

Приложение № 26

к приказу

от 09.06.23 № 54/1

ПРИНЯТО
на заседании кафедры
физики ФМШ СФУ
Протокол № 10
от «2» 06 2023 г.

ПРИНЯТО
на заседании
Ученого совета
ФМШ СФУ
Протокол № 9
от «5» 06 2023 г.

УТВЕРЖДЕНО
Директор ФМШ СФУ
Е.А. Енгуразова
«06» 06 2023 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
СРЕДНЕГО ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ЭЛЕКТИВНОГО КУРСА
«НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ»
(2023-2024 гг.)**

Составитель:

Лукьяненко А.В., канд. физ.-мат. наук, доцент базовой кафедры физики твёрдого тела и нанотехнологий, Институт инженерной физики и радиоэлектроники СФУ, научный сотрудник лаборатории радиоспектроскопии и спиновой электроники Института физики ФИЦ КНЦ СО РАН

Красноярск 2023

Настоящая рабочая программа разработана в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта среднего общего образования и на основе требований к результатам освоения основной образовательной программы среднего общего образования физико-математической школы-интерната ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». В соответствии с учебным планом ФМШ СФУ элективный курс «Наноматериалы и нанотехнологии» изучается по выбору обучающихся в 10 или 11 классах в объеме 1 час в неделю в течение года обучения, всего 34 часа.

Курс направлен на изучение физических основ современной твердотельной электроники - изучаются макроскопические физические свойства кристаллов, их связь с микроскопическим атомным и молекулярным строением кристаллов. Рассматриваются тепловые, электрические и магнитные эффекты в кристаллах и их применения при изготовлении сенсоров и других устройств твердотельной электроники. Даются базовые знания по полупроводниковой технике (микросхемы, солнечные батареи и др.) и возможностях миниатюризации твердотельных устройств и их применения в нанотехнологиях. Возможные применения кристаллов оцениваются с точки зрения их симметрии. Все разделы курса сопровождаются лабораторными работами на современных научно-исследовательских установках базовой кафедры физики твердого тела СФУ и Института физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, что позволяет школьникам применять полученные знания на практике и знакомиться с направлениями развития современной физической науки.

Целесообразным является поддержка курса занятиями в модуле «Наноматериалы и нанотехнологии» программы дополнительного образования «Научная лаборатория».

Цель курса: формирование у школьников современного представления о физике твердого тела, изучение физических основ современной твердотельной электроники.

Для достижения поставленной цели выделяются следующие задачи:

- познакомиться с особенностями получения, исследования и применения наноматериалов;
- научиться проводить экспериментальную работу при исследовании нанообъектов;
- научиться интерпретировать экспериментальные результаты исследований в области нанотехнологий.

Образовательные результаты

В результате изучения курса обучающийся должен

- знать основные типы кристаллических решеток, о структуре и симметрии кристаллов, типах связей в кристаллах;
- знать основные методы выращивания кристаллов, исследования и характеристики твердых тел;

- знать области применения наноматериалов и нанотехнологий.
- уметь проводить измерения при исследовании нанообъектов;
- уметь интерпретировать полученные результаты.
- владеть навыками работы с учебной и научной литературой;
- владеть навыками работы с измерительной аппаратурой;
- владеть основными теоретическими представлениями, позволяющими анализировать результаты экспериментальных исследований нанообъектов;
- владеть навыками выбора оптимальных методик и оборудования для исследований нанообъектов.

Личностные результаты включают в себя:

в сфере гражданского воспитания:

- сформированность гражданской позиции обучающегося как активного и ответственного члена российского общества;
- принятие традиционных национальных, общечеловеческих гуманистических и демократических ценностей;
- представление о видах идентичности, актуальных для становления человечества и общества, для жизни в современном поликультурном мире;
- готовность противостоять идеологии экстремизма, национализма, ксенофобии, дискриминации по социальным, религиозным, расовым, национальным признакам;
- умение взаимодействовать с социальными институтами в соответствии с их функциями и назначением; готовность к гуманитарной и волонтерской деятельности;

в сфере патриотического воспитания:

- сформированность российской гражданской идентичности, патриотизма, уважения к своему народу, чувства ответственности перед Родиной, гордости за свою страну, свой край, свой язык и культуру, прошлое и настоящее многонационального народа России;
- ценностное отношение к государственным символам, историческому и природному наследию, памятникам, традициям народов России, достижениям России в науке, технологиях, труде;

в сфере духовно-нравственного развития:

- сформированность нравственного сознания, этического поведения, способность оценивать ситуации нравственного выбора и принимать осознанные решения, ориентируясь на морально-нравственные ценности и нормы современного российского общества;
- понимание значения личного вклада в построение устойчивого будущего;
- ответственное отношение к своим родителям, представителям старших поколений, осознание значения создания семьи на основе принятия ценностей семейной жизни в соответствии с традициями народов России;

- освоение гуманистических традиций и ценностей, уважение к личности, правам и свободам человека, культурам разных народов;

в сфере эстетического воспитания:

- представление об исторически сложившемся культурном многообразии своей страны и мира;

- эстетическое отношение к миру, современной культуре, включая эстетику быта, научного и технического творчества, спорта, труда, общественных отношений;

в сфере физического воспитания:

- осознание ценности жизни и необходимости ее сохранения;

- представление об идеалах гармоничного физического и духовного развития человека в исторических обществах и в современную эпоху;

в сфере трудового воспитания:

- понимание значения трудовой деятельности как источника развития человека и общества;

- уважение к труду и результатам трудовой деятельности человека;

- формирование интереса к различным сферам профессиональной деятельности;

- мотивация и способность к образованию и самообразованию на протяжении всей жизни;

в сфере экологического воспитания:

- осмысление исторического опыта взаимодействия людей с природной средой, его позитивных и негативных проявлений;

в понимании ценности научного познания:

- сформированность мировоззрения, соответствующего современному уровню развития исторической науки и общественной практики, основанного на диалоге культур, способствующего осознанию своего места в поликультурном мире;

- осмысление значения истории как знания о развитии человека и общества, о социальном и нравственном опыте предшествующих поколений;

- совершенствование языковой и читательской культуры как средства взаимодействия между людьми и познания мира;

- овладение основными навыками познания и оценки событий прошлого с позиций историзма, готовность к осуществлению учебной проектно-исследовательской деятельности в сфере истории;

- приобщение к истокам культурно-исторического наследия человечества, интерес к его познанию за рамками учебного курса и школьного обучения.

Работа на программе способствует также развитию *эмоционального интеллекта* школьников, в том числе *самосознания* (включая способность осознавать роль эмоций в отношениях между людьми); *саморегулирования*, включающего самоконтроль, умение принимать ответственность за свое поведение, способность адаптироваться к эмоциональным изменениям и

проявлять гибкость, быть открытым новому; *внутренней мотивации*, включающей стремление к достижению цели и успеху, оптимизм, инициативность, умение действовать, исходя из своих возможностей; *эмпатии* (способность понимать другого человека, оказавшегося в определенных обстоятельствах); *социальных навыков* (способность выстраивать конструктивные отношения с другими людьми, регулировать способ выражения своих суждений и эмоций с учетом позиций и мнений других участников общения).

Метапредметные результаты включают в себя следующие умения:

1) в сфере универсальных учебных познавательных действий:

владение базовыми логическими действиями:

- формулировать проблему, вопрос, требующий решения;
- устанавливать существенный признак или основания для сравнения, классификации и обобщения;
- определять цели деятельности, задавать параметры и критерии их достижения;
- выявлять закономерные черты и противоречия в рассматриваемых явлениях;
- разрабатывать план решения проблемы с учетом анализа имеющихся ресурсов;
- вносить коррективы в деятельность, оценивать соответствие результатов целям;

владение базовыми исследовательскими действиями:

- определять познавательную задачу; намечать путь ее решения и осуществлять подбор материала, объекта;
- владеть навыками учебно-исследовательской и проектной деятельности;
- выявлять характерные признаки явлений;
- раскрывать причинно-следственные связи; сравнивать события, ситуации, определяя основания для сравнения, выявляя общие черты и различия;
- формулировать и обосновывать выводы; соотносить полученный результат с имеющимися знаниями;
- определять новизну и обоснованность полученного результата;
- представлять результаты своей деятельности в различных формах (сообщение, эссе, презентация, реферат, учебный проект и другие);
- объяснять сферу применения и значение проведенного учебного исследования в современном общественном контексте;

работа с информацией:

- осуществлять анализ учебной и внеучебной информации (учебники, источники, научно-популярная литература, интернет-ресурсы и другие);
- извлекать, сопоставлять, систематизировать и интерпретировать информацию;

- различать виды источников информации;
- высказывать суждение о достоверности и значении информации источника (по предложенным или самостоятельно сформулированным критериям);
- рассматривать комплексы источников, выявляя совпадения и различия их свидетельств;
- использовать средства современных информационных и коммуникационных технологий с соблюдением правовых и этических норм, требований информационной безопасности;
- создавать тексты в различных форматах с учетом назначения информации и целевой аудитории, выбирая оптимальную форму представления и визуализации;

2) в сфере универсальных коммуникативных действий:

общение:

- представлять особенности взаимодействия людей в современном мире;
- излагать и аргументировать свою точку зрения в устном высказывании, письменном тексте;
- владеть способами общения и конструктивного взаимодействия, в том числе межкультурного, в школе и социальном окружении;
- аргументированно вести диалог, уметь смягчать конфликтные ситуации;

осуществление совместной деятельности:

- осознавать значение совместной деятельности людей как эффективного средства достижения поставленных целей;
- планировать и осуществлять совместную работу, коллективные учебные проекты, в том числе на региональном материале;
- определять свое участие в общей работе и координировать свои действия с другими членами команды;
- проявлять творчество и инициативу в индивидуальной и командной работе;
- оценивать полученные результаты и свой вклад в общую работу;

3) в сфере универсальных регулятивных действий:

владение приемами самоорганизации своей учебной и общественной работы:

- выявлять проблему, задачи, требующие решения;
- составлять план действий, определять способ решения, последовательно реализовывать намеченный план действий и другие;

владение приемами самоконтроля:

- осуществлять самоконтроль, рефлекссию и самооценку полученных результатов;
- вносить коррективы в свою работу с учетом установленных ошибок, возникших трудностей;

принятие себя и других:

- осознавать свои достижения и слабые стороны в учении, школьном и внешкольном общении, сотрудничестве со сверстниками и людьми старших поколений;
- принимать мотивы и аргументы других при анализе результатов деятельности;
- признавать свое право и право других на ошибку;
- вносить конструктивные предложения для совместного решения учебных задач, проблем.

Содержание курса

Раздел 1 «Применение и симметрия кристаллов». Введение в физику твердого тела. Основные понятия о структуре и симметрии кристаллов. Анизотропия и симметрия кристаллов. Основные типы кристаллических решеток. Группы симметрии и основные операции симметрии. Типы связей в кристаллах. Основные представления о росте кристаллов. Методы выращивания кристаллов.

Раздел 2 «Физика и методы исследования нанобъектов» . Основные методы исследования и характеристики наноструктур. Рентгеноструктурный анализ, просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия, атомно- силовая и туннельная микроскопия. Основы синхротронного анализа наноструктур и наноматериалов.

Раздел 3 «Перспективные инновационные технологии» . Нанотехнологии в энергетике. Водородная и солнечная энергетика. Нанотехнологии и ядерные методы в медицине. Создание новых лекарств. Целевая доставка лекарственных препаратов. Разработка и получение радиофармпрепаратов. Конвергенция наук и технологий.

Раздел 4 «Полупроводниковая техника и нанотехнологии». Введение в нанотехнологии. История развития инструментов и методов исследования, становление нанотехнологий. Классификация материалов по размерам, форме и структуре. Особенности физических взаимодействий на наномасштабах. Основные физические взаимодействия. Оценка величины силы тяжести для нанобъекта. Сравнение величины силы тяжести и поверхностного натяжения. Сила трения для нанобъектов. Силы Ван-дер-Ваальса. Потенциал Леннарда-Джонса. Обзор современных (в том числе структурных) методов исследования и характеристики твердых тел. Оптическая микроскопия. Электронная микроскопия. Зондовая микроскопия. Функциональные и конструкционные наноматериалы. Наночастицы. Квантовые точки. Тонкие пленки. Обзор процессов микро- и нанотехнологии. Современные технологические процессы, используемые при создании электронных устройств: литография, травление, ионная имплантация, нанесение пленок диэлектриков и металлов. Физика наноустройств. Кремниевая наноэлектроника. Квантовый размерный эффект в кремниевых нанокристаллах. Магнитные наноустройства для записи и хранения информации. Спинтроника.

