

Приложение № 26

к приказу

от 21.06.2024 № 30/1-н

ПРИНЯТО
на заседании кафедры
физики ФМШ СФУ
Протокол № 8
от «23» 06 2024 г.

ПРИНЯТО
на заседании
Ученого совета
ФМШ СФУ
Протокол № 7
от «06» 06 2024 г.

УТВЕРЖДЕНО

Директор ФМШ СФУ
Е.А. Енгуразова
«21» июня 2024 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
СРЕДНЕГО ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ЭЛЕКТИВНОГО КУРСА
«НАНОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ»**

Составители:

Непомнящих С.И., старший преподаватель кафедры экспериментальной физики и инновационных технологий ИИФиРЭ СФУ;

Лукьяненко А.В., канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник лаборатории радиоспектроскопии и спиновой электроники Института физики СО РАН им. Л.В. Киренского;

Чиганов А.С., канд. физ.-мат. наук, педагог дополнительного образования ФМШ СФУ;

Орлов В.А., канд. физ.-мат. наук, заведующий кафедрой экспериментальной физики и инновационных технологий ИИФиРЭ СФУ, старший научный сотрудник лаборатории магнитодинамики Института физики ФИЦ КНЦ СО РАН;

Соколов А.Э. канд. физ.-мат. наук, заместитель директора Института физики им. Л.В. Киренского по научной работе, старший научный сотрудник лаборатории физики магнитных явлений Института физики ФИЦ КНЦ СО РАН, доцент кафедры экспериментальной физики и инновационных технологий ИИФиРЭ СФУ

Красноярск 2024

Настоящая рабочая программа модуля разработана на основе Федеральной образовательной программы среднего общего образования, в соответствии 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 «Нанотехнологии для школьников» изучается по выбору учащихся в 10 или 11 классе в объеме 1 часа в неделю в течение года обучения, всего 34 часов.

В рамках курса изучаются возможности их роста и макроскопические физические свойства, их связь с молекулярным строением. Курс «Нанотехнологии для школьников» расширяет и углубляет общеобразовательный курс «Физика» и 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.

В рамках курса также происходит знакомство обучающихся с магнитными свойствами наноразмерных объектов: наноточек, нанопроволок, нанолент и пр., их применением и перспективами использования. В рамках курса рассматриваются основы теории магнетизма, слушатели знакомятся с современным экспериментальным оборудованием для исследования магнитных свойств вещества. Особое внимание уделяется экзотическим свойствам наномангнетиков, обладающих, так называемой, вихревой структурой намагниченности. Рассматриваются вопросы применения магнитных нанобъектов в различных отраслях: научных исследованиях, устройствах спинтроники, биомедицине, космических технологиях и пр.

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 «Нанотехнологии» программы дополнительного образования «Нанолaborатория».

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 понятием «нанотехнологии», особенностями исследования, получения, исследования и применения наноматериалов;
- научиться проводить экспериментальную работу при исследовании нанообъектов;
- научиться интерпретировать экспериментальные результаты исследований в области нанотехнологий;
- развить интерес обучающихся к современной технике и производству.

Программа состоит из четырех модулей.

Модуль 1 направлен на изучение кристаллов.

Модуль 2 включает в себя три практических лабораторных работы, которые могут лечь в основу индивидуальных школьных проектов.

Тема проекта 1. «Изучение процессов роста кристаллов под микроскопом». В ходе выполнения проекта будут рассмотрены понятия кристаллов и способы кристаллизации. Работа включает наблюдение за ростом микрокристаллов при помощи оптического микроскопа. Учащимся будут установлены закономерности роста микрокристаллов. Путём анализа снимков необходимо определить основные геометрические параметры полученных кристаллов.

Тема проекта 2. «Получение топологии поверхности методом сканирующей зондовой микроскопии». В ходе выполнения проекта будут рассмотрены различные режимы зондовой микроскопии. Работа включает процедуру пробоподготовки объекта исследования, получение СЗМ изображения и его анализ.

Тема проекта 3. «Создание квантовых точек из цитрусового сока». В ходе выполнения проекта будет составлена классификация наночастиц и рассмотрены химические способы получения наночастиц. В ходе практики учащимся будут получены наночастицы, описаны их оптические свойства.

Модуль 3 посвящен знакомству с работой сканирующего зондового туннельного и атомно-силового микроскопов.

Модуль 4 знакомит обучающихся с современными проблемами физики магнетизма и элементами математического аппарата, с методами исследования магнитных свойств наноматериалов, позволяет им получить начальные навыки интерпретации экспериментальных и теоретических результатов при изучении магнитных свойств нанообъектов.

