

МИКРОСТРУКТУРЫ НОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Выпуск 1.

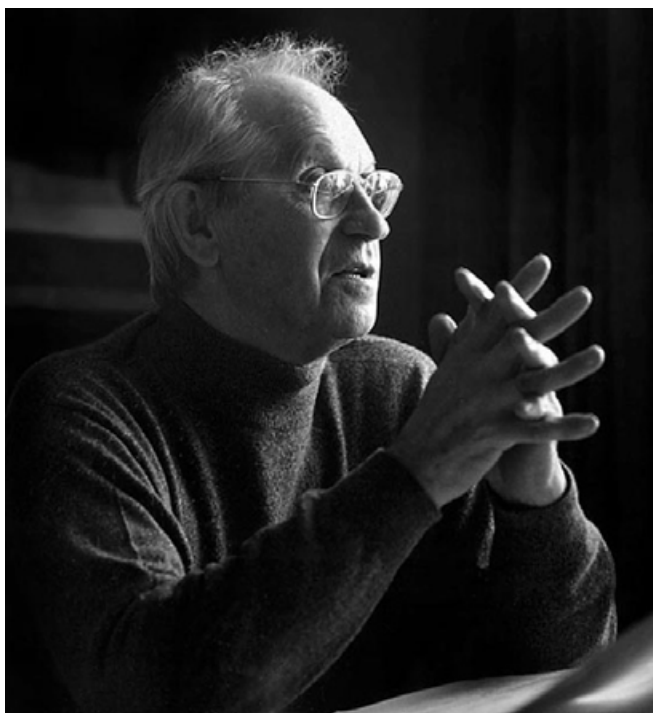
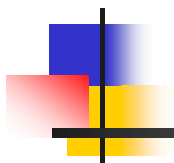
Наноструктурированные материалы



**МГУ им.М.В.Ломоносова
ФАКУЛЬТЕТ НАУК О МАТЕРИАЛАХ
Москва
2006**

Настоящее пособие предназначено для всех, кто интересуется новыми наноматериалами и нанотехнологиями, а также возможностями практического использования современных функциональных материалов. Публикуемые микрофотографии получены в Центре Коллективного Пользования МГУ им. М.В.Ломоносова в результате выполнения научных исследований студентами и аспирантами Факультета Наук о Материалах и Химического факультета МГУ и при разработке медиапрезентационных материалов по направлению подготовки бакалавров и магистров 020900 «Химия, физика и механика материалов». Издание осуществлено в рамках программы «Инновационный Университет» МГУ им. М.В.Ломоносова

Учебное пособие (иллюстративные материалы) под ред. акад. РАН Ю.Д.Третьякова, фотография обложки: к.х.н. Ю.Г.Метлин; идея, подбор материала, оформление, фотография форзаца: чл.-корр. РАН Е.А.Гудилин.



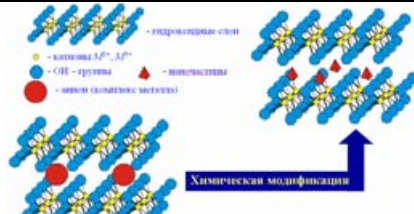
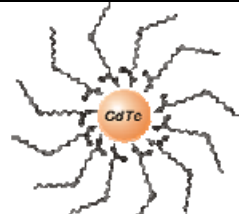
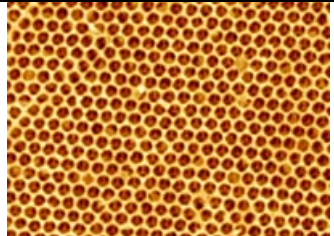
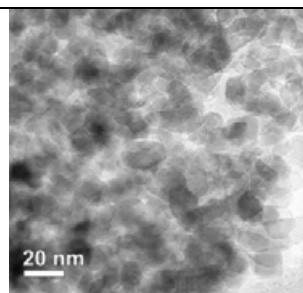
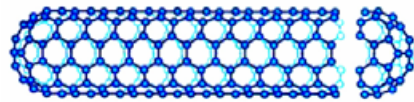
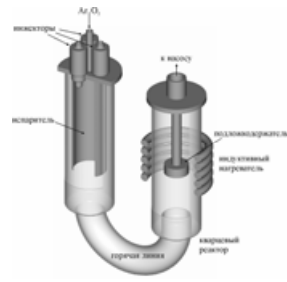
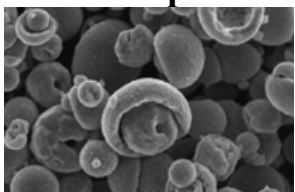
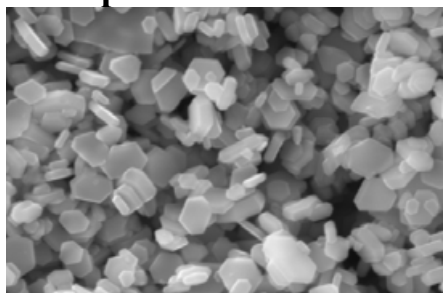
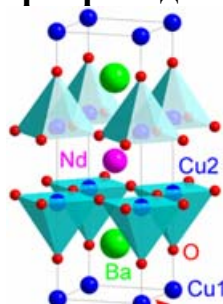
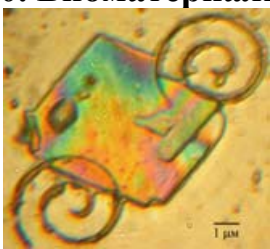
Уважаемые читатели!

Перед Вами одна из серии книг, повествующих об увлекательном мире современных функциональных материалов, а именно – их «портрете» на микро- и наноуровне. Создание таких материалов – несомненный приоритет для мирового сообщества, так как работы в этом направлении всегда имеют большой экономический, политический и социальный резонанс, принося огромные дивиденды глобальному научно - техническому прогрессу. Новые открытия в нано- и биотехнологиях, медицине, электронике, фотонике, сенсорике и спинтронике привели к своего рода ренессансу в развитии наук о материалах, наблюдаемому в последние 10 – 15 лет. Значимость разработки современных технологий новых материалов, являющихся критическими для дальнейшего развития Российской Федерации, подтверждается принятием национальной программы «Образование» и Федеральной Целевой Научно - Технической Программы, финансирующих передовые научно-исследовательские работы и образовательные инновации в области современного фундаментального материаловедения. Представленные в данной книге фотографии уникальны тем, что на них изображены наиболее перспективные на сегодняшний день типы наноструктурированных материалов, которые получены с использованием оригинальных инновационных технологий, развиваемых вот уже 15 лет на факультете наук о материалах МГУ. Мы рассчитываем, что эта книга найдет своих читателей как среди студентов, впервые знакомящихся с наноматериалами, так и среди преподавателей, желающих найти яркие иллюстрации для своих лекций и семинаров.

