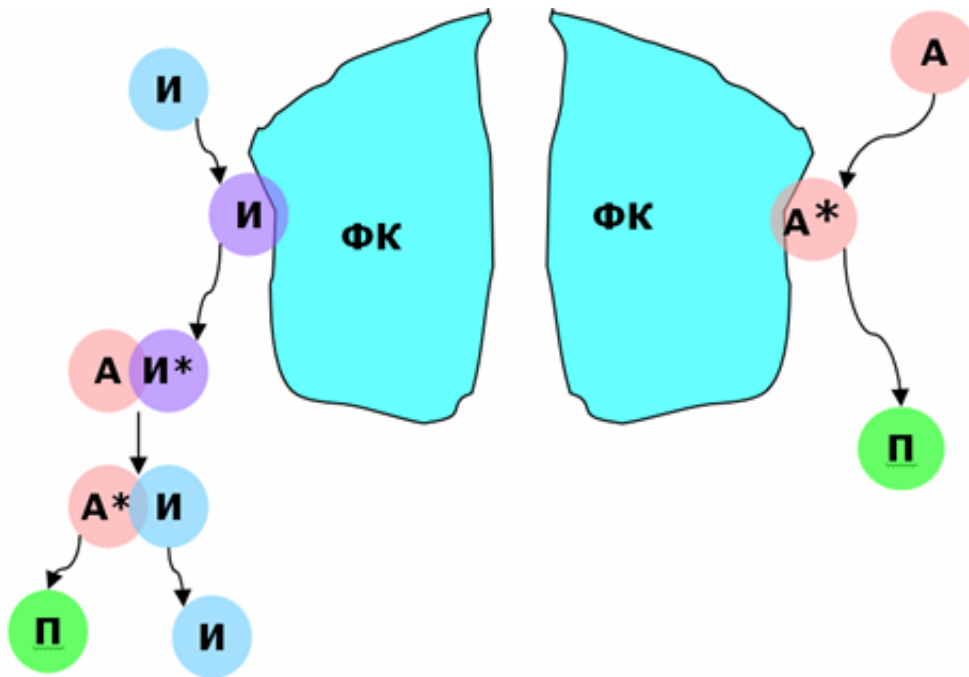
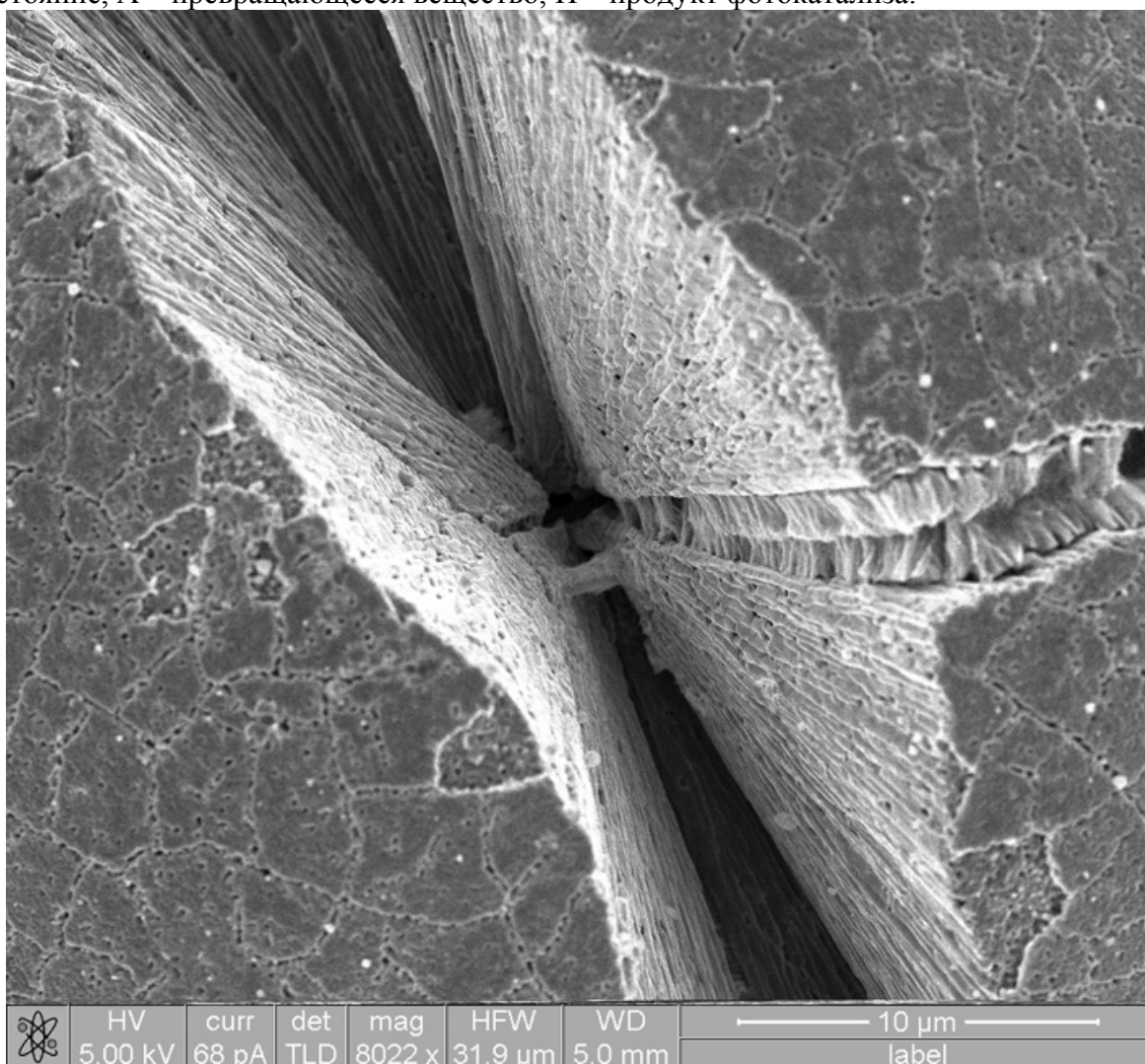


Схема действия фотокатализатора (ФК), И – вещество – интермедиат, \* - возбужденное состояние, А – превращающееся вещество, П – продукт фотокатализа.



Внутренняя структура микросферы диоксида титана после гидротермальной обработки (Ю.В.Коленко, Химфак-ФНМ МГУ)

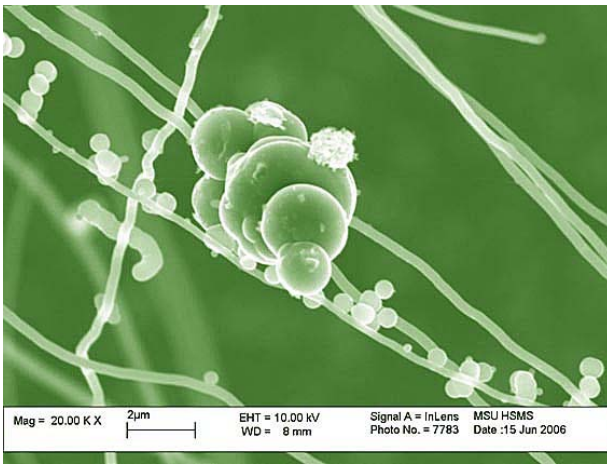
**15. «Промышленный шпионаж» или нанотехнологический Шерлок Холмс** (до 90 баллов, задание для всех, автор – проф. Е.А.Гудилин, Химфак-ФНМ МГУ)

*Микрофотографии современных материалов чаще всего содержат достаточно много «скрытой» информации, как правило, достаточно специфично характеризующей тот или иной класс материалов. Стоит только скрупулезно проанализировать все детали. Иногда этим пользуются развивающиеся промышленные компании, чтобы попытаться воспользоваться секретами конкурентов в своих целях. В этом случае научное знание может быть поставлено на службу сомнительной коммерческой выгоде. Тем не менее, попробуйте испытать себя в роли Шерлока Холмса, который, как известно, сам пытался бороться в одном из рассказов с промышленным шпионажем.*

*Ниже приведено несколько (точнее, 18) различных фотографий неорганических материалов. Предположите, что это может быть за материал для каждой (по 2 балла) из фотографий, обосновав логику своего выбора и указав, с помощью какого инструментального метода получены микрофотографии. Укажите элементы наноструктурирования на каждой (по 1 баллу) фотографии, если они имеются. Как может быть получен указанный Вами материал (по 1 баллу)? Каковы могут быть практические применения (по 1 баллу) предложенных Вами материалов?*

*Чем больше фотографий Вы опишите, тем больше будет количество набранных баллов за задачу – при условии, что Ваши гипотезы хотя бы гипотетически будут соответствовать истине. Мы не ожидаем, что Вы сможете точно указать, что изображено на фотографии, нас интересует любая здравая гипотеза и логика Ваших рассуждений.*

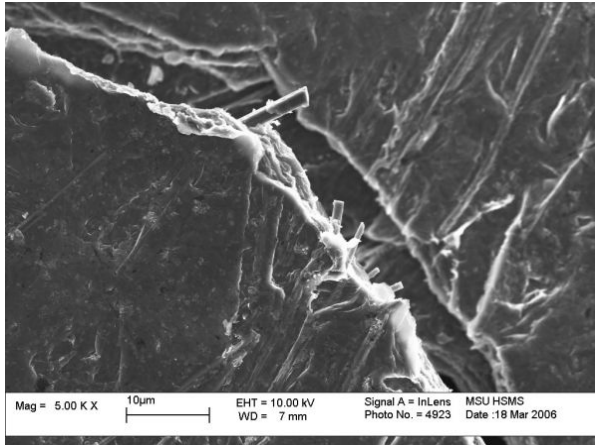
*{Прим. ред.: идентификация способа съемки фотографий, приведенных ниже, должна была быть основана на трех признаках – формальном, цветокодировке и характерном масштабе расстояний. Формальным признаком являлось наличие подписей под фотографиями, в случае электронной микроскопии, скажем, наличие информации об ускоряющем напряжении, для сканирующей зондовой микроскопии – трехмерная компьютерная реконструкция изображения или наличие осей, на которых обычно указывается масштаб. Цветокодировка использовалась, как правило, для СЗМ, наличие цвета на фотографии с небольшим увеличением наверняка свидетельствовало о том, что изображение получено с помощью оптической микроскопии. Наконец, очевидно, что оптическая микроскопия может дать увеличения не выше 1000 крат, в то время как электронная микроскопия может иметь разрешение до 5 нм в растровой модификации и до 1 Å – в просвечивающем варианте. СЗМ работает как с микронными, так и с наноразмерными объектами.}*



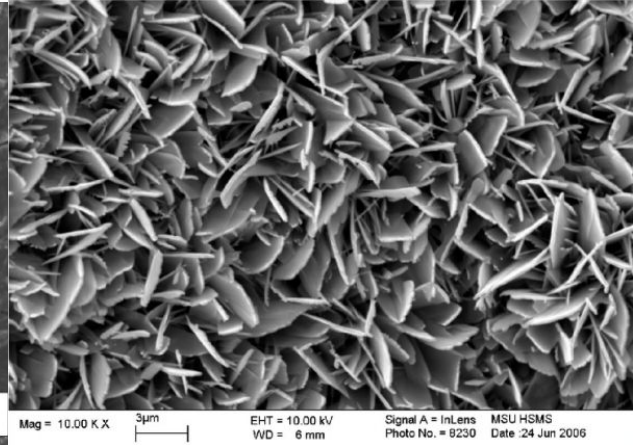
Φοτο 1



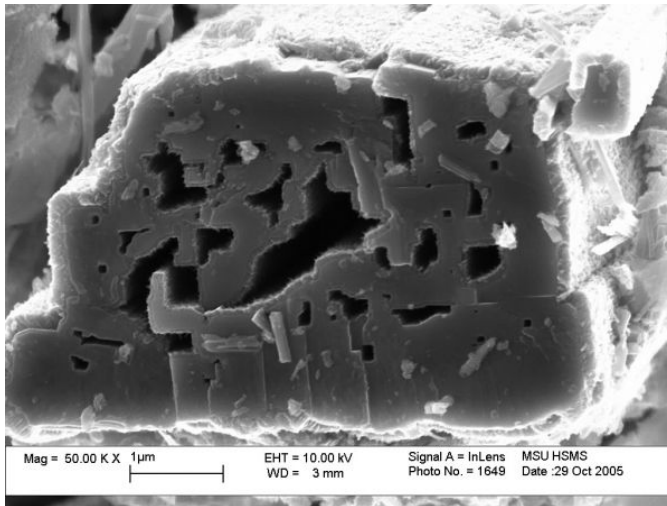
Φοτο 2



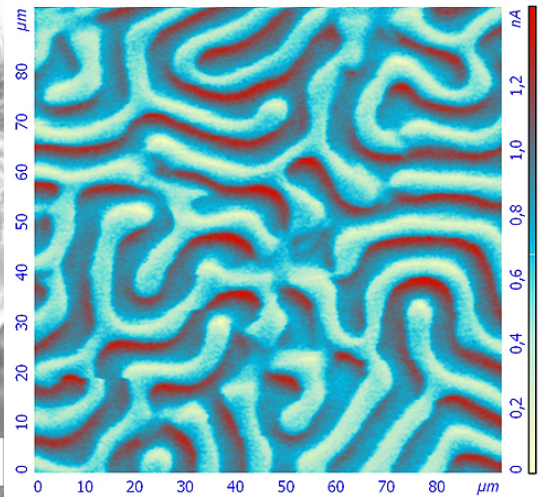
Φοτο 3



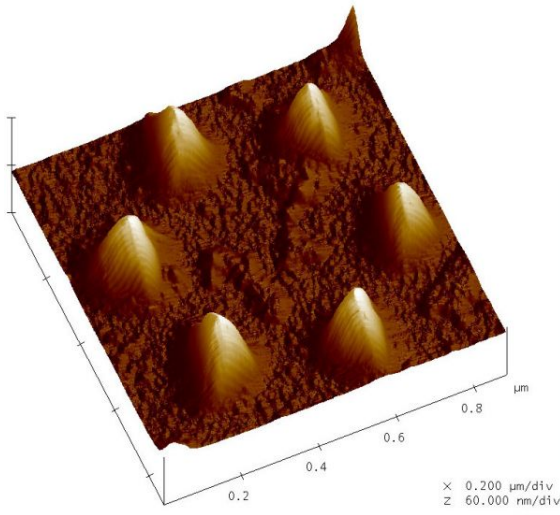
Φοτο 4



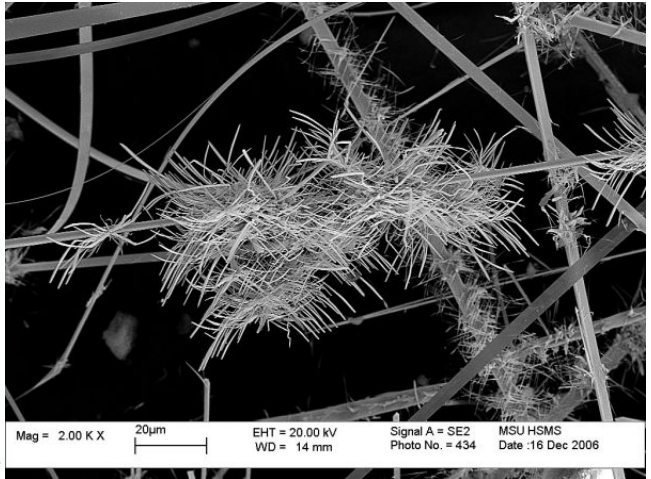
Φοτο 5



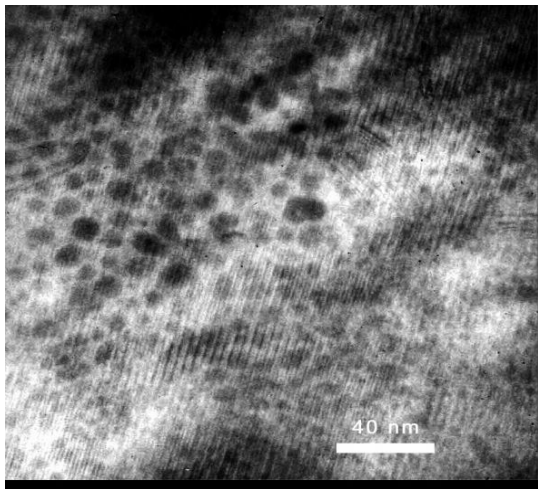
Φοτο 6



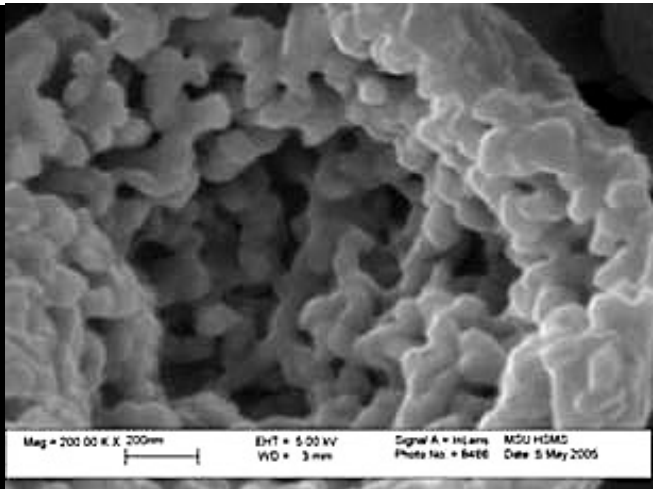
Φοτο 7



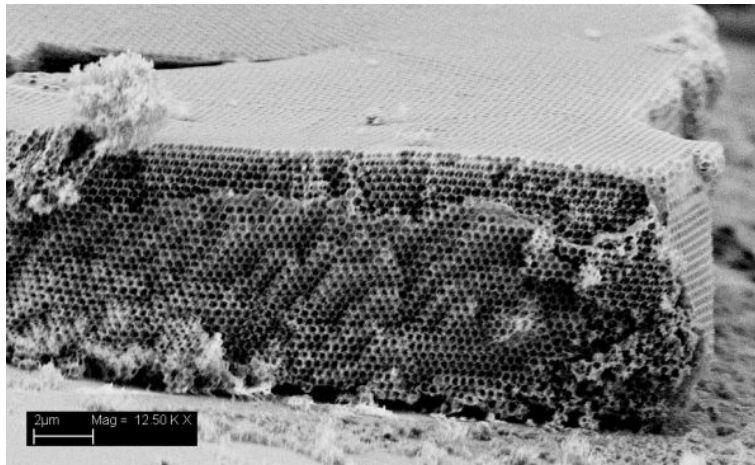
Φοτο 8



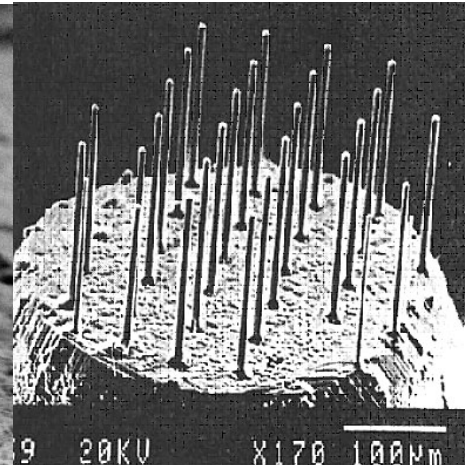
Φοτο 9



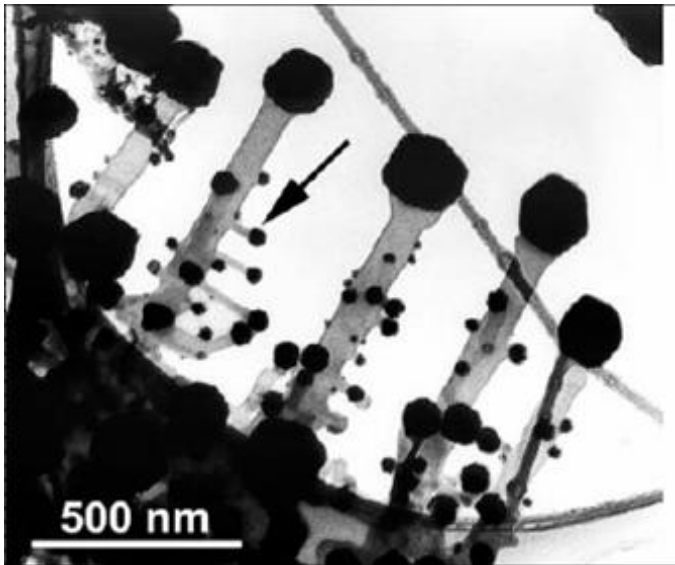
Φοτο 10



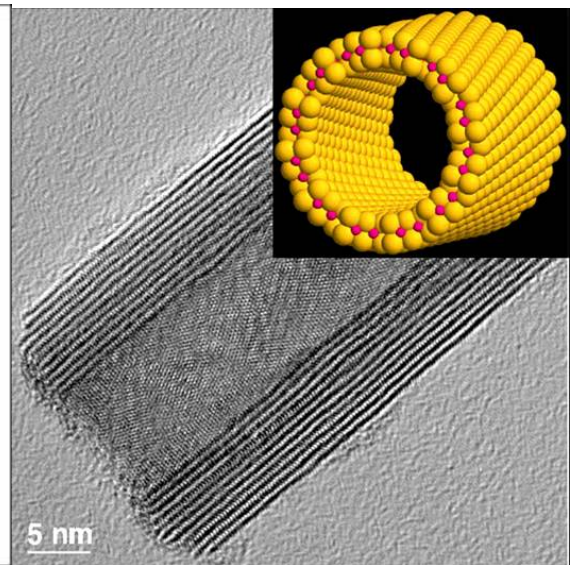
Φοτο 11



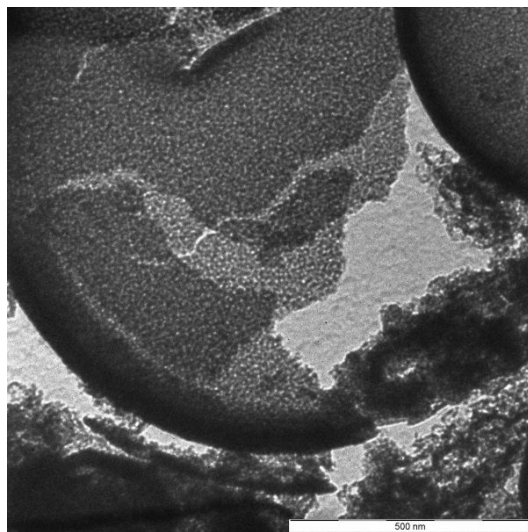
Φοτο 12



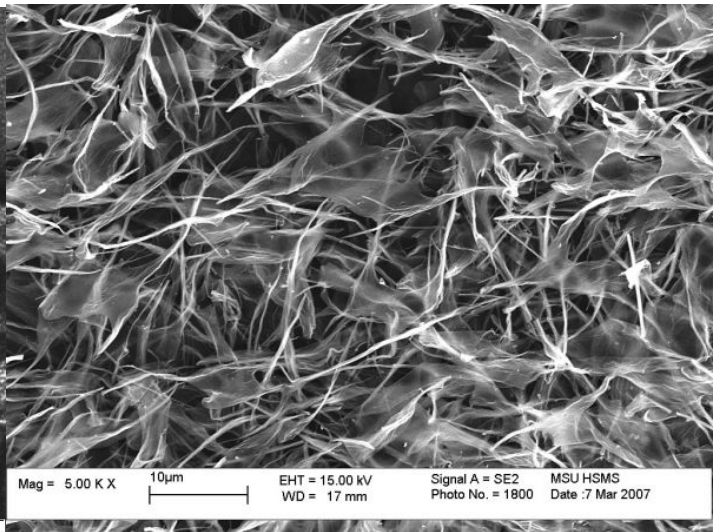
Φοτο 13



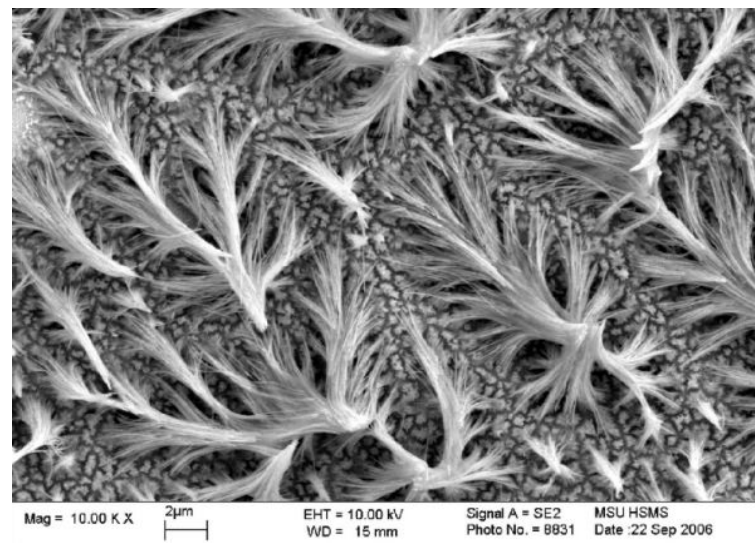
Φοτο 14



Φοτο 15



Φοτο 16



Φοτο 17



Φοτο 18

## **Решение**

*(основано на рассуждениях Е.А.Смирнова, победившего в Интернет-олимпиаде)*

### **Фото 1.**

На изображении присутствуют нити размером ~0,2-0,5 микрон. На поверхности нитей "висят" шарообразные частицы, размер которых достигает 3-4 микрон, но также присутствуют и шарики довольно малых размеров ~0,2 микрон. Возможно, что нити-вискеры, а небольшие глобулы-специальная добавка для улучшения проводимости, например, наночастица серебра.

Изображение получено с помощью сканирующей электронной микроскопии.

Элементы наноструктурирования: маленькие шарики на поверхности вискера.

Получение: сначала выращивают вискеры по ПЖК механизму на какой-либо подложке, используя в качестве прекурсора монооксид олова, а затем "промывают" их в растворе нитрата серебра и восстанавливают при небольших температурах в токе водорода серебро.

Применение: возможное применение-газовые сенсоры, нити обладают достаточно большой удельной поверхностью, а модернизированный таким образом материал будет обладать более высокой чувствительностью.

*{В данном случае это углеродные волокна с аморфным углеродом в виде микросфер}*

### **Фото 2.**

На изображении видны продолговатые нити, поверхность которых не является однородной (по цветовой гамме). Однако не дана размерная шкала. Возможно, что эти нити являются переплетёнными между собой вискерами. Предположим, что это вискеры из оксида олова. Изображение дано в цвете, поэтому можно предположить, что методом анализа явилась оптическая микроскопия в поляризованном свете. К тому, на изображении видны, скорее всего, поверхностные "дефекты": вискеры как бы сплетены в косу.

Элементы наноструктурирования: сплетение в косу вискером.

Получение: направленный рост вискером диоксида олова с последующим их скручиванием. Направленный рост можно организовать, нанося зародыши на подложку. Рост вискером из диоксида олова возможен по механизму ПЖК, прекурсором следует взять монооксид олова, который в условиях синтеза будет диспропорционировать на металлическое олово и диоксид.

Возможное применение - газовые сенсоры, такая упаковка позволит сохранить достаточно большую удельную поверхность при минимизации самого устройства, в котором данный материал будет использоваться.

*{В данном случае это перьевидные нитевидные кристаллы диоксида кремния, полученные по механизму ПЖК при диспропорционировании монооксида кремния из газовой фазы, возможное применение – носители катализаторов и в качестве теплоизоляционного материала}*

### **Фото 3.**

На изображении видны армирующие агенты ("палочки", торчащие из края слома материала) с характерным диаметром ~1-2 микрон. Возможно, что эти "палочки" являются вискерами  $V_2O_5$ .

Изображение получено с помощью сканирующей электронной микроскопии.

Элементы наноструктурирования: такими элементами могут являться сами вискеры.

Получение: предварительный рост вискером по механизму ПЖК, а затем введение их в расплав материала с последующим охлаждением.

Применение: материалы, изготовленные с добавлением армирующих агентов, будут иметь повышенные прочностные характеристики. Их можно применять в строительстве, для изготовления бронезилетов, брони как таковой, в качестве материалов, которые необходимо постоянно сгибать и разгибать. Так же вискеры обладают электропроводностью, то они могут найти применение в энергетике.