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

Образовательные результаты

В результате изучения курса обучающийся должен

Знать:

- основные типы кристаллических решеток, о структуре и симметрии кристаллов, типах связей в кристаллах;
- основные методы выращивания кристаллов, исследования и характеристики твердых тел;
- области применения наноматериалов и нанотехнологий;
- основные виды взаимодействий, определяющие магнитные свойства объекта;
- основные методы исследования магнитных нанообъектов;
- перспективные области применения магнитных наноматериалов.

Уметь:

- проводить измерения при исследовании нанообъектов;
- проводить простые расчеты магнитных параметров симметричных низкомерных объектов;
- интерпретировать экспериментальные результаты и предсказывать простые качественные характеристики наноразмерных частиц.

Владеть:

- навыками работы с учебной и научной литературой;
- навыками работы с измерительной аппаратурой;
- основными теоретическими представлениями, позволяющими анализировать результаты экспериментальных исследований нанообъектов;
- 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, рефлексию 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.

При разработке учебного курса были использованы следующие принципы:

- принцип последовательности в изучении методов исследования,
- принцип системности знаний,
- принцип дифференцированности обучения,
- принцип фундаментальности знаний и умений,
- принцип доступности содержания курса,
- принцип связи теоретических знаний с практикой,
- принцип единой содержательной и процессуальной стороны обучения,
- принцип структурного единства содержания образования на разных уровнях его формирования с учетом личностного развития и становления школьника.

Содержание курса

Модуль 1 «Изучение кристаллов» - 8 часов. 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.

Модуль 2 «Знакомство с нанотехнологиями» – 8 часов. История развития инструментов и методов исследования. Как развивались нанотехнологии. Разница в размерах (нано-, микро-, макро-). Как размеры могут влиять на свойства материала. Превращения углерода. Графен. Классификация нанообъектов по геометрической размерности. 1-D нанообъекты. Синтез, классификация, свойства и области применения наночастиц.

Практическая работа. Приготовление квантовых точек их цитрусового сока. 2-D нанообъекты. Тонкие плёнки. Виды микроскопии высокого разрешения. Электронная микроскопия. Виды микроскопии высокого разрешения. Зондовая микроскопия.

Практическая работа. Получение топологии поверхности объектов методом сканирующей зондовой микроскопии.

Модуль 3 «Сканирующая зондовая микроскопия» – 10 часов.

История создания сканирующих зондовых туннельных и атомно-силовых микроскопов. Электро-силовая (ЭСМ) и магнитно-силовая (МСМ) микроскопия, ближнепольная оптическая микроскопия (БОМ). Основные принципы работы сканирующих зондовых микроскопов (СЗМ). Артефакты при получении сканов, необходимость их учета.

Конструкция и порядок работы на СЗМ. Установка образца, зондового датчика, подвод датчика к образцу, выбор области и параметров сканирования. Получение изображения в режиме атомно-силовой микроскопии (АСМ).

Представление, обработка и анализ СЗМ-изображений. Программа «Scan Viever». Применение сглаживающих, градиентных, нелинейных фильтров и пр.

Принципы работы СЗМ СММ-2000 в режиме сканирующей туннельной микроскопией (СТМ). Представление и анализ СТМ-изображений.

Изготовление зондов для СЗМ.

Сканирование рельефа поверхностей различных объектов: биологических (эритроцитов, бактерий, волоса человека или животных и пр.), дифракционных решеток, радужных голограмм, интегральных микросхем (ПЗУ, микропроцессоров логических ИМС и др.), магнитных носителей информации (диски НЖМД, дискеты, магнитные ленты и пр.) и пр.

Модуль 4 «Наноразмерный магнетизм» – 8 часов.

Особенности физических свойств объектов наноразмерного диапазона. Классификация. Проекты устройств компьютерной логики, памяти, датчиков

и устройств спинтроники на основе магнитных наноэлементов. Современные проблемы и перспективы применения магнитных наноэлементов.

Магнитные наночастицы в биомедицине. Современные технологии использования нанообъектов в лечебном деле, хирургии и пр. Приоритетные задачи и проекты применения нанообъектов в медицине.

Введение в физику магнитных явлений. Основные магнитные характеристики (понятия, категории): магнитная индукция, напряженность поля, намагниченность, проницаемость, восприимчивость...

Магнитные взаимодействия: обменная энергия, магнитная анизотропия, магнитостатическое взаимодействие...Классификация магнетиков.

Структура намагниченности ферромагнетиков, магнитные домены.

Процессы квазистатического перемагничивания. Гистерезис.

Магнитные вихри. Математический формализм описания эволюции намагниченности вихревой структуры.

Динамические свойства намагниченности уединенных наночастиц и их массивов.

Методы и результаты наблюдения вихревых структур и их свойств. Магнитные измерения: силовая микроскопия, ФМР.

