

Методическая программа спецкурса «Nanotechnologies – forward nanosociety» для учащихся Специализированного Учебно-Научного Центра при МГУ им. М.В. Ломоносова.

Авторы: Смирнов Е.А., Козлов А.А. и др.

Цель спецкурса:

Развитие у школьников интереса к предметам естественнонаучного цикла: химии, физике, биологии, математике, программированию, приобщение к научной деятельности в лаборатории, внедрение основ работы с современными методиками исследования материалов, благодаря знакомству с новейшими научно-техническими достижениями.

Задачи спецкурса:

1. Знакомство учащихся СУНЦ МГУ с основными понятиями нанотехнологий, методами исследования и синтеза.
2. Освещение положения современного состояния науки, методов исследования и синтеза для последующего углублённого изучения дисциплин в ВУЗах.
3. Организация экскурсии школьников в Центр Коллективного Пользования (ЦКП) ФНМ и ХимФака МГУ.
4. Проведение лабораторных работ с последующим написанием научно-исследовательского отчёта по выполненной работе.
5. Участие учащихся в олимпиадах и школьных научно-исследовательских конференциях.
6. Знакомство с англоязычной научной литературой

Аудитория:

Учащиеся СУНЦ МГУ 10-11 классов. В основном, курс рассчитан на 11 класс, так как предполагает некоторые знания по химии и физике 10-го класса, но он также может быть предложен учащимся 10-го класса в виде отдельных лекций в дополнении к основному курсу по естественнонаучным дисциплинам.

Длительность занятий:

2 раза по 45 минут в течение недели (в СУНЦ лекции читались в течение 1,5 часов 1 раз в неделю, соответственно, каждая лекция рассчитана на 1,5 часа или 2 урока по 45 минут).

Форма проведения:

1. Чтение лекции посредством постоянного диалога с учащимися, постановка вопросов по теме. Выдача лекционного материала на дом для более детального изучения. Два раза в семестр (т.е. 1 раз в четверть) проведение контрольной работы (по 45 минут) в виде теста из 10 простых вопросов (на сообразительность) и 2 задач (одна задача расчётная по химии или физике и одна на написание эссе о той или иной рассмотренной проблеме в области нанотехнологий).
2. Проведение дистанционных курсов, создание которых планируется на базе интернет-порталов (например, Нанометр.ру). Данные курсы рассчитаны больше, с одной стороны, на самостоятельную работу и самоподготовку, но, с другой, могут быть использованы преподавателями школ при организации подобных спецкурсов в других учебных заведениях. Они предусматривают различного рода мультимедийные материалы (в

частности, видеокурс лекций) с составлением общего рейтинга участвующих школьников после написания контрольных и научно-исследовательских работ.

Участники проекта:

Смирнов Е.А. – 4 курс ФНМ МГУ – координатор проекта, ответственный редактор, автор, лектор.

Козлов А.А. – 4 курс ФНМ МГУ – координатор проекта, автор, лектор.

Бабынина А.В. – 4 курс ФНМ МГУ – лектор.

Романчук А.Ю. – 4 курс ФНМ МГУ – лектор.

Меледин А.А. – 5 курс ФНМ МГУ – лектор.

Корнейчук С.А. – 3 курс ФНМ МГУ – лектор.

Чеботаева Г.С. – 3 курс ФНМ МГУ – лектор.

Бородинов Н.В. – 2 курс ФНМ МГУ – лектор.

Кубарев А. – 5 курс ХФ МГУ – лектор.

Колесник И.В. – асп. 2 г.о. ФНМ МГУ – лектор, отв. за проведение экскурсии по спектроскопическим методам анализа.