*{В данном случае это ксерогель пентоксида ванадия, армированный манганитными вискерми. Оба компонента являются электроактивными и вместе составляют гибкий катодный материал для литиевых аккумуляторов}*

**Фото 4.**

На изображении видны пластинки, они широкие и достаточно тонкие. Если предположить, что это вещество является составной частью кости (неорганическая составляющая кости-гидроксиапатит кальция), то формирование таких форм на подложке возможно из раствора, состав и химико-физические параметры которого очень схожи с человеческим организмом. Тогда должны формироваться достаточно тонкие и не большие пластинки. Изображение получено с помощью растровой электронной микроскопии.

Элементы наноструктурирования:

Получение: кристаллизация на подложке из насыщенного раствора, содержащего нитрат кальция, фосфат аммония и некоторое количество специальных добавок, имитирующих химико-физические свойства живого организма. Другой вариант получения такого материала-перекристаллизация уже полученного гидроксиапатита в растворе, имитирующем живой организм.

Применение: в основном такой материал возможно будут применять в медицине, в качестве костных биорезорбируемых имплантантов.

**Фото 5.**

Справа вверху находится срез "палочки" прямоугольной формы. Такую форму может иметь кристалл манганита бария. Тот "беспорядок", который можно наблюдать на основной части изображения, по-видимому, обусловлен химическим взаимодействием этого материала. Изображение получено методом сканирующей электронной микроскопии.

Элементы наноструктурирования: поры, полученные при действии кислоты, будут являться такими элементами.

Получение: возможно кристаллизацией в расплаве, содержащем необходимые количества оксидов бария и марганца, а также некоторое количество легкоплавкой матрицы, которую постепенно испаряют.

Применение данного материала возможно в качестве ионного проводника, катализатора, неорганического сорбента, так как манганит бария-каркас из октаэдров  $MnO_6$ , с достаточно большими "порами", в которых могут размещаться ионы бария и многие другие ионы.

*{Прим. ред.: в данном случае это манганит бария  $Ba_6Mn_{24}O_{48}$  с туннельной структурой, некоторые микрофотографии которого имелись в разделе «Галерея» сайта [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru), подобная микроструктура получается при реакции с окисляющими кислотами, в частности, с концентрированной азотной кислотой. В результате такого процесса происходит частичная эрозия вискера, ионный обмен катионов бария с протонами, кристалл приобретает свойства смешанного протон-электронного проводника, а с поверхности покрывается нанокристаллами гидратированной двуокиси марганца}.*

**Фото 6.**

На изображении видны полосы шириной ~5 микрон. Они создают причудливый узор. Возможно, что это доменная структура магнитного материала (к примеру, магнитная плёнка  $CdFeCo$  на подложке). Изображение получено с помощью сканирующего атомно-силового микроскопа в С МСМ или Д МСМ моде.

Элементы наноструктурирования: сама плёнка является таким элементом наноструктурирования поверхности подложки.

Получение: термическое испарение материалов плёнки в вакууме с последующим осаждением на подложке.

Применение: магнитные носители информации.

*{Это была магнитооптическая пленка с сайта компании NT MDT}.*

### **Фото 7.**

На изображении видны "холмики", достаточно малых размеров ~200нм и высотой ~60нм. Изображение получено с помощью атомно-силового микроскопа, так как отчётливо виден 3D-рельеф поверхности на это указывают характерные размеры частиц. Построение этих частиц такое: 2 рядом, затем одна отсутствует. Возможно, что это подложка с нанесённым на неё нанорельефом. К примеру, это могут быть затравки из металла для последующего роста вискеро́в.

Элементы наноструктурирования: такими элементами могут быть "холмики" на поверхности и их расположение.

Получение: нанесение с помощью СБОМ-литографии.

Возможное применение - направленный рост вискеро́в.

*{Прим. ред.: в данном случае это магнитные наночастицы кобальта, полученные с помощью микросферной литографии}.*

### **Фото 8.**

На изображении видны "кусты", выращенные на длинных "палочках" диаметром в единицы микрон. Возможно, что это вискеры SnO<sub>2</sub> создали такую причудливую форму. К тому же, размер составляющих этот "куст" "прутиков" около 1 микрона. Изображение получено с помощью сканирующей электронной микроскопии.

Элементы наноструктурирования: вискеры посаженные на волокна матрицы.

Получение: по механизму ПЖК (Пар-Жидкость-Кристалл). Сначала готовят монооксид олова, который термически переводят в газовую фазу. Газ-носитель, к примеру, N<sub>2</sub> доставляет этот пар к подложке, на которую предварительно нанесены эти волокна. На её поверхности и происходит диспропорционирование на металлическое олово и SnO<sub>2</sub>, из которого и состоят вискеры.

Применение: газовые сенсоры. Такие "кусты" обладают высокой удельной поверхностью.

### **Фото 9.**

На изображении отчётливо видны параллельные полосы. Такие полосы могут наблюдаться в модулированных структурах при получении изображения методом просвечивающей электронной микроскопии. Примером такого вещества может быть Bi-2212 (Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>8+d</sub>), в котором на каждую пятую элементарную ячейку в окружении атома Bi приходится один "лишний" атом кислорода, из-за неидеального расположения атомов Bi в слоях Bi<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Кроме этого на изображении видны тёмные и светлые области. Скорее всего, это можно отнести к неоднородностям (возможно, другим фазам, так как граница достаточно чётко выражена) распределённым по объёму. Самое простое: введение в материал Pb<sup>2+</sup> и окисление в Pb<sup>4+</sup>,

Элементы наноструктурирования: окисленные частицы внутри образца

Получение: Керамическим методом из соответствующих весовых форм (оксиды, карбонаты и т.д.) с последующим окислительным отжигом.

Применение: ВТСП с высоким критическим током можно применять для создания линий передачи переменного тока, трансформаторов, такие материалы также могут найти применение в магниторезонансных томографах и при создании левитирующего высокоскоростного транспорта.

### **Фото 10.**

По очертаниям похоже на сферу, из которой вынули сегмент. Такое может произойти при испарении растворителя из капли аэрозоля, полученного распылением раствора в горячую печь, т.е. пиролиз этого аэрозоля (испаряющийся растворитель может буквально разрывать "каплю"). К тому же размер полученной сферы ~ одного микрона. Возможно, что это наночастицы ферромагнитного вещества из задачи 10.

К примеру, это может быть ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> или что-то в этом духе. Изображение получено с помощью сканирующей электронной микроскопии, потому что при малом размере ~200нм, а изображение достаточно чёткое, к тому же на подписи к фотографии указано напряжение, по-видимому, разгоняющее электроны (ETH=5.00kV).

Элементы наноструктурирования: таким элементом могут являться сами "дырки", которые увеличивают площадь поверхности, а следовательно энергия при разогреве частиц в переменном магнитном поле будет передаваться быстрее от этой частицы к клетке.

Способ получения: смесь растворов нитратов железа и цинка распыляется в некоторый объём (чтобы капельки были поменьше, можно использовать дополнительно ультразвуковое облучение), через который продувается газ-носитель (к примеру,  $N_2$ ) с необходимой скоростью.

Применение: такие частицы (как отмечалось в задаче 10) могут быть использованы для лечения раковых опухолей.

*{Прим. ред.:  $ZnFe_2O_4$  не может использоваться для гипертермии, так как он является антиферромагнетиком и цитотоксичен.}*

#### **Фото 11.**

На изображении представлена пористая структура с достаточно большим размером пор, который не соответствует размерам пор цеолитов. Возможно, что составное вещество представляет собой оксид кремния или алюминия. Изображение получено с помощью растровой электронной микроскопии.

Элементы наноструктурирования: к ним можно отнести сами поры.

Получение: сначала собирается "каркас" из сферических органических частиц, затем поры между сферами пропитывают этилатом кремния (или изопропилатом алюминия). Затем проводят гидролиз в растворе при  $pH \sim 7-8$ , после чего удаляют органическую "матрицу" термической обработкой, при этом образуются связи «кремний-кислород-кремний».

Применение: возможно, что такие материал получают применение в качестве абсорбентов сажи и т.п.

*{Прим. ред.: в данном случае существенно, что поры упорядочены и соответствуют по размерам оптическому диапазону. Что бы это ни было (а это диоксид титана), структура представляет собой фотонный кристалл со структурой инвертированного опала.}*

#### **Фото 12.**

У основания "иголок" видны уширения. Размер иголок достаточно большой (~1-10микрон), размер подложки тоже (~500микрон). Возможно, что эта фотография иллюстрирует рост вискеро в заданном направлении. Фотография сделана с помощью сканирующего электронного микроскопа. К примеру, это вискеры  $SnO_2$ .

Элементы наноструктурирования: сложно сказать, потому что размер всех элементов изображения порядка нескольких микрон.

Получение: вискеры формируют по механизму ПЖК (Пар-Жидкость-Кристалл). Сначала готовят монооксид олова, затем на пластинку наносят маленькие капельки золота. Подогревают подложку, при этом капельки золота превращаются в жидкость в виде шариков, которые не смачивают поверхность. Затем термически испаряют монооксид олова, в газовой фазе диспропорционирующей на олово и диоксид олова. Синтез проводят при низком парциальном давлении олова. Оксид олова в виде жидкости "садится" на капельку золота и начинает диффундировать через неё к поверхности подложки. На стыке капельки золота и несмачиваемой поверхности растёт вискер, на острие которого постоянно остаётся жидкая фаза.

Применение: вискеры из диоксида олова, обладая большой удельной поверхностью, могут применяться в качестве газовых сенсоров.

*{Прим. ред.: в данном случае это классическая фотография кремниевых вискеро, использующихся в качестве острий для атомно-силовой микроскопии (Е.И.Гиваргизов). Упорядоченное расположение маленьких вискеро на торце большого возникает в силу того, что островки «катализатора» - золота – в методе ПЖК распределили на торце крупного нитевидного кристалла кремния с помощью электронной литографии, после*

чего нагрели и с помощью CVD (химическое осаждение из газовой фазы) вызвали рост вискеро́в с использованием эвтектических капелек кремний-золото}.

#### **Фото 13.**

На изображении видны светлые "палочки" диаметром~100-200нм с более тёмной "головкой" на конце. Длина этих палочек составляет~600-700нм. Возможно, что это нанонити ZnO, рост которых катализируется каким-либо металлом. Боковые отростки созданы как раз наночастицами этого металла. Изображение получено с помощью просвечивающей электронной микроскопии.

Элементы наноструктурирования: сами "палочки" является такими элементами. Получение: нанонити образуют по механизму ПЖК, выращивая "нанолес" на специальной подложке с предварительно нанесённым на неё катализатором.

Применение: оксид цинка-отличный фотоэмиттер с шириной запрещенной энергетической зоны 3.37 эВ. Такие нанонити могут применяться при создании LED.

{Прим. ред.: в данном случае это вискеры MgO с катализатором в виде металлического кобальта}.

#### **Фото 14.**

Справа в углу изображена структура, в которой жёлтые атомы, возможно, либо кислород, либо сера, а красные-атомы металла. На изображении видны параллельные полосы. Такая структура очень похожа на многостенную нанотрубку. Возможно, что это нанотрубки V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> или MoS<sub>2</sub> (WS<sub>2</sub>). Изображение получено с помощью просвечивающей электронной микроскопии, так как используя этот метод анализа можно получить информацию о внутренней структуре материала (в данном случае-стенки и полость нанотрубки). О применении этого метода свидетельствует и размерная шкала, указанная на изображении. Элементы наноструктурирования: сама многостенная нанотрубка является таким элементом.

Получение: для получения таких нанотрубок из сульфидов молибдена или вольфрама достаточно взять соответствующий оксид и ввести его в реакцию с сероводородом. Сначала частицы покрываются слоем сульфида, а затем происходит диффузия сероводорода внутрь частицы, образуя таким образом, слоистую структуру.

Применение: данные нанотрубки могут применяться в качестве добавок к различного рода смазкам, так как образованные слои достаточно трудно порвать, зато они смогут "скользить" друг относительно друга, и вполне могут заменить добавки на основе графита.

#### **Фото 15.**

На изображении отчётливо видна сферическая форма частиц материала. Размер такой сферы составляет~2-3 микрон. К тому же, эти частицы имеют форму полой (или, возможно, сплюснутой) сферы, о чём можно судить по градиенту цвета (практически не изменяется в центре, сгущаясь к краям). Возможно, что это частицы алюмосиликата. Изображение получено с помощью просвечивающей электронной микроскопии.

Элементы наноструктурирования: частицы скорее всего являются сферами, а не шарами.

Получение: совместный гидролиз тетраэтилата кремния и изопротилата алюминия в присутствии ПАВ (например, C<sub>16</sub>H<sub>33</sub>(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>NBr), которые являются темплатом для образования сферы. Органика удаляется термической обработкой. На такую матрицу можно наносить металлы пропиткой в растворе соли металла с последующим восстановлением в токе водорода.

Применение: химически инертный носитель для катализаторов, покрывая такие сферы металлом (например, серебром, никелем) можно использовать полученный материал для каталитического окисления метанола или водорода.

{Прим. ред.: в данном случае это водорастворимые, соляные, полые микросферы, содержащие магнитные наночастицы оксида железа (III), полученные пиролизом аэрозоля}.

#### **Фото 16.**

На изображении видны "палочки", между которыми натянута "плёнка". "Палочки" размером ~1 микрон. Возможно, что эти "палочки"-вискеры, а "плёнка"-составная часть реакционной смеси. Возможно, что при получении вискером манганита бария такая плёнка образуется из хлоридного флюса, затвердевшего между вискерами. Изображение получено с помощью сканирующей электронной микроскопии.

Элементы наноструктурирования: к таким элементам можно отнести "плёнки" между вискерами.

Получение: возможно, что кристаллизацией в расплаве, содержащем необходимые количества оксидов бария и марганца, а также некоторое количество легкоплавкой матрицы, которую постепенно изотермически испаряют.

Применение: для очистки воздуха на вредных предприятиях - вискеры манганита бария будут работать как катализатор, а "перепонки" между вискерами будут задерживать не очень мелкие частицы.

*{Прим. ред.: в данном случае это манганит бария  $Ba_6Mn_{24}O_{48}$  с туннельной структурой, некоторые микрофотографии которого имелись в разделе «Галерея» сайта [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru). Ажурная пленка – гель пентоксида ванадия, высушенный после заморозки жидким азотом с использованием сублимационной сушки. Применение - в качестве катодного материала в химических источниках тока. Можно было бы предложить и другие подобные варианты}.*

#### **Фото 17.**

На изображении представлены нити, сросшиеся в достаточно крупные волокна. Возможно, что они представляют собой нитевидные частицы какого-нибудь металла. Возможно, что таковым являются Ni, Co. А такие причудливые формы получаются при использовании пористого материала, в качестве темплата. Таким материалом может быть пористый оксид алюминия или кремния. Изображение получено методом растровой электронной микроскопии.

Элементы наноструктурирования: сами наночастицы представляют собой наноструктуры.

Получение: нити никеля осаждаются электролитическим способом.

Применение: никель является прекрасным катализатором, а модифицированный таким образом этот металл приобретает достаточно большую удельную поверхность, что является одной из важнейших характеристик катализатора.

#### **Фото 18.**

На изображении отчётливо виден "паркет" из частиц материала. Существуют области, в которых пластинки, составляющие "паркет", ориентированы параллельно друг другу и разделены границами. На другой фотографии показаны таблетки из этого материала. На нижней "подложке" видна "изморозь", которая обычно образуется на поверхности достаточно охлаждённого тела, следовательно, изображение было получено при низких температурах. Таким образом, можно предположить, что данный материал представляет собой ВТСП. Возможно, что такое текстурирование позволит достичь больших критических токов. Предположительно это иттрий - бариевый купрат.

Изображение получено с помощью оптического микроскопа, использующего поляризованный свет. Таким образом удаётся достичь высокой разрешающей способности, к тому же, у изображения появляется цвет.

Элементы наноструктурирования: к таким элементам, скорее всего, можно отнести необычный "паркет".

Получение: такого рода вещества получают керамическим методом из весовых форм соответствующих металлов (оксидов, карбонатов и т.д.).

Применение: ВТСП с высоким критическим током можно применять для создания линий передачи переменного тока, трансформаторов, а также в магниторезонансных томографах и при создании левитирующего высокоскоростного транспорта.

*{Иерархическая дефектная структура сверхпроводящей (ВТСП) пенокерамики на основе иттрий - бариевого купрата  $YBa_2Cu_3O_x$ . Данная фотография представляет большой*

методический интерес, поскольку наглядно демонстрирует сложную реальную структуру современных многокомпонентных неорганических материалов. Почти единственный путь получения такой микроструктуры, необходимой для рекордных сверхпроводящих характеристик, — кристаллизация расплава, так как в нем скорость диффузии компонентов гораздо выше, чем в твердом теле. Кроме того, из-за относительно малой вязкости расплава возможна “подстройка” формирующихся анизотропных кристаллитов друг относительно друга, как совпадающих частей мозаики. Ансамбли псевдомонокристаллических областей, размер которых может достигать 0.5 – 5 см, являются основным мотивом микроструктуры в случае крупнокристаллической ВТСП-керамики, полученной из расплава. Каждый домен является агрегатом ламелей (5-50 нм) фазы  $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ . Пластинки ориентированы параллельно друг другу и разделены малоугловыми границами, что делает их проницаемыми для протекания тока (полированные торцы пластинчатых кристаллов видны на фотографии). Микроструктура ВТСП-керамики, текстурированной с использованием расплавных методов, характеризуется существованием различных типов протяженных дефектов, таких как двойниковые границы (они видны на фотографии как чередующиеся красные и желто-розовые полосы на пластинчатых кристаллитах), высокодисперсные включения несверхпроводящих фаз (в данном случае – зерна «зеленой фазы»  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_5$ ), дислокации, микро- и макротрещины. Таким образом, реальная структура ВТСП-керамики, полученной из расплава, может быть рассмотрена как система с ярко выраженными «коллективными» сверхпроводящими свойствами, являющимися результатом специфических механизмов кристаллизации. Псевдомонокристаллические домены образуют макроскопические агрегаты, через которые потенциально могут протекать большие токи (гораздо больше, чем в обычных металлах-проводниках), поскольку микроструктурно они представляют собой систему с чистыми сверхпроводящими границами и двуосно-текстурированными кристаллитами. Большое количество дефектов способствует образованию системы эффективных центров захвата так называемых вихрей Абрикосова (магнитных флюксоидов), которые необходимо «пришпилить» дефектами (ripping), чтобы они не гуляли свободно по сверхпроводнику в сверхпроводящем состоянии, рассеивая энергию и приводя к возникновению электрического сопротивления.}

# Примеры заданий школьного тура 2008 г. (19 задач из общего числа 74)



**Нанометр**  
Нанотехнологическое  
Сообщество

[Google](#) [Yandex](#) [Rambler](#)

Новости Публикации Библиотека Галерея Сообщество Объявления Форум О проекте

Найти

логин

•••••

Вход

[регистрация](#)  
[помощь](#)

## Олимпиада

[пресс-релиз](#) | [спонсоры](#) | [организаторы](#) | [приветствия](#) | [FAQ](#) | [участники](#)  
[01. Школьный тур: задачи и Ваши решения](#) | [ответы](#) | [результаты](#)  
[03. Основной тур: задачи и Ваши решения](#) | [ответы](#) | [результаты](#)  
[02. Творческий конкурс школьного тура: задачи и Ваши решения](#) | [ответы](#) | [результаты](#)  
[04. Творческий конкурс основного тура: задачи и Ваши решения](#) | [ответы](#) | [результаты](#)

### 01. Школьный тур: 01. Пятое измерение (школьники, разминка)

---



Шкала масштабов

**Перед решением задачи, пожалуйста, прочитайте [здесь инструкции и советы...](#)**

Размер имеет значение! Лучший способ познать это – сравнить... Иногда путешествие «вглубь» материи по шкале масштабов называют путешествием по «пятому измерению» в дополнение к уже существующим четырем – трем пространственным и времени. Очень большую роль здесь как раз и играет область «наноразмеров». Нанометр (сокращенно нм) – это одна миллиардная часть метра. Приставка «нано» пришла к нам из древней Греции, в переводе на русский язык она означает «**гном**» или «карлик» (ἄνθρωπος). В латыни «нано» имеет значение «маленький», «крошечный». И действительно, один нанометр – это очень маленькая величина, увидеть невооруженным глазом объекты такого размера невозможно. Для сравнения заметим, что волосы человека растут со скоростью 10 нм в секунду (а мы этого не замечаем!), а толщина одного волоска составляет огромную величину – почти 100 тысяч нанометров или 100 микрон. Наноразмерный масштаб используют для характеристики самых маленьких объектов, например, атомов и молекул. Размер атома кремния составляет 0.24 нм, а молекулы «**фуллерена**» C<sub>60</sub> («футбольного мяча», состоящего из шестидесяти атомов углерода) – 0.75 нм. К представителям наномира также можно отнести кластеры, способные содержать до нескольких сотен атомов, и различного рода «наноструктуры», размер которых хотя бы в одном из измерений не превышает нескольких десятков нанометров. Мир наноструктур чрезвычайно интересен, ведь они имеют физические свойства, которые отличаются от свойств объемных материалов. Нанометры являются привычными единицами для описания длины волн света. Например, видимый свет имеет длины волн в диапазоне от 400 до 700 нм. В нанометрах измеряют также размеры микроорганизмов, клеток и их частей, биомолекул. Вот лишь некоторые примеры:

- Диаметр спирали ДНК человека – 2 нм;
- Длина одного витка ДНК – 3.4 нм;
- Молекула гемоглобина – 6.4 нм;
- Пиконановирусы – 20 нм;
- Молекула гемоглобина – 50 нм;
- Бактерии *Mycoplasmata mycoides* 100-250 нм;
- Мимовирусы – 500 нм
- Эритроциты человека – 8000 нм (уже в микрон)

Однако «нано» – лишь короткий, хотя и очень важный,



Серебряный нанохаос

#### Новости

[Проект положения о школьном туре Олимпиады \(для обсуждения\)](#)  
 Обсуждение (до вторника) проекта Положения о Всероссийской Интернет-олимпиаде "Нанотехнологии - прорыв в Будущее!", рассматриваются Ваши пожелания, критические замечания и аргументированные предложения. Положение будет действовать ТОЛЬКО в следующем году (в этом году это положение НЕ ОТНОСИТСЯ к уже прошедшей Олимпиаде) в случае соответствующего решения официальных инстанций. Срок подачи документов на регистрацию Олимпиады - до 30 мая.

#### Поздравления

Олимпиада нашла поддержку среди представителей власти, депутатов Государственной Думы, в среде политиков, бизнесменов, членов Российской Академии Наук. Здесь приводятся избранные телеграммы - приветствия участникам Олимпиады, коих было много.

#### Неофициальная часть Олимпиады (фоторепортаж с фуршета)

После завершения церемонии закрытия Олимпиады все участники были приглашены на небольшой фуршет, где смогли в неформальной обстановке пообщаться друг с другом и членами оргкомитета. Фуршет включал в себя также важную составляющую - на нем практически все участники были награждены грамотами и дипломами, а также дополнительными призами.

#### Публикации

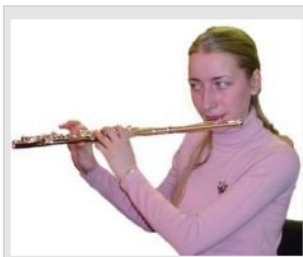
[Знание - сила или как работать с патентной базой данных США](#)  
*Шварев Алексей кубический медведь*  
 Интернет принес нам практически неограниченную информационную свободу. Но, как известно, за все надо платить. Мы платим колоссальным возрастанием информационного шума, однако есть в жизни справедливость и свободные источники технической информации. Один из них - патентная база данных США ([www.uspto.gov](http://www.uspto.gov)).



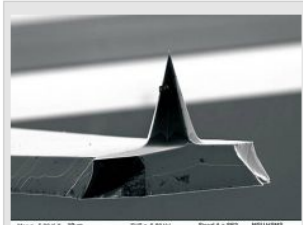
Задание Б (нанотрубки).

Задание А (иллюстрация).

Вид на сайте окна с первой задачей «разминки».



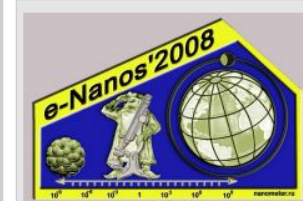
Задание Б (девушка).



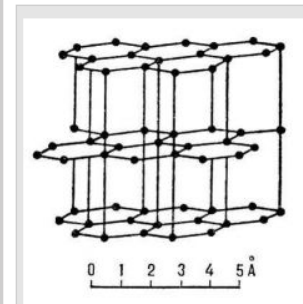
Задание В (кантилевер).



Задание Г (фагоцит).



Задание Д (автор рисунка - А.Б.Щербаков).



Задание Е (структура графита).



Задание Ж (мыльный пузырь).



отрезок «пятого измерения», его принципиальная важность заключается в том, что на этом кусочке пространственной шкалы реализуются интереснейшие, практически важные химические и физические взаимодействия. В действительности любые объекты и материалы можно и нужно изучать на разных пространственных масштабах. Лишь совокупность особенностей структуры материалов на всех уровнях предопределяет его конечные свойства, важные для фундаментальных исследований и, конечно, практики. Кроме макроуровня (объект в целом) и атомарного уровня (определяющие, фундаментальные характеристики вещества), обычно выделяют масштабный уровень "микро" (характерный размер - микроны, то есть тысячные доли миллиметра), который задает так называемые "структурно-чувствительные" свойства материала. Таким образом, в конечном счете, для создания наноматериалов оказывается важным не только их состав (определяющий основные свойства), размер ("модифицирующий" свойства), но и "размерность" (делающая частицы неоднородными) и упорядочение в системе (усиление, "интеграция" свойств в ансамбле нанообъектов). Это характерно для нанотехнологий - новое качество, как правило, получается только при правильной организованной структуре на более крупных масштабах, чем нано.

Вопросы:

**А.** Когда - то, говорят, Чингис-хан приказал каждому из своих воинов принести по камню к его шатру. Приказано-сделано. Выросла гора. А что если каждый человек на земном шаре принесет по одной единственной квантовой точке (диаметр 10 нм, плотность материала 7 г/см<sup>3</sup>) и положит ее около штаб-квартиры Государственной Корпорации «Роснано» в кучу, то какую массу будет иметь эта куча (2 балла)?

**Б.** Приблизительно сколько раз можно обернуть вокруг талии показанную на фотографии девушку углеродной нанотрубкой, длина которой увеличена во столько же раз, во сколько раз диаметр нанотрубки увеличен до диаметра флейты, на которой играет девушка, получившая эти нанотрубки (2 балла)? Считать длину окружности талии девушки равной 60 см, принять соотношение длины нанотрубок к их диаметру равной 100. Диаметры флейты и нанотрубки оценить из фотографий.

**В.** Сколько нанороботов может уместиться на острие швейной иглы (1 балл)? А иглы атомно-силового микроскопа (1 балл)?

**Г.** Сколько молекул фуллера может проглотить прожорливый фагоцит, чтобы полностью заполнить свой «желудок» (2 балла)? Считать фагоцит шаром.

**Д.** Почему автор эмблемы расположил гнома между фуллереном и Луной? (2 балла)

**Е.** Графен - двумерный лист углерода толщиной в один атом. Этот материал впервые был получен командой учёных из Манчестерского университета и Института микроэлектронных технологий в Черноголовке. При использовании обычных графитовых карандашей на бумаге остается след, содержащий чешуйки графена. Предположим, что карандаш имеет квадратное сечение со стороной 1 миллиметр и длину графитового «сердечника» 5 сантиметров. Сколько листов формата А4 можно полностью закрасить таким карандашом, если (предположим) его след будет состоять только из монослоя графена (3 балла)? Расстояние между слоями графена в чистом графите найдите сами. Размеры карандаша полностью совпадают с размером пишущего графитового сердечника.

**Ж.** Каплю мыльного раствора 0.01 миллилитра раздули в мыльный пузырь. При каком диаметре пузыря толщина его стенки станет равной длине молекулы поверхностно-активного вещества, находившегося в капле исходного раствора (3 балла)? Данные для расчета найдите сами.

**З.** Два вируса гриппа попали на клетку больного в

**ЭФФЕКТ БАБОЧКИ**

*Мешков Павел Иванович, Институт Экономических Стратегий*

Незаметное появление «вчера» новых наноматериалов для электродов в аккумуляторах позволяет «сегодня» создавать батареи с уникальными характеристиками, а «завтра» это кардинально изменит облик мирового автопрома. И это только один небольшой пример «эффекта бабочки» в нашей жизни, созданный нанотехнологией.

