

Федеральное государственное учреждение  
«Федеральный научно-исследовательский центр  
«Кристаллография и фотоника»  
Российской академии наук»

Принято на Ученом совете ИК РАН  
Протокол № 5 от 22.09.2020 г.

«Утверждаю»

Директор



 О.А. Алексеева

« 22 »  2020 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНЫ

«ЛАЗЕРНЫЙ СИНТЕЗ И ДИАГНОСТИКА ТОНКИХ ПЛЕНОК И НАНОСТРУКТУР»

**Направление подготовки:** 03.06.01 Физика и астрономия

**Направленность:** «Кристаллография, физика кристаллов» (01.04.18)

**Квалификация выпускника:** Исследователь. Преподаватель-исследователь

**Форма обучения:** очная

**Срок обучения:** 4 года

Квалификация  
Исследователь. Преподаватель-исследователь

Москва  
2020

Программа дисциплины «Лазерный синтез и диагностика тонких пленок и наноструктур» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 876 от «30» июля 2014 г. по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия», с изменениями и дополнениями от 30 апреля 2015г;
- Программа кандидатского минимума и паспорт научной специальности 01.04.18 – Кристаллография, физика кристаллов, разработанный экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства в связи с утверждением приказа Министерства образования и науки Российской Федерации от 23 октября 2017 г. №1027 «Об утверждении Номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени».

Составитель: д.ф.-м.н. О.А. Новодворский



## **1. Цели и задачи дисциплины**

**Целью** освоения дисциплины «Лазерный синтез и диагностика тонких пленок и наноструктур» является овладение современными профессиональными знаниями в области кристаллографии, связанной с синтезом тонких пленок и наноразмерных структур методом импульсного лазерного осаждения (ИЛО) и методами исследования тонких пленок и наноразмерных структур.

### **Задачи дисциплины:**

- изучение физических основ лазерного синтеза тонких пленок и наноструктур;
- изучение основных механизмов, определяющих диаграмму разлета факела при лазерном воздействии на мишени;
- изучение методов определения функции распределения частиц факела по скорости: оптической эмиссионной спектроскопии, лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛИФ) и зондовой диагностики;
- изучение механизмов размерных эффектов проводимости в пленках металлов нанометровых толщин в процессе импульсного лазерного осаждения пленок;
- неравновесное легирование пленок прозрачных проводящих оксидов и разбавленных магнитных полупроводников при синтезе методом ИЛО;
- изучение методов диагностики наноразмерных структур (тонких пленок, p-n-переходов, квантовых ям, мемристоров, спиновых вентилей).

## **2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы аспирантуры**

Дисциплина «Лазерный синтез и диагностика тонких пленок и наноструктур» входит в Блок 1 (Дисциплины по выбору) и относится к вариативной части ООП по направлению подготовки 03.06.01 - Физика и астрономия, направленность «Кристаллография, физика кристаллов» (01.04.18). Индекс дисциплины по учебному плану – Б1.В.ДВ.1

## **3. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины**

Освоение дисциплины «Лазерный синтез и диагностика тонких пленок и наноструктур» направлено на формирование следующих универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций аспиранта:

### **а) универсальные (УК):**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
- готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4).

### **б) общепрофессиональные (ОПК):**

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

### **в) профессиональные (ПК):**

- способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы с применением современных и перспективных методов исследования и решению профессиональных задач с учетом мировых тенденций развития области науки в соответствии с направленностью программы (ПК-1).



- способность анализировать результаты научных исследований и представлять их в виде докладов, статей, готовность применять на практике навыки составления и оформления научных отчетов и научно-технической документации (ПК-2);
- способность использовать профессионально-профилированные навыки и знания в области информационных технологий, программного обеспечения и ресурсов сети Интернет для обработки и анализа полученных научных результатов (ПК-3).