Экзотические направления использования магнитных свойств нанообъектов. Идеи нетрадиционного применения магнетиков в разных отраслях деятельности человека. Материалы будущего.

Тематическое планирование

№	Тема/ содержание	Количество часов	Формы организации учебной деятельности	Формы контроля
1	Модуль 1 «Изучение 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	
	Группы симметрии и основные операции симметрии.	1	Семинар	
1.3	Типы связей в кристаллах.	1	Лекция	
	Основные представления о росте кристаллов.	1	Семинар	
	Краткие сведения о методах выращивания кристаллов.	1	Семинар	
	Лабораторная работа 1 «Изучение процессов роста кристаллов под микроскопом»	2		Собеседование по результатам лабораторной работы
2	Модуль 2 «Знакомство с нанотехнологиями»	8		
2.1	История развития инструментов и методов исследования. Как развивались нанотехнологии.	1	Лекция	
2.2	Разница в размерах (нано-, микро-, макро-). Как размеры могут влиять на свойства материала. Превращения углерода. Графен.	1	Лекция	Тест

2.3	Классификация нанообъектов по геометрической размерности. 1-D нанообъекты. Синтез, классификация, свойства и области применения наночастиц.	1	Семинар	Собеседование по итогам работы
2.4	Приготовление квантовых точек их цитрусового сока.	1	Практическая работа	Собеседование по итогам работы
2.5	2-D нанообъекты. Тонкие плёнки.	1	Лекция	
2.6	Виды микроскопии высокого разрешения. Электронная микроскопия.	1	Лекция	
2.7	Виды микроскопии высокого разрешения. Зондовая микроскопия.	1	Лекция	Тест
2.8	Получение топологии поверхности объектов методом сканирующей зондовой микроскопии.	1	Практическая работа	Собеседование по итогам работы

3	Модуль 3 Сканирующая зондовая микроскопия	10		
3.1	История создания сканирующих зондовых туннельных и атомно-силовых микроскопов.	1	Интерактивная лекция	

3.2	Основные принципы работы сканирующих зондовых микроскопов (СЗМ). Артефакты при получении сканов, необходимость их учета.	1	Интерактивная лекция	Тест
3.3	Инструктаж по технике безопасности. Ознакомление с конструкцией и порядком работы на СЗМ. Установка образца, зондового датчика, подвод датчика к образцу, выбор области и параметров сканирования.	1	Лабораторная работа	Собеседование по итогам работы
3.4	Принципы работы СЗМ «NanoEducator» в режиме сканирующей туннельной микроскопией (СТМ). Представление и анализ СТМ-изображений.	1	Лабораторная работа	Собеседование по итогам работы
3.5	Получение первого изображения в режиме атомно силовой микроскопии (АСМ).	2	Лабораторная работа	Собеседование по итогам работы
3.6	Сканирование рельефа поверхностей различных объектов: биологических (эритроцитов, бактерий, волоса человека или животных и пр.), дифракционных решеток, радужных голограмм, интегральных микросхем (ПЗУ, микропроцессоров логических ИМС и др.), магнитных носителей информации (диски НЖМД, дискеты, магнитные ленты и пр.) и пр.	2	Интерактивная лекция Лабораторная работа	Собеседование по итогам работы

3.7	Работа над мини-исследованием (постановка задачи исследования, выбор образцов, их подготовка для исследования, получение сканов, обработка и представление результатов исследования).	1	Исследовательская деятельность	
3.8	Презентация результатов мини-исследования	1		Презентация
4	Модуль 4 «Наноразмерный магнетизм»	8		
4.1	Особенности физических свойств объектов наноразмерного диапазона. Классификация. Проекты устройств компьютерной логики, памяти, датчиков и устройств спинтроники на основе магнитных наноэлементов. Современные проблемы и перспективы применения магнитных наноэлементов.	1	Лекция	
4.2	Магнитные характеристики материалов	4		
	Введение в физику магнитных явлений. Основные магнитные характеристики (понятия, категории): магнитная индукция, напряженность поля, намагниченность, проницаемость, восприимчивость		Лекция Семинар	
	Магнитные взаимодействия: обменная энергия, магнитная анизотропия, магнитостатическое взаимодействие. Классификация магнетиков		Лекция Семинар, Экскурсия	