**Основные свойства самой совершенной наномашини**

*Манвелов Герман Тигранович*

Их изучают как подопытных кроликов, на них будут зарабатывать миллионы. Наномашини. Одни предсказывают для них великое будущее, другие сулят гибель человечеству. Какими свойствами обладает самая совершенная наномашини? Кто способен создать подобное устройство? И что может случиться, если это произойдет?

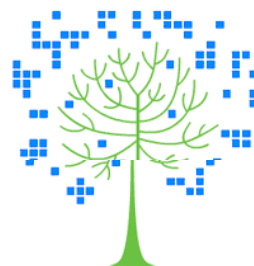
**Библиотека**

**Нанометр май**

**Сверхпроводники для электроэнергетики №2 2008**  
РНЦ "Курчатовский Институт"

**Нанометр март-апрель**

**Партнеры**



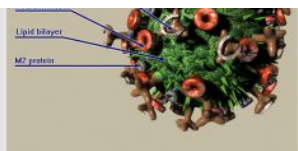
Школа дистанционного образования МГУ



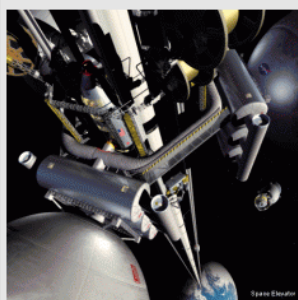
**Реклама**







Задание Э (вирус).



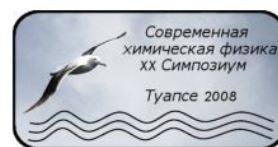
Задание И ("космический лифт").

одну и ту же произвольно взятую точку А. Один из них ползет по поверхности клетки диаметром 10 микрон к точке Б (тоже на поверхности клетки), которая противоположна точке А (расстояние между точками А и Б равно диаметру клетки). Другой вирус проник внутрь клетки и движется к точке Б напрямую. В один и тот же момент времени оба вируса встречаются в точке Б. Каково должно быть соотношение скоростей движения вирусов, чтобы это произошло (2 балла)? Как Вы думаете, каково соотношение объемов вируса и клетки (2 балла)? Дополнительную информацию найдите сами.

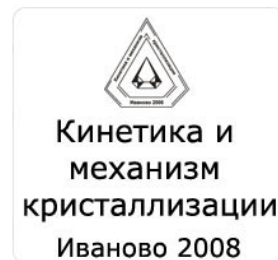
И. Для того, чтобы сделать трос для «космического лифта», в ряде фантастических (и не только) проектов планируется использовать одностенные углеродные нанотрубки, которые являются легким и чрезвычайно прочным материалом. Представьте, что один гипотетический наноробот-пылинка массой 0.01 миллиграмма сшивает две одинаковые одностенные углеродные нанотрубки длиной 1 микрон и диаметром 10 нанометров (каждая) за 1 миллисекунду, после чего у него исчерпывается запас энергии, и он «умирает». Затем два таких же наноробота сваривают куски из двух нанотрубок, сделанных предыдущими нанороботами, вместе на всем их протяжении (таким образом, пучок таких нанотрубок будет в два раза длиннее и в два раза толще). Затем еще большее количество нанороботов сваривает два получившихся пучка по длине и ширине, так что и тот, и другой параметр снова увеличиваются в два раза. Процесс прекращается, когда гигантский пучок достигает длины одну тысячу километров. Каков будет диаметр полученного троса (2 балла)? Через какой промежуток времени это произойдет (3 балла)? Какова будет масса погибших в процессе сборки троса нанороботов (4 балла)?

Прикрепленные файлы:

[size!1.pdf](#) (750.48 Кб).pdf



3-5  
июня Москва, ВВЦ



### Решение задачи 1А.

Пусть:

$d$  – диаметр одной квантовой точки,

$V$  – объем одной квантовой точки,

$m$  – масса одной квантовой точки,

$\rho$  – плотность материала,

$N$  – население Земли,

$M$  – масса кучи, состоящей из квантовых точек около штаб-квартиры Государственной Корпорации «РоснаноТех».

По условию задачи:

$$d = 10 \text{ нм} = 10^{-8} \text{ м},$$

$$\rho = 7 \text{ г/см}^3 = 7 \cdot 10^6 \text{ г/м}^3.$$

Примем, что население Земли в настоящее время составляет 6 миллиардов человек, т.е.:

$$N = 6 \cdot 10^9.$$

Масса кучи, состоящей из квантовых точек около штаб-квартиры Государственной Корпорации «РоснаноТех»:

$$M = N \times m = N \times \rho \times V$$

Пусть квантовая точка имеет форму шара, тогда ее объем составляет:

$$V = (4\pi R^3)/3 = (\pi d^3)/6$$

Тогда:

$$M = N \times \rho \times (\pi d^3)/6 = (6 \cdot 10^9 \times 7 \cdot 10^6 \text{ г/м}^3 \times 3.14 \times (10^{-8})^3 \text{ м}^3)/6 \approx 2.2 \cdot 10^{-8} \text{ г}$$

**Ответ:** куча, состоящая из квантовых точек около штаб-квартиры Государственной Корпорации «РоснаноТех», будет весить около  $2.2 \cdot 10^{-8} \text{ г}$ .

**Комментарий:** основные ошибки в этой задаче, как ни странно, арифметические, связанные с неправильным вычислением или переводом между единицами измерения (граммами и килограммами, метрами, сантиметрами и нанометрами).

**Решение задачи 1Б.**

Пусть:

$d$  – диаметр нанотрубки,

$D$  – диаметр флейты,

$L$  – длина окружности талии девушки,

$l$  – длина исходной нанотрубки,

$l_{ув}$  – длина увеличенной нанотрубки,

$N$  – число витков увеличенной нанотрубки вокруг талии девушки.

По условию задачи:

$$L = 60 \text{ см} = 0.6 \text{ м},$$

$$l/d = 100 \text{ и } l = 100d$$

Т.к. длина увеличенной нанотрубки равна длине исходной нанотрубки, увеличенной во столько же раз, во сколько диаметр нанотрубки увеличен до диаметра флейты, т.е.:

$$l_{ув} = (D/d) \times l = (D/d) \times 100d = 100D$$

Из рисунка можно оценить, что диаметр флейты составляет:  $D \sim 2 \text{ см} = 0.02 \text{ м}$ , тогда:

$$l_{ув} = 100 \times D = 100 \times 0.02 \text{ м} = 2 \text{ м}.$$

Тогда увеличенную нанотрубку можно обернуть вокруг талии девушки:

$$N = l_{ув}/L = 2 \text{ м} / 0.6 \text{ м} \approx 3$$

**Ответ:** вокруг талии девушки увеличенную нанотрубку можно обернуть около 3 раз.

**Решение задачи 1В.**

Для решения данной задачи нужно было оценить размер наноробота, радиус острия швейной иглы и радиус иглы атомно-силового микроскопа.

Пусть наноробот при посадке на поверхность занимает площадь в форме круга с радиусом 100 нм, а острие швейной иглы и иглы атомно-силового микроскопа представляет собой также плоскую окружность. Кроме того, допустим, что нанороботы при посадке на острие игл «утрамбовываются» и занимают всю предоставленную им площадь.

Пусть

$r_{нр}$  – радиус площадки, занимаемой нанороботом,

$R_{ши}$  – радиус площадки на острие швейной иглы,

$R_{АСМ}$  – радиус площадки на острие атомно-силового микроскопа,

$N_{ши}$  – число нанороботов, которые разместятся на острие швейной иглы,

$N_{АСМ}$  – число нанороботов, которые разместятся на острие иглы атомно-силового микроскопа.

Примем, что:

$$r_{нр} = 100 \text{ нм} = 10^{-7} \text{ м},$$

$$R_{ши} = 0.1 \text{ мм} = 10^{-4} \text{ м},$$

$$R_{АСМ} = 1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}.$$

Площадь, занимаемая одним нанороботом:

$$S_{нр} = \pi r_{нр}^2 = (10^{-7})^2 \pi = 10^{-14} \pi \text{ м}^2.$$

Площадь площадки на острие швейной иглы:

$$S_{ши} = \pi R_{ши}^2 = (10^{-4})^2 \pi = 10^{-8} \pi \text{ м}^2.$$

Площадь площадки на острие атомно-силового микроскопа:

$$S_{АСМ} = \pi R_{АСМ}^2 = (10^{-9})^2 \pi = 10^{-18} \pi \text{ м}^2.$$

Тогда число нанороботов, которые разместятся на острие швейной иглы, составляет:

$$N_{ши} = S_{ши} / S_{нр} = 10^{-8} \pi \text{ м}^2 / 10^{-14} \pi \text{ м}^2 = 10^6,$$

а на острие атомно-силового микроскопа:

$$N_{АСМ} = S_{АСМ} / S_{нр} = 10^{-18} \pi \text{ м}^2 / 10^{-14} \pi \text{ м}^2 = 10^{-4}, \text{ т.е. ни одного.}$$

**Ответ:** на острие швейной иглы разместится около миллиона нанороботов, а на острие иглы атомно-силового микроскопа – ни одного наноробота.

**Комментарий:** варианты ответа типа «ну, одного наноробота мы всяко наколем на иглу атомно-силового микроскопа» или «один наноробот все-таки сможет балансировать на одной ножке на острие иглы атомно-силового микроскопа» тоже принимались за правильные!

**Решение задачи 1Г.**

Молекула фуллерена в некотором приближении является шаром. Также шаром, по условию задачи, является фагоцит. Кроме того, в предисловии к задаче было сказано, что размер молекулы фуллерена составляет 0.75 нм. Представим, что при попадании в желудок прожорливого фагоцита молекулы фуллерена «утрамбовываются» таким образом, что они занимают весь объем желудка.

Пусть:

$D_{\text{фул}}$  – диаметр молекулы фуллерена, т.е.  $D_{\text{фул}} = 0.75 \text{ нм} \approx 1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ,

$D_{\text{фаг}}$  – диаметр прожорливого фагоцита,

$V_{\text{фул}}$  – объем, занимаемый одной молекулой фуллерена,

$V_{\text{фаг}}$  – объем желудка прожорливого фагоцита,

$N$  – число молекул фуллерена в фагоците.

Оценим диаметр прожорливого фагоцита:

$D_{\text{фаг, MIN}} = 0.5 \text{ мкм} \leq D_{\text{фаг}} \leq 10 \text{ мкм} = D_{\text{фаг, MAX}}$ , т.е.

$0.5 \cdot 10^{-6} \text{ м} \leq D_{\text{фаг}} \leq 10^{-5} \text{ м}$ .

Объем, который занимает молекула фуллерена, составляет:

$$V_{\text{фул}} = (4\pi R_{\text{фул}}^3)/3 = (\pi D_{\text{фул}}^3)/6$$

Минимальный объем прожорливого фагоцита:

$$V_{\text{фаг, MIN}} = (4\pi R_{\text{фаг, MIN}}^3)/3 = (\pi D_{\text{фаг, MIN}}^3)/6$$

Максимальный объем прожорливого фагоцита:

$$V_{\text{фаг, MAX}} = (4\pi R_{\text{фаг, MAX}}^3)/3 = (\pi D_{\text{фаг, MAX}}^3)/6$$

Тогда минимальное число молекул фуллерена, которые проглотит прожорливый фагоцит, составляет:

$$N_{\text{фул, MIN}} = V_{\text{фаг, MIN}} / V_{\text{фул}} = ((\pi D_{\text{фаг, MIN}}^3)/6) / ((\pi D_{\text{фул}}^3)/6) = D_{\text{фаг, MIN}}^3 / D_{\text{фул}}^3 = (0.5 \cdot 10^{-6} \text{ м})^3 / (10^{-9} \text{ м})^3 = 0.125 \cdot 10^{-18} / 10^{-27} \approx 10^{-21} / 10^{-27} = 10^6, \text{ т.е. миллион.}$$

$$N_{\text{фул, MAX}} = V_{\text{фаг, MAX}} / V_{\text{фул}} = D_{\text{фаг, MAX}}^3 / D_{\text{фул}}^3 = (10^{-5})^3 \text{ м}^3 / (10^{-9})^3 \text{ м}^3 = 10^{-15} / 10^{-27} = 10^{12}, \text{ т.е. триллион.}$$

**Ответ:** в зависимости от размера фагоцита, он может проглотить от миллиона до триллиона молекул фуллерена.

**Решение задачи 1Д.**

Автор эмблемы расположил гнома между молекулой фуллерена и Луной, потому что отношение размера гнома к размеру молекулы фуллерена равно отношению размера Луны к размеру гнома, о чем говорит шкала, также показанная на эмблеме.

**Решение задачи 1Е.**

Пусть:

$x$  – сторона сечения графитового стержня,

$S$  – площадь сечения графитового стержня,

$L$  – длина графитового стержня,

$c$  – расстояние между слоями графена в чистом графите,

$N$  – число слоев графена в стержне,

$a_{A4}$  – ширина листа формата А4,

$b_{A4}$  – длина листа формата А4,

$S_{A4}$  – площадь листа формата А4,

$S_{\text{закр}}$  – площадь, которую можно закрасить, израсходовав весь графитовый стержень,

$N_{A4}$  – число листов формата А4, которые можно закрасить.

По условию задачи известно, что:

$$x = 1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м},$$

$$L = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Из рисунка оценим, что расстояние между слоями графена в чистом графите:

$$c \approx 3 \text{ \AA} = 3 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Пренебрежем размером атомов углерода и будем считать, что вся длина графитового стержня состоит из суммы межплоскостных расстояний.

Число слоев графена в графитовом стержне равно длине стержня, деленному на расстояние между слоями графена, т.е.:

$$N = L/c = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м} / 3 \cdot 10^{-10} \text{ м} \approx 10^8.$$

Площадь, которую можно закрасить, израсходовав весь стержень, равна площади сечения графитового стержня, умноженную на число слоев графена в стержне, т.к. при закрашивании квадратика, площадь которого равна площади сечения графитового стержня, происходит отслаивание одного монослоя, составляющего графитовый стержень.

$$S_{\text{закр}} = S \times N,$$

где

$S = x^2$  – площадь сечения графитового стержня, являющегося квадратом.

Следовательно,

$$S_{\text{закр}} = x^2 N = (10^{-3} \text{ м})^2 \times 10^8 = 10^2 \text{ м}^2.$$

Размеры листа формата А4 составляют:

$$a_{\text{А4}} = 21 \text{ см} = 21 \cdot 10^{-2} \text{ м} \approx 20 \cdot 10^{-2} \text{ м},$$

$$b_{\text{А4}} = 29.7 \text{ см} = 29.7 \cdot 10^{-2} \text{ м} \approx 30 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Тогда, площадь листа формата А4:

$$S_{\text{А4}} = a_{\text{А4}} \times b_{\text{А4}} = 20 \cdot 10^{-2} \text{ м} \times 30 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 600 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2.$$

Количество листов формата А4, которые можно закрасить описанным в задаче стержнем, составляет:

$$N_{\text{А4}} = S_{\text{закр}} / S_{\text{А4}} = 10^2 \text{ м}^2 / 6 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 \approx 1600 \text{ листов.}$$

**Ответ:** можно закрасить около 1600 листов формата А4.

**Комментарий:** у разных авторов задачи количество листов формата А4 получалось разным, т.к. авторы по-разному проводили оценку межплоскостного расстояния между слоями графена. Кроме того, некоторые авторы не пренебрегали размером слоя атомов графита, - такое решение также засчитывалось за правильное.

### **Решение задачи 1Ж.**

Пусть:

$V$  – объем мыльного раствора,

$l_{\text{ПАВ}}$  – длина молекулы поверхностно-активного вещества (ПАВ),

$a_{\text{ст}}$  – толщина стенки мыльного пузыря,

$V_{\text{ст}}$  – объем стенки мыльного пузыря,

$S_{\text{ст}}$  – площадь поверхности мыльного пузыря,

$R$  – радиус мыльного пузыря, при котором толщина его стенки равна длине молекулы ПАВ.

По условию задачи:

$$V = 0.01 \text{ мл} = 10^{-5} \text{ л} = 10^{-5} \text{ дм}^3 = 10^{-8} \text{ м}^3.$$

Согласно оценочным данным длина молекулы ПАВ составляет:

$$l_{\text{ПАВ}} \approx 10 \text{ \AA} = 10^{-9} \text{ м},$$

и этому значению равна толщина стенки образующегося мыльного пузыря:

$$a_{\text{ст}} = 10^{-9} \text{ м}.$$

Объем стенки образующегося мыльного пузыря, с одной стороны, равен произведению площади поверхности мыльного пузыря на толщину его стенки, а с другой стороны, он равен объему исходной капли мыльного раствора, т.е.:

$$V_{\text{ст}} = S_{\text{ст}} \times a_{\text{ст}} = 4\pi R^2 \times a_{\text{ст}} = V$$

Из полученного уравнения находим, что:

$$R^2 = V / (4\pi a_{\text{ст}}) = 10^{-8} \text{ м}^3 / (4 \times 3.14 \times 10^{-9} \text{ м}) \approx 0.796 \text{ м}^2,$$

тогда

$$R \approx 0.892 \text{ м} \approx 0.9 \text{ м},$$

а диаметр мыльного пузыря в два раза больше, чем радиус, т.е. 1.8 м.

**Ответ:** толщина стенки мыльного пузыря станет равной длине молекулы поверхностно-активного вещества при диаметре пузыря равном около 1.8 метров.

**Комментарий:** эта задача оказалась наиболее сложной из разминки. Многие участники Олимпиады даже не брались за ее решение. Мы также засчитывали за верные решения, авторы которых называли условие задачи некорректным, т.к. толщина стенки мыльного пузыря не может быть равна длине одной молекулы ПАВ в связи с тем, что структура стенки мыльного пузыря представляет собой, как минимум, две молекулы ПАВ, между которыми находится молекула воды.

### **Решение задачи 13.**

Пусть:

$D$  – диаметр окружности клетки,

$R$  – радиус окружности клетки,

$L_1$  – расстояние, которое проползет первый вирус,

$L_2$  – расстояние, которое проползет второй вирус,

$t_1$  – время, которое затратит на путь первый вирус,

$t_2$  – время, которое затратит на путь второй вирус,

$v_1$  – скорость первого вируса,

$v_2$  – скорость второго вируса.

По условию задачи

$$D = 10 \text{ мкм} = 10^{-5} \text{ м}$$

Пусть вирус 1 ползет из точки А в точку В по окружности. Тогда весь его путь составит половину длины окружности клетки, т.е.

$$L_1 = (2\pi R)/2 = \pi R$$

Пусть второй вирус ползет из точки А в точку В насквозь, по диаметру. Тогда весь его путь равен диаметру клетки, т.е.

$$L_2 = D = 2R$$

По условию задачи вирусы должны встретиться в точке В одновременно, т.е. в пути они проведут одинаковое время, т.е.

$$t_1 = t_2,$$

следовательно, т.к. время, затраченное на путь, равно отношению расстояния к скорости:

$$L_1/v_1 = L_2/v_2,$$

следовательно,

$$v_1/v_2 = L_1/L_2 = \pi R/2R = \pi/2 \approx 1.57$$

Для того, чтобы решить вторую часть задачи, в которой спрашивается, каково соотношение объемов вируса и клетки, нужно было найти средние размеры вирусов и клеток. Допустим, что и вирусы, и клетки имеют форму шара.

Пусть:

$V_{\text{кл}}$  – объем клетки,

$R_{\text{кл}}$  – радиус клетки,

$V_{\text{вир}}$  – объем вируса,

$R_{\text{вир}}$  – радиус вируса.

Объем клетки составляет:

$$V_{\text{кл}} = (4\pi R_{\text{кл}}^3)/3$$

Объем вируса составляет:

$$V_{\text{вир}} = (4\pi R_{\text{вир}}^3)/3$$

Тогда соотношение объемов вируса и клетки:

$$V_{\text{кл}}/V_{\text{вир}} = ((4\pi R_{\text{кл}}^3)/3)/((4\pi R_{\text{вир}}^3)/3) = R_{\text{кл}}^3/R_{\text{вир}}^3$$

Согласно оценочным данным, радиус клеток в среднем можно принять за:

$$R_{\text{кл}} \approx 10 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м},$$

а радиус вируса:

$$R_{\text{вир}} \approx 10 \text{ нм} = 10^{-8} \text{ м}$$

Тогда:

$$V_{\text{кл}}/V_{\text{вир}} = R_{\text{кл}}^3/R_{\text{вир}}^3 = (10^{-6})^3/(10^{-8})^3 = 10^{-18}/10^{-24} = 10^6$$

**Ответ:** (1) соотношение скоростей движения вирусов  $v_1/v_2$  должно быть равно около 1.57, (2) соотношение объемов вируса и клетки около  $10^6$ .

### Решение задачи 1И.

Предисловие: задача была самой сложной по своей сути, поскольку проверяла знания по теме «геометрическая прогрессия» и «логарифмы».

Пусть:

$$\text{Масса наноробота } m = 0.01 \text{ мг} = 10^{-5} \text{ г.}$$

$$\text{Длина нанотрубки } l = 1 \text{ мкм (микрон)} = 10^{-6} \text{ м.}$$

$$\text{Диаметр нанотрубки } d = 10 \text{ нм} = 10^{-8} \text{ м.}$$

$$\text{Конечная длина троса } L = 1000 \text{ км} = 10^6 \text{ м.}$$

$$\text{Время «сварки» соединения / стыка нанотрубок } t = 1 \text{ мс (миллисекунда)} = 10^{-3} \text{ с.}$$

Согласно условию, **длина** троса растет в прогрессии  $2^N$ , где  $N$  – число шагов, поэтому  $L = 2^N l$  или  $N = \lg(L/l)/\lg(2) = \lg(10^6/10^{-6})/\lg(2) = 12 * \lg(10)/\lg 2 \sim 40$ . Представляете, всего за каких-то 40 шагов будет сделан трос длиной 1000 км!

Количество нанотрубок, формирующих поперечное сечение троса (почему так сложно сказано – смотри дальше!), также растет в прогрессии  $2^N$ , но в этом случае площадь сечения будет равна количеству нанотрубок **в сечении** (не вообще, а именно в сечении), умноженному на их диаметр, то есть  $2^N * \pi * d^2/4$ . Это оценочная величина, верная только в том случае, если в пучке нанотрубок, формирующем трос, нет свободного пространства между трубками (это неверно, но, скажем, пусть трубки «умялись» и приняли шестигранное сечение, равное по площади исходному, тогда сечение будет «сплошным»). Далее, если мы примем, что трос имеет круглое сечение (можно было считать его и квадратным, в принципе), то есть если мы свернем получающуюся при сварке конструкцию в рулон, то легко посчитать диаметр троса:  $D = ((4/\pi) * 2^N * \pi * d^2/4)^{0.5} = 2^{20} * 10^{-8} \text{ м} = 1 \text{ сантиметр}$ . Вот такой тонкий и симпатичный трос длиной 1000 км!

Сколько же при этом померло нанороботов? А вот здесь прогрессия и в длину, и в ширину, то есть роботов сдохнет  $4^{40}$  или  **$1.2 * 10^{24}$  штук**. В терминах химии это всего-то два моля ( $2 N_A$ , где  $N_A$  – число Авогадро). Их масса составит  $1.2 * 10^{24} * 10^{-5} \text{ г}$  или около **10 триллионов тонн**. Это масса небольшого астероида типа того, который вызвал всепланетную катастрофу и уничтожил в далекие времена динозавров при столкновении с Землей.

Оценка времени изготовления троса подразумевает «взрывной», «бесконечный» и «вахтовый» варианты. В первом из них вся масса роботов кидается вместе делать абсолютно все стыки троса. Теоретически тогда они могут сделать это за 1 мс. Однако если посчитать, сколько энергии выделится за это короткое время, то нет сомнений, что это будет новый Большой Взрыв, который разрушит и трубку, а также похоронит сразу всех нанороботов (куда они денутся из внутренностей троса). При «вахтовом» методе все будет сделано за 40 шагов, то есть за 40 мс, что не сильно по энерговыделению, особенно на последних стадиях, будет отличаться от «взрывного» варианта. При «бесконечном» варианте время равно числу нанороботов, умноженному на длительность работы каждого из них, то есть  $1.2 * 10^{24} * 10^{-3} \text{ с}$ , что составит примерно  $0.4 * 10^{14}$  лет, то есть **40 триллионов лет** – никто не дождет конца этого долгостроя!

## Туннельный эффект в химии и нанотехнологии

Одним из основных отличий наноструктур от макроскопических тел является зависимость их химических и физических свойств от размера. Одним из наглядных примером этого служит туннельный эффект, который заключается в проникновении легких частиц (электрона, протона) в области, недоступные для них энергетически. Этот эффект играет важную роль в таких процессах как например перенос заряда в фотосинтетических устройствах живых организмов (стоит заметить, что биологические реакционные центры являются одними из наиболее эффективных наноструктур).

Туннельный эффект можно объяснить волновой природой легких частиц и принципом неопределенности. Благодаря тому, что частицы малого размера не имеют определенного положения в пространстве, для них не существует понятия траектории. Следовательно, для перемещения из одной точки в другую частица не должна проходить по линии, их соединяющей, и таким образом может «обходить» области, запрещенные по энергии.

В связи с отсутствием у электрона точной координаты, его состояние описывают с помощью волновой функции, характеризующей распределение вероятности по координате. На рисунке показан типичный вид волновой функции при туннелировании под энергетический барьер.

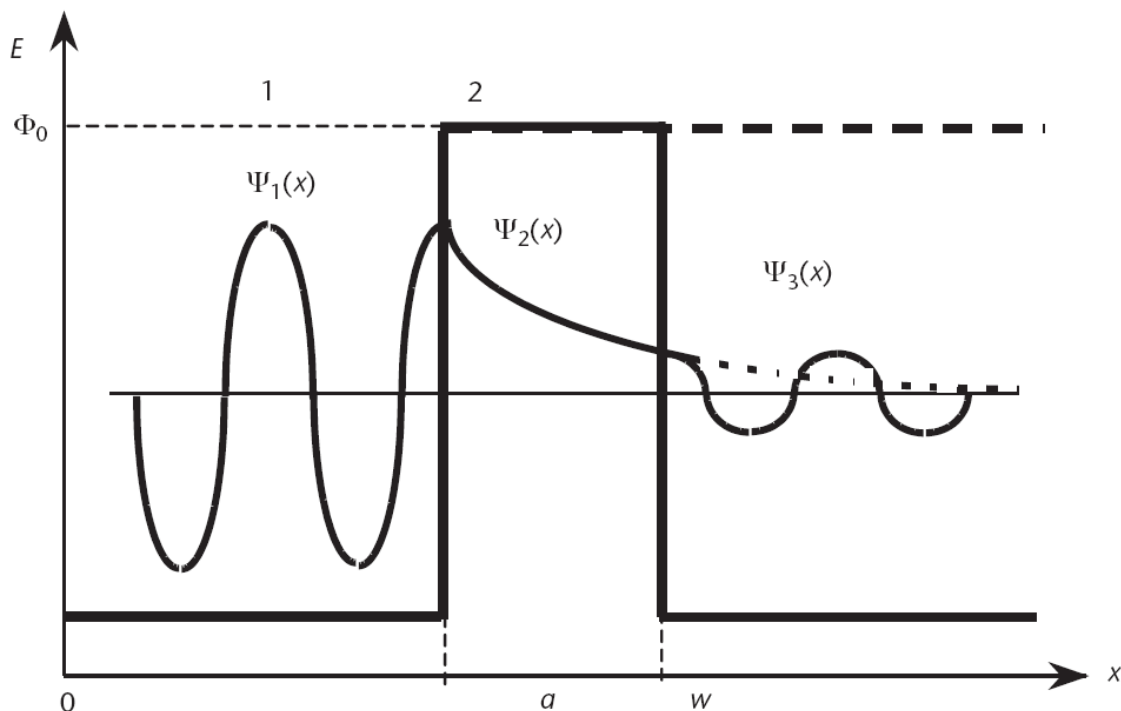


Рис. Волновая функция в случае, если энергия частицы меньше высоты барьера.

Вероятность  $p$  проникновения электрона сквозь потенциальный барьер зависит от высоты  $U$  и ширины последнего  $l$ :

$$p = \exp\left(-\frac{2l}{\hbar} \sqrt{2m(U - E)}\right)$$

где  $m$  – масса электрона,  $E$  – энергия электрона,  $\hbar$  – постоянная Плана с чертой.