#### **4. Требования к результатам освоения содержания дисциплины**

В результате освоения дисциплины «Лазерный синтез и диагностика тонких пленок и наноструктур» аспирант должен

##### **знать:**

- перспективные направления исследований в области применения лазерного излучения в технологиях создания тонкопленочных материалов наноразмерных толщин;
- основные особенности энергетического спектра частиц лазерного факела, возникающего при взаимодействии мощного лазерного излучения с мишенями;
- механизмы размерных эффектов проводимости в тонких наноразмерных пленках металлов;
- методы определения функции распределения частиц факела по скорости (метод зонда Ленгмюра, ЛИФ, оптическая эмиссионная спектроскопия);
- особенности моделирования модового состава ионной составляющей лазерного факела;
- основные механизмы формирования высокоэнергетических групп ионов факела;
- достоинства и недостатки различных методов устранения капель;
- особенности неравновесного легирования при синтезе проводящих пленок прозрачных оксидов, метод солегирирования;
- основные методы диагностики наноразмерных структур;
- механизмы мемристинного эффекта в тонких пленках оксидов под действием электрического поля,

##### **уметь:**

- оценить порог абляции различных материалов (металлов и полупроводников) при воздействии лазерного излучения с различной длиной волны;
- пояснить и теоретически описать механизмы поглощения энергии лазерного излучения в различных средах в режиме абляции;
- оценить соотношения скоростей разлета ионов и нейтральных частиц капель факела по времяпролетным кривым зондовой и оптической диагностики лазерного факела в металлах и полупроводниках при лазерных воздействиях;
- определить функции распределения капель по скоростям по времяпролетным распределениям капель;
- проводить исследование электрических характеристик тонких пленок легированных полупроводников методом Холла,

##### **владеть:**

- методом определения функции распределения капель по скоростям и методом управления осаждением наноразмерных частиц с заданным интервалом скоростей;
- методом неравновесного легирования при синтезе проводящих пленок оксидов, методом солегирирования;
- методами синтеза пленок разбавленных магнитных полупроводников с высокотемпературным ферромагнетизмом;
- методом исследования морфологии тонких пленок оптическим и атомно-силовым микроскопами;



- навыками получения спектров фотолюминесценции квантовых ям в диапазоне температур от 10 К до 300 К для исследования размерных эффектов в квантовых ямах;
- методом исследования и построения ВАХ мемристоров.

### 5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (заполняется в соответствии с картами компетенций)

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1	<p>31 (УК-1) - <b>Знать</b> методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p> <p>У1 (УК-1)- <b>Уметь</b> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов.</p> <p>У2 (УК-1) – <b>Уметь</b> при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений.</p> <p>В1 (УК-1)- <b>Владеть</b> навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p> <p>В2 (УК-1)- <b>Владеть</b> навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p>
УК-3	<p>31 (УК-3) - <b>Знать</b> особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной форме при работе в российских и международных исследовательских коллективах.</p> <p>У1 (УК-3)- <b>Уметь</b> следовать нормам проведения научно-исследовательской деятельности, принятым в научном общении при работе в российских и международных исследовательских коллективах с целью решения научных и научно-образовательных задач.</p> <p>У2 (УК-3)- <b>Уметь</b> осуществлять личностный выбор в процессе работы в российских и международных исследовательских коллективах, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой, коллегами и обществом.</p> <p>В1 (УК-3)- <b>Владеть</b> навыками анализа основных мировоззренческих и методологических проблем, в т.ч. междисциплинарного характера, возникающих при работе по решению научных и научно-образовательных задач в российских или международных исследовательских коллективах</p> <p>В2 (УК-3)- <b>Владеть</b> технологиями оценки результатов коллективной деятельности по решению научных и научно-образовательных задач, в том числе ведущейся на иностранном языке</p>
УК-4	<p>31 (УК-4) - <b>Знать</b> современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках.</p> <p>32 (УК-4) – <b>Знать</b> стилистические особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной форме на государственном и иностранном языках</p> <p>У1 (УК-4)- <b>Уметь</b> следовать основным нормам, принятым в научном общении на государственном и иностранном языках</p> <p>В1 (УК-4)- <b>Владеть</b> навыками анализа научных текстов на государственном и иностранном языках.</p>