План занятий в осеннем семестре (распечатки лекций прилагаются)

№ лекции	Тема	Краткое описание материала лекции	Лектор
1	История нанотехнологий	Орг. собрание – рассказ о будущей практической работе и конкурсах. История химия	Смирнов Е.А.
2		История физики. Развитие научных представлений в 20-м веке. Нанотехнологий – перспективы развития и состояние науки на сегодняшний день	Смирнов Е.А.
3	Квантовые точки 1	Зонная структура вещества и понятие о запрещённой зоне	Бабынина А.В.
4	Квантовые точки 2	Синтез, свойства и применение КТ: лазеры на основе КТ, биологические метки.	Бабынина А.В.
5	Молекулярная электроника 1	Фотовольтаика, солнечные элементы на основе органических молекул.	Козлов А.А.
6	Молекулярная электроника 2	Наноструктуры на основе углерода. Компьютерные методы в химии	Козлов А.А.
7-8	Методы анализа вещества 1	Электронная микроскопия, РСМА, РФА, АСМ и ТСМ	Меледин А.А.
	Экскурсия в ЦКП ФНМ	ком. 260 ГУМ, 380 ХФ, Ц-59. Экскурсия с демонстрацией оборудования, установленного в этих помещениях. Рассказ о методах приготовления образцов к анализу и системах напыления проводящих покрытий. Обзорное сравнение старого и нового оборудования.	Смирнов Е.А.

План занятия в весеннем семестре (распечатки лекций прилагаются – см.примечание)

№ лекции	Тема	Краткое описание материала лекции	Лектор
9	Методы анализа вещества 2	Спектроскопические методы анализа вещества. Классификация, принципиальные схемы и физические основы методов.	Меледин А.А.
	Экскурсия	Спецпрак на 5-ом и 4-ом этажах ХФ. Демонстрация спектроскопического оборудования, рассказ о схемах работы и внутреннем устройстве приборов.	Меледин А.А. и Колесник И.В.
10	Керамика	Понятие «керамика». Способы получения и технологические процессы приготовления керамических изделий, важнейшие характеристики керамик, ВТСП-керамика. Практическое применение керамик.	Меледин А.А.
11	Мезопористые материалы 1	Методы получения и описания свойств микро и мезопористых материалов на примере оксида алюминия. Детальное рассмотрение процессов образования, роста и самоорганизации пор. Применение данных материалов в качестве носителя для ферментативного катализа.	Бородинов Н.В.
12	Мезопористые материалы 2	Кислотные и основные центры. Применение микро и мезопористых материалов. Катализ углеводов, принципы работы молекулярных сит.	Кубарев А. (химфак)
13	Альтернативные источники	Солнечные батареи на основе	Смирнов

	энергии 1	неорганических материалов, Li вторичные источники энергии. Принципы создания и применение материалов в данных областях науки.	Е.А.
14	Альтернативные источники энергии 2	Топливные элементы и H ₂ – энергетика. Перспективы развития и проблематика.	Смирнов Е.А.
15	Биология и медицина 1	Биорезорбируемые/биорезистивные материалы, протезирование костей	Корнейчук С.А.
16	Биология и медицина 2	Нанодиагностика заболевание, лечение и точечная доставка лекарств.	Чеботаева Г.С.
17	Биология и медицина 3		
18	Экология 1	Самоочищающиеся поверхности. Очистка природы от загрязнений. Проблема загрязнения окружающей среды отходами и продуктами наноиндустрии.	Романчук А.Ю.
19	Экология 2	Проблема ядерных отходов и подходы к её решению.	Романчук А.Ю.
20	Заключительное занятие	Приглашённый гость, который прочитает обзорную лекцию на тему, выбранную учащимися.	

Практические занятия: для школьников предложено 4 темы (фотокатализаторы на основе диоксида титана, синтез и исследование оптических свойств квантовых точек, ферментативный катализ в пористых матрицах, синтез и исследование органических производных фуллеренов и предсказание их строения на основании расчётных методов квантовой химии), по каждой из которых им предстоит активная работа с англоязычными статьями и в лаборатории. В конечном счёте, школьники должны будут написать небольшую научно-исследовательскую работу на 5-7 страниц, с которыми они смогут участвовать в 4-5 конкурсах (Балтийский научно-инженерный конкурс, Колмогоровские чтения, Старт в Науку в МФТИ, Юниор).

Примечание.

В связи с тем, что спецкурс проводился в первом семестре в качестве эксперимента, некоторые лекции в весеннем семестре не до конца подготовлены: проработана их структура, однако отсутствует подготовленная лекция.