1. Определите вероятность, того что электрон туннелирует на расстояние 0.1 нм, если разница энергий  $U - E = 1$  эВ. Рассчитайте разность энергий (в эВ и кДж/моль), при которой электрон сможет туннелировать на расстояние 1 нм с вероятностью 1%.

Одним из наиболее заметных следствий туннельного эффекта является необычная зависимость константы скорости химической реакции от температуры. При уменьшении

температуры константа скорости стремится не к 0 (как можно ожидать из уравнения Аррениуса), а к постоянному значению, которое определяется вероятностью туннелирования ядер  $p$ .

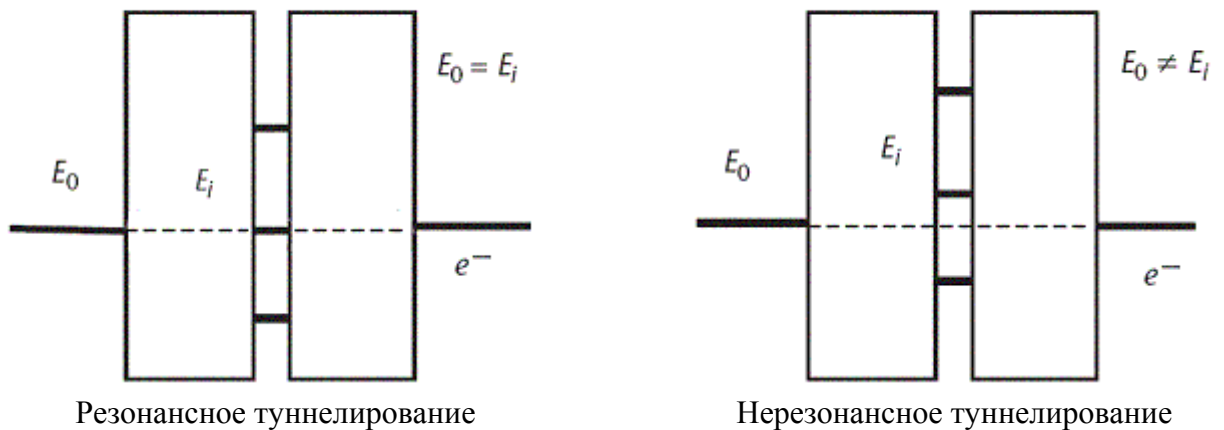
$$k(T) \approx A \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right) + Ap,$$

где  $A$  – предэкспоненциальный множитель,  $E_A$  – энергия активации. Это можно объяснить тем, что при высоких температурах в реакцию вступают только те частицы, энергия которых выше энергии барьера, а при низких температурах реакция идет исключительно за счет туннельного эффекта.

2. Из приведенных ниже экспериментальных данных определите энергию активации и вероятность туннелирования.

$T, \text{K}$	$k(T), \text{c}^{-1}$
78	$4.5 \cdot 10^{-3}$
200	$6.0 \cdot 10^{-3}$
273	2.5

3. В современных квантовых электронных устройствах используется эффект резонансного туннелирования. Этот эффект проявляется, если электрон встречает два барьера, разделенные потенциальной ямой. Если энергия электрона совпадает с одним из уровней энергии в яме (это – условие резонанса), то общая вероятность туннелирования определяется прохождением через два тонких барьера, если же нет – то на пути электрона встает широкий барьер, который включает потенциальную яму, и общая вероятность туннелирования стремится к 0.



Сравните вероятности резонансного и нерезонансного туннелирования электрона при следующих параметрах: ширина каждого из барьеров 0.5 нм, ширина ямы между барьерами 2 нм, высота всех потенциальных барьеров относительно энергии электрона равна 0.5 эВ.



### Решение.

1. Рассчитаем вероятность переноса ( $1 \text{ эВ} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ ,  $m(e) = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ ).

$$p = \exp\left(-\frac{2l}{\hbar} \sqrt{2m(U-E)}\right) = \exp\left(-\frac{2 \cdot 10^{-10}}{1.05 \cdot 10^{-34}} \sqrt{2 \cdot 9.1 \cdot 10^{-31} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}\right) = \exp(-1.02) \approx 0.36 = 36\%$$

Рассчитаем разность энергий, для которой вероятность туннелирования равна 1 %

$$U - E = \frac{1}{2m} \left( \frac{\hbar \ln p}{2l} \right)^2$$

$$U - E = \frac{1}{2 \cdot 9.1 \cdot 10^{-31}} \left( \frac{1.05 \cdot 10^{-34} \ln 0.01}{2 \cdot 10^{-9}} \right)^2 = 3.2 \cdot 10^{-20} \text{ Дж} = 0,2 \text{ эВ}$$

Выразим эту энергию из расчета на 1 моль

$$(U - E)N_A = 3.2 \cdot 10^{-20} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} = 1.93 \cdot 10^4 \text{ Дж/моль} = 19.3 \text{ кДж/моль}$$

2. Если проанализировать данные приведенные в таблице, то можно заметить, что при переходе от 273 К к 200 К скорость реакции падает почти на 3 порядка, а при переходе от 200 К к 78 К всего на одну четверть. Из этого можно сделать вывод, что активационная часть затухает быстро, и при 78 К практически равна 0:

$$k(T_1) = A \exp\left(-\frac{E_A}{RT_1}\right) + pA \approx pA$$

Зная величину туннельной составляющей в скорости реакции, можем найти активационную:

$$k(T) - k(T_1) \approx A \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right)$$

Тогда энергия активации будет равна:

$$E_A = \frac{RT_2 T_3}{T_2 - T_3} \ln\left(\frac{k(T_2) - k(T_1)}{k(T_3) - k(T_1)}\right)$$

$$E_A = 46.1 \text{ кДж/моль}$$

Найдем вероятность туннелирования:

$$A = (k(T_3) - k(T_1)) \exp\left(\frac{E_A}{RT_3}\right) \approx k(T_3) \exp\left(\frac{E_A}{RT_3}\right) = 4.5 \cdot 10^9$$

$$p = \frac{k(T_1)}{A} = 1.0 \cdot 10^{-12}$$

3. Для резонансного случая вероятность переноса будет равна произведению вероятностей переноса через два отдельных барьера, то есть можно говорить, что происходит туннелирование через барьер, ширина которого равна суммарной ширине двух барьеров:  $l_1 + l_3 = 1 \text{ нм}$ .

$$p = p_1 p_2 = \exp\left(-\frac{2l_1}{\hbar} \sqrt{2m(U-E)}\right) \exp\left(-\frac{2l_3}{\hbar} \sqrt{2m(U-E)}\right) = \exp\left(-\frac{2(l_1 + l_3)}{\hbar} \sqrt{2m(U-E)}\right) = \\ = \exp\left(-\frac{2 \cdot 10^{-9}}{1.05 \cdot 10^{-34}} \sqrt{2 \cdot 9.1 \cdot 10^{-31} \cdot 0.5 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}\right) = \exp(-7.27) \approx 7.0 \cdot 10^{-4} = 0.07\%$$

Для случая нерезонансного туннелирования толщина общего барьера будет больше в три раза:  $l = l_1 + l_2 + l_3 = 3 \text{ нм}$ , поэтому предыдущая вероятность возводится в куб:

$$p = \exp\left(-\frac{2(l_1 + l_2 + l_3)}{\hbar} \sqrt{2m(U-E)}\right) = \left[ \exp\left(-\frac{2(l_1 + l_3)}{\hbar} \sqrt{2m(U-E)}\right) \right]^3 = 3.4 \cdot 10^{-10}.$$

Вероятность нерезонансного туннелирования практически равна 0.

Ответы.

1. 36%; 0.2 эВ = 19.3 кДж/моль.

2.  $1.0 \cdot 10^{-12}$ .

3. 0.07%;  $3.4 \cdot 10^{-10}$ .

### Кластерный нанокатализ

Одно из самых перспективных применений наночастиц связано с катализом. У наночастиц отношение поверхность/объем значительно больше, чем у объемной фазы, поэтому они могут сильно ускорять реакции, протекающие на поверхности. Кроме того, многие свойства наночастиц зависят от их размера, поэтому изменяя размер, можно управлять активностью и селективностью катализатора.

В последнее десятилетие большой интерес вызывают нанокластеры, которые представляют собой почти монодисперсные металлические частицы, имеющие диаметр менее 10 нм (100 Å). Кластеры металлов создаются путем последовательной упаковки слоев или оболочек атомов металла вокруг центрального атома. Кластеры с законченной, регулярной внешней геометрией называют «магическими», или кластерами с заполненной оболочкой (рис. 1).

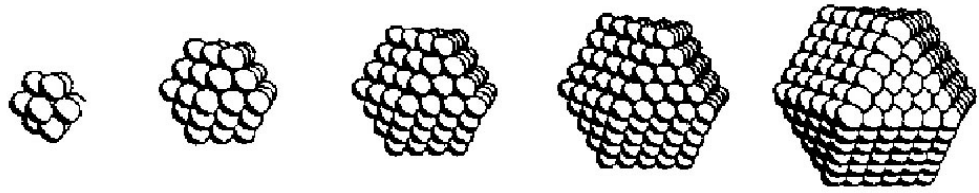
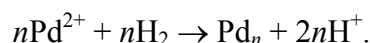
«Магические кластеры»					
Число оболочек	1	2	3	4	5

Рис. 1. «Магические» кластеры с заполненной оболочкой при гексагональной плотнейшей упаковке.

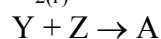
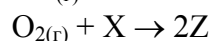
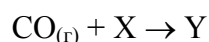
1. Определите число атомов в  $n$ -ой оболочке и общее число атомов металла в «магическом кластере», содержащем  $n$  заполненных оболочек. При каком максимальном  $n$  доля атомов на поверхности превышает 30%?

2. Нанокластеры палладия получают восстановлением комплекса Pd(II)-полимер газообразным водородом:



Просвечивающая электронная микроскопия показала, что изолированные нанокластеры  $\text{Pd}_n$  представляют собой почти сферические частицы, защищенные полимером, со средним диаметром 2.05 нм. Рассчитайте число атомов палладия в кластере. Имеют ли эти кластеры полностью заполненную оболочку? Рассчитайте число оболочек ( $n$ ) в нанокластерах. Плотность палладия  $\rho = 12.02 \text{ г/см}^3$ .

3. Нанокластеры палладия служат катализаторами разнообразных реакций, включая гидрирование алкенов, окисление CO, тримеризацию ацетилена. Ниже зашифрован стандартный механизм гетерогенного окисления CO кислородом (механизм Лэнгмюра-Гиншельвуда):



Определите, что собой представляют X, Y, Z и A.

4. Напишите уравнение реакции окисления CO с помощью оксида азота (II), катализируемого нанокластерами палладия. Предложите возможный механизм этой реакции. Почему реакция тормозится при больших количествах NO?

5. Реакция CO + NO в присутствии нанокластеров палладия Pd<sub>20-30</sub> протекает при 300 К, что на 150 К ниже температуры реакции, катализируемой монокристаллами металла. Оцените, во сколько раз кластеры уменьшают энергию активации по сравнению с монокристаллами (считайте, что предэкспоненциальные множители в уравнении Аррениуса не зависят от размера частиц Pd).

### Решение

1. Из рисунка видно, как устроены гексагональные кластеры.  $n$ -ая оболочка состоит из  $(2n+1)$  слоев, в которых атомы металла расположены по периметру. Центральный слой содержит наибольшее число атомов:  $n+1 + 4n + n-1 = 6n$ , затем сверху и снизу идут два слоя, у которых на три атома меньше, затем еще на три меньше, и так далее, до двух крайних слоев (верхнего и нижнего), которые включают  $(n+1)(n+2)/2$  атомов. Всего в  $n$ -ой оболочке содержится

$$6n + 2 \sum_{k=1}^{n-1} (6n - 3k) + 2 \frac{(n+1)(n+2)}{2} = 10n^2 + 2$$

атомов.

Общее число атомов металла в «магическом кластере», состоящим из  $n$  оболочек и одного центрального атома, равно:

$$1 + \sum_{k=1}^n (10n^2 + 2) = \frac{10}{3} n^3 + 5n^2 + \frac{11}{3} n + 1.$$

Доля атомов на поверхности:

$$\frac{10n^2 + 2}{\frac{10}{3} n^3 + 5n^2 + \frac{11}{3} n + 1}$$

превышает 30%, начиная с  $n = 8$  (и меньше).

2. Атомный объем палладия:

$$V_{\text{ат}} = \frac{M}{\rho N_A} = \frac{106.4}{12.02 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}} = 1.47 \cdot 10^{-23} \frac{\text{см}^3}{\text{атом}}.$$

В кластере диаметром 2.05 нм содержится

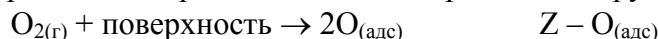
$$N = \frac{\frac{\pi d^3}{6}}{V_{\text{ат}}} = \frac{\frac{\pi (2.05 \cdot 10^{-7})^3}{6}}{1.47 \cdot 10^{-23}} = 307 \text{ атомов.}$$

Это число близко к «магическому» числу 309 при  $n = 4$ . Можно считать, что данные кластеры имеют практически замкнутую оболочку.

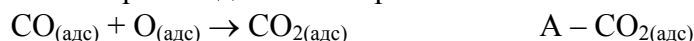
3. X обозначает поверхность (точнее, адсорбционные центры на поверхности):



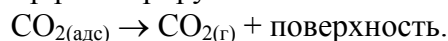
Молекула кислорода на поверхности катализатора диссоциирует на атомы:



Реакция окисления CO происходит на поверхности:



Молекулы CO<sub>2</sub> десорбируются с поверхности в объем и освобождают поверхность: тем самым катализатор регенерируется:

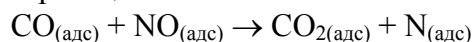


4. Суммарное уравнение реакции:  $\text{CO}_{(\text{г})} + \text{NO}_{(\text{г})} \rightarrow \text{CO}_{2(\text{г})} + \frac{1}{2} \text{N}_{2(\text{г})}$

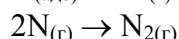
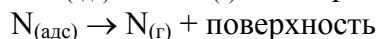
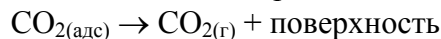
Само химическое превращение имеет место на поверхности наночастиц. Для этого молекулы должны на ней адсорбироваться:



Затем происходит реакция:

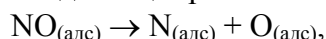


и продукты реакции покидают поверхность:

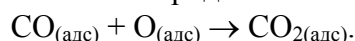


Реакция тормозится при больших количествах NO, поскольку тогда NO занимает все адсорбционные центры, и для оксида углерода не остается места на поверхности.

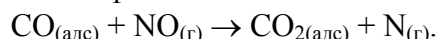
Возможны отклонения от этого механизма. Например, молекула NO на поверхности может диссоциировать:



и образующийся атом кислорода окисляет CO:



Еще возможен вариант, когда CO адсорбируется и реагирует с молекулой NO, находящейся в газовой фазе:



5. Запишем уравнения Аррениуса для констант скорости двух каталитических реакций:

$$k_{\text{класт}} = A \exp\left(-\frac{E_{\text{класт}}}{RT_{\text{класт}}}\right)$$

$$k_{\text{моно}} = A \exp\left(-\frac{E_{\text{моно}}}{RT_{\text{моно}}}\right)$$

По условию, константы скорости равны, откуда следует:

$$\frac{E_{\text{класт}}}{RT_{\text{класт}}} = \frac{E_{\text{моно}}}{RT_{\text{моно}}},$$

$$\frac{E_{\text{моно}}}{E_{\text{класт}}} = \frac{T_{\text{моно}}}{T_{\text{класт}}} = \frac{450}{300} = 1.5$$

Энергия активации реакции окисления CO в присутствии нанокластеров уменьшается в 1.5 раза по сравнению с монокристаллами.

### **Липосомы - фосфолипидные наносистемы для доставки лекарственных соединений и вакцин**

Многие лекарственные средства нового поколения снабжены системами доставки, обеспечивающими постепенное поступление лекарственных веществ в определенные органы и клетки-мишени, а также улучшение фармакологических свойств препарата. Много внимания уделяется **фосфолипидным наночастицам – липосомам** – как переносчикам лекарственных средств, **эффективность** действия которых обеспечивается не только их биологическими свойствами, но и **наноразмерами**.

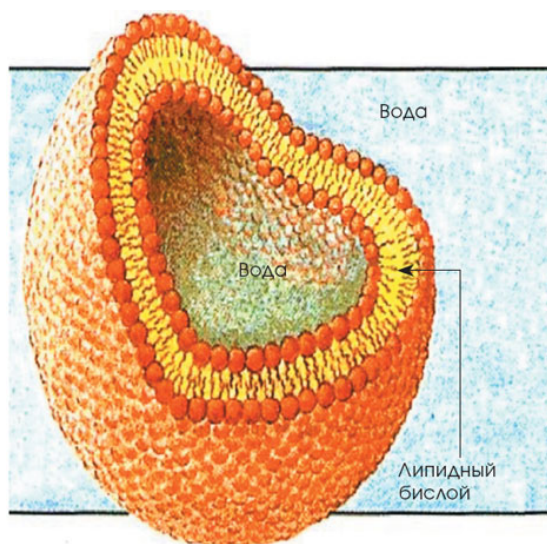


Рис. 1. Структура фосфолипидной наночастицы – липосомы.

Липосому можно представить себе как сферу с толстой стенкой (рис. 1), внутри и снаружи которой находится водный раствор. Диаметр «одностенных» липосом составляет обычно от 20 до нескольких сотен нанометров. Стенка липосомы представляет собой так называемый **липидный бислой**, состоящий чаще всего из фосфолипидов (сложных эфиров глицерина или сфингозина, фосфорной кислоты и жирных кислот). Глицерофосфолипиды являются обязательным компонентом большинства мембран животных, растительных и бактериальных клеток. В молекуле фосфолипида можно выделить две большие части – растворимую в воде гидрофильную «голову» и нерастворимый в воде гидрофобный «хвост» (на рис. 2 выделены красным и синим цветом соответственно). Мембраны, состоящие только из фосфолипидов, будут сильно неполярными и гидрофобными внутри «стенки» и полярными на внешней и внутренней сторонах «стенки».

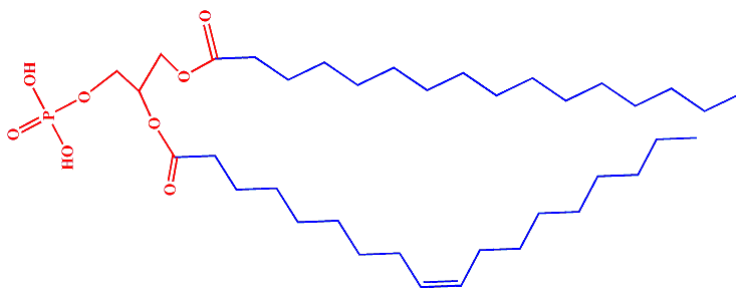


Рис. 2. Структура одного из глицерофосфолипидов – фосфатидовой кислоты.

**1)** Сколько энергии требуется для поддержания структуры липидного бислоя, состоящего из фосфатидовой кислоты? Объясните свое предположение.

Все молекулы липидов, у которых есть гидрофильная голова и гидрофобный хвост, могут образовать в водной среде два различных типа структур – липосомы (рис. 1) или мицеллы (рис. 3). Тип получающейся структуры зависит от соотношения размеров «головы» и «хвоста» – если «голова» по диаметру больше чем «хвост», то образуются мицеллы, а если «голова» и «хвост» сравнимы, или даже «хвост» толще «головы», то формируются липосомы.

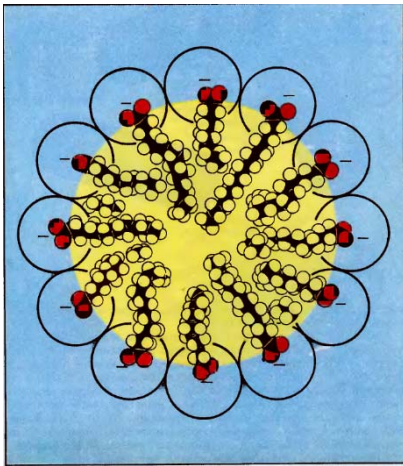


Рис. 3. Строение мицеллы

2) Какие структуры (мицеллы или липосомы) будут формировать в водном окружении:

а) поверхностно активное вещество додецилсульфат натрия  $C_{12}H_{25}SO_3Na$

б) фосфолипид кардиолипин (рис. 4)?

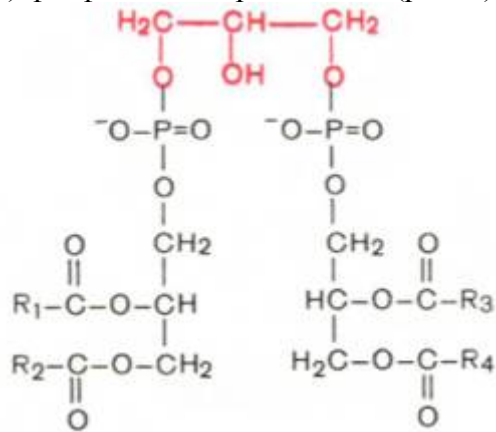


Рис. 4. Структура кардиолипина

3) Оцените с точностью  $\pm 0.3$  нм толщину липидного бислоя, состоящего из фосфатидилхолина (1,2-дипальмитоил-*sn*-глицерофосфохолина) (рис. 5) с учетом длины связи  $CH_2-CH_2$  1.53 Å и валентного угла  $110^\circ$  (линейный размер «головы» можно принять равным 8 Å). Приведите свои расчеты.

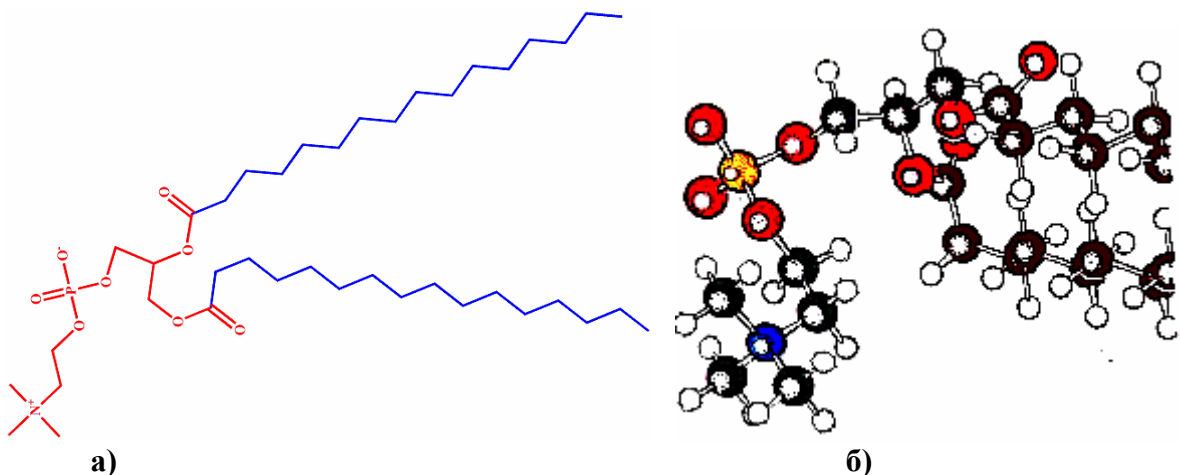


Рис. 5. (а) Химическая структура фосфатидилхолина и (б) пространственная структура его «головой»

Известно, что липидный бислой – это подвижная текучая структура, в которой происходит броуновское движение молекул липидов. Современные методы исследования позволяют следить за движением единичных молекул липидов в бислое.

4) Допустим, вам удалось «пометить» одну молекулу липида и вы следите за ней с помощью специального микроскопа. Какое перемещение этой молекулы липида в липидном бислое будет происходить часто, а какое редко?

- а) вдоль одного из слоев
- б) из одного монослоя в другой?

Объясните, почему.

Липиды обладают разнообразным строением, и глицерофосфолипиды – лишь один из примеров. В состав гидрофильной головы могут входить другие спирты (не только глицерин), остаток фосфорной кислоты может быть этерифицирован различными соединениями, в некоторых липидах вообще нет фосфорной кислоты. Поэтому в зависимости от строения гидрофильная голова липида может быть заряжена положительно или отрицательно, а также незаряжена.

5) Из каких липидов (положительно заряженных, отрицательно заряженных или неионных) должна состоять липосома, чтобы лучше связывать во внутренней области

- а) ДНК
- б) небольшой белок инсулин, растворенный в буфере: (i) с рН 4.5 или (ii) рН 7.0.

Изоэлектрическая точка инсулина (значение рН раствора, при котором общий заряд молекулы равен нулю) равна 5.4.

6) Зачем нужны липосомы при доставке в клетку таких веществ, как ДНК и белки, а также лекарств, например доксорубина (противораковый препарат, рис. 6)?

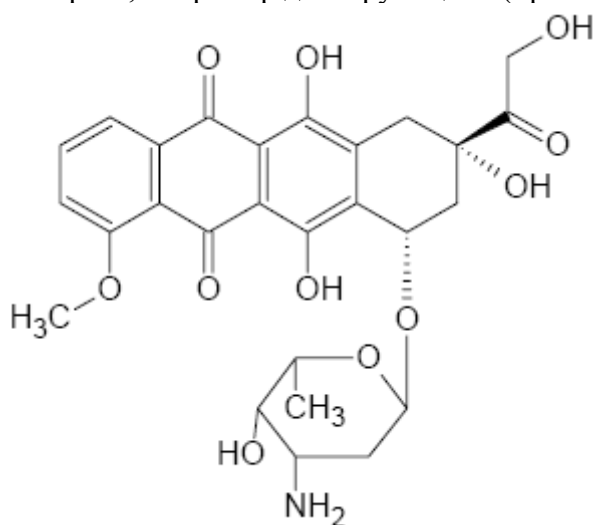


Рис. 6. Химическая структура доксорубина

Варианты ответов:

- а) токсичное вещество
- б) легко разрушается в организме ферментами
- в) узнается системой выведения и быстро выводится из организма
- г) вызывает иммунный ответ
- д) вызывает аллергию
- е) не проникает в клетки из-за большого размера
- ж) не проникает в клетки, потому что имеет заряд
- з) не растворяется в воде

Для каждого вещества приведите подходящие варианты ответов (их может быть больше одного).

7) Предложите 2 метода изучения размеров липосомных частиц.

Время пребывания обычных липосом в кровотоке невелико (от нескольких минут до нескольких часов). На липосомах легко сорбируются белки плазмы крови, после чего их "заглатывают" макрофаги, которые их разрушают и выводят из организма. Решение проблемы преодоления естественных барьеров для липосом в организме оказалось довольно неожиданным и достаточно простым. Известно, что в состав липосомы могут входить разные липиды. Выяснилось, что клетки, вылавливающие липосомы из крови, можно обмануть, сделав поверхность липосом сильно гидрофильной и как бы недоступной, можно даже сказать невидимой, с помощью добавки липидов, к «голове» которых присоединен гидрофильный полимер (массой от 1000 до 6000 а.е.м.) довольно простого состава. В результате время жизни липосом в кровотоке превысило вдвое суток. Необычные свойства таких липосом и их высокая терапевтическая эффективность настолько поразили исследователей, что эти липосомы получили образное название "липосомы-невидимки" (stealth liposomes) аналогично известному самолету-невидимке "стелс", который не удается обнаружить с помощью радарных устройств.

8) Какие молекулы должны входить в состав липидного бислоя лекарственных липосом, чтобы

- их не замечала система выведения
- они направлялись в определенный тип клеток
- они сливались с клеточной мембраной?

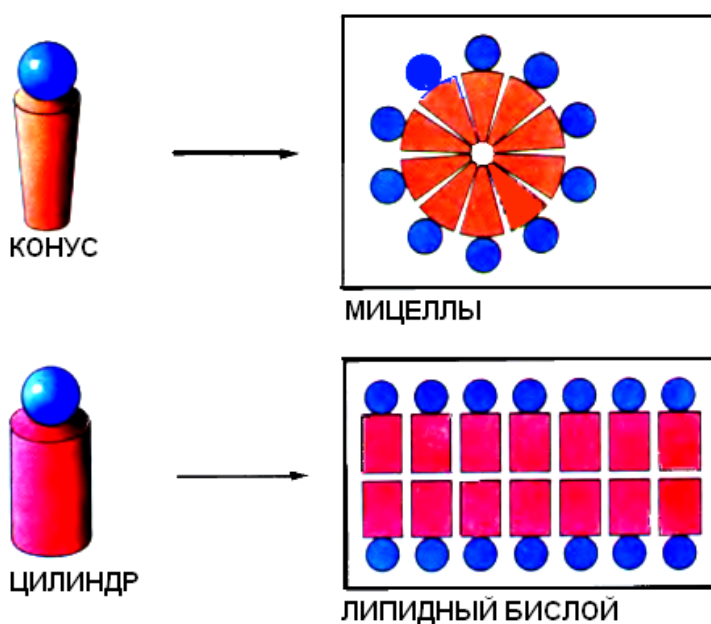
Что у них должно быть внутри?