Декан ФНМ МГУ,
зав. каф. неорг. химии
Химического факультета
МГУ, акад. РАН

Ю.Д.Третьяков

Содержание

	1. Введение - 6 ФНМ в лицах - 127 Центр коллективного пользования (ЦКП) - 129	
2. Наночастицы		
 Слоистые двойные гидроксиды - 20	 Квантовые точки - 23	 Фотонные кристаллы - 25
 Аэрогели - 32	3. Пористые материалы Жидкокристаллические матрицы-темплаты - 34 Анодное окисление алюминия - 37	 Мезопористые материалы - 34
4. Нанотрубки - 40 	5. Неорганические волокна Немного о химии «усов» - 47 Манганитные вискры - 51 Гибкие электроды - 63 Базальт - 66	
6. Тонкие пленки - 69 	7. Нанокерамика  Манганиты для спинтроники - 75 Ферриты - 79	8. Микро- и нанокомпозиты 
9. Высокотемпературные сверхпроводники 	Магнитная левитация - 86 Самотекстурирование - 90 Сверхпроводящая керамическая пена - 92 Токонесущие элементы на основе ВТСП - 94	10. Биоматериалы  Рисунок из «молекул жизни» - 113 Убийцы грязи - 119 Делаем киборга - 124

1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время все более пристальное внимание привлекают исследования в области наноматериалов и нанотехнологий, где работают с объектами, размер которых хотя бы в одном измерении должен быть соизмерим с корреляционным радиусом того или иного физического явления (например, длины свободного пробега электронов, фононов, длины когерентности в сверхпроводнике, размером магнитного домена или зародыша твердой фазы). По рекомендации Международного Союза Чистой и Прикладной химии (IUPAC) за «нанокритерий» принимают величину 100 нм. Свойства наноматерии отличны от свойств объемной фазы, поэтому иногда говорят об особом, *наносостоянии*, вещества.

Использование наноматериалов приобретает грандиозные перспективы не

только в силу уникальной, невиданной ранее возможности миниатюризации устройств, но и из-за их фундаментального отличия от обычных материалов и приобретения новых свойств, в том числе возникновения квантовых и туннельных эффектов, а также из-за высочайшей площади поверхности, избыточной поверхностной энергии и реакционной способности наночастиц. Важнейшими параметрами наносистем являются размер, размерность, упорядочение и функциональность. Учет всех этих характеристик порождает новое поколение нано- и микроструктурированных материалов, обладающих наивысшим инновационным потенциалом и определяющих весь дальнейший прогресс в нанотехнологиях.



«Иерархия» основных понятий, связанных с существованием наносистем.

Еще одна важная черта современных функциональных материалов и наноматериалов – иерархичность структуры, то есть наличие тех или иных структурных особенностей на различных уровнях пространственной организации. Так, высокотемпературные сверхпроводники (см. раздел «Высокотемпературные сверхпроводники») являются наиболее ярким примером взаимосвязи иерархической организации материала и его практически

полезных, функциональных свойств. Микронные по толщине «декорированные» манганитные вискры с искусственно выращенными на их поверхности наноразмерными кристаллитами гидратированного диоксида марганца имеют значительно большую площадь поверхности, что существенно повышает их эффективность как каталитически и электрохимически активного материала. Наконец, многостенные нанотрубки на основе пентоксида ванадия

(раздел «Нанотрубки») являются гибридным неорганом - органическим материалом, в котором тубулярное строение реализуется за счет наличия молекул поверхностно-активных органических молекул «шаблона», расположение и даже конформация которых тесно связана с формой и размером нанотрубок, а также со средней степенью окисления ванадия, что предопределяет

большинство уникальных свойств нанотубулярных форм оксидов $3d$ – элементов. Кроме того, такие нанотрубки не существуют в изолированной форме из-за высокой поверхностной энергии, а формируют своеобразные «жгуты», состоящие из огромного числа нанотубуленов.

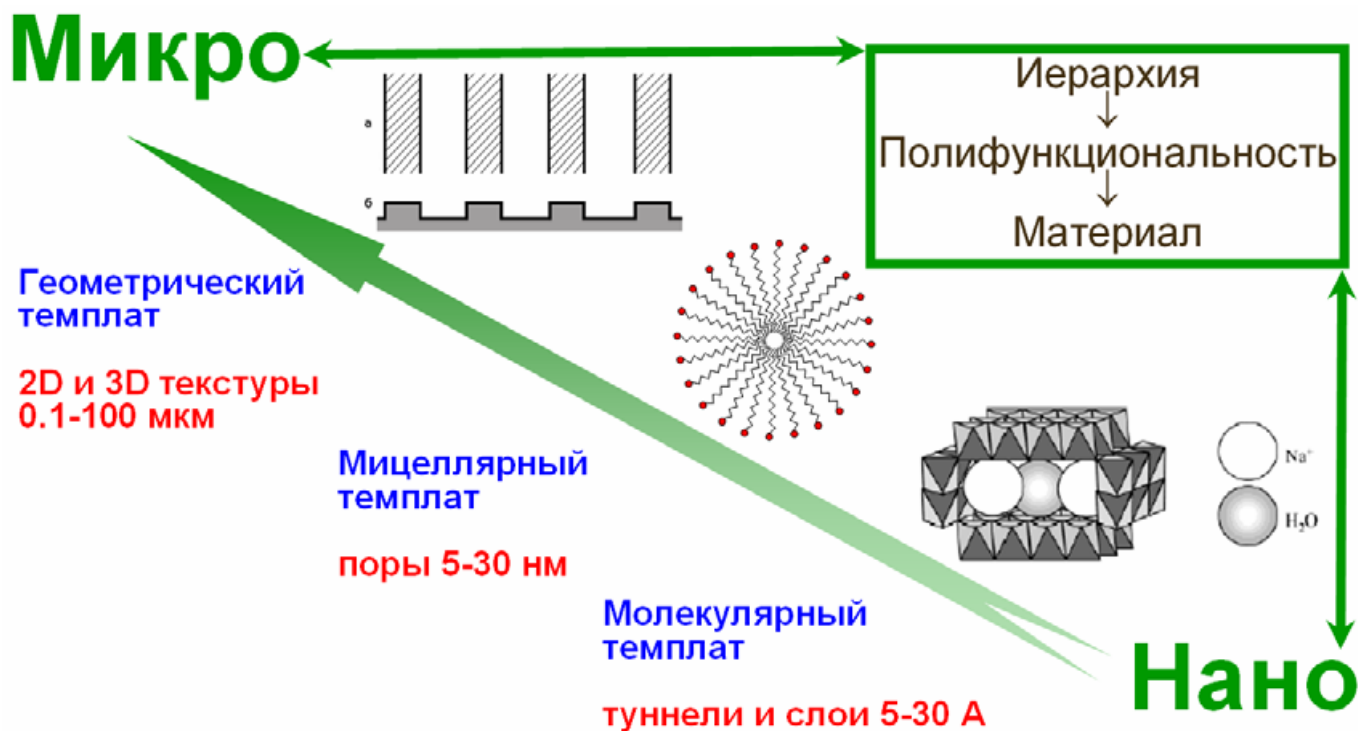


Иерархичность структуры листа дерева (прожилки образуют дендрит).

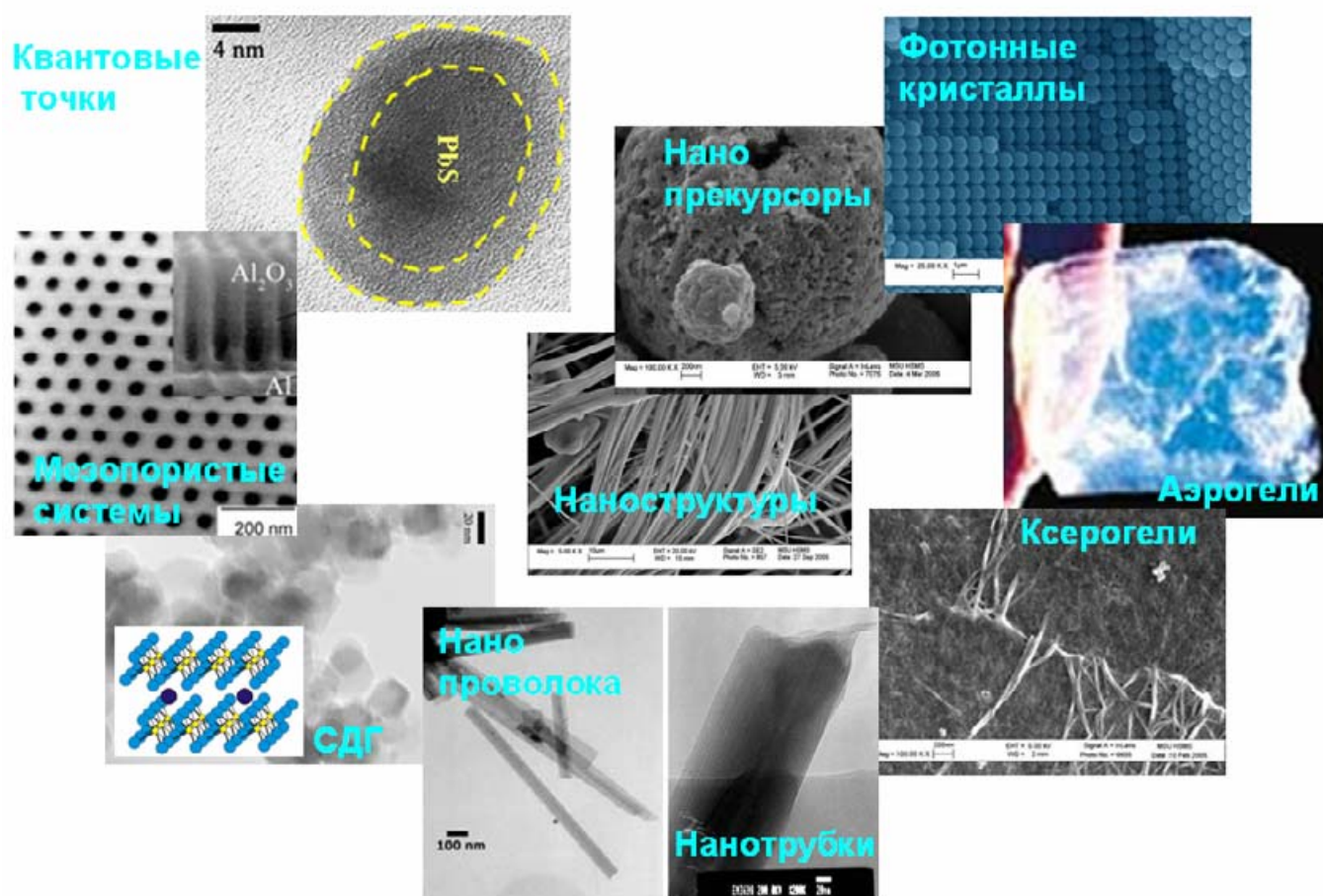
Структурированность подразумевает наличие определенной пространственной организации материи как минимум на уровнях наноразмеров и в макромасштабе. В силу чрезвычайной сложности иерархических взаимодействий в открытых системах одним из немногих эффективных способов создания передовых материалов является использование темплатов. Под темплатами следует понимать такие части системы, которые инициируют формирование структуры с заданным типом упорядочения составляющих эти системы элементов. Темплаты могут иметь различную природу: так, известны молекулярные темплаты, позволяющие формировать структурные слои и туннели размером до $30 \text{ \AA}$, мицеллярные темплаты, дающие систему пор диаметром до 30 нм , а также геометрические микрошаблоны, генерирующие текстуры.

При использовании молекулярных темплатов (то есть ионов, анионных комплексов и ионогенных ПАВ) впервые получены перспективные магнитные

наноккомпозиты и люминесцентные материалы на основе слоистых двойных гидроксидов, наноструктурированные ион-проводящие туннельные манганиты, ксерогели и нанотрубки на основе оксида ванадия. Мицеллярные темплаты позволяют получать фотокатализаторы на основе диоксида титана для диализа воды и фотодегradации отходов, а также магнитные наночастицы ферритов для биомедицинских применений. Использование темплатных жидкокристаллических матриц привело к созданию нового класса мезопористых магнитных наноккомпозитов. Применение геометрических темплатов подразумевает проведение пространственно-ограниченных процессов формирования вещества. Например, пиролизом аэрозолей получены магнитные наночастицы в соляной оболочке для биомедицинских применений, а также высокоактивные наноструктурированные прекурсоры для синтеза манганитов с колоссальным магнетосопротивлением.



Использование темплатов как метод наноструктурирования.

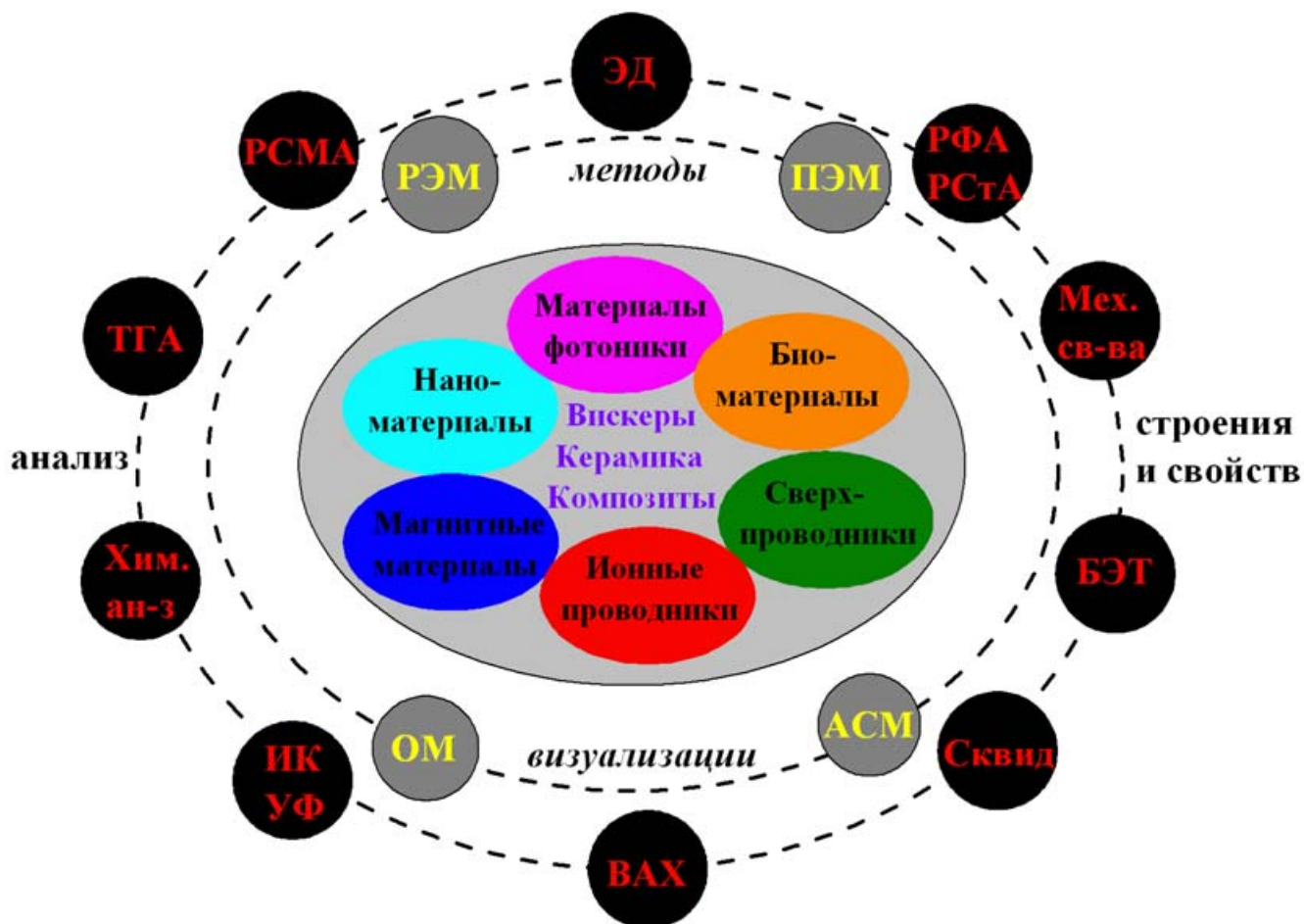


Основные типы нано- и микроструктурированных материалов, рассмотренных в настоящем пособии.

Полимеризация в микроэмульсиях с последующей конвекционной самосборкой полученных монодисперсных микросфер использовалась для формирования трехмерно - упорядоченного темплата и создания полифункциональных фотонных кристаллов. Впервые разработан универсальный подход графотекстурирования, в котором планарный темплат – искусственный поверхностный рельеф - позволил добиться управляемой ориентированной кристаллизации различных высокотемпературных сверхпроводников, а также биокристаллических пленок. Таким образом, применение темплатов является одной из наиболее действенных, универсальных и перспективных стратегий получения современных функциональных нано- и микроструктурированных материалов с инновационными свойствами.

Исследование микро- и наномира современных материалов не только приносит глубокое эстетическое удовлетворение от

созерцания его приоткрывшихся тайн, но и дает возможность существенно упростить путь их создания, который, в противном случае, часто оказывается долгим и тернистым. Здесь собрана фотогалерея избранных микроструктур перспективных классов современных неорганических материалов и наноматериалов. Все фотографии - плод многолетних научных исследований, представленный в форме сугубо «ненаучного» отчета за последнюю научно – исследовательскую пятилетку. Специфика Факультета Наук о Материалах МГУ заключается в том, что даже самые «маленькие» студенты начинают свою научно-исследовательскую работу с 1 курса. Именно на таких любопытствующих энтузиастов, на молодое поколение исследователей, делаящих свой научный выбор, и рассчитана эта небольшая брошюра.