В приложениях:

Архив L_1.rar и архив L_2.rar – лекции в формате pdf за осенний и весенний семестры, соответственно. Они предназначены для ознакомления жюри. Школьникам же выдаются лекции в формате ppt с комментариями в соответствующем поле. В комментариях обычно содержатся дополнительные определения, не озвученные на лекции, лекционный материал и ссылки на те или иные источники информации по данной тематике.

Архив 1.rar – пример видеоматериалов, которые будут сделаны по каждой лекции в самом ближайшем будущем в качестве дополнительного учебного материала.

Файлы Викторина.doc и Ответы.doc – пример теста, который был составлен по материалам сайта Нанометр.ру и викторины очного тура для школьников II Интернет-олимпиады по нанотехнологиям.

Babinina_QD.rar – пример оформления объявления о научно-исследовательской работе и статей, которые раздаются учащимся в начале учебного года, чтобы в течение нескольких недель они могли бы выбрать для себя наиболее подходящую тематику.

Лекция 1-2

Подробный рассказ о том, как развивалась наука химия в последние несколько веков. Особый упор стоит сделать на появлении атомно-молекулярной теории в древней Греции и Индии. Следует объяснить, почему же всё-таки нужны были атомы грекам и индусам, какую роль они занимали в их мировоззрении. Также обязательно предлагать школьникам самим угадывать те или иные события, открытия и пытаться анализировать их влияние на дальнейшее развитие науки. Особое внимание необходимо уделить 20-ому веку и переходу в химии от «работы» с веществами к «работе» с атомами и молекулами, переходу к изучению веществ на атомно-молекулярном уровне.

Что касается физики, то ситуация аналогична. Необходимо постоянно поддерживать диалог с учащимися, спрашивать их о тех или иных явлениях и событиях в физике. Желательно углублённо начать проходить историю физики начиная с 19 века и до конца 20-ого. Особое внимание уделить развитию атомно-молекулярной теории и квантово-волновому дуализму, разъяснить, почему учёные долго спорили на счёт этих теории, которые сегодня являются обязательной частью школьного курса по физике.

После того, как будут прочитаны эти два важных раздела современных нанотехнологий, можно рассказать о парадигме (что это такое? как и когда она меняет?). Всё это необходимо для того, чтобы уложить в сознании школьников следующую мысль: Нанотехнологии – не придуманная учеными-фантастами виртуальная наука, а совершенно естественная междисциплинарная ступень в развитии науки в целом, без которой невозможно представить современный мир (привести в пример те же компьютеры, системы ИИ (искусственный интеллект), катализаторы, воздушные фильтры и т.д.). В конечном счёте, объяснить учащимся, в каких областях могут применять наноматериалы и почему (именно, на конкретных примерах), как наноструктурирование может влиять на свойства материалов с нано- до макро- уровня (привести примеры), ввести классификацию наноматериалов.

И в заключении рассказать немного в футуристичной манере о будущем («забросить удочку» интереса в души детей, чтобы они видели как тот или иной материал, та или иная разработка могут быть применены в будущем, чтобы они сами начали фантазировать после урока на тему нанотехнологий и их применений). В одной из контрольных предложить им самим написать небольшое эссе на страничку о будущем нанотехнологий.

Лекция 3

Привести модель образования энергетических зон. Объяснить что такое атомный уровень, и как атомные уровни могут образовывать зону. Почему возникает запрещённая зона и как это влияет на различные характеристики материалов (на конкретных примерах). Согласно теории запрещённых зон дать классификацию материалов на различные типы: металлы, полупроводники, диэлектрики. Объяснить значение уровня Ферми, а также скопление дырок у потолка валентной зоны (пузырьки газа) и электронов на дне зоны проводимости (капельки ртути в воде). Далее рассказать о классификации полупроводников по типу проводимости, объяснить, что такое дырочная и электронная проводимость. При этом желательно на доске нарисовать стандартную схему: решётка кремния с донорной и акцепторной примесями.

Объединив материал, рассказанный ранее, пояснить, почему в квантовых точках ширина запрещённой зоны больше, чем в объёмных материалах. Провести аналогию и с другими наноразмерными объектами. Далее на конкретных примерах (таблицах и графиках) показать справедливость высказанного утверждения.