Ответы

1) Несколько, липидный бислой – самоорганизующаяся система, для поддержания структуры которой энергия не нужна

2) Строение зависит от соотношения размеров гидрофильной полярной головы и гидрофобного неполярного хвоста. В воде легко дают мицеллы те липиды, которые имеют объемистую и/или заряженную полярную голову и сравнительно небольшие углеводородные цепи. К мицеллообразующим липидам относятся фосфолипиды, имеющие две углеводородные цепи небольшой длины.

В общем случае один «хвост» (один остаток жирной кислоты, одна длинная углеводородная цепь) – мицелла, а два хвоста – липосома (рис.)



- додецилсульфат натрия образует мицеллы
- кардиолипид образует липосомы



3) толщина липидного бислоя, состоящего из 1,2-дипальмитоил-sn-глицерофосфохолина, составляет около 5 нм.

4) а) перемещение молекул липидов в липидном бислое вдоль одного из слоев (латеральное) происходит часто.

б) перемещение молекул липидов из одного монослоя в другой (называется флип-флоп) происходит редко, так как требует прохождения гидрофильной «головы» через гидрофобный слой.

5) а) ДНК заряжена отрицательно за счет фосфатных групп, поэтому лучше использовать положительно заряженные липиды.

б) При использовании буфера с кислым значением pH (4.5), молекула инсулина будет заряжена положительно, и необходимо использовать отрицательно заряженные липиды. При использовании буфера с нейтральным значением pH (7.0), молекула инсулина будет заряжена отрицательно, и необходимо использовать положительно заряженные липиды.

б) при доставке таких лекарств как ДНК липосомы нужны, поскольку

б) легко разрушается в организме ферментами

е) не проникает в клетки из-за большого размера

ж) не проникает в клетки, потому что имеет заряд

При доставке белков в организм липосомы нужны, потому что:

б) легко разрушается в организме ферментами

г) может вызывать иммунный ответ

д) может вызывать аллергию

е) не проникает в клетки из-за большого размера

ж) не проникает в клетки, потому что имеет заряд

молекула доксорубина

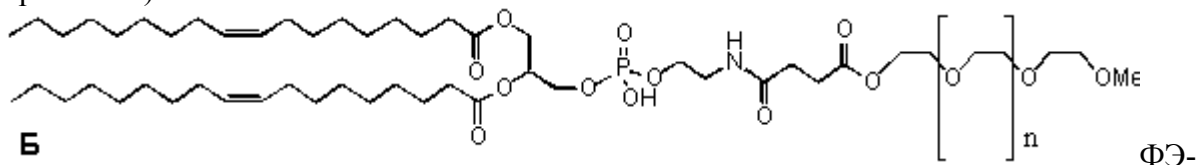
а) токсична!

е) большая

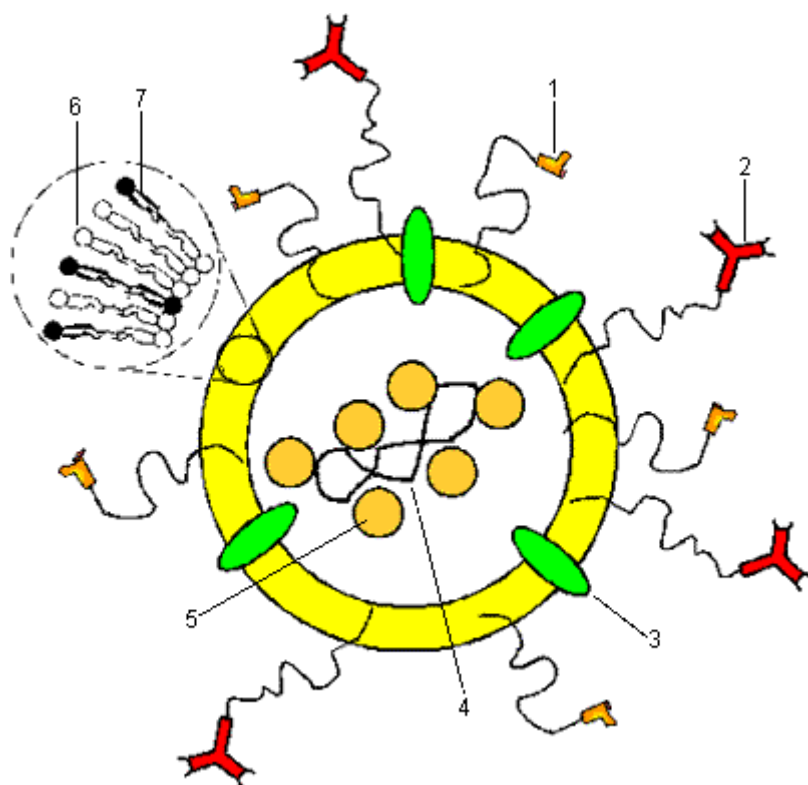
з) довольно гидрофобная, плохо растворимая в воде и не проникающая сквозь клеточную мембрану.

7) светорассеяние, малоугловое рентгеновское рассеяние, нейтронное рассеяние

8) Например, фосфатидилэтаноламин (ФЭ), конъюгированный с ПЭГ (полимер с гибкой гидрофильной цепью) через сложноэфирную связь, гибкие молекулы ПЭГ создают в примембранной области избыточное осмотическое давление, поэтому белки не могут добраться до поверхности, и липосомы как бы становятся невидимыми для РЭС (ретикуло-эндотелиальная система, система выведения чужеродных молекул из организма).



идеальная конструкция липосомы для доставки лекарств



"Идеальная" конструкция липосомы для направленной доставки лекарственного вещества в клетку;

- 1) Липид, к которому присоединен полимер для стерической защиты от РЭС (например, ПЭГ);
- 2) "Молекулярный адрес" на полимерной ножке (в основном иммуноглобулины);
- 3) Белки слияния (например, гемагглютинин, любые агглютинины, лектины и вирусные белки слияния, хотя многие из них токсичны);
- 4) Лекарственное вещество (например, ДНК);

Дополнительно:

- 5) Липидные положительно заряженные частицы для компактизации ДНК;
  - 6) Мембранообразующие липиды (фосфатидилхолин);
  - 7) Липиды, дестабилизирующие мембрану (например, фосфатидилэтанолламин)
- липиды, стабилизирующие липосому – это холестерин

### Наноалмазы

Экспериментальные исследования последних лет подтверждают, что наноалмазы могут быть синтезированы в областях диаграммы состояния углерода, где равновесной фазой является графит. Причину подобного явления авторы публикаций видят в том, что энтальпия образования алмаза наноразмеров меньше, чем у массивных образцов.

В таблице 1 собраны результаты некоторых успешных синтезов наноалмазов.

Таблица 1. Условия и результаты синтеза наноалмазов с помощью различных методов.

Метод	Давление, гПа	Температура, К	Время, сек	Размер алмаза, нм
Детонационный синтез	15	3000	$0.5 \cdot 10^{-6}$	5
Нагрев при статическом давлении	8	1600	60	11
Метод CVD	$5 \cdot 10^{-3}$	1000		5

Вопросы.

- 1) Можно ли синтезы, описанные в Таблице 1, объяснить с помощью термодинамических данных, приводимых в Таблице 2, или требуются дополнительные допущения ?
- 2) Оцените энтальпию образования нанокристалла алмаза, диаметром 5 нм.
- 3) Посчитайте эффективную константу скорости процесса образования частиц наноалмаза (реакция нулевого порядка, размерность константы – нм<sup>3</sup>/сек) по данным методов *детонационного синтеза и нагрева при статическом давлении*. Соответствуют ли эти константы эффективной энергии активации процесса  $E_A = 112$  кДж/моль, опубликованной в литературе.

Таблица 2. Термодинамические свойства графита и алмаза

	<b>Графит</b>	<b>Алмаз</b>
Объем, м <sup>3</sup> /моль	$5.29 \times 10^{-6}$	$3.41 \times 10^{-6}$
$\Delta_f H^\circ (298 K)$ , кДж/моль	0	1.850
$\left( -\frac{G_T^0 - H_{298K}^0}{T} \right) (1000K)$ , Дж/(моль·К)	12.662	8.607
$\left( -\frac{G_T^0 - H_{298K}^0}{T} \right) (1600K)$ , Дж/(моль·К)	19.236	15.064
$\left( -\frac{G_T^0 - H_{298K}^0}{T} \right) (2500K)$ , Дж/(моль·К)	27.146	23.002
$\left( -\frac{G_T^0 - H_{298K}^0}{T} \right) (3000K)$ , Дж/(моль·К)	30.771	

Ответы.

1) Для успешного синтеза энергия Гиббса для процесса образования алмаза из графита должна быть меньше нуля. Она подсчитывается с помощью данных таблицы 2 по формуле

$$\Delta G_{T,p} = \Delta H_{f,298K}^0 - \Delta \left( -\frac{G_T^0 - H_{298K}^0}{T} \right) \times T + \Delta V(p - p^0)$$

Только в случае синтеза CVD необходимо признать, что процесс идет в условиях, когда по данным таблицы 2  $\Delta G_{T,p} > 0$ . Получаем для синтезов 1-3 в Таблице 1, соответственно

$$\Delta G_{3000K,15GPa} = -11.8 \text{ кДж/моль}; \Delta G_{1600K,8GPa} = -6.5 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta G_{1000K,15GPa} = 5.9 \text{ кДж/моль}$$

2) Синтез CVD следует использовать для оценки энтальпии образования кристалла наноалмаза. Эта энтальпия должна быть существенно меньше, чем величина для объемных образцов, приведенная в таблице 2. (*Объемными* следует считать все образцы с характерным диаметром больше 20 нм.) Получаем

$$\Delta G_{T,p} = 0 = \Delta H_{f,298K}^0 - \Delta \left( -\frac{G_T^0 - H_{298K}^0}{T} \right) \times T + \Delta V(p - p^0)$$

$$\Delta H_{f,298K}^0 = \Delta \left( -\frac{G_{1000}^0 - H_{298K}^0}{T} \right) \times T - \Delta V(p - p^0),$$

Получаем  $\Delta H_{f,298K}^0(5nm) = -4.04$  кДж/моль

3) Эффективные константы скорости подсчитываются по формуле

$$k = \frac{\pi d^3}{6 \Delta t} \left\{ \frac{\text{нм}^3}{\text{с}} \right\}.$$

Получаем  $\ln k_{3000} = 18.69$ ;  $\ln k_{1600} = 2.45$ ;  $E_A = 462.9$  кДж/моль, что значительно выше, чем приводимая в литературе оценка.

### Нанолазеры на основе оксида цинка

Недавно ученые обнаружили, что оксид цинка, выращенный в виде цилиндрических наностержней диаметром 20 – 150 нм (рис), способен выступать в роли миниатюрного полупроводникового источника лазерного излучения. Эффективность работы такого устройства зависит от формы и взаимного расположения стержней друг относительно друга. Форма и размеры нанокристаллов оксида цинка зависят от скорости испарения вещества и положения подложки – основы, на которой происходит рост кристаллов. Добиться параллельного расположения наностержней оксида цинка ученым удалось, используя метод газофазного химического транспорта паров оксида цинка на подложку из нитрида галлия, покрытую тонким слоем золота.

1. Оцените, сколько атомов цинка входит в состав наностержня диаметром 20 нм и длиной 1 мкм, если известно, что плотность оксида цинка равна  $5,75 \text{ г/см}^3$  .?
2. Предложите 4 метода получения оксида цинка.
3. Оксид цинка – очень тугоплавкий ( $t_{пл} \sim 2000 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Как можно получить пары этого вещества? Предложите два способа.
4. На чем основан принцип действия полупроводникового лазера?
5. Какие применения может найти нанолазер?

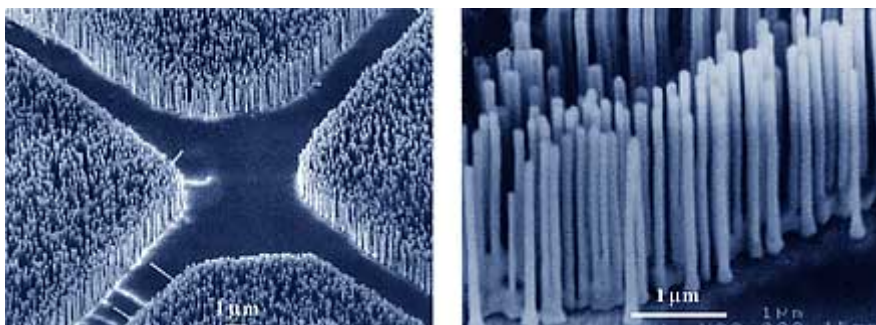


Рис. Микрофотографии наностержней оксида цинка при различном увеличении

Решение

1. Наностержень условно можно представить в виде цилиндра. Его объем  $V = \pi R^2 h = 3,14 \cdot (10^{-6} \text{ см})^2 \cdot 0,1 \text{ см} = 3,14 \cdot 10^{-13} \text{ см}^3$ . Масса цилиндра  $m = \rho V = 5,75 \cdot 3,14 \cdot 10^{-13} = 1,806 \cdot 10^{-12} \text{ г}$ .  
 $\nu(\text{ZnO}) = 1,806 \cdot 10^{-12} / 81 = 2,23 \cdot 10^{-14} \text{ моль}$   
 $\nu(\text{ZnO}) = \nu(\text{Zn})$ ,  $N(\text{Zn}) = \nu \cdot N_A = 2,23 \cdot 10^{-14} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,34 \cdot 10^{10}$ .
2.  $2\text{Zn} + \text{O}_2 = 2\text{ZnO}$   
 $\text{ZnCO}_3 = \text{ZnO} + \text{CO}_2$   
 $2\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 = 2\text{ZnO} + 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$   
 $\text{Zn}(\text{OH})_2 = \text{ZnO} + \text{H}_2\text{O}$   
 $2\text{ZnS} + 3\text{O}_2 = 2\text{ZnO} + 2\text{SO}_2$

3. Небольшие количества паров оксида цинка можно получить лазерным разогревом поверхности ZnO. Другой способ – испарение цинка ( $t_{\text{кип}} \sim 900 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и окисление паров цинка кислородом.
4. В полупроводниковом лазере активная среда – это электронно-дырочный газ, а рабочей областью является р-п – переход. При подаче на анод полупроводникового диода положительного потенциала, происходит смещение электронов из n-области в р-область и обратный переход дырок. Электроны и дырки, оказавшиеся вблизи, спонтанно рекомбинируют с выделением фотона, то есть излучая свет. Если электрон и фотон находятся вблизи в течение времени, достаточного для прохождения через эту область фотона определенной (резонансной) частоты, возможна рекомбинация электрона и дырки с выделением второго фотона, обладающего теми же характеристиками, что и первый протон. Полупроводниковый лазер представляет собой плоский р-п-переход большой площади. Он представляет собой тонкий полупроводниковый кристалл, верхний слой которого легирован по n-типу, а нижний – по р-типу. Торцовые грани кристалла параллельны и тщательно отполированы, образуя оптический резонатор. Фотон спонтанного излучения, многократно проходя вдоль резонатора, вызывает лавину фотонов, то есть лазерное излучение. Длина излучения полупроводникового лазера зависит от ширины запрещенной зоны.
5. Нанолазеры – это высокоэффективные миниатюрные источники света. Они могут найти применение в микроанализе, медицине, системах хранения данных, дисплеях компьютеров. Подсчитано, что замена использующихся сегодня для записи на CD красных лазеров на нанолазеры, приведет к возрастанию плотности записи более чем в тысячу раз.

### **Нанотрубки для водородной энергетики**

Водород считается самым перспективным синтетическим топливом: он – легкий, энергоемкий, достаточно доступный и экологический чистый: продукт его окисления – чистая вода.

1. Сравните удельные теплоты сгорания (кДж/г) водорода, углерода и углеводов – метана и бензина ( $\text{C}_8\text{H}_{18}$ ). Продуктами сгорания считайте углекислый газ и жидкую воду. Необходимые термодинамические данные найдите самостоятельно<sup>1</sup>. Какое топливо наиболее энергоемко?

2. Максимальная полезная работа, совершаемая с помощью химической реакции, равна уменьшению энергии Гиббса реакции. Вычислите максимальную работу, совершаемую при сгорании 1 кг водорода электродвигателем, связанным с водородным топливным элементом. Какое расстояние может проехать за счет этой энергии автомобиль массой 1000 кг, если КПД электродвигателя равен 50%? Необходимые термодинамические данные найдите самостоятельно. Коэффициент трения примите равным 0.1.

На пути к широкому практическому использованию водорода в энергетике надо решить ряд глобальных технических проблем, главная из которых – компактное и безопасное хранение водорода.

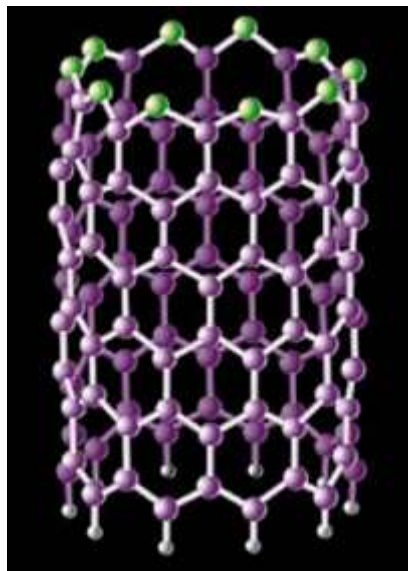
Идеальное устройство для хранения водорода должно содержать большой процент водорода в небольшом объеме и легко отдавать его по мере необходимости. Было предложено несколько принципиально разных подходов к хранению водорода, один из которых основан на использовании углеродных материалов, в частности нанотрубок. В «Водородной программе» Министерства энергетики США (1992) был установлен следующий критерий: для создания эффективного топливного элемента необходимо

<sup>1</sup> Приведем две ссылки: 1) база данных ИВТАН: <http://www.chem.msu.ru/rus/handbook/ivtan/welcome.html>,  
2) база данных NIST: <http://webbook.nist.gov/chemistry/>

добиться аккумулирующей способности углерода  $63 \text{ кг H}_2 / \text{м}^3$  (6.5 мас.%  $\text{H}_2$ ). С тех пор началась и сейчас достигла апогея гонка за процентами водорода. На сегодня рекордный материал содержит 18 мас.% H.

3. В каком химическом соединении массовая доля водорода максимальна? Чему она равна? Рассматриваются только наиболее распространенные изотопы элементов.

4. Один из механизмов поглощения водорода нанотрубками – хемосорбция, то есть адсорбция водорода  $\text{H}_2$  на поверхности трубки с последующей диссоциацией и образованием химических связей C–H. Чему равна максимально возможная массовая доля

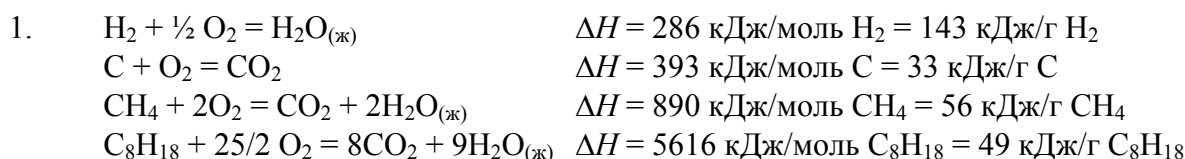


водорода в нанотрубках, которая может быть получена путем хемосорбции? Чему равна доля связанных с водородом атомов углерода, если массовая доля водорода составляет 6.5%?

5. Хемосорбция не очень удобна для связывания водорода, так как трудно извлечь связанный водород: связи C–H полностью разрываются лишь при  $600^\circ\text{C}$ . Гораздо более удобным механизмом для связывания является обратимая физическая адсорбция молекулярного водорода посредством ван-дер-ваальсова взаимодействия. Используя геометрические представления, оцените, какова будет массовая доля водорода  $\text{H}_2$ , плотно заполнившего внутреннюю полость длинной углеродной нанотрубки диаметром  $d$  нм и длиной  $l$  нм ( $l \gg d \gg 1$ ). Поверхность нанотрубки образована правильными шестиугольниками со стороной 0.142 нм. Молекулу водорода считайте шаром диаметром 0.3 нм.

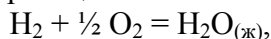
6. Назовите два других, не связанных с углеродом, способа хранения водорода, и укажите по одному их главному, на ваш взгляд, преимуществу и недостатку.

### Решение



Водород имеет наибольшую удельную теплоту сгорания.

2. Для реакции



которая протекает в водородном топливном элементе, изменение энергии Гиббса при 298 К равно:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S = -286 - 298 \cdot (-163 \cdot 10^{-3}) = -237 \text{ кДж/моль H}_2 = -119 \text{ кДж/г H}_2.$$

Работа, совершенная при сгорании 1 кг  $\text{H}_2$  с КПД 50%, равна  $119 \cdot 10^3 \cdot 0.5 = 59 \cdot 10^3$  кДж.

Расстояние равно работе, деленной на силу трения:

$$l = \frac{W}{F_{\text{тр}}} = \frac{W}{k_{\text{тр}} mg} = \frac{59 \cdot 10^6}{0.1 \cdot 1000 \cdot 9.8} = 60200 \text{ м} = 60 \text{ км}.$$

3. Наибольшая массовая доля водорода – в метане,  $\text{CH}_4$ . Она составляет 25%.

4. Каждый атом углерода в графите или нанотрубке может присоединить один атом водорода. В этом случае массовая доля водорода максимальна и равна  $1 / (1+12) = 0.077 = 7.7\%$ .

Пусть 1 моль С присоединил  $x$  моль Н, тогда массовая доля водорода составит:

$$\omega(\text{H}) = \frac{x}{x+12} = 0.065,$$

откуда  $x = 0.83$ . Доля связанных атомов углерода составит 83%, то есть примерно 5/6.

5. Нанотрубка имеет форму цилиндра длиной  $l$  и диаметром  $d$ . Объем трубки  $V = \pi d^2 l / 4$ , ее поверхность  $S = \pi d l$ . Число шестиугольников на поверхности трубки равно отношению площади трубки к площади шестиугольника:

$$N_{\text{шестиуг.}} = \frac{S}{S_{\text{шестиуг.}}} = \frac{\pi d l}{\frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot 0.142^2} = 60 d l.$$

Каждый атом углерода принадлежит трем шестиугольникам, следовательно на один шестиугольник приходится  $6/3 = 2$  атома углерода, значит общее число атомов С в нанотрубке:  $N_{\text{C}} = 120 d l$ .

Найдем число молекул водорода. Известно, что шары при плотнейшей упаковке занимают 74% от объема пространства. Число шаров в полости трубки равно отношению 74% объема трубки к объему молекулы:

$$N_{\text{H}_2} = \frac{0.74 \cdot V}{V_{\text{H}_2}} = \frac{0.74 \cdot \frac{\pi d^2 l}{4}}{\frac{1}{6} \cdot \pi \cdot 0.3^3} = 41 d^2 l$$

Массовая доля водорода:

$$\omega(\text{H}_2) = \frac{2N_{\text{H}_2}}{2N_{\text{H}_2} + 12N_{\text{C}}} = \frac{82 d^2 l}{82 d^2 l + 1440 d l} = \frac{d}{d + 17.6},$$

где  $d$  выражено в нм. При диаметре 3 нм массовая доля водорода внутри трубки может достигать 15%.

### Фуллерен в медицине

Фуллерен  $\text{C}_{60}$  проявляет биологическую активность. Уже сегодня можно говорить о реальном использовании фуллеренов в медицине. Возможно, в ближайшие годы появятся в аптеках лекарства, в состав которых войдут фуллерены.

1) Ниже перечислены физические и химические свойства  $\text{C}_{60}$ . Выберите из списка свойства фуллерена, на которых могут быть основаны применения в медицине. Коротко объясните, как данное свойство способствует медицинскому действию.

#### Список свойств.

Высокая температура плавления; внешний размер молекулы (диаметр - около 1 нм); высокая ( по сравнению с графитом!) летучесть; фотофизические свойства; особое строение молекулы: высокая симметричность, наличие внутренней полости; растворимость в ароматических соединениях; наличие в структуре пятичленных колец из атомов углерода; наличие в структуре шестичленных колец из атомов углерода; склонность к реакциям нуклеофильного присоединения; адсорбционные свойства; гидрофобность; каталитическая активность; кислотно-основные свойства; электрохимические свойства.

Ответ: Фотофизические свойства – значительное время жизни электронновозбужденного состояния  $\text{C}_{60}$ , образование за счет сенсбилизации *синглетного кислорода*, который используется в фотодинамической терапии; Склонность к реакциям нуклеофильного присоединения – захват свободных радикалов, антиоксидантная активность; Особое строение молекулы – наличие внутренней полости у молекулы  $\text{C}_{60}$ , возможность синтеза эндодральных соединений, соединение с гадолинием – контрастное вещество в MRI

(магнитно-резонансная томография?), Гидрофобность + внешний размер молекулы – молекула физически блокирует гидрофобный активный центр ВИЧ-протеазы.

2) Растворимость фуллерена  $C_{60}$  в воде практически равна нулю ( $10^{-13}$  М, согласно оценкам). Это свойство фуллерена служит серьезным препятствием для медико-биологических исследований. Предложено несколько способов перевода  $C_{60}$  в водную среду.

Ниже приводится список из двенадцати химических веществ. Четыре из них способствуют переходу фуллерена в воду.

Назовите эти вещества и поясните коротко, каким образом они способствуют сольюбилизации  $C_{60}$  в  $H_2O$ .

Список веществ.

Ацетонитрил, Диметилсульфат, уксусная кислота, малоновая кислота, толуол, перманганат калия, хлорид натрия,  $\gamma$  – циклодекстрин,  $(C_{12}H_{25}SO_4Na)$ ,  $C_6H_5CHO$ , циклогексан, этанол.

Ответ: Малоновая кислота (химическая модификация фуллерена, пришиты гидрофильные группы);  $(C_{12}H_{25}SO_4Na)$  (поверхностно-активное вещество, образует с фуллереном мицеллярный раствор);  $\gamma$  – циклодекстрин (образует с фуллереном растворимый в воде комплекс гость-хозяин, внутри циклодекстрина – полость нужного размера), толуол (метод смены растворителя, толуол – один из лучших растворителей  $C_{60}$ , соединяют два несмешивающихся растворителя, воду и толуольный раствор фуллерена, обрабатывают ультразвуком.).

### **Энтальпия образования углеродных нанотрубок**

Углеродные нанотрубки – один из самых популярных объектов нанохимии. Потенциально они имеют множество применений – в катализе, энергетике, электронике. Для реализации этих возможностей необходимо детально исследовать свойства нанотрубок. В этой задаче мы рассмотрим физико-химические свойства одностенных углеродных нанотрубок.

1. Что такое энтальпия образования  $\Delta H_f^0(OT)$  одностенной углеродной нанотрубки?

Напишите уравнение реакции, энтальпия которой равна  $\Delta H_f^0(OT)$ . В каких единицах можно измерить  $\Delta H_f^0(OT)$ ? Какой знак будет иметь эта величина, положительный или отрицательный?

2. Предложите по возможности наиболее простой экспериментальный метод определения  $\Delta H_f^0$  углеродной нанотрубки.

3. При определении величины энтальпии образования химического вещества необходимо точно охарактеризовать его с помощью физических параметров, иначе приводимое значение энтальпии не будет иметь смысла. Выберите из приводимого ниже списка минимальный набор параметров, однозначно описывающий состояние одностенной углеродной нанотрубки:

(1) Температура, (2) Плотность, (3) Внешнее давление, (4) Электропроводность, (5) Длина нанотрубки, (6) Диаметр нанотрубки, (7) Растворимость в бензоле, (8) Растворимость в воде, (9) Площадь поверхности в расчете на грамм веса, (10) Константа скорости реакции окисления, (11) Хиральность нанотрубки

Ответы

1. Энтальпия образования равна энтальпии реакции образования соединения из простых веществ. В нашем случае



Величина может быть измерена только в единицах энергии на единицу массы.