	<p>V2 (УК-4)- <b>Владеть</b> навыками критической оценки эффективности различных методов и технологий научной коммуникации на государственном и иностранном языках</p> <p>V3 (УК-4)- <b>Владеть</b> различными методами, технологиями и типами коммуникаций при осуществлении профессиональной деятельности на государственном и иностранном языках.</p>
ОПК-1	<p>З1 (ОПК-1)- <b>Знать</b> современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности.</p> <p>У1 (ОПК-1)- <b>Уметь</b> выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования.</p> <p>В1 (ОПК-1)- <b>Владеть</b> навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований.</p> <p>V2 (ОПК-1)- <b>Владеть</b> навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов</p> <p>V3 (ОПК-1)- <b>Владеть</b> навыками представления и продвижения результатов интеллектуальной деятельности</p>
ПК-1	<p>З1 (ПК-1)- <b>Знать</b> современное состояние науки в соответствии с направленностью подготовки</p> <p>У1 (ПК-1)- <b>Уметь</b> рационально и эффективно использовать фундаментальные знания для постановки и осуществления теоретических и экспериментальных исследований.</p> <p>В1 (ПК-1)- <b>Владеть</b> методами планирования, подготовки, проведения научных исследований, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по направленности подготовки.</p>
ПК-2	<p>З1 (ПК-2)- <b>Знать</b> особенности составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, статей и докладов.</p> <p>У1 (ПК-2)- <b>Уметь</b> применять на практике навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей.</p> <p>В1 (ПК-2)- <b>Владеть</b> навыками составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей.</p>
ПК-3	<p>З1 (ПК-3)- <b>Знать</b> информационные технологии, программное обеспечение и ресурсы сети Интернет для обработки и анализа полученных научных результатов.</p> <p>У1 (ПК-3)- <b>Уметь</b> использовать профессионально-профилированные знания в области информационных технологий, программного обеспечения и ресурсов сети Интернет для обработки и анализа полученных научных результатов.</p> <p>В1 (ПК-3)- <b>Владеть</b> знаниями в области информационных технологий, программного обеспечения и ресурсов сети Интернет для обработки и анализа полученных научных результатов.</p>

## 6. Структура и содержание дисциплины

### 6.1. Структура дисциплины

Вид работы	Всего часов
Общая трудоёмкость, акад. часов	180
Аудиторная работа:	52
Лекции, акад. часов	36



Практические занятия, семинары, акад. часов	16
Лабораторные работы, акад. часов	-
Самостоятельная работа, акад. часов	120
Индивидуальные занятия, акад. часов	-
Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен) - ЗАЧЕТ	8

### 6.2. Разделы дисциплины

№ раздела	Наименование раздела	Аудиторная работа, трудоемкость (акад. часов)	Самостоятельная работа, трудоемкость (акад. часов)
1	Современные методы получения тонких пленок.	2	16
2	Физические основы метода импульсного лазерного осаждения.	12	24
3	Импульсное лазерное осаждение тонких пленок металлов, оксидов металлов, полупроводников.	12	28
4	Импульсное лазерное осаждение тонких пленок высокотемпературных ферромагнитных полупроводников.	6	16
5	Импульсное лазерное осаждение тонкопленочных наноструктур. Квантовые ямы, спиновые вентили, мемристоры.	12	28
6	Методы диагностики тонких пленок и наноструктур.	8	24
	Итоговая аттестация (зачет)	8	18
	<i>Общая трудоемкость</i>	60	120

### 6.3. Лекции и их трудоемкость

№ раздела	№ лекции	Тематика	Трудоёмкость (акад. часов)
1	1	(Обзорно-установочная лекция) <i>Методы получения тонких пленок и наноструктур.</i> Молекулярно лучевая эпитаксия (МВЕ), метод газофазной эпитаксии (МОСVD), импульсное лазерное осаждение (PLD).	2
2	2	<i>Физика метода импульсного лазерного осаждения.</i> Абляция мишени. Конгруэнтность выноса материала мишени. Состав и диаграмма разлета факела. Времяпролетные характеристики компонент факела.	6
2	3	<i>Диагностика лазерного факела.</i> Метод оптический эмиссионной спектроскопии, ЛИФ метод определения функции распределения по скоростям. Зондовая диагностика факела, энергетический спектр ионов факела. Многомодальность распределения ионов по скоростям.	6



2	4	<b>Капли в методе ИЛО.</b> Метод определения функции распределения капель по скоростям. Методы борьбы с каплями. Метод управления осаждением частиц с заданной скоростью.	6
3	5	<b>Импульсное лазерное осаждение тонких пленок</b> металлов и прозрачных проводящих оксидов. Размерные и квантоворазмерные эффекты в тонких пленках металлов и полупроводников. Неравновесное легирование при синтезе проводящих пленок оксидов, метод солегирования. Синтез пленок оксидов переходных металлов.	4
4	6	<b>Импульсное лазерное осаждение тонких пленок</b> высокотемпературных ферромагнитных полупроводников. Высокотемпературный ферромагнетизм пленок разбавленных магнитных полупроводников. Спиновая поляризация электронов, аномальный эффект Холла в магнитных полупроводниковых пленках. Перспективы применения в спинтронике. Особенности высокотемпературного ферромагнетизма пленок $A^{IV}B^{VII}$ (MnSi). Синтез пленок ферромагнитных полупроводников $A^{III}-B^V$ (InSb, GaSb), легированных марганцем. Температурная зависимость намагниченности, функция Ланжевена.	4
5	7	<b>Импульсное лазерное осаждение тонкопленочных наноструктур - квантовых ям, спиновых вентилей, мемристоров.</b> Размерные эффекты в квантовых ямах, квантово-каскадные лазеры. Туннельный эффект в сверхтонких пленках оксида магния. Спиновые вентили типа жесткий ферромагнетик/MgO/мягкий ферромагнетик. Мемристивный эффект в тонких пленках оксидов под действием электрического поля.	4
6	8	<b>Методы диагностики тонких пленок и наноструктур.</b> Контроль морфологии пленки в процессе роста. Рентгеновские методы диагностики тонких пленок и наноструктур. Рефлексо- и рефрактометрия. Электронная, атомно-силовая микроскопия (АСМ), возможности просвечивающей электронной микроскопии	4
<b>Общая трудоемкость лекций:</b>			36

#### 6.4. Практические занятия

№ раздела	№ практического занятия	Тематика	Трудоёмкость (акад. часов)
2	1	Расчет соотношения скоростей разлета ионов, нейтральных частиц и капель факела по времяпролетным кривым.	2
2	2	Расчет геометрических характеристик сепаратора капель.	2
2	3	Оценка порога абляции металлов и полупроводников. Сравнение экспериментальных результатов с литературными данными.	2
2	4	Зависимость порога абляции металлов и полупроводников от длины волны излучения.	2
3	5	Исследование электрических характеристик тонких пленок легированных полупроводников методом Холла.	2
3	6	Исследование морфологии тонких пленок методом АСМ.	2
5	7	Получение спектров фотолюминесценции квантовых ям в диапазоне температур от 10 К до 300 К. Исследование размерных эффек-	2



		тов в квантовых ямах.	
6	8	Определение толщины пленок оптическим методом.	2
<b>Общая трудоемкость практических занятий:</b>			16

### 6.5. Самостоятельные занятия

№ раз-дела	Вид самостоятельной работы	Трудоёмкость (акад. часов)
1.	Работа с лекционным материалом по разделу 1	12
2.	Работа с лекционным материалом по разделу 2. Решение задач по заданию преподавателя. Самостоятельное изучение темы: Диаграмма разлета факела при абляции твердотельной мишени.	14
3.	Работа с лекционным материалом по разделу 3. Решение задач по заданию преподавателя. Самостоятельное изучение темы: Расчет из первых принципов свойств тонких пленок при неравновесном легировании при синтезе проводящих пленок оксидов.	22
4.	Работа с лекционным материалом по разделу 4. Решение задач по заданию преподавателя.	16
5.	Работа с лекционным материалом по разделу 5. Решение задач по заданию преподавателя. Самостоятельное изучение темы: Механизмы мемристорного эффекта в тонких пленках оксидов под действием электрического поля.	22
6.	Работа с лекционным материалом по разделу 6. Решение задач по заданию преподавателя. Самостоятельное изучение темы: Методика подготовки образцов для исследования методом просвечивающей электронной микроскопии.	16
	Подготовка к итоговой аттестации (зачету)	18
<b>Общая трудоемкость самостоятельной работы:</b>		120

Руководитель дисциплины оставляет за собой право уточнять тематику и форму проведения аудиторных занятий.