	Структура намагниченности ферромагнетиков, магнитные домены. Процессы квазистатического перемагничивания. Гистерезис.		Лекция Семинар	
	Статические свойства магнитной структуры. Итоговое занятие			Письменная работа
4.3	Магнетизм нанообъектов с вихревой структурой намагниченности	2		
	Особые метастабильные состояния намагниченности. Магнитные вихри. Математический формализм описания эволюции намагниченности вихревой структуры		Лекция Семинар	
	Методы и результаты наблюдения вихревых структур и их свойств. Магнитные измерения: силовая микроскопия, ФМР...		Лекция Семинар, экскурсия	Тестирование
4.4	Вызовы и перспективные мировые направления исследований в области магнетизма	1		
	Экзотические направления использования магнитных свойств нанообъектов. Экзотические направления использования магнитных свойств нанообъектов. Идеи нетрадиционного применения магнетиков в разных отраслях деятельности человека. Материалы будущего.		Лекция Семинар	Научный доклад
	Итого	34		

Формы работы

Лекционные занятия: изложение теоретического материала, демонстрация мультимедийного контента, демонстрационного эксперимента.

Семинарские занятия: закрепление теоретического материала, решение качественных и расчетных задач, наблюдение экспериментов и их обработка, выездные экскурсии.

В данном элективном курсе предполагаются практические занятия в виде лабораторных работ. Все темы включают в себя самостоятельную работу, связанную с подготовкой к семинарским и практическим занятиям.

Формы контроля

Текущий контроль теоретических знаний выполняется путем обсуждения со школьниками теоретических вопросов в рамках интерактивных лекций и семинаров.

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

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

Перечень экскурсий

- посещение лабораторий ИФ им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН (магнитодинамики, физики магнитных явлений и др.);
- посещение лабораторий СФУ;
- посещение лабораторий ЦНИЛ КрасГМУ им. проф.В. Ф. Войно-Ясенецкого.

Учебно-методические материалы

1. Бабичев А.П., Бабушкина Н.А., Братковский А.М., и др. Физические величины. – М.: Энергоатомиздат, 1991, 1232 с.
2. Гейм А.К. Случайные блуждания: непредсказуемый путь к графену // УФН 181 1284–1298 (2011)
3. Зиненко В.И., Сорокин Б.П., Турчин П.П. Основы физики твердого тела // М.: Физматлит. – 2001.
4. Каганов М.И., Цукерник В.М., Природа магнетизма. – М.: Наука, 1982, 192 с.
5. Киренский Л.В. Магнетизм. – М.: Наука, 1966. – 195 с.
6. Кобаяси Н. Ведение в нанотехнологию. – 2005.
2. Кринчик Г.С. Физика магнитных явлений. М., Изд-во Моск. ун-та, 1976. – 367 с.
3. **Магнитные материалы микро- и наноэлектроники: учеб. пособие / А. Л. Семенов, А. А. Гаврилюк, Н. К. Душутин, Ю. В. Ясюкевич. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2012. –147 с.**

4. Мартинес-Дуарт Дж.М., Мартин-Палма Р.Дж., Агулло-Руеда Ф. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники. – 2009.
5. Мартинес-Дуарт Дж.М., Мартин-Палма Р. Дж. и др. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники. – URL: <https://obuchalka.org/2014051877443/nanotehnologii-dlya-mikro-i-optoelektroniki-martines-duart-dj-m-martin-palma-r-dj-agullo-rueda-f-2009.html>
6. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Техносфера //Москва. – 2004.
7. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии: Учеб. пособие для студентов старших курсов вузов. – URL: http://ipmras.ru/UserFiles/publications/mironov/RUS_Fundamentals_SPM.pdf
8. 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
9. Мишин Д.Д. Магнитные материалы. Уч. пос. – М. Высш. Школа, 1981, 335 с.
10. Смирнов Е.В. Сканирующая микроскопия в измерениях нанобъектов// Инженерный журнал: наука и инновации. □ 2013. □ Выпуск 6. – URL: <http://engjournal.ru/catalog/nano/hidden/809.html>
11. Старостин В. В. Материалы и методы нанотехнологий. – 2012.
12. Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологии. – URL: <https://obuchalka.org/20200917125049/materiali-i-metodi-nanotehnologii-starostin-v-v-2012.html>
13. Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма. Магнитные характеристики и практические применения. Пер. с японского. – М.: Мир, 1987. – 419 с.
14. Фейнман Р. Ф. Внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики //Российский химический журнал. – 2002. – Т. 46. – №. 5. – С. 4-6.
15. Харрисон У. Теория твердого тела. – URL: <http://alexandr4784.narod.ru/harrison.html>

Интернет-ресурсы

1. Интернет-портал Научно-образовательного центра «Бионаноскопия» МГУ имени М.В.Ломоносова – www.nanoscopy.ru
2. Интернет-портал Нанотехнологического сообщества «Нанометр» - www.nanometer.ru

Периодическая литература

1. Научно-технический журнал «Наноиндустрия». ЗАО «РИЦ» «Техносфера» (www.nanoindustry.su)

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

БД «Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU»