Акцентировать внимание на оптических свойствах квантовых точек. Ещё раз вернуться к вопросу о том, почему у КТ ширина запрещённой зоны больше, чем у объёмного материала. Объяснить сдвиг максимум на графике люминесценции квантовых точек, выявить зависимость длины волны испускаемого света от времени синтеза (сдвиг в длинноволновую область) и, соответственно, от размера частиц. Постоянно в течение всей лекции необходимо обращаться к ученикам и спрашивать у них, как бы они объяснили те или иные явления.

Лекция 4

Данная лекция будет для некоторых учащихся прологом к будущей научной работе (одна из тем практической работы – синтез и свойства КТ). Рассказать о двух принципиально различных подходах к получению квантовых точек. Разъяснить их достоинства и недостатки (например, громоздкость, количество получаемых наноструктур, упорядоченность).

Более подробно остановится на коллоидном синтезе, как наиболее простом и дешёвом методе синтеза. Обсудить с аудиторией требования, предъявляемые к наночастицам и к стабилизатору. Рассказать о росте наночастиц и обосновать термодинамические причины такого поведения системы. Ещё раз обосновать роль стабилизатора и описать схему, предложенную в 1992 году Мюрреем. Обсудить постановку возможных экспериментальных задач по исследованию квантовых точек. Дать возможность учащимся на основании полученных знаний объяснить экспериментальные зависимости (графики) и потом ещё раз всё проговорить. Рассказать о том, как измеряется фотопроводимость в случае квантовых точек, и как можно создать подобную систему для измерений. Далее ещё раз сделать акцент на спектрах поглощения и люминесценции. Описать частицы, представленные на ТЕМ – фотографиях. О методе ТЕМ (просвечивающей электронной микроскопии) микроскопии будет рассказано через 2 лекции в разделе «Микроскопические методы анализа».

Продемонстрировать люминесценцию квантовых точек в зависимости от их размера и желательно от состава. Рассказать о практических применениях квантовых точек (биологические метки и лазеры с перестраиваемой длиной волны).

Лекция 5

Рассказать о принципах построения солнечного элемента, рассмотреть условия, необходимые для его эффективной работы. Дать характеристику основным материалам, используемым в конструкции таких устройств. Освежить знания, полученные школьниками в предыдущих двух лекциях и дать теоретическое обоснование работы солнечного элемента, рассмотрев энергетическую диаграмму. Повторить электронную структуру молекул, ВЗМО и НСМО, свойства электронодонорных и акцепторных молекул.

Подробно остановится на реализации солнечных батарей с органическим активным слоем, рассмотреть примеры органических соединений, используемых в настоящих устройствах. На основании представленных рисунков и предыдущего материала предоставить учащимся самим описать приведенные молекулы. Рассказать об особенностях строения каждого из соединений. Подробно рассмотреть перенос заряда на различных уровнях. Отметить основные трудности.

В конце занятия рассказать о методах исследования, которые могут быть использованы для анализа, определения и описания физико-химических свойств рассмотренных структур. Рассказать о том, какую именно информацию можно извлечь благодаря описанным методам. Предложить расшифровки всех англоязычных аббревиатур.

Лекция 6

Проследить ход естественных наук, а также отметить аспекты прикладного применения теорий. Вернуться к истории математического моделирования. Пояснить проблемы и ожидаемые результаты от решения этих проблем (в частности, сокращение издержек производства при грамотном моделировании).

Далее рассказать о многообразии форм углерода и потенциальных областях применения углеродных материалов. Сами учащиеся должны привести примеры их применения в повседневной жизни.

Подробно рассмотреть возможности химической модификации фуллеренов в свете возможности контроля физико-химических свойств молекул. Отметить трудности, возникающие перед исследователями и пути их решения. В частности, остановиться на проблематике контроля изомерного состава и геометрии молекул. В качестве примера, привести алгоритм «Жизнь» и рассмотреть его возможности. Объяснить суть данного алгоритма. Показать, как теория может предсказывать правильно результаты эксперимента. Объяснить на «пальцах» как такой результат был получен.

Отметить особенности строения и контроль геометрии некоторых молекул. Пофантазировать на предмет их возможного практического применения. Наконец, затронуть тему строения углеродных нанотрубок и кратко описать устройство полевого транзистора на их основе.