$\Delta H_f^0(OT)$ , вероятно, будет величиной положительной. Именно положительная энтальпия делает нанотрубки термодинамически неустойчивыми относительно графита (по аналогии с фуллеренами).

2. Самый простой способ - определить энтальпию сгорания грамма нанотрубок с образованием  $CO_2$ .

$$\Delta H_f^0(OT) = \Delta H_{\text{сгорания}}^0(\text{графит}) - \Delta H_{\text{сгорания}}^0(OT)$$

3) Возможный набор: (1)+(3)+(5)+(11). Хиральность однозначно определяет диаметр! (1)+(3)+(5)+(6) – правильный ответ, но я бы дал дополнительное очко тому, кто поставит (11) вместо (6).

Очный тур Олимпиады 2008 г. состоял из компьютерного тестирования и экспериментальной задачи на сканирующих зондовых микроскопах [компании НТ МДТ](#). Компьютерный тест в виде викторины для школьников проходил в компьютерном классе [факультета наук о материалах](#), а у "взрослых" - в [компьютерном классе химического факультета МГУ](#). Соответственно, школьники "решали" задачу на СЗМ в отделении [физического факультета центра коллективного пользования МГУ](#), а "взрослые" - в [отделении ФНМ ЦКП МГУ](#).



Компьютерное тестирование очного тура (2008 г.)



Подготовка к решению экспериментальной задачи очного тура



Решение экспериментальной задачи на АСМ школьниками

## «Нановикторина» очного тура Олимпиады

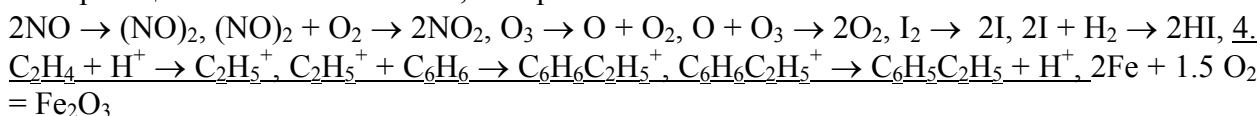
(составлена на основе идей проф. А.Ремпеля (Екатеринбург), В.Еремина (Москва))

Инструкции по решению викторины:

1. Блок задач «школьники» решают в обязательном порядке только «школьники» и «абитуриенты». Остальные задачи ими решаются по желанию, а баланс правильных и неправильных ответов на остальные вопросы учитывается в пользу участника при равенстве баллов за ответы на «школьный» блок с остальными участниками своей возрастной группы.
2. Все остальные участники отвечают на произвольное число вопросов по их желанию, при этом ответы на «школьные» вопросы учитываются только при равенстве баллов за основные ответы с участниками – «конкурентами».
3. На каждый вопрос существует единственно верный ответ.
4. На вопросы викторины можно ответить только один раз (результаты выбора ответов являются окончательными).

*(подчеркнутые ответы - правильные)*

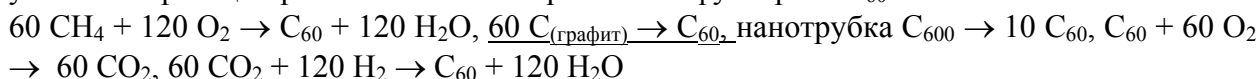
**Вопрос 1.** По мотивам задачи «Нанокластерный катализ». Ниже приведены механизмы пяти реакций. Укажите те из них, которые являются каталитическими.



**Вопрос 1.** По мотивам задачи «Водородная энергетика». Сколько теплоты можно получить при сжигании водорода, полученного из 1 кг углеродных нанотрубок, содержащих 6,5 мас.% водорода? Для реакции  $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$   $\Delta_r H^\circ = -286$  кДж/моль  $\text{H}_2$ ,  $\Delta_r G^\circ = -237$  кДж/моль  $\text{H}_2$ .

9.3 кДж, 93 кДж, -93 кДж, 9300 кДж, водород сгорать не будет, потому что защищен инертными углеродными нанотрубками (1 кг нанотрубок содержит 65 г, или 32,5 моль  $\text{H}_2$ ,  $Q = n|\Delta_r H^\circ| = 32,5 \cdot 286 = 9300$  кДж)

**Вопрос 3.** По мотивам задачи «Энтальпия образования...». Энтальпия какой из указанных реакций равна энтальпии образования фуллерена  $\text{C}_{60}$ ?



**Вопрос 4.** По мотивам задачи «Липосомы...». Укажите, какие вещества входят в состав липосом.

Белковые молекулы, РНК, липиды, ДНК, углеводы, ПАВ

**Вопрос 5.** Кто изобрел термин «серая слизь»

Рейган, Клинтон, Фейнман, Бредбери, Дрекслер

**Вопрос 6.** В какое время появились термины «Наноматериалы» и «Нанотехнологии»

Они были еще со времен алхимиков, в середине XX века, в конце XX века, в начале XXI века, их своими опытами фактически ввел М.В.Ломоносов

**Вопрос 7.** Какой из перечисленных способов **не** используется при получении наноматериалов?

Ковка, кручение, высокотемпературный отжиг, помол, низкотемпературный отжиг

**Вопрос 8.** Какие из перечисленных объектов имеют нанометровые размеры?

Вирусы, микробы, бактерии, муравьи, молекулы аминокислот

**Вопрос 9.** Какое из соотношений линейных размеров является наибольшим

Высота «высотки МГУ» со шпилем к «росту» воробья, размер МЭМС к размеру наноробота, размер квантовой точки к размеру монокристалла, размер атома к размеру наночастицы

**Вопрос 10.** Какова размерность квантовой точки?

3, 2, 1, 0

**Вопрос 11.** Чему подобен электронный спектр  $N(E)$  квантовой точки?

Спектру полупроводника, спектру металла, спектру отдельного атома, спектру молекулярного комплекса

**Вопрос 12.** К какой группе методов относится атомно-силовая микроскопия?

Зондовая микроскопия, поляризационная микроскопия, оптическая микроскопия ближнего поля

**Вопрос 13.** Частью какого электронного микроскопа является кантилевер?

Сканирующего туннельного, атомно-силового, просвечивающего высокого разрешения

**Вопрос 14.** Что не мешает применению фуллеренов в медицине

Гидрофобность, высокая цена, наличие ароматической системы связей углерод-углерод, малоизученность процессов взаимодействия наночастиц с живой материей

**Вопрос 15.** Какие из данных веществ принципиально не могут быть использованы для создания нанолазеров

ZnO, CdSe, Si, SiO<sub>2</sub>, ZnS

**Вопрос 16.** Какие из приведенных ниже материалов обладают наибольшей удельной прочностью на разрыв

Паутина, шелковая нить, одностенные углеродные нанотрубки, стальной трос, нановискеры селена

**Вопрос 17.** Для каких веществ невозможно получить наночастицы

Золото, ксенон, нестехиметрический диоксид урана, гидрид палладия, лед

**Вопрос 18.** «Форсайт» - это

Английский писатель, американский политик, лоббировавший нанотехнологическую инициативу, способ прогнозирования, резкий биржевой дефолт, способ синтеза гидрофобных квантовых точек

### Задания творческого конкурса

Нанотехнологии – это не только технологии, но и определенный образ мышления... Они, если перефразировать основателя Московского Университета Михайло Ломоносова, «широко простирают руки в дела человеческие»... И в то же время, существует опасность того, что развитие наноиндустрии может принести и определенный риск.

Ниже приводятся вопросы. Вам нужно написать небольшое эссе на тему, которую задает тот или иной вопрос (текст не больше 1 страницы формата А4, шрифт 12 точек Times New Roman, одинарный интервал, 1-2 иллюстрации). Такое «сочинение» в качестве обязательных элементов должно содержать придуманное Вами название, эпиграф, одно единственное предложение, выражающее основную мысль сочинения, основной текст, красивое окончание. Вы должны художественно убедить собеседника в Вашей правоте и при этом опираться на реальные научные факты! Не забывайте, пожалуйста, и о том, что эссе не должно содержать грамматических и орфографических ошибок...

### Вопросы-темы

- Пять тысяч лет назад человек впервые начал защищать себя одеждой, а сейчас рынок только одной текстильной продукции оценивается суммой в 400 млрд. долларов. При этом наиболее интенсивно развивается производство текстильных материалов, обладающих необычными функциональными свойствами, такими как высокая стабильность по отношению к механическим, химическим и термическим воздействиям, светопоглощающими или светоизлучающими свойствами, водо-,масло- или почвоотталкивающими способностями. Какую роль нанотехнологии

- уже играют или смогут играть в функционализации текстильных тканей? Напишите эссе **«Нанотехнологическая одежда будущего»**
- Американский геолог-астронавт Гавард Шмит, вернувшись из лунной экспедиции, произнес знаменательную фразу «Луна – это запыленное окно в прошлое Земли». Как это утверждение связано с наносостоянием вещества? Напишите эссе **«Лунная пыль»**
  - Какую роль в эволюции Земли сыграло наносостояние вещества? Напишите эссе **«Геология под знаком «нано»»**
  - Около месяца назад в доме ученых РАН состоялось обстоятельное обсуждение темы **«Развитие нанотехнологий – благо, блеф или грядущая катастрофа?»** Как бы Вы ответили на этот вопрос, обосновав свою точку зрения. Напишите эссе на эту тему.
  - В Беркли (Калифорния) принят закон, предписывающий обязательную сертификацию любых нанопродуктов, поступающих в продажу. Есть ли смысл нечто подобное ввести, например, в Москве, и к какому результату это приведет? Напишите эссе **«Тотальный контроль»**.
  - В регионах, прилегающих к действующим вулканам, обнаружено заметное увеличение числа больных раком легких. Чем можно объяснить этот феномен? Напишите эссе **«Огненное дыхание Земли»**.
  - В конце марта этого года на нефтеперерабатывающем заводе в Дагестане произошел грандиозный пожар, который не смогли потушить в течение нескольких суток. Каковы могут быть последствия для людей, постоянно проживающих в этом регионе? Напишите эссе **«Пылающая кровь Земли»**
  - Почему картинка, иллюстрирующая гидрофобность листа лотоса, стала одним из символов в пользу развития нанотехнологий? Объясните это в эссе **«Цветок лотоса»**
  - Попробуйте предложить эффективные системы очистки питьевой воды, основанные на использовании наноматериалов. Напишите эссе **«Без воды жизни нет»**.
  - Внутренние стенки углеродных нанотрубок характеризуются идеальной гладкостью. Как можно использовать это уникальное свойство в технике, в медицине и в быту? Напишите эссе **«Нанотрубчатый быт»**.
  - Как профессиональные болезни, такие как силикоз, бериллоз или цинковая лихорадка связаны с нанодисперсным состоянием соответствующих веществ? Напишите эссе **«Осторожно, «нано»»**

Свободные темы сочинений:

- **«Кем и чем я буду в будущем нанотехнологическом обществе?»**
- **«Откуда происходят российские нанотехнологии?»**
- **«Кто победит в нанотехнологической гонке?»**
- **«Нанотехнологии – сплав наук»**

**Ответы одной из участниц, признанной победителем в творческом конкурсе (Никельшпарг Эвелина Ильинична, школьница (7-9 класс), 15 лет, Россия, Саратов, Гимназия №3**

**Кем и чем я буду в будущем нанотехнологическом обществе?»**

В нанотехнологическом обществе я могу быть кем угодно, ведь это прогресс.

Я могу быть врачом и назначать препараты, в которых содержится фуллерен или другие наночастицы, могу быть учителем, преподавать физику или химию, рассказывая о

чудах техники и открытиях, могу быть домохозяйкой и применять технологии нано, не замечая и тем более не думая об этом; я могу быть астронафтом и подниматься по тросу «космического лифта», а могу быть нанотехнологом, читать последние новости и делать наноткрытие! В будущем я могу быть любым другим ученым и думать о нанотехнологиях постоянно, просыпаясь ночью с карандашом в руках и быстро записывая приснившиеся идеи. В будущем я могу поехать в Китай в поисках Атлантов в пещерах-инкубаторах и попробовать применить технологии нано для их разгадки. В будущем я могу полететь на Марс собирать марсианскую пыль – может она тоже окажется наночастицей, как ... «лунная пыль».

А может, с помощью нано люди станут вечными.

Как бы ни сложилась жизнь, главное – мир во всем мире!

### Цветок Лотоса

Являясь большим поклонницей Востока, я обратила взор на свою коллекцию японских кукол. Удивительно, но цветок лотоса присутствовал в каждом наряде в той или иной вещи: веере, рисунке шелка, украшении прически.



Очевидно, что лотос является одним из важнейших символов Востока и не только. Например, во времена фараонов лотос был символом Нижнего Египта и царской власти: цветок лотоса носила Нефертити. Бог растительности, Нефертум, также олицетворял первозданный лотос и поэтому именовался „молодым солнцем, что возникает из раскрывающегося лотоса“. В индуизме и буддизме лотос фактически один из основных символов космогонии, он олицетворяет чистоту, мудрость, нирвану и многое другое. Кстати, главная буддистская словесная формула (ом-мане-падме-хум) означает просто восхваление сокровища в виде цветка лотоса. В Китае цветок лотоса обожествлялся ещё со времён даосизма, а затем его культ прочно вошёл в буддистскую религию и в национальную культуру.

История почитания лотоса очень интересна, но для современности важнее то, что он действительно обладает необычными физико-химическими свойствами. Благодаря особому строению и очень высокой гидрофобности его листьев и лепестков цветы лотоса остаются удивительно чистыми — именно это поражало наших далёких предков. Цветок, возникший в грязном болоте и оставшийся чистым, незапятнанным, просто не мог не стать символом. Стихотворение средневекового корейского поэта Сон Кана (Чон Чхоль), написанное в форме классического трёхстишия сичжо (в переводе А. Ахматовой), прямо описывает эффект сверхгидрофобности лотоса:

*Чем дождь сильнее льёт,  
Тем лотос всё свежее;  
Но лепестки, заметь,  
Совсем не увлажнились.*

*Хочу, чтобы душа*

*Была чиста, как лотос.*

Вот почему многие химики и материаловеды называют технологии получения сверхгидрофобных покрытий «лотосовыми».

За последние годы «лист лотоса» стал использоваться как самый обыкновенный технический термин. Исследователи пытаются в который раз повторить природу и создать поверхность, обладающую свойствами листа лотоса.

## Лунная Пыль

*А сверху луна холодна...*

*Плывет в океане малютка Луна*

*по книге Н. Носова «Незнайка на Луне»*

### Волшебное Поле Луны

Считается, что Луна – это Земля 4 млрд. лет назад. Я считаю, что Луна и Земля имеют схожие черты, но все же в развитии различаются. Во-первых, Луна гораздо меньше Земли, поэтому на ней не может сформироваться атмосфера, и ее будущее в плане развития аэробных существ бесперспективно. Во-вторых, Луна холоднее Земли и «согреться» уже не сможет, если, конечно, не произойдет какой-нибудь катаклизм. Есть, безусловно, и другие причины так полагать, к примеру, та же вода и перепады температур, но не о них речь.

Лунная пыль – очень мелкая и сухая, и, казалось бы, довольно скучный предмет. Но на деле это далеко не так. Во-первых, она может оказаться крайне опасной и для будущих постоянных обитателей лунной базы («Ядовитая лунная пыль»), и для аппаратуры («Опасная мелочь»). Острые частицы царапали прозрачный материал шлемов, забивали сочленения, покрывали стекла датчиков, мешая считыванию информации. Во-вторых, и для науки она представляет весьма большой интерес. Можно просеять тонны этой пыли – и не найти ни единой молекулы воды (в самом сухом песке на Земле воды содержится изрядное количество). А можно взглянуть на нее и с другой стороны – со стороны Солнца.

Солнечный ветер – поток высокоэнергетических заряженных частиц, исходящий от нашего светила – постоянно бомбардирует лунную поверхность, в отличие от Земли, магнитосфера которой отклоняет львиную долю ветра. А значит, лунная пыль подвергается неизменному воздействию этих заряженных частиц. Чем это чревато – изучила группа ученых из Лаборатории пылевой плазмы (Dusty Plasma Laboratory), подвергая образцы лунной пыли бомбардировке электронами.

Эта ее «прилипчивость» связана с электростатическим зарядом. Действительно, именно из-за воздействия лунного ветра лунная пыль электризуется. Именно этот процесс и моделировали ученые в лаборатории.

В одном из опытов оказалось, что при бомбардировке положительно заряженной пылинки отрицательно заряженными электронами, ее положительный заряд только усиливается! Как считает Миан Аббас, это может происходить из-за того, что каждый быстро летящий электрон выбивает другие электроны из пылинки, тем самым унося с нее отрицательные заряды.

Но даже это еще не все. Пылинки далеко не всегда ведут себя подобным образом; все зависит от целого ряда факторов, в том числе размеров частицы, ее заряда и интенсивности электронной бомбардировки. Более того, такое воздействие создает слабое электрическое поле, охватывающее весь спутник: изменение заряда пылинок под воздействием солнечного ветра вызывает появление разницы потенциалов между разными сторонами Луны.

Нановещество Луны обладает удивительным свойством : под действием солнечного света каждая частичка обретает заряд, что способствует формированию внешнего электрического поля Луны.

## Нанотехнологическая одежда будущего.

Одежда зависит от Моды и Погоды

Из собственных сочинений

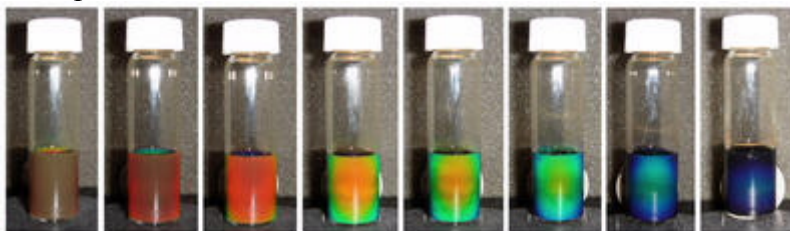
Какой будет одежда будущего, никто не знает, так же как мы не знаем, каким будет само *Будущее*. Но ведь так интересно подумать, какие изменения нас ждут и почему они могут возникнуть.

Для начала нужно подумать, какие функции выполняет одежда. Во-первых, это защита (от морозов, жары, ветра, влаги и т.д.). Сделав одежду более прочной и оснащенной автономной терморегуляцией с помощью нанотехнологий, мы сможем носить то, что нам нравится, в любую погоду! Для прочности можно использовать нанотрубки, а, как известно, их прочность выше стали.

Но не стоит забывать и о профессиональной одежде: о халатах, фартуках, гидрокостюмах и космических скафандрах. Докторам и химикам необходимо создать не пачкающуюся ткань, которая препятствовала бы диффузии между растворами и одеждой или сделать материал водоотталкивающим, что свойственно нанотрубкам. А гидрокостюм и скафандр должны быть в первую очередь прочными и герметизированными, а также легкими.

Вторая задача одежды – это красота! Одежда зависит от моды и погоды, но, если мы избавимся от проблемы погоды, то будем думать только о внешнем виде.

С помощью нанотехнологий можно менять цвет одежды. Ученые из Калифорнийского университета, Риверсайд (University of California, Riverside), научились контролировать цвет растворенных в воде наночастиц с помощью обычного внешнего магнитного поля. Такое открытие может найти применение в создании новых, более качественных дисплеев, электронной бумаги, чернил, меняющих цвет под влиянием электромагнитного поля, и, конечно же, нашего одеяния.



*Изменение цвета раствора оксида железа в воде под действием магнитного поля. Величина поля возрастает слева направо.*

В своих экспериментах ученые обнаружили, что изменение величины внешнего магнитного поля приводит к изменению цвета раствора наночастиц. Механизм такого поведения состоит в следующем: при изменении поля меняется расположение сферических наночастиц оксида железа в растворе. Таким образом, меняется характер прохождения и отражения света раствором, что и видно, как изменение цвета.

Если в ткань такого рода будет встроен датчик магнитного поля, показания которого мы сможем регулировать, то цвет одежды будет меняться в зависимости от нашего желания. Также можно сделать абсолютно гладкую поверхность материала. Внутренняя сторона нанотрубок имеет гладкую поверхность. Если удастся покрыть ею, например, колготки, то получится «идеальная фактура кожи». Хорошо было бы, если и цвет подстраивался под настоящий. Не удивлюсь, если в будущем будут говорить: «ненастоящая кожа».

Большое значение уделяется и парфюму. При приобретении одежды, она ничем не пахнет. Мы выбираем духи, брызгаем в определенное место, а оттуда нанороботы распространяют аромат равномерно по всей поверхности, причем в той концентрации, которая указана на флаконе.



В одежде есть и еще один недостаток – непрочность. Рано или поздно она снашивается, рвется или растягивается. Что если с использованием нанотехнологий создать курсирующих нанороботов, которые при обнаружении дефекта смогли бы ремонтировать поврежденную часть.

С помощью нанотехнологий можно не только облегчить существование, но и украсить его. Даже повседневную одежду можно сделать прочнее, долговечнее, красивее и эффективнее.

### **Нанотехнологии – это страшное благо.**

Люди научились контролировать природу, освоили космические пространства, теперь они могут повелевать материей. Не слишком ли большая ответственность легла на их плечи?

С помощью нанотехнологий они могут в корне изменить природу вещества, всю живую и неживую природу! Они меняют структуру ДНК в овощах и фруктах, результат этого будет виден лишь через 50 - 70 лет на их детях. Они способны создавать искусственные атомы и вещества, свойства которых смогут быть известны только после их создания. Они создают ядерные бомбы, способные уничтожить все живое на Земле. Они распространяют вирусы, которые изучают или создают. Нанотехнологии – это хорошо?

Да, это хорошо. Они спасут людей от рака, они излечат эпилепсию, они защитятся от ВИЧ.

Но люди – существа алчные. Они не смогут остановиться на этом. Они будут искать пути к бессмертию, которое не нужно, захотят создать идеальный мир, который станет адом, захотят подчинить всю вселенную! Да, звучит даже чересчур грандиозно и немного несуразно, но кто может утверждать, что этого не случится!

Они захотят предсказывать будущее и, наконец, повелевать единственным, что им до сих пор не доступно, – временем. А что потом? Если, конечно, «потом» будет...

Не все так хорошо и просто, как нам кажется! За возможностью исцеления и жизни не стоит ли цель нести разрушение и смерть! Чем мельче твое оружие, тем больше в нем силы и тем крупнее будут разрушения от него. Не крупнее, а глобальнее и сильнее! Чем больше у тебя силы, тем больше власти и тем больше хочется показать ее и применить! Это обратнопропорциональная связь! Причем обе величины измеряются  $10^3$ ,  $10^6$  и  $10^9$ !

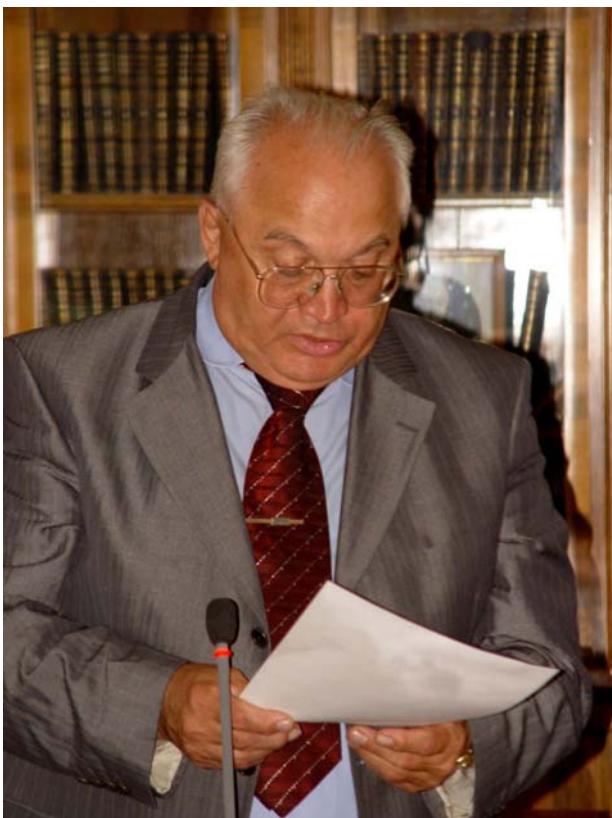
## Церемония закрытия Олимпиады 2007 г.

27 июня в 13-00 в Зале Заседаний Ученого Совета МГУ (9 этаж Дома Культуры МГУ) состоялась официальная церемония закрытия Первой Всероссийской Интернет-Олимпиады "Нанотехнологии- прорыв в будущее!", организованной Московским Государственным Университетом.

В повестке дня были следующие основные вопросы:

1. Вступительное слово  
Председатель Олимпиады, Ректор МГУ, академик В.А.Садовничий
2. Итоги проведения Интернет-олимпиады  
Сопредседатель, академик Ю.Д.Третьяков, чл.-корр. РАН Е.А.Гудилин
3. Награждение победителей  
Председатель Олимпиады, Ректор МГУ, академик В.А.Садовничий
4. Награждение призеров  
Представители инновационных компаний и средств массовой информации, чл.-корр. РАН Е.А.Гудилин
5. Выступления
6. Фотографирование

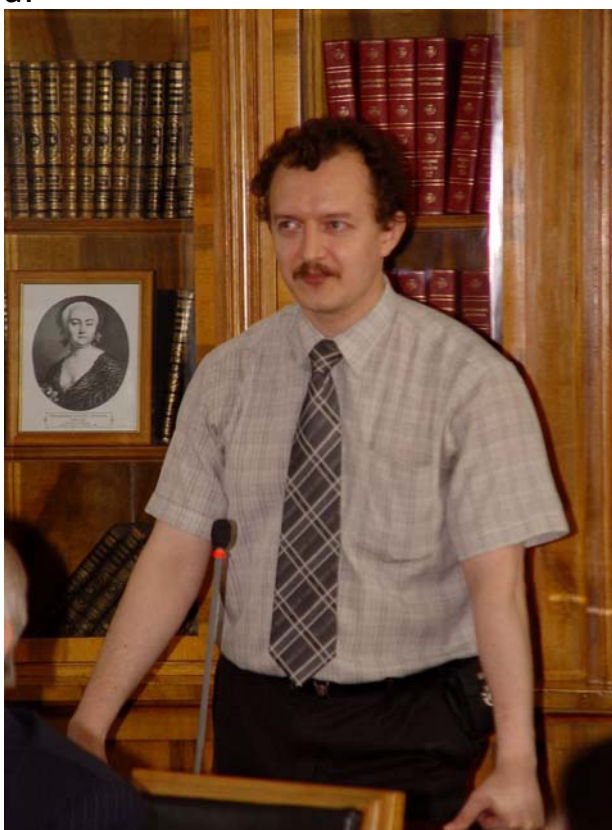
27 июня 2007 года были подведены итоги Первой Всероссийской Интернет-олимпиады «Нанотехнологии – прорыв в Будущее!», поддержанной [инновационным образовательным проектом МГУ](#) и [исследовательским центром компании Самсунг](#). Победители и призеры получили денежных призов и подарков от спонсоров в общей сложности на 200 000 рублей. Главный результат – новые знания и опыт, полученные участниками. Церемония проходила в Зале Заседаний Ученого Совета МГУ под председательством Ректора МГУ, академика РАН Виктора Антоновича Садовничева, в присутствии членов Российской Академии Наук, ученых, преподавателей, профессоров МГУ, представителей инновационных компаний, работающих в сфере нанотехнологий, а также средств массовой информации. Зал вместил победителей, призеров Олимпиады и еще более 50 гостей.



а.



б.



в.

Рис.1.

(а). Ректор МГУ им.М.В.Ломоносова, академик РАН В.А.Садовничий зачитывает текст правительственной телеграммы в адрес участников и организаторов Интернет-олимпиады.

(б). Декан факультета наук о материалах МГУ им.М.В.Ломоносова, академик РАН Ю.Д.Третьяков делает доклад об итогах Интернет-Олимпиады.

(в). Е.А.Гудилин рассказывает о работе жюри Интернет-олимпиады.