Основная часть работы аспиранта является самостоятельной и включает изучение рекомендованной руководителем дисциплины литературы, работу с источниками, написание текстов, составление и защиту презентаций, подготовку к итоговой аттестации и т.п.

По согласованию с руководителем дисциплины возможно проведение индивидуальных консультаций и собеседования с руководителем дисциплины.

В случае отсутствия аудиторных занятий или невозможности их посещать руководитель дисциплины предлагает аспиранту соответствующую отработку с тем же объемом оценки проделанной работы.

### 7. Аттестационные критерии

От аспиранта требуется посещение занятий, выполнение заданий руководителя дисциплины, знакомство с рекомендованной литературой, по согласованию с научным руководителем возможна подготовка зачетной письменной работы (реферата, аналитической записки, обзора источников или литературы и т.п.). При аттестации аспиранта оценивается качество работы на занятиях (умение вести научную дискуссию, способность четко и ёмко формулировать свои мысли), уровень подготовки к самостоятельной научно-исследовательской деятельности в избранной области, качество выполнения заданий (презентаций, докладов, аналитических записок и др.).



## 8. Требования к итоговой аттестации по дисциплине

Итоговая аттестация для дисциплины проводится в форме зачета.

Условия аттестации, а также вопросы для повторения (контрольные вопросы) и задания руководителя дисциплины определяются в начале курса. Обучающийся должен показать владение предметом, знание рекомендованных статей и монографий, материалов конференций и т.п., умение выполнять устные и письменные задания руководителя дисциплины.

## 9. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

### 9.1. Перечень и карта компетенций дисциплины

Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина «Лазерный синтез и диагностика тонких пленок и наноструктур», и их «карты»:

Вид дисциплины		Компетенции  Наименование дисциплины	Универсальные компетенции					Общепрофессиональные компетенции		Профессиональные компетенции				
			УК-1	УК-2	УК-3	УК-4	УК-5	ОПК-1	ОПК-2	ПК-1	ПК-2	ПК-3	ПК-4	ПК-5
Вариативная часть	Обязательная дисциплина	«Лазерный синтез и диагностика тонких пленок и наноструктур»	+		+	+		+		+	+	+		

Критерии оценивания компетенций приведены в основной образовательной программе по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 - Физика и астрономия, направленность «Кристаллография, физика кристаллов» (01.04.18).

### 9.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

#### 9.2.1. Контрольные вопросы для сдачи зачета

1. Чем вызвана необходимость разработки и исследования новых тонкопленочных материалов?
2. В чем уникальность тонкопленочных технологий?
3. Какие материалы применяются при создании светоизлучающих устройств в ИК, видимой и УФ области спектра?
4. Зонная структура полупроводников.
5. Какие существуют методы получения тонких пленок?
6. Особенности метода молекулярно - лучевой эпитаксии.
7. Особенности метода газофазной эпитаксии.
8. Особенности метода магнетронного распыления.
9. Особенности метода импульсного лазерного напыления.
10. Исследование морфологии пленок методом атомно-силовой микроскопии.
11. Исследование морфологии пленок методом электронной микроскопии.
12. Рентгеноструктурный анализ тонких пленок.
13. Определение состава пленок методом фотоэлектронной спектроскопии.
14. Гомо- и гетеро- p- n- переходы.
15. Недостатки метода импульсного лазерного осаждения.
16. Причина размерного эффекта проводимости в тонких пленках металлов.



17. Управление энергетическим спектром факела.
18. Зондовая диагностика лазерного факела.
19. Определение скорости разлета капель.
20. Какие бывают механизмы роста пленок?
21. Механизмы прилипания нейтральных и заряженных частиц к поверхности.
22. Влияние чистоты поверхности на рост пленок.
23. Методы подготовки подложек для получения пленок.
24. Что такое рассогласование решеток?
25. В чем смысл конгруэнтности переноса при напылении методом ИЛО?
26. Что нарушает конгруэнтность при синтезе пленок методом ИЛО?
27. Как осуществляют легирование пленок широкозонных полупроводников из керамических мишеней?
28. Эффект Холла.
29. АСМ микроскопия.
30. Интерферометрический метод определения толщины пленок.
31. Край фундаментальной полосы поглощения.

## 10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### Основная литература:

1. Современная кристаллография. В четырех томах. Вайнштейн Б.К. 1979 г. Издательства Наука.
2. Физика конденсированного состояния. Учебное пособие. Байков Ю.А., Кузнецов В.М. 2014г. Издательство Бинوم. Лаборатория знаний. 293 с.
3. Павлов Павел Васильевич, Хохлов Александр Федорович  
Физика твердого тела: Учебник. Изд. 4-е. – М.: ЛЕНАНД. 2015. – 496с.
4. Наука и жизнь: моя конвергенция. Избранные научные труды. М.В. Ковальчук. 2011 г. Москва, ИКЦ «Академкнига». Тома 1 и 2.
5. Теоретическая физика. В 10-и томах. Том 5. Статистическая физика. В 2-х частях. Часть 1. Учебное пособие. Гриф МО РФ. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц 2013г. Издательство Физматлит, 293 с.
6. Теоретическая физика. Учебное пособие. В 10-и томах. Том IX: Статистическая физика. Часть 2: Теория конденсированного состояния. Гриф МО РФ Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц 2015г. Издательство Физматлит, 440 с.
7. Дифракционный структурный анализ. А.С. Илюшин, А.П. Орешко. 2013 г. М.: физический факультет МГУ, Издательский дом «Крепостновъ». 616 с.
8. Хельтье Х.-Д. Молекулярное моделирование: теория и практика / Х.-Д. Хельтье, В. Зиппль, Д. Роньян, Г. Фолькерс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 318с.:
9. Хельтье Х.-Д. Молекулярное моделирование: теория и практика / Х.-Д. Хельтье, В. Зиппль, Д. Роньян, Г. Фолькерс; пер. с англ. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 319с.

### Дополнительная литература:

1. Жидкие кристаллы Структура и свойства Л. М. Блинов 2015 г. Издательство Либроком. 484 с.
2. Кристаллология. Основные представления о кристаллах, кристаллических веществах и методах их изучения. Задачи по геометрической кристаллографии и анализ их решений. Завьялов Е.Н. 2016г. Издательство Книжный дом «Университет» (КДУ), 314 с.
3. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью



Фейнмановские лекции по физике: Вып.1, 2: Современная наука о природе. Законы механики. Пространство. Время. Движение: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 11-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. – 448с.; Вып.3: Излучение. Волны. Кванты: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 10-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015. – 256с.; Вып.4: Кинетика. Теплота. Звук: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 10-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015. – 272с.; Вып.5: Электричество и магнетизм: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. стереотип. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2016. – 304с.; Вып.6: Электродинамика: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 8-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015. – 360с.; Вып.7: Физика сплошных сред: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 8-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2016. – 288с.; Вып.8, 9: Квантовая механика: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 8-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. – 528с.

4. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью

Фейнмановские лекции по физике: Задачи и упражнения с ответами и решениями к вып. 1-4: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. и с предисл. А.П. Леванюка. Изд. 9-е. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015. – 280с.; Задачи и упражнения с ответами и решениями к вып. 5-9: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. А.П.Леванюка. Изд. 9-е. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2016. – 272с.