Лекция 7-8

Методы анализа и исследования свойств вещества. Начнём с электронной микроскопии. Опять история (к ней надо возвращаться как можно чаще и больше). Рассказать о квантово-волновом дуализме де-Бройля. Объяснить, что такое разрешающая способность и как она может повлиять на качество получаемых учёным результатов. Описать первые опыты по электронной микроскопии и трудности с коммерциализацией изобретения.

Привести общую схему взаимодействия электронов с образцом и описать детально каждый вид взаимодействия, объяснив, чем он обусловлен на физическом уровне. Пояснить принципиальную схему работы ЭМ (электронного микроскопа) и продемонстрировать ЭМ «в разрезе», объяснив назначение всех элементов конструкции. Привести схему работы старых и новых вариантов ЭМ. Рассказать о вторичных электронах более подробно, представить результаты моделирования коэффициента отражения в зависимости от атомного номера элемента и углом падения исходного пучка, а также результаты моделирования глубины выхода вторичных электронов из образца. Объяснить различия микрофотографий в отражённых и вторичных электронах.

На основе квантового дуализма рассказать, что такое дифракция электронов и ввести понятие индексов Миллера. Объяснить основы РСМА и принцип работы данного метода. Обсудить виды детекторов. Предложить учащимся самим подумать над решением проблемы непроводящих образцов при работе с РСМА методом, а потом рассказать, как эта проблема решается.

Рассказать основы АСМ и СТМ. Пояснить на рисунках что такое кантилевер и разобрать различные виды методик. Объяснить, как с помощью СТМ можно управлять отдельными атомами на поверхности подложки.

Дать классификацию рентгеновским методам исследования. Обсудить спектр испускания рентгеновских лучей металлами. Рассказать о принципе работы дифрактометра, принципах дифракции рентгеновских лучей и вывести уравнения Брега-Вульфа. Объяснить, как выглядит

карточка (рентгенограмма) вещества (пояснить предназначение каждой колонки). Рассказать о качественном и количественном РФА и обсудить области применения (с конкретными примерами по каждому пункту). Дать понятие ОКР (область когерентного рассеяния) и способов её вычисления.

На конкретных примерах рассказать, как РФА может помочь при исследовании фазовых превращений материалов (нагревание материала, процессы интеркалирования/деинтеркалирования в литиевых источниках тока). Представить современные модели дифрактометров.

Лекция 9

Ввести понятие спектрального анализа. Обратиться к истории и рассказать о начальном этапе развития спектроскопических методов исследования. Привести классификацию методов спектрального анализа по типу исследуемого объекта и типу исследуемых спектров. Далее разделить весь диапазон электромагнитного излучения на области. Привести классификацию спектров по длинам волн и по типу обработки аналитического сигнала. Ввести понятие атомного и молекулярного спектров, пояснить, откуда они берутся и почему они именно такие. Ввести понятие оптической плотности и коэффициента поглощения. Обсудить виды радиоспектроскопии. Объяснить суть рамановской спектроскопии и ИК-спектроскопии и некоторых других видов спектроскопий.

Рассказать вкратце принципиальную схему ядерной спектроскопии и провести классификацию данного метода исследования. Объяснить эффект Мёссбауэра и спектроскопию, основанную на данном явлении.

Лекция 10

Объяснить понятие «керамика», дать определение и привести примеры. Дать возможность школьникам самим привести примеры керамических изделий. Рассказать о том, что не является керамикой, и почему некоторые материалы не относят к керамическим. Провести классификацию различных керамик. Подробнее остановится на силикатной керамике, как основе многих современных материалов. Далее рассказать о природной и декоративной керамике. После чего более подробно остановиться на других важных в практическом отношении видах керамики. Объяснить процессы формование и спекания, а также некоторые технологические стадии получения керамических изделий. Немного рассказать о композитных материалах и принципе химического и физического соответствия, как основы для создания композитов.

Лекция 11-20

Дальнейшие лекции стоит проводить в аналогичной манере, предлагая самим учащимся отвечать на поставленные преподавателем вопросы, размышлять и пытаться применять свои знания на практике (при работе в лаборатории, на олимпиадах и различного рода конкурсах).