## Победители и призеры 2007 г.

*Фоторепортаж непосредственно с места награждения (фотографы - Д.Семененко (ФНМ МГУ) и Ф.Напольский (ФНМ МГУ)).*

Результаты олимпиады в отношении победителей оказались и неожиданными, и ожидаемыми. Неожданными – потому, что получился достаточно большой разброс географических мест, в которых жили и творили призеры – от Минска (столица союзного государства) и до Камчатки. Наверное, это все же очень хорошо. Москва не показала абсолютной силы, лишь один из победителей – Евгений Смирнов (факультет наук о материалах МГУ) был из Московского Государственного Университета, однако он, несомненно, был в очень большом отрыве (причем по подтвержденным агентурным сведениям делал все сам, делал долго и упорно). Неожданными – потому что нашлись те, кто блестяще решил задания, которые мы считали очень трудными. А ожидания наши оправдались в том, что нашлись те, кто победил достойно и бесспорно. В России (и Интернете) – много талантливых и умных ребят и девушек. Кстати, представительницы прекрасного пола проявили себя в Олимпиаде с самой лучшей стороны. Вот очень мнение одного из участников: «... по-моему олимпиада прошла, как нельзя лучше. ... И она действительно стала стимулом для самообразования в области нанотехнологий. Я хочу как можно лучше подготовиться к следующей олимпиаде и участвовать в ней. К тому же, все, что связано с нано - новое, передовое и очень интересное. ... В целом олимпиада мне очень понравилась. К тому же Интернетом может пользоваться огромное количество людей, а вот приехать на очный тур смогут немногие. Поэтому такая Интернет-олимпиада - очень удачное изобретение. Спасибо огромное организаторам!»



Уникальная фотография - победитель Е.А.Смирнов в окружении двух действительных членов Российской Академии Наук - Ректора МГУ им.М.В.Ломоносова В.А.Садовниченко (слева) и декана факультета наук о

материалах Ю.Д.Третьякова (на ФНМ МГУ Е.А.Смирнов учится на 3 курсе).



Евгений Смирнов (в центре, 1 место) в окружении не менее успешных участниц - А.А.Семеновой (слева) и М.Е.Гордей (справа).



А.В.Савостьянова с удовольствием рассматривает диплом, только что полученный из рук Ректора МГУ академика РАН В.А.Садовничева на церемонии награждения победителей Интернет-Олимпиады



Е.А.Степанов степенно принимает официальные поздравления.



А.И.Дмитриев получает диплом за 3 место из рук Ректора МГУ академика В.А.Садовнического



Е.Г.Евтушенко получает диплом от Ректора МГУ как лучший знаток сканирующей зондовой микроскопии.



М.Е.Гордей получает приз по номинации "Содружество" от компании NT MDT



А.Р.Набиуллин (Минск) принимает дружественный диплом от Ректора МГУ академика РАН В.А.Садовничева



Награждение А.Ю.Полякова - самого романтичного участника. И самого прагматичного - он уже поступил на факультет наук о материалах МГУ!



Д.Н.Дирин (ФНМ МГУ) получает приз "За волю к победе" от декана ФНМ МГУ академика Ю.Д.Третьякова



Третьекурсница из Улан-Удэ А.А.Семенова получает свой диплом.





Нанотехнологическое братство ВУЗов - К.В.Малютин (МИСиС) получает диплом за свою железную волю к победе. Нанотехнологиям все возрасты покорны.



К.В.Малютин получает оригинальный приз от представителя компании Самсунг (в прошлом - выпускника ФНМ МГУ) И.В.Гольдта.



Зарубежная участница Э.А.Иллин в форменной одежде за работой в "чистой комнате" в Германии.



"Лучший" школьник" К.К.Ярцев (Камчатка) во время своего скоротечного визита на химический факультет МГУ с заслуженным дипломом в руках.



Е.С.Козлякова собственной персоной.

## Сведения о победителях и их мнения об олимпиаде

**Смирнов Евгений Алексеевич**, ПЕРВОЕ абсолютное место. Студент 2 курса Московского Государственного Университета им. М. В. Ломоносова, Факультет Наук о Материалах.

1. Откуда Вы слышали о наноматериалах и нанотехнологиях? «Во-первых, это журнал, который я постоянно читаю, чтобы расширить свой кругозор, "Вокруг Света". Он, собственно, и стал первым источником сведений о наноматериалах и нанотехнологиях. Во-вторых, статьи и книги, которые были прочитаны в ходе работы в лаборатории. В-третьих, СМИ, а точнее, телевидение. Сейчас правительство приняло программу развития нанотехнологий в России и, соответственно, это осветили в СМИ.»

2. Скажется ли и как скоро внедрение наноматериалов и нанотехнологий на Вашей жизни? «Я думаю, что скажется и в самое ближайшее время... хотя, если подумать, то уже сказывается, ведь те же компьютеры, сотовые телефоны, миниатюрные устройства, способные быстро измерить уровень сахара в крови у диабетика, и многое-многое другое. В будущем же, на мой взгляд, нанотехнологии разовьются настолько, что человеку при потере какого-либо органа вырастят такой же новый за считанные часы, нанороботы будут постоянно следить за нашим здоровьем, а так же будут помогать строить здания в километры высотой, прокладывая углеродные нанотрубки внутри новых сортов бетона... Правда, такой фантастический мир наступит не скоро, лет через 50, как минимум.»

3. Хотели бы Вы посвятить карьеру нанотехнологиям и в какой области их приложения? «Надеюсь, что так и получится. Хотелось бы, конечно, чтобы сразу за разработкой фундаментальной науки шли исследования практического применения новых свойств наноматериалов. Для любого учёного будет большой радостью тот день или тот месяц, когда разработанная им методика или открытое какое-либо свойство, на поиск которых он потратил многие годы своей жизни, находят применение и позволяют улучшить жизни каждого человека. Мне больше всего нравится именно прикладная часть, а областей, в которых мне хотелось бы работать очень и очень много, к примеру, углеродные нанотрубки, очень интересная тема - материалы для жёстких дисков с перпендикулярным методом записи, OLED дисплеи, создание которых позволит делать компьютер в виде ручки, и многое другое. В мире слишком много интересных и важных проблем, чтобы я смог их здесь перечислить.»

4. Что бы Вы хотели узнать о нанотехнологиях и наноматериалах? «Я являюсь студентом ФНМ и надеюсь, что к концу обучения я смогу сформулировать ответ на этот вопрос более подробно, а пока могу сказать лишь одно (но зато самое главное, по крайней мере, для меня): каковы принципы работы квантового компьютера? что необходимо сделать учёным, занимающимся нанотехнологиями и материалами, чтоб создать его? Но это тема слишком глубокая и обширная. Было бы неплохо, если на нашем факультете создали бы группу, которая будет заниматься разработкой материалов для OLED или чего-нибудь в этом духе {такая группа есть – это группа профессора А.Р.Кауля, именно его молодые коллеги и составляли задачу про OLED – Прим. Е.А.Гудилина}. Я считаю, что такого рода исследования подняли бы престиж факультета (а то мне уже надоело свои друзьям объяснять, что наш факультет занимается разработкой наноматериалов), к тому же, наладив сотрудничество в этой сфере с другими группами учёных и фирмами, заинтересованными в создании новых материалов для OLED, удалось бы отправлять за границу на стажировку большее количество студентов, использовать уникальное оборудование, ... и, в конечном счёте, заинтересовать умных, трудолюбивых студентов (а в будущем и учёных) прекрасной, занимательной работой, которая будет приносить не только удовольствие, но и деньги. Есть великое множество проблем в этой сфере, над которыми пора задуматься и нам.»

**Савостьянова Анастасия Владимировна**, ВТОРОЕ абсолютное место. Студентка 2 курса Московского государственного университета приборостроения и информатики, кафедра «Автоматизированные системы обработки и управления информации».

Узнала о нанотехнологиях из телевидения, радио, Интернета, рассказывали преподаватели. Считает, что нанотехнологии уже сказались в разных сферах жизни. «Хочу пойти работать в высокотехнологичную компанию (например Intel, если получится). Хотелось бы узнать, что могут дать нанотехнологии для прогресса и обычным людям (обществу), что они дают науке, как исследуются наноматериалы, как они будут использоваться в электронике, как они будут использоваться в медицине. Было очень интересно отвечать на вопросы олимпиады, точнее находить столь интересные ответы, так как я узнала нового.»

**Дмитриев Алексей Иванович**, ТРЕТЬЕ абсолютное место. Аспирант второго года обучения в Институте проблем химической физики РАН (г. Черноголовка), отдел строения вещества, группа динамики твердого тела.

«Наноматериалы - предмет моих научных изысканий. Думаю в ближайшие несколько лет внедрение полупроводниковых магнитных наноструктур в практику (магнитные сенсоры и датчики, носители информации и т.д.) будет являться результатом, в частности, моей научной работы. Я уже посвятил себя научной работе, занимаюсь полупроводниковыми магнитными наноструктурами. В 2005 году окончил Оренбургский государственный университет (специальность: радиофизика и электроника). Тема выпускной работы (рук. профессор Кучеренко) была связана с влиянием магнитного поля на аннигиляцию триплетных экситонов в органических полимерных цепях. В 2005 году поступил в очную аспирантуру Института проблем химической физики РАН. Научный руководитель д.ф.-м.н. Моргунов Р.Б. Тема диссертации связана с изучением магнитных свойств наноматериалов. А именно: полупроводниковые одномерные и двумерные наноструктуры, наночастицы металлов в немагнитных матрицах, высокоспиновые кластеры Mn12, химически связанные с молекулами органических проводников. Основные результаты: обнаружен ферромагнитный резонанс в полупроводящих нанопроволоках, теоретически предсказанный квазиодномерный спиновый резонанс в одномерных полупроводящих нанопроволоках, проявляющийся в наличии в спектре дополнительных пиков диполь-дипольного взаимодействия, спин - волновой резонанс и магнетосопротивление в тонких полупроводящих пленках. Основными научными интересами представляют полупроводящие наноструктуры, в них обнаруживается много интересных и еще до конца не понятых свойств, явлений, эффектов.»

**Степанов Евгений Александрович**, номинация «Лучший молодой ученый». Студент 5 курса Самарского государственного университета, кафедра органической химии.

Информацию о нанотехнологиях получил в Интернете на сайте [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru). «О наноматериалах слышу по телевидению, вижу в Интернете (в новостях), слышал на лекциях по супрамолекулярной, коллоидной химии и химии ЖК. Очень надеюсь, что развитие нанотехнологий скажется на нашей жизни. Хочу создать свое предприятие, связанное с нанотехнологиями и наноматериалами. Возможно, это будет наномедицина. Хочу узнать о самых передовых разработках в области нанотехнологий и наноматериалов, о практическом применении и использовании наноматериалов и нанотехнологий. Увлечаться химией стал с 5 класса, когда пролистал учебник по химии за 8 класс своей старшей двоюродной сестры. Первые увлечения химией, как у большинства людей, по настоящему увлеченных химией, были связаны с пиротехникой, а позже (начиная с 10 класса) с взрывчатыми веществами. Этот интерес не остывал до 3 курса университета. В школе очень увлекался неорганикой, участвовал в областных олимпиадах по химии, но выше второго, места не занимал. Считаю, что в этом деле не обошлось без коррупции и «своих людей». В университете же распределился на кафедру органической химии, т.к. в органике я видел больше перспектив и мест для работы по специальности. Помимо химии,

увлекаюсь также плаванием, очень люблю путешествовать по разным странам и испытываю огромное удовольствие от созерцания красот природы, от общения с людьми другого мировоззрения, от познания культуры других государств. Увлекаюсь также ядерной физикой и психологией. В последнее время стал увлекаться политикой. Это увлечение связано с пониманием, того, что как бы ни финансировало государство науку, все равно этого финансирования в России будет недостаточным. Поэтому легче сначала заработать и преумножить своё богатство, а после использовать его на свои научные нужды и интересы, да еще и инвестировать в идеи коллег.»

**Евтушенко Евгений Геннадиевич**, номинация «Знаток сканирующей зондовой микроскопии». Аспирант 3 года обучения, Московский Государственный Университет, Химический факультет, кафедра химической энзимологии.

«Сфера научных интересов - разработка высокочувствительных методов иммуноанализа с применением AFM в качестве детектирующей системы - тесно связана с нанотехнологиями и нанонауками. Если я преуспею в своей научной работе, то вполне возможно, что через 5-7 лет в каждой клинике мира AFM - иммуноанализ заменит классический плащечный вариант ИФА. Уже сейчас наноструктурированные электрохимические биосенсоры, разрабатываемые другой исследовательской группой нашей лаборатории, проходят клиническое тестирование. Так что можно сказать, что бионанотехнологии уже изменили мою жизнь и жизни многих миллионов больных. Если абстрагироваться от моей научной работы, технология изготовления процессоров уже перешагнула рубеж "нано" - последние два года процессоры изготавливаются по 90 и 67 нанометровому процессу. Дальнейшее развитие вычислительных мощностей невозможно без продвижения "вглубь", то есть уменьшения размера действующих элементов микросхем. Из области электроники можно также привести пример OLED - тонких пленок органических веществ, используемых в качестве источников света. Появление таких устройств уже сейчас совершает революцию - их используют везде (меня лично касается это тем, что данная технология используется в моем мобильном телефоне, и одна из наиболее часто используемых его опций, помимо звонков и SMS - это фонарик, который может светить до 5 часов подряд на одном заряде батареи, анод которой, кстати, тоже изготовлен не без участия нанотехнологий). Я хотел бы проводить научные исследования в области нанобиотехнологий, в частности в области наноструктурированных биосенсорных систем. Помимо базового биохимического образования, я участвовал в Европейской школе по нанонаукам и нанотехнологиям (ESONN). Таким образом, основа моих нанотехнологических знаний заложена. Но нанотехнологии и наноматериалы - настолько бурно развивающаяся область, что без постоянного чтения новостей и отслеживания новых тенденций в данной области знания быстро устаревают. Поэтому в настоящий момент актуальными являются именно новости и обзоры из разных областей нанотехнологий и нанонаук.»

**Семёнова Анна Александровна**, номинация «Любитель нанотехнологий». Студент 3 курса Бурятского государственного университета, г. Улан-Удэ.

1. Откуда Вы услышали о наноматериалах и нанотехнологиях? «По телевидению, рассказывали представители крупной фирмы или компании, читала в газетах, книгах, видела в Интернете и на сайте [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru).»

2. Скажется ли и как скоро внедрение наноматериалов и нанотехнологий на Вашей жизни? «Да, в недалеком будущем, практически через 1-5 лет»

3. Хотели бы Вы посвятить карьеру нанотехнологиям и в какой области их приложения? «Да, хочу заниматься наукой и преподаванием в ВУЗе и / или буду заниматься исследованиями в институте Российской Академии Наук, или пойду работать в высокотехнологичную компанию, или организую свою собственную компанию.»

4. Что бы Вы хотели узнать о нанотехнологиях и наноматериалах? «Что это даст для прогресса и обычным людям (обществу), что они дают науке, как исследуются наноматериалы, как они будут использоваться в электронике, медицине, как они могут

улучшить экологию, как они будут использоваться в ракетокосмической технике, как они могут использоваться в антитеррористической деятельности.»

**Поляков Александр Юрьевич**, номинация «Романтик нанотехнологий». 11 класс СУНЦ МГУ (студент 1 курса ФНМ МГУ).

1. Откуда Вы слышали о наноматериалах и нанотехнологиях? «Слышал в школе, в ВУЗе, по телевидению, читал в книгах («Введение в нанотехнологию» (Кобаяси), журнал «Нанометр», «Атлас микроструктур» ФНМ МГУ), рассказывали студенты и выпускники школы, видел в Интернете ([www.fnm.msu.ru](http://www.fnm.msu.ru), <http://nanoenot.pisem.net>, на сайте [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru))»

2. Считаете ли Вы, что внедрение наноматериалов и нанотехнологий скажется на Вашей жизни? «Да, в недалеком будущем, практически через 1-5 лет.»

3. Хотели бы Вы посвятить карьеру нанотехнологиям? «Да, хочу заниматься наукой, возможно - исследованиями в институте Российской Академии Наук. Хотел бы пойти работать в высокотехнологичную компанию, в будущем хочу заниматься этим зарубежом.»

4. Что бы Вы хотели узнать о нанотехнологиях и наноматериалах? «Общие понятия, что они дают науке, как исследуются наноматериалы, как они будут использоваться в электронике, как они будут использоваться в медицине, как они могут улучшить экологию, как они будут использоваться в ракетокосмической технике.»

**Ярцев Кирилл Константинович**, номинация «Лучший школьник». 11 класс, Камчатская область, г.Ключи-1, СОШ №5.

О нанотехнологиях впервые услышал на дне открытых дверей в РХТУ им.Менделеева. «Развитие нанотехнологий, конечно скажется на нашей жизни, ведь уже выпускают изделия с применением наноматериалов (теннисные мячи, ракетки, одежда). По-моему мнению, количественное присутствие наноматериалов в нашей жизни будет только увеличиваться. Я собираюсь полностью погрузиться в мир нанотехнологий и материалов (после поступления). А в какой области - даже пока не знаю, их так много, и везде огромные перспективы. Хотя бы взять ВТСП, широчайший простор для научной деятельности. Или УНТ ничем не уступают (по широте применения) ВТСП. Нанотехнология - область междисциплинарной науки, поэтому нельзя ограничиваться только одной сферой. Хотел бы больше узнать о физико-химических свойствах квантовых точек, нанокластеров, вискерров.»

**Гордей Мария Евгеньевна**, номинация «Содружество» (специальный приз компании NT MDT). 1 курс Белорусского государственного университета, химический факультет, г. Минск.

«Первый раз слово «нанохимия» я услышала на лекции по химии. Это было в первом семестре. Нам говорилось о том, что один из объектов изучения этой новой отрасли обязательно станет предметом наших исследований. И это правда. Мне кажется, что приставка НАНО- уже прочно вошла в мою жизнь. Я достаточно часто общаюсь с наночастицами, потому что моя научно-исследовательская работа связана с получением наночастиц серебра. Кроме того, меня просто тянет к наноразмерам и всему, что с ними связано. Я думаю, что с учетом тех ударных темпов, которыми сейчас развивается нанохимия, а вместе с ней и нанотехнологии, и наноматериалы, результаты исследований и разработок в данной области достаточно быстро займут прочные позиции в жизни общества и моей жизни в частности. Некоторые нанотехнологии и наноматериалы уже внедрились в нашу жизнь, однако мне кажется, что на общеизвестном уровне это произойдет через лет 10 – 15, так как такого рода новейшие разработки требуют тщательной проверки и проведения длительных лабораторных испытаний. Я, несомненно, хочу посвятить и карьеру, и жизнь нанотехнологиям. Пока трудно сказать, в какой области я хотела бы заниматься, потому что я не настолько хорошо с ними знакома. Сейчас я занимаюсь получением наночастиц серебра различного размера и думаю, что продолжу этим заниматься в дальнейшем. О нанотехнологиях и наноматериалах я хотела

бы знать ВСЕ, и как можно больше!!! Буквально все: их получение, применение, преимущества, недостатки, свойства – словом, ВСЕ!

Дополнительно о себе хотелось бы сообщить, что мне очень нравится нанохимия. Я занимаюсь научной работой, которая тоже связана с этой отраслью. Цель моей научной работы заключается в установлении зависимости размера получаемых наночастиц серебра от концентрации восстановителя и ионов серебра. Наночастицы получаются в растворе с использованием цитрата натрия в качестве восстановителя и стабилизатора. Я занимаюсь этим примерно полгода, и у меня есть некоторые результаты. Я точно знаю, что пойду на кафедру неорганической химии через 2 года, если к этому времени не появится кафедра нанохимии. Но пока я на первом курсе. Я очень хотела бы поблагодарить за организацию такой олимпиады. Задания очень интересные. Их очень хотелось решать. Это очень важно, потому что за 2 года участия в предметной олимпиаде по химии я встречала такие задачи, которые хотелось просто отложить в сторону. Это самое страшное чувство из тех, которые может вызвать задача. А за эти 2 недели участия в Интернет - олимпиаде я узнала больше, чем за полгода. Спасибо за это!»

**Набиуллин Александр Ринатович**, номинация «Содружество» (специальный приз компании NT MDT). Инженер (фактически – младший научный сотрудник) Института Физико-Органической Химии Академии Наук Беларуси, г. Минск.

1. Откуда Вы слышали о наноматериалах и нанотехнологиях? «Много информации гуляет по Интернету, кроме того участвовал в разработке базы знаний, среди тем которой были и темы по нанотехнологии»

2. Скажется ли и как скоро внедрение наноматериалов и нанотехнологий на Вашей жизни? «Да, скажется. Сроки - от года до трёх лет.»

3. Хотели бы Вы посвятить карьеру нанотехнологиям и в какой области их приложения? «Сейчас я разрабатываю промышленные коллоидные препараты и поверхности, модифицированные наночастицами. Область приложения - медицина и ветеринария. Так что получается, что уже посвятил.»

4. Что бы Вы хотели узнать о нанотехнологиях и наноматериалах? «Чем больше, тем лучше. Лишней информации не бывает. В настоящее время моя научная работа состоит в разработке коллоидных препаратов для ветеринарии и в разработке методов модификации полимеров для создания аффинных сорбентов. При создании ветеринарных коллоидных препаратов использую знания из коллоидной, органической, неорганической химии, биохимии и химии полимеров. Основные материалы по этой тематике имеют практическую значимость и закрыты для публикации. Для создания аффинных сорбентов необходима органическая химия, химия полимеров, химия белка. Эта тематика, к сожалению, разработана пока слабо и материалов, достойных публикации недостаточно. Получается, что в круг моих научных интересов попадают коллоидная химия, органическая химия, неорганическая химия, химия полимеров, химия белка и биохимия. По окончании вышеперечисленных разработок хочется заняться исследованиями в областях плазменной модификации поверхности, создании высокопрочных полимерных композитных материалов и функционализированных материалов медицинского назначения (в первую очередь материалы для аффинной детоксикации организма). Веду занятия в группах с углубленным изучением химии. Ребята очень любознательные и со значительными знаниями, поэтому для более-менее вразумительного ответа на их вопросы надо знать и геологию, и химическую технологию с металлургией, и ракетную технику, и методы медицинской диагностики и многое другое. Наверное, во многом благодаря им мне удалось сохранить знания, полученные в университете, и значительно их расширить. Много читаю, причём самую разнообразную литературу научной или технической направленности. Люблю гулять пешком. Каким-либо видом спорта профессионально не занимаюсь, но с удовольствием играю в волейбол, бадминтон, ринго. Из других занятий – люблю работать с металлом (сталь), деревом, изготавливать из этих материалов различные вещи. Большое удовольствие доставляет изобретение и

изготовление из подручных материалов новых устройств и приспособлений для различных целей.»

**Дирин Дмитрий Николаевич**, специальный приз Оргкомитета «За волю к победе». Студент 5 курса факультета наук о материалах Московского Государственного Университета.

О нанотехнологиях слышал в школе, в ВУЗе, по месту работы; слышал по телевидению; рассказывали представители крупной фирмы или компании; читал в газетах; читал в книгах; видел в Интернете. Развитие нанотехнологий скажется на нашей жизни в недалеком будущем, практически через 1-5 лет. «Хочу пойти работать в высокотехнологичную компанию. Хочу узнать о нанотехнологиях, что они дают науке; как исследуются наноматериалы; как они будут использоваться в электронике; как они будут использоваться в медицине.»

*{В настоящее время Д.Дирин вполне успешно занимается синтезом и детальным исследованием квантовых точек на основе халькогенидов кадмия, а также полупроводниковых систем «ядро-оболочка». – Прим. Е.А.Гудилина}*

**Малютин Константин Викторович**, специальный приз Оргкомитета «За волю к победе». Соискатель ученой степени кандидата наук, Московский Институт Стали и Сплавов, кафедра высокотемпературных процессов, материалов и алмазов.

«О наноматериалах и нанотехнологиях узнал из спецкурсов: "Перспективные материалы и технологии", "Ультрадисперсные системы", "физико-химия ультрадисперсных систем" на своей кафедре. Внедрение нанотехнологий повлечет за собой востребованность специалистов, в том числе и моего профиля, что напрямую повлияет на состояние бюджета моей семьи и мою научную карьеру. Я надеюсь на то, что лет через 15 внедрение нанотехнологий в медицину позволит нам стать более здоровыми и увеличить продолжительность активной жизни, например. Я бы хотел посвятить свою карьеру конструированию наносистем (наноустройств). О нанотехнологиях и наноматериалах я бы хотел узнать по возможности больше.»

**ILIN Elena Amelie (Илин Елена Амели - )**, специальный приз Оргкомитета «За волю к победе» (по почте). Студентка 5 курса. Technical University of Kaiserslautern, Physics and Technology of Nanostructures group.

«О наноматериалах и нанотехнологиях слышишь сейчас все чаще и чаще в средствах массовой информации. В моей учебе я выбрала это как дополнительное направление. В Университете были предложены интересные лекции по этому направлению. Наноматериалы и технологии окружают нас в повседневной жизни больше, чем мы об этом думаем и замечаем. Самый простой пример - компьютер (транзисторы, чипы), без которого не обходится сейчас не один студент. Другой пример: одномолекулярные пленки покрывают эмаль зубов во рту, и тем сохраняют их от порчи. Я нахожу очень интересным работать в этой области. С каждым днем увеличиваются возможности и потребности этой отрасли науки, и она становится более многогранной переплетаясь с химией, физикой и биологией. На условиях задач этой олимпиады я познакомилась с другим лицом нанотехнологий. До сих пор я работала только с наноструктурированием кремния. Это означает: Top to Bottom. В олимпиаде же встречается чаще Bottom to Top. В дополнение к анкете могу сообщить, что до замужества меня звали Лелица Елена, сейчас Илин Елена Амели. Закончила я Физико-математический лицей 17 в г. Черкассы в Украине в 1999г. В школе увлекалась физикой. В 1997 году получила Диплом третьей степени на Всеукраинской олимпиаде по физике. Подготовил меня учитель Полишук Игорь Иванович, который позже стал победителем конкурса "Учитель года - 2003" Курской области. Два года я проучилась в Черкасском государственном университете на физическом факультете. После замужества уехала в Германию, где в 2002 поступила в технический университет города Кайзерслаутерн. В данный момент пишу дипломную работу в группе "Физика и технология наноструктур". Большую часть работы составляет оптимизация процесса реактивного ионного травления



кремния для создания трехмерных структур заданной формы. Немного занималась КОН-травлением и фотолитографией, имею опыт работы в Cleanroom class 100. Наша группа молодая и только два года назад начала свою полноценную работу, поэтому публикаций пока нету, но мы надеемся на успех в дальнейшем.»

**Козлякова Екатерина Сергеевна**, специальный приз Оргкомитета «За волю к победе» (по почте). МОУ Глубокинская СОШ №32 (Ростовская область, Каменский район, поселок Глубокий).

«Впервые о нанотехнологиях прочитала в журнале Вокруг Света, и меня та статья очень заинтересовала. Но возможности найти еще какую-либо информацию по этой теме у меня тогда не было. Когда появился Интернет, искать информацию стало намного легче. Я считаю, что очень скоро новые технологии коренным образом повлияют на жизнь каждого человека. В наше время внедрение новейших изобретений происходит намного быстрее, чем, скажем, несколько десятилетий назад, и я верю, что нанотехнологии - это та отрасль, которая скоро станет основой для удовлетворения все возрастающих нужд человечества. Эта моя розовая мечта - посвятить свою жизнь новейшим исследованиям в этой области. Но, к сожалению, я еще не достаточно много знаю о нанотехнологиях, чтобы определиться, какой именно области их приложения отдать предпочтение. Я понимаю, что все узнать о нанотехнологиях невозможно, но очень интересно. Мне бы хотелось узнать побольше не только о применении наноматериалов и нанотехнологий, но и о том, каким образом ученые получают эти новые вещества с необычными свойствами, как именно работает и из чего состоит атомно-силовой микроскоп и многое-многое другое, что прямо или косвенно связано с этой новейшей отраслью. Очень жаль, что в Интернете еще не накопилось достаточно информации по этой теме, или она разбросана на разных неизвестных сайтах. Нанометр, пожалуй, самый объемный сайт в этой области.»