**Периодические издания, электронные ресурсы, включая доступ к базам данных и т.д.:**

<b>РИНЦ</b>	<a href="https://elibrary.ru/orgs.asp">https://elibrary.ru/orgs.asp</a>
<b>Web of Science</b>	<a href="http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&amp;search_mode=GeneralSearch&amp;SID=F2LiEv3BvmxwoCqmOmV&amp;preferencesSaved=">http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&amp;search_mode=GeneralSearch&amp;SID=F2LiEv3BvmxwoCqmOmV&amp;preferencesSaved=</a>
<b>Scopus</b>	<a href="https://www.scopus.com/home.uri">https://www.scopus.com/home.uri</a>
<b>Google Scholar citations</b>	<a href="https://scholar.google.ru/citations?user=NbJEoV8A AAAJ&amp;hl=ru">https://scholar.google.ru/citations?user=NbJEoV8A AAAJ&amp;hl=ru</a>
<b>IOP</b> Institute of Physics материалы компании IOP Publishing Limited, а именно, база данных IOP Journal	<a href="http://www.iop.org/">http://www.iop.org/</a>
<b>AIP</b> материалы компании American Institute of Physics	<a href="https://www.aip.org/">https://www.aip.org/</a>
<b>CASC</b> материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных CASC	<a href="https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases">https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases</a>
<b>APS</b> Журналы Американского физического общества база данных APS Online Journals	<a href="https://www.aps.org/">https://www.aps.org/</a>
<b>IEEE</b> материалы компании The Institute of Electrical and Electronics Engi-	<a href="http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp">http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp</a>



neers, Inc, а именно, база данных IEEE/IEL	
<b>RSC</b> материалы Royal Society of Chemistry	<a href="http://pubs.rsc.org/">http://pubs.rsc.org/</a>
<b>Wiley</b> материалы компании John Wiley & Sons Ltd., а именно база данных Wiley Journals	<a href="http://onlinelibrary.wiley.com/">http://onlinelibrary.wiley.com/</a>
<b>Inspec</b> материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных INSPEC	<a href="https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases/inspec">https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases/inspec</a>
<b>ProQuest</b> материалы компании и PROQUEST LLC, а именно база данных Proquest Dissertations and Theses Global	<a href="https://www.proquest.com/products-services/pqdtglobal.html">https://www.proquest.com/products-services/pqdtglobal.html</a>
<b>SpringerNature</b> Зарубежные электронные ресурсы издательства, а именно: Springer Journals Springer Protocols Springer Materials Springer Reference zbMATH Nature Journals Nano Database	<a href="http://link.springer.com/">http://link.springer.com/</a> <a href="http://www.springerprotocols.com/">http://www.springerprotocols.com/</a> <a href="http://materials.springer.com/">http://materials.springer.com/</a> <a href="http://link.springer.com/search?facet-content-type=%22ReferenceWork%22">http://link.springer.com/search?facet-content-type=%22ReferenceWork%22</a> <a href="http://zbmath.org/">http://zbmath.org/</a> <a href="http://npg.com/">http://npg.com/</a> <a href="https://nano.nature.com">https://nano.nature.com</a>
<b>Elsevier B.V. Science Direct Complete Freedom Collection</b> зарубежные электронные ресурсы издательства Elsevier «Freedom Collection» и коллекция электронных книг «Freedom Collection eBook collection», размещенных на платформе Science Direct	<a href="https://www.elsevier.com/">https://www.elsevier.com/</a>
<b>CCDC - Cambridge Crystallographic Data Centre</b> Зарубежные электронные ресурсы Кембриджского центра структурных данных	<a href="https://www.ccdc.cam.ac.uk/">https://www.ccdc.cam.ac.uk/</a>
<b>Scifinder</b> База данных	<a href="https://scifinder.cas.org">https://scifinder.cas.org</a>

### 11. Образовательные технологии

Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

### 12. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:



При выполнении лабораторных работ используются компьютеры с характеристиками не ниже Pentium 4 - 3Гц/512Мб/80ГБ с 17-дюймовыми мониторами, объединенные в локальную сеть, подключенную через сеть института к Интернет. Для получения необходимой информации используются Web-ресурсы Интернет и локальная библиотека электронных материалов. При чтении лекции используются: ноутбук, проектор, экран.

Для получения экспериментальных данных может быть использовано оборудование лабораторий ИК РАН и Центра коллективного пользования ИК РАН

**13. Язык преподавания - русский.**