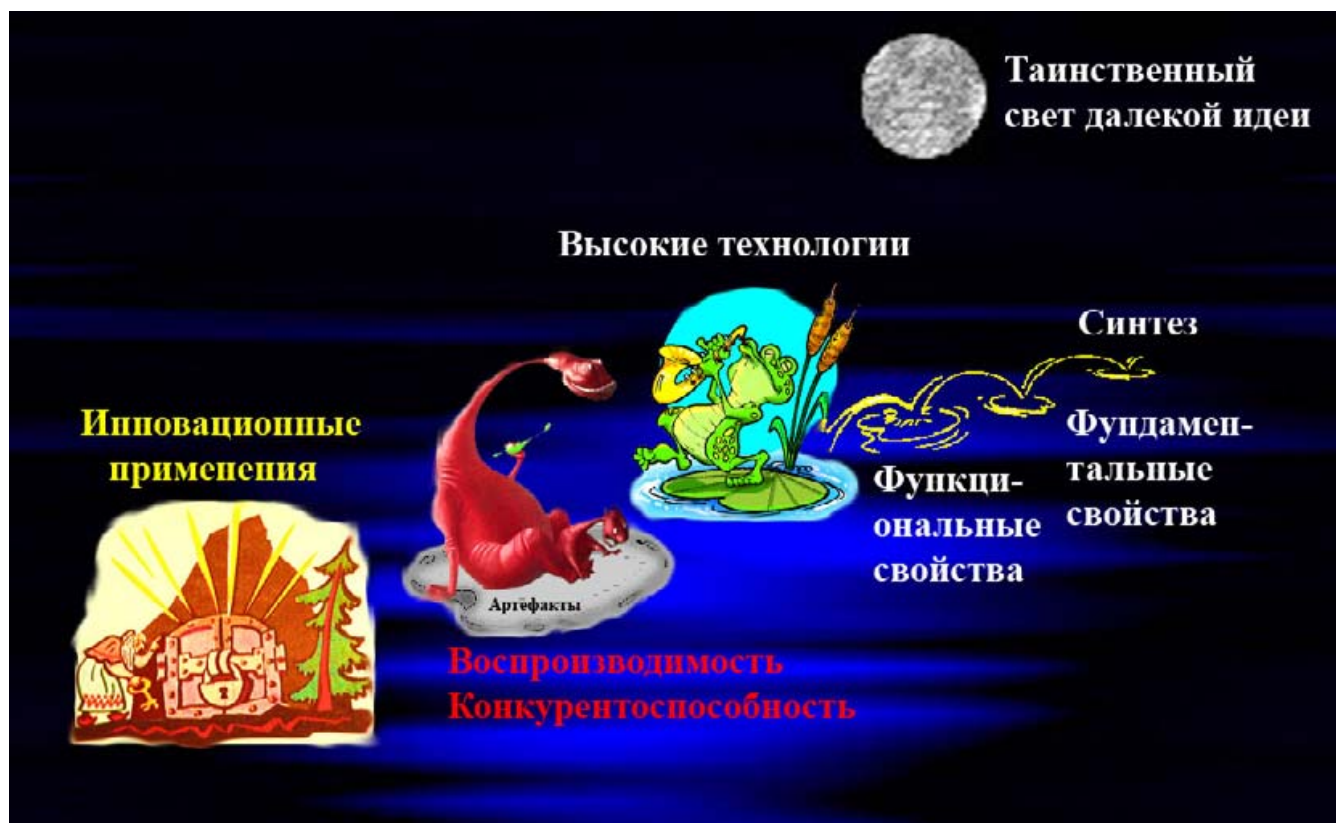
Комплексный подход к исследованию современных материалов. ОМ – оптическая микроскопия, РЭМ - растровая электронная микроскопия, ПЭМ - просвечивающая электронная микроскопия, АСМ - атомно-силовая микроскопия, РСМА - рентгеноспектральный микроанализ, РФА – рентгенофазовый анализ, РСТА - рентгеноструктурный анализ, ЭД - дифракция электронов, ИК – спектроскопия в инфракрасной области, УФ – спектроскопия в видимой и ультрафиолетовой областях, ТГА – термический анализ, ВАХ – определение вольт-амперных характеристик, СКВИД – измерение магнитных свойств, БЭТ – определение площади поверхности.

Большую часть информации о мире человек получает визуально. Давно уже ушли в прошлое органолептические методы исследования веществ алхимиками. Однако в настоящее время в связи с бурным развитием технических возможностей, которые еще совсем недавно были не более, чем мечтой многих ученых, все большее значение приобретают различные методы визуализации микроструктуры материалов – как на уровне сотых и тысячных долей миллиметра (ОМ, РЭМ), так и на наноуровне – то есть на шкале размеров всего десятков или сотен атомов (АСМ, ПЭМ).

Магнитные и сверхпроводящие материалы, материалы для фотоники, ионики

твердого тела, биологии и медицины, а также наноматериалы формируют «ядро» современных материалов, которое притягивает к себе, вовлекает в свою орбиту ученых, занимающихся микроструктурными исследованиями и наиболее передовыми методами анализа.

Красота, как известно, обманчива, поэтому в инструментальном плане исследования микроструктуры материала должны непременно дополняться мощным комплексом других методов физико-химического анализа: состава (РСМА), структуры (РФА, РСТА, ЭД, ИКС, УФС) и свойств (ТГА, ВАХ, СКВИД, БЭТ и пр.).



Путь создания материалов (аллегория).

Микроструктурные исследования, сколь бы эффектными они ни были, должны быть информативными в целом для исследования того или иного типа материалов, а не являться самоцелью. «Красивый» материал не должен быть «пустышкой», за внешней красотой его микроструктуры должны проследиваться новые перспективы практического использования. Анализ микроструктуры, помимо всего прочего, может играть также ключевую роль в понимании механизмов и контроле процессов формирования материалов с желаемыми характеристиками в силу существования фундаментальных корреляций типа «состав - структура-микроструктура - свойства». Полифункциональные материалы – это материалы с нелинейными электрическими, магнитными, оптическими свойствами, что делает их одними из самых интересных с точки зрения как физика, так и химика, и

обещает радужные перспективы практического применения. Так, рассматриваемые ниже манганитные вискеры не только являются ионными проводниками, но и могут выступать в качестве чрезвычайно механически прочных объектов, что принципиально отличает их от объемных кристаллов (раздел «Вискеры»). Уникальное сочетание функциональных (ионная проводимость) и конструктивных свойств (высокая прочность и гибкость) делает возможным в перспективе создание долгоживущих тканевых электродов.

Высокотемпературные сверхпроводники с крупнокристаллической микроструктурой, полученные с использованием «расплавных методов», содержат огромное количество различных дефектов, но именно в этом случае дефекты являются благом и вводятся специально для того, чтобы существенно повысить уровень сверхпроводящих токов

(раздел «Высокотемпературные сверхпроводники»).

Ажурная микроструктура купроманганитов с колоссальным магнетосопротивлением, вредная для большинства «обычных» типов керамических материалов, способствует достижению нового уровня свойств, поскольку для данного специфического типа материалов характерен большой вклад туннельного магнетосопротивления, в котором, по определению, участвуют не сами кристаллиты, а границы раздела между ними («перешейки», формирующие ажурную микроструктуру, раздел «Манганиты для спинтроники»).

Строгая красота фотонных кристаллов «вынужденная»: если микросферы разупорядочены, то такой материал и некрасив (как внешне, так и на микроуровне), и бесполезен. И только четко упорядоченные микросферы приводят и к игре света в опалах, и к созданию новых устройств быстро развивающейся области исследований – фотоники (раздел «Фотонные кристаллы»).

Основу настоящего пособия составили научные фотографии, представленные на IV Всероссийском конкурсе «Наука-обществу-2005». Все фотографии собраны в отдельные циклы, которым предшествуют короткие пояснения. В ряде случаев в конце пояснений приводятся фамилии авторов данного раздела, а также 1-2 публикации группы, где можно найти основные детали проведенной работы. Авторы образцов, фотографий и комментариев к разделам: А.Г.Вересов, А.В.Гаршев, В.И.Путляев, Е.А.Гудилин, А.В.Лукашин, А.А.Елисеев, И.В.Колесник, А.С.Синицкий, В.В.Абрамова, А.Е.Чеканова, Д.М.Иткис, А.В.Григорьева, Д.В.Семененко, М.Г.Козлова, П.Е.Казин, Д.Д.Зайцев, Б.Р.Чурагулов, А.Н.Баранов, Р.Б.Васильев.

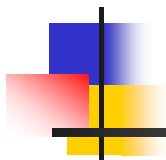
Синтез и анализ образцов проведен на ФНМ МГУ и Химфаке МГУ с использованием оборудования Центра Коллективного Пользования «Технологии получения новых наноструктурированных материалов и их комплексное исследование», а также в сотрудничестве с исследователями SRL ISTECH (Япония), ACCESS e.V., INNOVENT e.V. (Германия), Университета Бохума (Германия).

Авторы выражают благодарность за финансовую поддержку Национальной программе «Образование» («Инновационный Университет», МГУ), Федеральной Целевой Научно-Технической Программе РФ (ФЦНТП), Российскому Фонду Фундаментальных Исследований (РФФИ), Программе Междисциплинарных Проектов МГУ им.М.В.Ломоносова и лично Ректору МГУ акад. В.А.Садовничему.

д.х.н. Е.А.Гудилин,
группа функциональных материалов



Церемония награждения призеров конкурса «Наука-обществу-2005» (сверху вниз): министр образования и науки А.А.Фурсенко и асп. ФНМ МГУ А.В.Григорьева – спецприз Минобрнауки; глав. ред. ж. «Химия и Жизнь» Л.Н.Стрельникова и асп. ФНМ МГУ А.С.Синицкий – спецприз компании Epson, Е.А.Гудилин – общий сбор остальных призов отмеченных жюри работ студентов и аспирантов ФНМ МГУ.



Ректор МГУ им. М.В.Ломоносова В.А.Садовничий и акад. РАН В.А.Легасов – основатели специализированной учебной группы «Перспективные процессы и материалы» (химический факультет МГУ), ставшей прообразом Высшего Колледжа Наук о Материалах (в настоящее время Факультет Наук о Материалах МГУ).

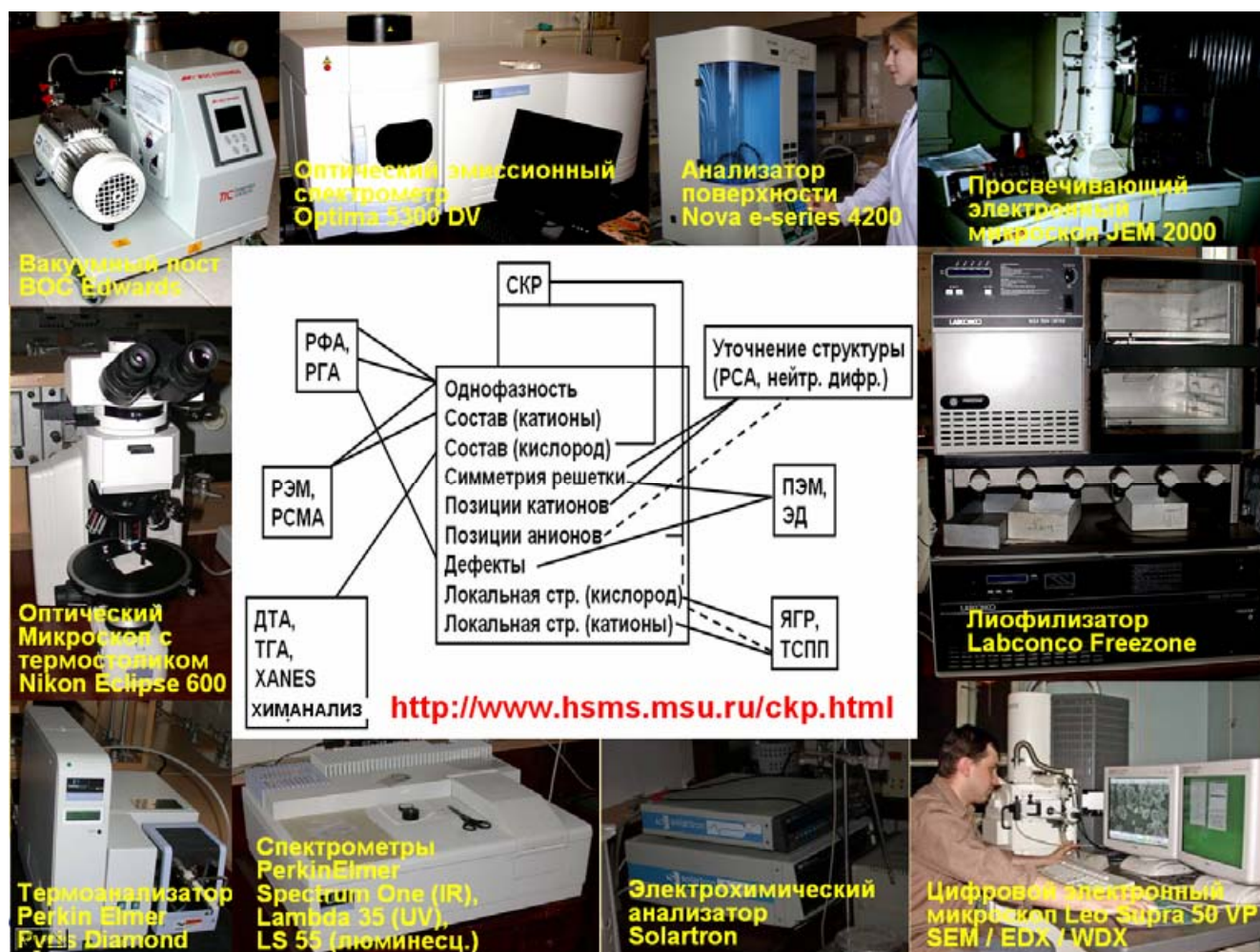


Студенты, аспиранты ФНМ МГУ и сотрудники лаборатории неорганических материалов кафедры неорганической химии химического факультета МГУ



Студенты и аспиранты ФНМ МГУ в спецпрактикуме и на ежегодной научно – практической конференции «Ломоносов».

ЦЕНТР КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ (ЦКП)



Современная система университетского образования требует развития междисциплинарных естественно-научных связей, в первую очередь, разработки инновационных подходов преподавания в РФ науки о материалах, которая чрезвычайно популярна в силу высокой инновационной отдачи исследований в данной области.

«Наука о материалах» принципиально отличается от традиционного «материаловедения», являющегося прагматически ориентированной дисциплиной, которую преподают исключительно в технических и технологических вузах с целью подготовки узких специалистов, нацеленных на разработку и эксплуатацию определенного сорта техники и промышленных технологий. Основная идея новой образовательной системы, которая становится еще более важной в период развития современных нанотехнологий, заключается в том, чтобы обеспечить фундаментальную подготовку будущих исследователей в области химии, физики, математики и механики, одновременно давая возможность творчески

воплотить теоретическую подготовку в практику экспериментальной работы по получению и исследованию новых материалов.

Студенты уже на первом курсе получают темы будущей работы, все большее число которых в последнее время оказывается закономерно связано с нанотехнологиями, и далее начинали посещать те курсы, которые, по мнению их персональных кураторов, необходимы для полного и цельного развития студента, его эффективного научного роста и успешного выполнения дипломной работы. При этом необходимо подчеркнуть, что студенты-материаловеды в условиях индивидуальной подготовки преуспевают также в искусстве принятия решений, которое является важнейшей компонентой самостоятельной и плодотворной работы любого современного специалиста в области наноматериалов.

В основе программы обучения на ФНМ положен междисциплинарный подход, и именно он делает студентов универсалами, способными эффективно работать в области

нанотехнологий. Студенты ФНМ проходят фундаментальную подготовку по высшей математике, физике, химии и механике, а также изучают ряд специальных курсов по материаловедению и наноматериалам.

Каждый выпускник ФНМ в процессе обучения овладевает:

1. Обширной фактической базой фундаментального материаловедения и нанотехнологий, с акцентом на химические аспекты создания и эксплуатации материалов, что подразумевает фундаментальную подготовку по основным химическим дисциплинам и специальным разделам химии твердого тела;

2. Теорией физических явлений на макро, микро- и наноуровнях, определяющих свойства материалов, что предполагает фундаментальную подготовку по физике твердого тела;

3. Необходимыми знаниями в области математического моделирования, достаточными для сознательного конструирования материалов и их направленного синтеза;

4. Методологией системного подхода к созданию, исследованию и применению материалов, навыками современного химического и физического эксперимента.

В общей сложности программа обучения предусматривает изучение свыше пятидесяти различных дисциплин. Преподавателями ФНМ были созданы оригинальные учебные курсы: «Наноматериалы и нанотехнологии», «Химия элементов с основами качественного анализа», «Методы анализа веществ и материалов», «Фазовые равновесия и термодинамика твердофазных реакций», «Физико-химия и технология материалов», «Перспективные неорганические материалы со специальными функциями», «Материалы: прошлое, настоящее; будущее», «Экспериментальные методы физики конденсированного состояния» и другие. Подготовка студентов ведется по образовательному направлению 511700 «Химия, физика, механика веществ и материалов» (020900 по ОКСО). Важной особенностью ФНМ является ограниченный набор студентов – 25 человек, что позволяет реализовать достаточно индивидуальный подход при обучении и иметь систему персональных кураторов из числа опытных преподавателей и научных сотрудников. Для оценки работы студентов используется система рейтинга, результаты которого подводятся каждые 12 недель.

Главное отличие системы подготовки студентов на ФНМ – режим максимального благоприятствования для занятий научной работой. Студенты вовлекаются в научную работу уже с первого дня обучения на факультете, когда им выделяется индивидуальный куратор, под руководством

которого они выполняют свою научную работу. Студенты имеют возможность работать в лабораториях химического, физического, механико-математического (а потенциально геологического и биологического) факультетов, академических институтов и совместных научно-образовательных центров. Каждый семестр завершается научно-практической студенческой конференцией, на которой студенты докладывают о текущих результатах своей научной работы.

Образовательные приоритеты среднесрочной перспективы по подготовке молодых высококвалифицированных исследователей кадров новой формации по направлению «Химия, физика и механика материалов» в рамках реализации в МГУ им.М.В.Ломоносова Национальной Программы «Образование» учитываются в рамках функционирования Центра коллективного пользования МГУ им. М.В.Ломоносова «Технологии получения новых наноструктурированных материалов и их комплексное исследование». Разработка концепции подготовки магистров и аспирантов, обладающих не только фундаментальными междисциплинарными знаниями в области современного материаловедения и наноматериалов, но также способных к экспериментальному исследованию новых материалов «с нуля» в любом научном коллективе, стала возможным благодаря оригинальной системе подготовки специалистов на Факультете Наук о Материалах МГУ.

Большое внимание ФНМ уделяет развитию междисциплинарного материаловедческого образования не только в МГУ, но и в целом в России, являясь своеобразным лидером и одновременно – естественным центром притяжения единомышленников из других престижных ВУЗов. Факультетом наук о материалах проводятся современные междисциплинарные исследования, направленные на получение новых классов функциональных материалов, связанных с развитием приоритетных направлений науки в Российской Федерации. Особое внимание уделяется наноматериалам, биоматериалам, электрокерамике, функциональным композитам, тонким пленкам и гетероструктурам. За последние 10 лет удалось достичь перспективных результатов в различных областях передовых наукоемких исследований, сопоставимых по своему научному уровню с лучшими мировыми достижениями.

Отделение ФНМ Центра коллективного пользования МГУ “Технологии получения новых наноструктурированных материалов и их комплексное исследование”. Отделение оснащено самым современным, в ряде случаев - уникальным оборудованием, предназначенным для решения самого широкого спектра исследовательских задач.

Микроструктурные исследования:

просвечивающий электронный микроскоп JEM-2000 FXII (JEOL); сканирующий электронный микроскоп высокого разрешения Supra 50VP (LEO) с системой микроанализа INCA Energy+ (Oxford); металлографический микроскоп Eclipse 600pol (Nikon); Инверсионный оптический микроскоп METAM PB-21 (ЛОМО), Атомно - Силовой Микроскоп «Интегра» (NT MDT).

Рентгеновские исследования:

порошковый дифрактометр STADI P STOE; монокристалльный дифрактометр CAD-4 (ENRAF); порошковая камера-монокроматор FR-552 (ENRAF - NONIUS).

Магнитные, электрофизические и электрохимические измерения:

установка для измерения температурной зависимости сопротивления материалов; установка для измерения комплексной магнитной восприимчивости SCC (APD Cryogenics); весы Фарадея; электрохимическая система потенциостат Solartron 1287/ анализатор частот Solartron 1255B (Solartron).

Термоаналитические исследования:

комплексный дифференциально-термический и термогравиметрический анализ - термоанализаторы (Perkin-Elmer TG7, DSC STA-409, Pyris Diamond).

Спектроскопические исследования:

УФ-вид. спектрофотометр Lambda 35 (Perkin-Elmer); ИК-спектрофотометр Spectrum One (Perkin-Elmer); люминесцентный спектрометр LS 55 (Perkin-Elmer), анализатор химического состава проб с использованием индуктивно-связанной плазмы с лазерной

приставкой для анализа состава поверхности твердых веществ ().

Масс – спектральный анализ:

масс - анализатор ионов и нейтральных частиц INA-3 (LEYBOLD-HERAUS); лазерный масс-спектрометр LAMMA-1000 (LEYBOLD-HERAUS).

Анализ площади поверхности и пористости:

NOVA 4200e (QUANTACHROME INSTR., USA, метод капиллярной адсорбции азота).

Элементный анализ:

атомно-эмиссионный спектрометр ICP AES Perkin Elmer Optima 5300

Прочее оборудование:

установки и программное обеспечение для зондовой Мессбауэровской спектроскопии, лазерный анализатор частиц Analyzitte 22 (FRITCH); сублиматоры (USIFROID SMH-15); установка для распылительной сушки (BUCHI-190); шаровые мельницы планетарного типа (FRITCH Pulverizette Series); прессы для холодного/теплого (до 250-500 °C) прессования (CARVER); трубчатые и камерные печи различных конструкций до 1200-1650°C, аналитические весы Sartorius.

Центр обладает необходимыми средствами вычислительной техники (19 нодовый кластер “Beowulf” на основе двухпроцессорных 2,2 ГГц Intel Xeon нод) и современным программным обеспечением.

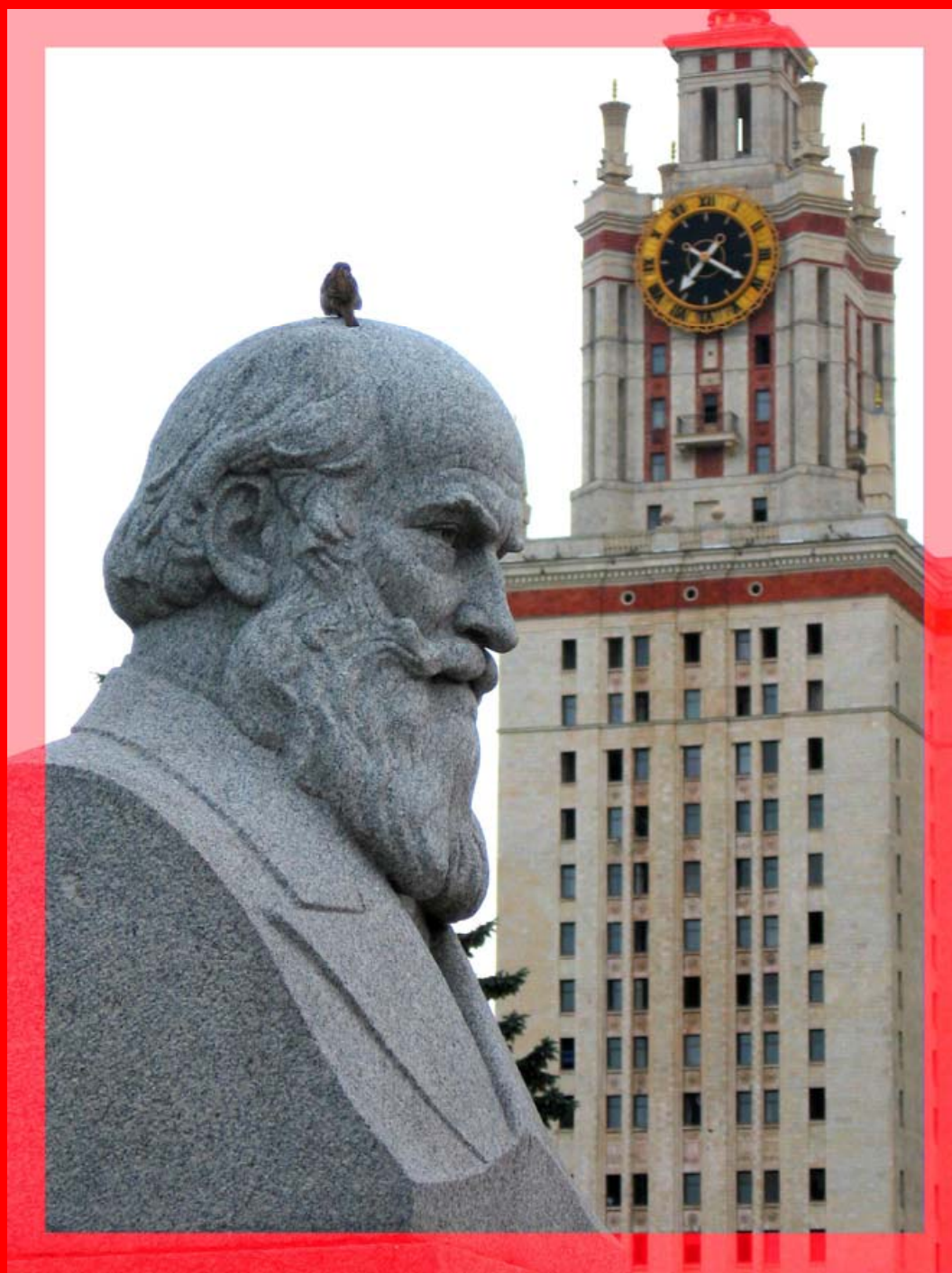
План поставки оборудования на 2006-2007 г. включает:

рентгеновский дифрактометр с приставкой для высоко-температурного, низко-температурного и текстурного анализа Rigaku D/MAX 2500, SQUID-магнетометр Cryogenic S-700, ионно-электронный микроскоп FEI Quanta 200 3D, современный масс-анализатор Perkin-Elmer DRC2, Раман-спектрометр Renishaw InVia

Адрес ФНМ:

119992, Москва,
Ленинские Горы,
Московский Государственный
Университет им. М.В. Ломоносова,
корпус «Б»,
Факультет Наук о Материалах
www.hsms.msu.ru





119992, Москва, Ленинские горы, ФНМ МГУ
fmg.inorg.chem.msu.ru, www.hsms.msu.ru
тел. (495)-939-47-29 факс (495)-939-09-98
goodilin@inorg.chem.msu.ru

Издание осуществлено при поддержке
национальной программы «Образование»
и Российской Академии Наук