М.Гордей (Белоруссия), А.Поляков (СУНЦ), а также сопровождающие персоны за праздничным столом на ФНМ МГУ после завершения Интернет-олимпиады



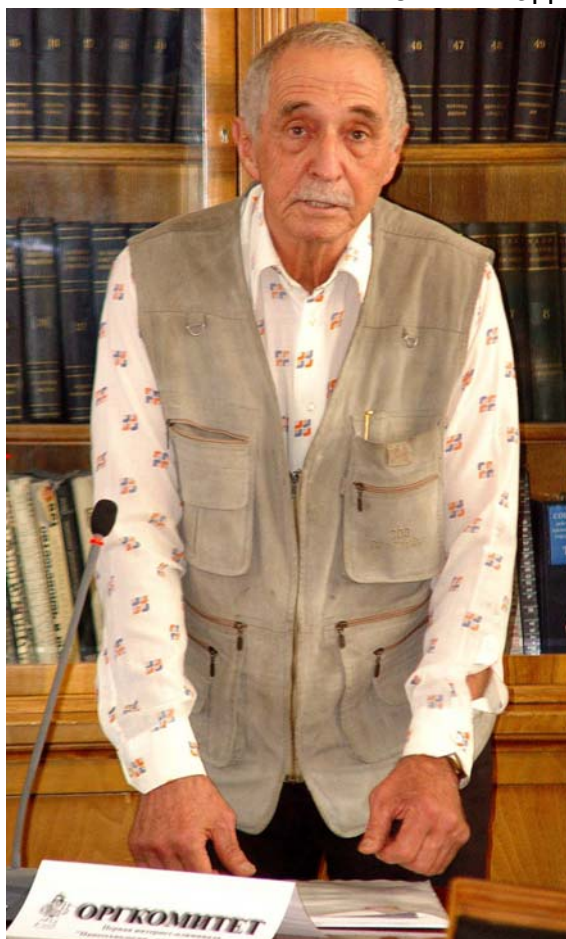
К.Малютин, И.Семенова, А.Савостьянова, Е.Степанов, А.Семенова, А.Набиуллин готовятся к праздничному чаепитию



И.В.Гольдт (Самсунг, слева) разделяет удовольствие праздничного чаепития с Е.Евтушенко (задний ряд), супругой К.Малютина, родителями призеров и Д.Дириним (ФНМ МГУ)



Журнал "Российские Нанотехнологии" подарил на закрытии Интернет-олимпиады себя (3 номера).



Журнал "Нанотехника" дарит сертификаты на подписку во время закрытия Интернет-олимпиады по нанотехнологиям. Для получения журнала было достаточно сообщить в редакцию свой адрес.



"Наука и жизнь" и "Химия и жизнь" (информнаука с альтернативной энергетикой в сердце) - соседи на закрытии Интернет-олимпиады по нанотехнологиям



DVD архив журнала "Наука и жизнь" за 16 лет. Все для призеров Интернет-олимпиады.



НТ МДТ вручает КПК на Интернет-олимпиаде по нанотехнологиям



НТЦ "Бакор" на Интернет-олимпиаде по нанотехнологиям подарил, как и НТ МДТ, КПК



Бумажный Нанометр и прототип Наноазбуки



Призеры, победители и организаторы Интернет-олимпиады «Нанотехнологии – прорыв в Будущее!»

## Церемония закрытия Олимпиады 2008 г.

### Регламент церемонии закрытия

16 мая 2008 г. в здании Интеллектуального центра - Фундаментальной библиотеки МГУ на Ленинских Горах состоялась церемония награждения победителей и призеров второй Всероссийской Интернет-олимпиады по нанотехнологиям «Нанотехнологии-прорыв в Будущее!». В церемонии приняло участие более 150 человек, продолжительность закрытия олимпиады составила около 2 часов в соответствии со следующим порядком выступлений:

- Вступительное слово Ректора МГУ академика **В.А.Садовниченко**
- Приветственное слово от депутатов Государственной Думы РФ (заместитель Председателя ГД ФС РФ **С.С.Журова**, заместитель руководителя фракции "Единая Россия" в ГД ФС РФ академик РАН **А.А.Кокошин**, первый заместитель председателя Комитета по образованию ГД ФС РФ **Ю.С.Карабасов**)
- Приветственное слово директора института химии силикатов РАН академика **В.Я.Шевченко** (Санкт - Петербург)
- Приветственное слово основного партнера Олимпиады - группы ОНЭКСИМ и генерального спонсора Олимпиады - Национальной Инновационной Компании «Новые Энергетические Проекты» (заместитель генерального директора ГМК «Норильский Никель», руководитель отраслевого комплекса «Исследования и инжиниринг» **М.Б.Рогачев**)
- Приветственное слово ГК «Роснотех» (начальник направления по связям с общественностью **Д.В.Кусенков**)
- Приветственное слово от спонсора Олимпиады - компании НТ МДТ (генеральный директор **В.А.Быков**)
- Приветственное слово от концерна «Наноиндустрия» (генеральный директор **М.А.Ананян**)
- Приветственное слово от КБ «Юниаструм-банк» (презентация банковских карточек с символикой Олимпиады, заместитель Председателя комиссии по нанотехнологиям ОПОРЫ России, руководитель онлайн-информационно-аналитического издания NanoNewsNet.ru, дир. деп. интернет - технологий, КБ "Юниаструм Банк" (ООО) **А.Н.Куриный**)
- Слово Оргкомитета (декан факультета наук о материалах МГУ академик **Ю.Д.Третьяков**)
- Телеграммы в адрес Олимпиады (зам. декана ФНМ МГУ **Е.А.Гудилин**)
- Награждение лучших школьников (Ректор МГУ академик **В.А.Садовничий**)
- Награждение лучших зарубежных участников (Директор региональных проектов Фонда содействия развитию международных связей и социальных систем **Ю.В.Московский**, «Добрососедство»)
- Награждение призеров Олимпиады из числа российских участников (Ректор МГУ академик **В.А.Садовничий**)
- Награждение победителей по номинациям «**Нанохимия и наноматериалы**», «**Физика наносистем**», «**Конструкционные и строительные наноматериалы**» (декан ФНМ МГУ академик **Ю.Д.Третьяков**, декан физического факультета МГУ профессор **В.И.Трухин**)
- Награждение победителей по номинации «**За лучшее решение задач по альтернативной энергетике**» (зам. ген. директора Национальной Инновационной Компании «Новые энергетические проекты» **В.А.Пивнюк**)

- Награждение победителей по номинации «**Конкурс инновационных идей**» (декан ФНМ МГУ академик **Ю.Д.Третьяков**)
- Награждение победителей по номинации «**Нанотехнологии в биологии и медицине**» (декан ФНМ МГУ академик **Ю.Д.Третьяков, Я.М.Хамди** – от Московской Медицинской Академии им. И.М.Сеченова)
- Награждение победителей по номинации «**Дизайнер нанороботов**» (Президент ОПОРЫ РОССИИ и НП "ОПОРА"**С.Р.Борисов**)
- Выступления («Техника-молодежи», «В мире науки», Всероссийский Институт Авиационных Материалов)
- Заключительные замечания (декан ФНМ МГУ академик **Ю.Д.Третьяков**)
- Фотографирование на ступеньках Фундаментальной библиотеки МГУ

Компании «Токио Боеки» и НТЦ «Бакор», которые наряду с генеральным спонсором Олимпиады (НИК НЭП) и компанией НТ МДТ оказали существенную поддержку проведению Олимпиады, прислали на церемонию закрытия своих представителей.

## Победители и призеры второй Всероссийской Интернет-олимпиады по нанотехнологиям

- **Макеева Екатерина Анатольевна - 1 абсолютное место**
- **Харламова Марианна Вячеславовна - 2 абсолютное место**
- **Смирнов Евгений Алексеевич - 3 абсолютное место**
- **Жиентаев Тимур Махмедович (Казахстан, «[Добрососедство](#)») – «Лучший зарубежный участник»**
- **Набиуллин Александр Ринатович (Беларусь, «[Добрососедство](#)») - «Лучший зарубежный участник»**
- **Евтушенко Евгений Геннадьевич - «Лучший молодой ученый»**
- **Еров Хурсанд Эльмуродович (Таджикистан, «[Добрососедство](#)») – «Лучший зарубежный участник (школьник)»**
- **Козлякова Екатерина Сергеевна - «Лучший школьник»**
- **Кузьмин Илья Вячеславович - «Нанохимия и наноматериалы»**
- **Юркин Максим Александрович - «Физика наносистем»**
- **Семейкин Александр Юрьевич - «Конструкционные и строительные наноматериалы»**
- **Машукова Алена Викторовна - «Нанотехнологии в биологии и медицине»**
- **Ромашка Михаил Юрьевич - «За лучшее решение задач по альтернативной энергетике»**
- **Степанович Александр Иосифович (Беларусь, «[Добрососедство](#)») - «За лучшее решение задач по альтернативной энергетике»**
- **Семененко Дмитрий Александрович - «Победитель конкурса инновационных идей»**
- **Лобанова Анна Олеговна - «Победитель конкурса инновационных идей»**
- **Маракасова Екатерина Семеновна (Украина, «[Добрососедство](#)») – за творческие успехи**
- **Зайцев Сергей Александрович – «Дизайнер нанороботов» («ОПОРА»)**
- **Семенова Анна Александровна - «Дизайнер нанороботов» («ОПОРА»)**
- **Кубрак Дмитрий Вадимович - «За волю к победе»**
- **Табачников Эдуард Владимирович (13 лет) - «За волю к победе», жюри особо отмечает выдающиеся результаты этого участника!**
- **Никельшпарг Эвелина Ильинична - «За лучшее эссе школьников»**
- **Козырев Иван Максимович (9 лет) – самый юный участник**



Специальными призами **Всероссийского Института Авиационных Материалов** награждены:

- Рыженков Антон Владимирович – за выдающиеся успехи в абсолютном первенстве,
- Сагитова Алсу Вакифовна – за выдающиеся успехи в номинации «Конструкционные и строительные материалы»
- Силуков Олег Игоревич – за выдающиеся успехи в номинации «Нанохимия и наноматериалы»

Специальными призами журнала «**Российские нанотехнологии**» награждены:

- Макеева Екатерина Анатольевна
- Харламова Марианна Вячеславовна
- Смирнов Евгений Алексеевич
- Евтушенко Евгений Геннадьевич
- Рыженков Антон Владимирович

Специальными дипломами **Московской Медицинской Академии им. И.М.Сеченова** награждены:

- Роговский Владимир Станиславович (1 место)
- Машукова Алена Викторовна (2 место)
- Набиуллин Александр Ринатович (3 место)

*Все участники очного тура получили папки и эксклюзивные значки с символикой Олимпиады, а участники – школьники (дополнительно) - DVD – диски с выпусками журнала «Техника-молодежи». 20 школьников, не попавших на очный тур, но показавшие выдающиеся результаты, награждены полугодовой подпиской на журнал «Техника - молодежи». Оргкомитет разослал около 300 грамот участников Олимпиады по почте.*



Ректор МГУ награждает Э.Никельшпарг (Саратов) – лучшую школьницу - участницу творческого тура



Выступление Заместителя - Председателя ГД ФС РФ чемпиона Олимпийских Игр С.С.Журовой

Вторая Всероссийская Интернет-олимпиада принесла много приятных сюрпризов, один из которых - поразительно талантливые молодые участники. В этом году Олимпиада просто помолодела из-за школьного тура. И хотя победили, решая самые сложные задачи, аспиранты, самые юные школьники тоже успешно опробовали свои силы. Среди 270 зарегистрированных участников в возрасте до 15 лет жюри отметило двоих - Ивана Козырева (9 лет), как самого молодого участника Олимпиады (он набрал 30 баллов, что являлось абсолютным рекордом для его "весовой" категории); Эдуарду Табачникову (13 лет) тоже не было равных. Он практически догнал и перегнал своих старших коллег-школьников и попал с запасом на очный тур. Он лучше многих студентов решил компьютерный тест и был активен при решении всех остальных заданий .



Ответное слово лауреата Олимпиады 2008 г. Э.Табачникова (Рязань)



Фотографирование на ступеньках Фундаментальной библиотеки МГУ победителей и призеров второй Всероссийской Интернет-олимпиады «Нанотехнологии-прорыв в будущее» (Москва, 2008 г.)



Победитель школьного тура Олимпиады («Лучший школьник» - 2008) Е.С.Козлякова (поселок Глубокий, Ростовская область), поступила на Факультет Наук о Материалах МГУ им.М.В.Ломоносова



Лауреаты Олимпиады 2008 г. – Э.Табачников (Рязань) и А.Лобанова (село Долгодеревенское, Челябинская обл.)

## Поздравления организаторам и участникам Интернет-Олимпиад по нанотехнологиям

*Высшая правительственная [телеграмма](#) в адрес Оргкомитета Интернет-олимпиады, Первый заместитель Председателя Правительства РФ С.Иванов (2007 г.)*

«... От имени Правительства Российской Федерации и от себя лично приветствую участников и организаторов Первой всероссийской интернет-олимпиады «Нанотехнологии - прорыв в будущее». Сегодня мир вступает в эпоху, связанную с разработкой и практическим использованием достижений нанотехнологий. Ученые и инженеры нашей страны немало сделали в этой области, по целому ряду направлений мы занимаем передовые позиции. Россия имеет все шансы не только сохранить свое место среди стран, высокоразвитых в сфере нанотехнологий, но и добиться лидерства. Однако, иметь шансы и реализовать их – это вещи совершенно разные. Здесь, безусловно, большую роль играют организационная работа, создание необходимых условий для творчества, для исследований и производства. Мы в недавно созданном Правительственном совете по нанотехнологиям хорошо это понимаем. Как и понимаем то, что любые наши усилия мертвы без смелого научного поиска, оригинальных идей, всего того, что и составляет суть вашей олимпиады. Поздравляю победителей олимпиады «Нанотехнологии – прорыв в Будущее!» Желаю всем ее участникам новых творческих свершений, которые, надеюсь, послужат прорыву в будущее нашей страны.»

*Академик РАН и НАН Украины [Б.Е.Патон](#)*

«... От всей души горячо поздравляю организаторов, участников и, конечно, победителей блестяще проведенной и успешно завершенной олимпиады и выражаю надежду, что в дальнейшем такие состязания станут традиционными...»

*Заместитель президента - управляющий делами РАН, академик К.А.Солнцев*

«... Примите мои поздравления и пожелания дальнейших творческих успехов...»

*Академик РАН [В.В.Осико](#) (научный центр лазерных материалов)*

«... Ваши знания оценивались в МГУ. Более квалифицированной экзаменационной комиссии вряд ли можно себе представить. Тем почетнее Ваша победа. Те же из участников, кто не дотянул до победы – не печальтесь, Вы участвовали в замечательном событии, которое, не сомневаюсь, подвигнет Вас на новые попытки, одна из которых обязательно окажется удачной...»

*Академик РАН [А.Ю.Цивадзе](#) (ИФХЭ РАН)*

«... Вы можете гордиться своим первым шагом на увлекательном пути познания, открытий и достижений в этой многоплановой, междисциплинарной области. Именно за Вами, молодыми, нетривиально мыслящими учеными – будущее nanoиндустрии...»

*Академик РАН [Н.П.Алешин](#) (МГТУ)*

«... Быть участником первой Олимпиады по нанотехнологии – эпохальном научном направлении- большая честь и огромное достижение...»

*Академик РАН [В.Н.Анциферов](#) (ИЦПМ, г.Пермь)*

«... Вы – первые победители, и всегда будете первыми. Пусть это емкое слово – первые ... - вдохновляет Вас на жизненном пути...»

*Член-корреспондент РАН [А.Б.Ярославцев](#) (отв. секретарь РФФИ)*

«... Главное слово в прогрессе нанотехнологий, конечно же, предстоит сказать молодым талантливым исследователям, то есть - Вам...»

*Руководитель Ассоциации научных журналистов [В.М.Егикова](#)*

«... Только настоящие романтики идут в науку! От всей души поздравляю всех, кто принял участие в этой олимпиаде и подтвердил свою верность науке. Поздравляю факультет наук о материалах и Московский университет, он подарил стране еще одну замечательную традицию – провел первую Интернет-олимпиаду по нанотехнологиям, которая наверняка будет иметь продолжение...»

# ВЫСШАЯ ПРАВИТЕЛЬСТВЕННАЯ

К У Д А: 119992, г. Москва, Ленинские горы,  
подробн. адрес: Московский государственный университет, Химический факультет  
К О М У: Организационному комитету Первой всероссийской интернет -  
олимпиады "Нанотехнологии - прорыв в будущее"

От имени Правительства Российской Федерации и от себя лично приветствую участников и организаторов Первой всероссийской интернет-олимпиады "Нанотехнологии - прорыв в будущее".

Сегодня мир вступает в эпоху, связанную с разработкой и практическим использованием достижений нанотехнологий. Ученые и инженеры нашей страны немало сделали в этой области, по целому ряду направлений мы занимаем передовые позиции.

Россия имеет все шансы не только сохранить свое место среди стран, высокоразвитых в сфере нанотехнологий, но и добиться лидерства. Однако, иметь шансы и реализовать их - это вещи совершенно разные. Здесь безусловно большую роль играют организационная работа, создание необходимых условий для творчества, для исследований и производства. Мы в недавно созданном Правительственном совете по нанотехнологиям хорошо это понимаем. Как понимаем и то, что любые наши усилия мертвы без смелого научного поиска, оригинальных идей, всего того, что и составляет суть вашей олимпиады.

Поздравляю победителей олимпиады "Нанотехнологии - прорыв в будущее"! Желаю всем ее участникам новых творческих свершений, которые, надеюсь, послужат прорыву в будущее нашей страны.

Первый заместитель Председателя  
Правительства Российской Федерации



В.Иванов

Олимпиада 2008 г. нашла поддержку среди представителей власти, депутатов Государственной Думы, в среде политиков, бизнесменов, членов Российской Академии Наук. Здесь приводится неполный список избранных телеграмм и приветствий участникам Олимпиады, которые в качестве дополнительных материалов часто также сопровождались видеозаписью.

С началом Олимпиады участников приветствовали:

- [Ректор МГУ](#) академик В.А.Садовничий в своем обращении к участникам Олимпиады
- Заместитель [Председателя Государственной Думы](#) С.С. Журова
- Первый заместителя Председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси [П.А.Витязь](#)
- Группа ОНЭКСИМ и генеральный директор компании "[Science Global Management](#)" А.В.Корзников
- Заместитель генерального директора [Национальной Инновационной Компании "Новые Энергетические Проекты"](#) В.Л.Туманов
- Генеральный директор [Государственной Корпорации "Роснанотех"](#) Л.Б.Меламед
- Генеральный директор [компании НТ МДТ](#) В.А.Быков

- Компания [Tokyo Boeki Ltd.](#) (г-н Учида Кадзуэи)
- Декан факультета наук о материалах МГУ [академик Ю.Д.Третьякова](#)
- Заместитель декана по учебной работе [химического факультета](#) МГУ им.М.В.Ломоносова профессор Николай Егорович Кузьменко.
- Директор [Центра Коллективного пользования физического факультета МГУ](#) профессор В.Ю.Тимошенко
- Декан факультета фундаментальной медицины [академик РАН и РАМН В.А.Ткачук](#)
- Информационно-Аналитический Центр "Наномедицина" [Московской Медицинской Академии](#) им. Сеченова
- Деловая газета "[ВЗГЛЯД](#)"
- Организационный комитет V Международной научной конференции «[Кинетика и механизм кристаллизации. Кристаллизация для нанотехнологий, техники и медицины](#)»

С победой в Олимпиаде участников поздравили:

- Заместитель Председателя Правительства Российской Федерации С.Б.Иванов
- Председатель Комитета ГД ФС РФ по науке и наукоемким технологиям В.А.Черешнев
- Заместитель Председателя Государственной Думы С.С. Журова
- Лауреат Нобелевской премии академик Ж.И.Алферов
- Вице-президент РАН академик Г.А.Месяц
- Президент НАНУ академик Б.Е.Патон
- Первый заместитель председателя Президиума НАНБ академик П.А.Витязь
- от ОХНМ РАН - и.о. академика-секретаря В.А.Тартаковский
- Директор ИМЕТ РАН академик К.А.Солнцев
- От Инновационно-технологического центра РАН - директор, академик В.М.Бузник
- Президент РХО им. Д.И. Менделеева, Президент РХТУ им. Д.И. Менделеева, академик П.Д. Саркисов
- от ИОНХ РАН - директор, чл.-корр. РАН В.М.Новоторцев, академик Н.Т.Кузнецов, академик В.И.Нефедов, академик И.И.Моисеев, академик Ю.А.Золотов, академик И.Л.Еременко, член-корр. РАН А.Д.Изотов
- от ИПХФ РАН - директор, академик А.А.Алдошин
- от ИХР РАН - директор, проф. А.Г.Захаров





**ПРАВИТЕЛЬСТВО  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Участникам второй Всероссийской  
Интернет-олимпиады  
"Нанотехнологии - прорыв в будущее!"

« 16 » мая 2008 г.

№ 2131п-П7

МОСКВА

От имени Правительства Российской Федерации и от себя лично приветствую участников и организаторов второй Всероссийской Интернет-олимпиады "Нанотехнологии - прорыв в будущее!".

Проведение такой олимпиады становится хорошей традицией и является важным звеном в развитии междисциплинарной области нанотехнологий, наносистем и наноматериалов.

В современной России нанотехнологии занимают особое место. Российская Федерация уже вступила в эпоху позитивных перемен, инициированных началом формирования национальной nanoиндустрии. Среди важнейших задач, решение которых позволит России сделать прорыв в будущее, является необходимость формирования нового поколения исследователей в области нанотехнологий. Результаты этой олимпиады свидетельствуют, что среди вас есть будущие творцы новой высокотехнологичной реальности. В вашем научном творчестве, в вашей плодотворной работе кроется секрет успеха в развитии нанотехнологической индустрии.

Уверен, что вторая Всероссийская Интернет-олимпиада по нанотехнологиям станет еще одним шагом на пути развития nanoиндустрии в нашей стране и будет способствовать инновационному развитию России.

Желаю вам творческих успехов, достижения новых знаний и настоящих открытий!

Заместитель Председателя  
Правительства Российской Федерации

С.Иванов

28051306.doc



# ПРАВИТЕЛЬСТВЕННАЯ ТЕЛЕГРАММА

		ПЛАТА			ПЕРЕДАЧА
Слов	Руб.	Коп.	<b>ТЕЛЕГРАММА</b>  ИЗ МОСКВЫ № _____  _____ сл. _____ го _____ ч. _____ м.		_____ го _____ ч. _____ м.
					№ связи _____
Итого					Передал _____
Принял _____					Служ. отметки:

## П РА В И Т Е Л ь С Т В Е Н Н А Я

**К У Д А:** 119991, г. Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В.Ломоносова  
 Подробн. адрес Факультет наук о материалах

**К О М У:** Сопредседателю оргкомитета второй Всероссийской Интернет-олимпиады по нанотехнологиям  
 Ю.Д.Третьякову


Приветствую организаторов, участников, призеров и победителей второй Всероссийской Интернет-олимпиады по нанотехнологиям - "Нанотехнологии - прорыв в будущее".

Интернет-олимпиада своими целями и задачами заинтересовала к участию все слои учащейся молодежи в Российской Федерации и странах СНГ и стала значимым событием и достойным партнером школьников, студентов, аспирантов, учителей, директоров школ, преподавателей ВУЗов.

Организаторам удалось привлечь к участию в Интернет-олимпиаде более 2373 человек, добиться поддержки своей инициативы со стороны всех ветвей власти и скоординировать важнейшие исследовательские программы, внедренческие проекты, расчетные и творческие задачи, что говорит о значимости рассматриваемых вопросов. Немалым достижением является и тот факт, что в результате проверки решений расчетных и творческих задач участников Олимпиады отобраны 19 российских и 9 зарубежных талантливых юношей и девушек. Уверен, что деятельность Всероссийской Интернет-олимпиады с каждым годом будет открывать и находить все больше талантливой молодежи.

Желаю всем участникам Олимпиады творческих успехов и, что особенно важно, успешного внедрения ваших решений, идей и разработок в интересах общего дела – прорыв в будущее это нанотехнологии!

Председатель Комитета  
 Государственной Думы  
 Федерального Собрания Российской Федерации  
 по науке и наукоемким технологиям



В.А.Черешнев

15 мая 2008 г. Исх. № 3.30-36/004

Наименование и адрес отправителя

Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации

**Дорогие участники, победители и организаторы  
Олимпиады**

**«Нанотехнологии – прорыв в будущее!»!**

Поздравляю вас с завершением серьёзного и увлекательного соревнования и вместе с тем эксперимента: профессионального, научного, организаторского, личного.

Как показали результаты – эксперимент прошёл успешно. В этот раз Олимпиада собрала вдвое больше участников, открыты новые номинации, организован очный тур, определилась сильная команда победителей.

Хочу подчеркнуть и то, что подобный эксперимент, сама Олимпиада по нанотехнологиям – уникальна. И по своей теме, и по охвату участников, и высокому уровню задач, и по организации работы.

Как я отмечала в приветствии участников при открытии Олимпиады, она должна стать хорошим стимулом для тех, кто смотрит в будущее своей страны, кто готов работать ради своих успехов и успехов родины. Поэтому теперь, очень важно, чтобы итоги и результаты прошедшего соревнования, а именно – талантливые и пытливые умы наших победителей и участников – не остались незамеченными и невостребованными теми, кому они необходимы. Очень важно, на мой взгляд, чтобы высокие показатели участников и победителей стали хорошим стимулом как для продолжения их карьеры, так и для новых открытий и инновационных разработок на благо страны.

Желаю всем успеха, хорошего настроения, удовольствия от работы и благополучия!

Заместитель Председателя  
Государственной Думы  
Федерального Собрания  
Российской Федерации



С.С. Журова

Организаторам, участникам и  
победителям II Всероссийской Интернет-  
олимпиады по нанотехнологиям  
"Нанотехнологии – прорыв в будущее"

Глубокоуважаемые коллеги, дорогие друзья!

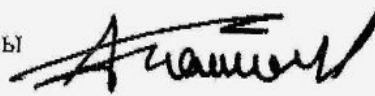
От имени ученых Национальной академии наук Украины горячо и сердечно приветствую участников и победителей II Всероссийской Интернет-олимпиады по нанотехнологиям "Нанотехнологии – прорыв в будущее".

Безусловно, прогресс науки и техники XXI столетия будет тесно связан с созданием высоких технологий на базе наноразмерных систем. Приятно отметить, что это стратегически важное направление вызвало чрезвычайный интерес со стороны школьников, студентов и аспирантов. Их научное творчество является важным фактором развития современной науки.

Особой благодарности заслуживают организаторы олимпиады, которые объединили свои усилия с целью привлечения молодых умов к передовым направлениям технологического развития человечества.

От всего сердца поздравляю победителей олимпиады с первыми успехами на научном поприще и желаю им дальнейших творческих успехов.

Президент  
Национальной академии наук Украины  
академик НАН Украины



Б.Е. Патон

## Дорогие участники и организаторы Всероссийской Интернет-олимпиады!

Нанотехнологии - одно из важнейших направлений развития фундаментальной и прикладной науки современного времени. Именно вы, молодые, талантливые, активные, должны вложить всю свою энергию и оптимизм, чтобы Российская Федерация сделала прорыв в будущее и стала одной из ведущих стран с современным уровнем развития высоких технологий.

Президиум Российской академии наук искренне поздравляет вас с завершением сложного конкурса и достигнутыми вами выдающимися результатами. Желаем Вам и в дальнейшем больших свершений и выдающихся научных открытий.

Вице-президент  
Российской академии наук  
Академик Г.А.Месяц



Дорогие друзья!

От всей души поздравляю вас с победой в заочных турах Второй Всероссийской Интернет-олимпиады "Нанотехнологии – прорыв в будущее"! Молодежь Республики Беларусь с большим энтузиазмом участвует в таком интересном конкурсе. Нам приятно, что среди победителей есть и молодой ученый из нашей страны А.Р.Набиуллин.

Олимпиада является прекрасной школой и испытанием ваших знаний в области наноматериалов и нанотехнологий и способностей их использовать при решении задач в этой новой развивающейся области науки и техники.

Желаю вам успеха во втором, очном туре Олимпиады, и дальнейшего накопления знаний в области наноматериалов и нанотехнологий. Пусть это знаменательное событие в вашей жизни послужит вам первой ступенькой на пути к новым знаниям и достижениям, открывающим окно в загадочный наномир.

Хочу выразить большую признательность организаторам Олимпиады председателю Оргкомитета ректору МГУ им. М.В.Ломоносова, академику В.А.Садовничему, сопредседателю Оргкомитета, декану факультета науки о материалах академику Ю.Д.Третьякову, члену-корреспонденту Е.А.Гудилину и поздравить их с блестящей организацией этого знаменательного форума, вызвавшего большой интерес не только в России, но и в странах СНГ.

Член Наблюдательного совета Всероссийской  
Интернет-олимпиады по наноматериалам,  
Первый заместитель Председателя Президиума НАН Беларуси,  
Председатель Оргкомитета Первой международной конференции  
"Наноструктурные материалы-2008: Беларусь-Россия-Украина"  
(НАНО-2008)  
Академик



П.А.Витязев