Тематическое планирование

№	Тема/ содержание	Количество часов	Формы организации учебной деятельности	Формы контроля
1	Применения и симметрия кристаллов	8		
1.1	Введение в физику твердого тела	1	Лекция	
1.2	Основные понятия о структуре и симметрии кристаллов. Анизотропия и симметрия кристаллов. Основные типы кристаллических решеток.	1	Лекция	
1.3	Группы симметрии и основные операции симметрии.	1	Семинар	
1.4	Типы связей в кристаллах.	1	Лекция	
1.5	Основные представления о росте кристаллов.	1	Семинар	
1.6	Краткие сведения о методах выращивания кристаллов.	1	Семинар	
1.7	Лабораторная работа 1	2		Собеседование по результатам лабораторной работы
2	Физика и методы исследования нанообъектов	9		
2.1	Основные методы исследования и характеристики наноструктур	1	Лекция	
		1	Семинар	
2.2	Рентгеноструктурный анализ, просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия, атомно-силовая и туннельная микроскопия.	1	Лекция	
		1	Семинар	
2.3	Основы синхротронного анализа наноструктур и наноматериалов.	1	Лекция	
		1	Семинар	
2.4	Лабораторная работа 2	3		Собеседование по результатам лабораторной работы
3	Перспективные инновационные технологии	9		
3.1	Нанотехнологии в энергетике. Водородная и солнечная энергетика.	1	Лекция	
		1	Семинар	
3.2	Нанотехнологии и ядерные методы в медицине. Создание новых лекарств. Целевая доставка лекарственных препаратов. Разработка и получение радиофармпрепаратов.	1	Лекция	
		1	Семинар	
3.3	Конвергенция наук и технологий.	1	Лекция	
		1	Семинар	
3.4	Лабораторная работа 3	3		Собеседование по результатам лабораторной работы
4	Полупроводниковая техника и нанотехнологии	8		
4.1	Введение в нанотехнологии. История развития инструментов и методов исследования, становление нанотехнологий. Классификация материалов по размерам, форме и структуре.	1	Лекция	

4.2	Особенности физических взаимодействий на наномасштабах. Основные физические взаимодействия. Оценка величины силы тяжести для нанообъекта. Сравнение величины силы тяжести и поверхностного натяжения. Сила трения для нанообъектов. Силы Ван-дер-Ваальса. Потенциал Леннарда-Джонса.	1	Семинар	
4.3	Обзор современных (в том числе структурных) методов исследования и характеристики твёрдых тел. Оптическая микроскопия. Электронная микроскопия. Зондовая микроскопия.	1	Лекция	
4.4	Функциональные и конструкционные наноматериалы. Наночастицы. Квантовые точки. Тонкие плёнки.	1	Семинар	
4.5	Обзор процессов микро- и нанотехнологии. Современные технологические процессы, используемые при создании электронных устройств: литография, травление, ионная имплантация, нанесение плёнок диэлектриков и металлов.	1	Лекция	
4.6	Физика наноустройств. Кремниевая наноэлектроника. Квантовый размерный эффект в кремниевых нанокристаллах. Магнитные наноустройства для записи и хранения информации. Спинтроника.	1	Семинар	
4.7	Лабораторная работа 4	2		Собеседование по результатам лабораторной работы

Список лабораторных работ

Лабораторная работа 1: Изучение процессов роста кристаллов под микроскопом.

Лабораторная работа 2: Основы сканирующей зондовой микроскопии.

Лабораторная работа 3: Зондовые методы для исследований биологических объектов.

Лабораторная работа 4: Зондовая микроскопия.

Формы работы

Теоретические занятия предназначены для представления теоретических знаний по учебному курсу проводятся в виде лекций. В данном элективном курсе предполагаются практические занятия в виде лабораторных работ под руководством научных сотрудников базовой кафедры физики твердого тела СФУ и Института физики им. Л.В.Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН. Все темы включают в себя самостоятельную работу, связанную с подготовкой к семинарским и практическим занятиям: работа с литературой, решение задач, работа на компьютере.

Формы контроля

Текущий контроль теоретических знаний выполняется путем тестирования.

Текущий контроль практических знаний и умений выполняется в процессе сдачи-приема лабораторных работ.

Заключительная форма контроля – сдача итоговой работы. Цель – проверка знаний обучающихся и умений применять эти знания в практике. Итоговая работа выполняется в форме научного доклада.

Учебно-методические материалы по дисциплине

Основная литература

1. Зиненко В.И., Сорокин Б.П., Турчин П.П. Основы физики твердого тела. – Режим доступа: http://www.newlibrary.ru/book/zinenko_v_i___sorokin_b_p___turchin_p_p_/osnovy_fiziki_tvyordogo_tela.html

2. Вайнштейн Б.К. Современная кристаллография. – Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/1920>

3. Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологии. – Режим доступа: <https://obuchalka.org/20200917125049/materiali-i-metodi-nanotehnologii-starostin-v-v-2012.html>

4. Мартинес-Дуарт Дж. М., Мартин-Палма Р. Дж. и др. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники. – Режим доступа: <https://obuchalka.org/2014051877443/nanotehnologii-dlya-mikro-i-optoelektroniki-martines-duart-dj-m-martin-palma-r-dj-agullo-rueda-f-2009.html>

5. Харрисон У. Теория твердого тела. – Режим доступа: <http://alexandr4784.narod.ru/harrison.html>

6. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии: Учеб. пособие для студентов старших курсов вузов. – Режим доступа: http://ipmras.ru/UserFiles/publications/mironov/RUS_Fundamentals_SPM.pdf

Научная библиотека СФУ (bik.sfu-kras.ru)

БД «Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU»