МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное**

**образовательное учреждение высшего образования**

**«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

|  |
| --- |
| Физический |

(факультет / институт / филиал)

|  |
| --- |
| УТВЕРЖДАЮ: |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Декан физического факультета |  | Малышев А.И. |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| « |  | » |  | 20\_\_г. |

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Практикум по физике конденсированного состояния |  |

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | бакалавриат |  |

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

|  |
| --- |
| 03.03.02«Физика» |

 (указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

|  |
| --- |
| Физика конденсированного состояния |

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | бакалавр |  |

 (бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | очно-заочная |  |

 (очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2019

*год набора 2019*

**1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина «Практикум по физике конденсированного состояния» относится к дисциплинамвариативной части Б1.В блока 1 основной профессиональной образовательной программы по направлению 03.03.02 «Физика». Данная дисциплина преподаётся в восьмом семестре.

 Для усвоения курса необходимы знания, полученные при изучении таких дисциплин, как «Физика» (общий курс), «Кристаллография», «Математическая физика», «Физика конденсированного состояния». Всестороннее овладение данной дисциплиной является необходимым условием для последующего изучения студентами таких дисциплин, как «Физика полупроводников», «Физические основы электроники», «Наноэлектроника», и т.д..

 Практикум по физике конденсированного состояния состоит из лабораторных работ.

**Целью** освоения дисциплины «Практикум по физика конденсированного состояния» является формирование у студентов систематизированных знаний в следующих областях:

* Структурная кристаллографии. Изучаются способы определения кристаллических структур, различные типы связей в твердых телах, дефектах кристаллической решетки
* Механические свойствах твердых тел. Колебания атомов кристаллической решетки и тепловые свойства кристаллов
* Зонная теория твердых тел и на ее основе электрические свойства металлов, полупроводников и диэлектриков.
* Оптические и магнитные свойства твердых тел
* Высокотемпературная сверхпроводимость.

**2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций.

|  |  |
| --- | --- |
| **Формируемые компетенции** | **Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций** |
| ПК-1способность использовать специализированные знания в области физики конденсированного состояния для освоения профильных физических дисциплин | *З1 (ПК-1) Знать* на базовом уровне методы определения кристаллической структуры, механических, электрических, оптический и магнитных свойств твердого тела.*У1 (ПК-1) Уметь* рассчитывать физические характеристики твердотельных объектов на основании результатов эксперимента по основным разделам физики конденсированного состояния |
| ПК-2способность проводить научные исследования в области физики конденсированного состояния с помощью современной приборной базы | *З1 (ПК-2) Знать* физико-математический аппарат, необходимый для выполнения научно-исследовательских работ в области физики конденсированного состояния и смежных с ней дисциплинах.*У1 (ПК-2) Уметь* применять полученные теоретические знания, математический аппарат и современную приборную базу для проведения научных исследований в области физики конденсированного состояния*В1 (ПК-2) Владеть*навыками использования современного оборудования, достаточными для выполнения научных исследований в области физики конденсированного состояния |
| ПК-4способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении дисциплины физика конденсированного состояния | *З1 (ПК-4) Знать* основные принципы описания физических явлений в конденсированном состоянии, понимать связь между пространственной структурой, природой межатомных взаимодействий и свойствами вещества в конденсированном состоянии, иметь представления о практической значимости разнообразных свойств конденсированного состояния вещества.*У1 (ПК-4) Уметь* определять кристаллическую структуру, механические, электрические, оптические и магнитные свойства с помощью современной приборной базы  |
| ПК-5способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики конденсированного состояния | *У1 (ПК-5) Уметь* применять полученные теоретические и практические знания и современный математический аппарат для решения актуальных задач в области физики конденсированного состояния |

**3. Структура и содержание дисциплины «Практикум по физике конденсированного состояния»**

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 33 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лабораторного типа, в том числе 2 часа - мероприятия текущего контроля успеваемости, 1 час - мероприятия промежуточной аттестации), 75 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**Лабораторный практикум**

Практикум реализуется в формате лабораторных работ, которые позволяют привить практические навыки работы, направленные на определение параметров твердых тел и изучение эффектов в этих телах:

|  |  |
| --- | --- |
| №п/п | Наименование лабораторных работ |
| 1 | Возникновение и рост кристаллов |
| 2 | Определение ионных радиусов из рефрактометрических измерений |
| 3 | Изучение дислокаций в кристаллах со структурой алмаза |
| 4 | Зависимость микротвёрдости кристаллов от ориентации и плотности дислокаций |
| 5 | Поляризационный микроскоп |
| 6 | Исследование упругих видов поляризации в твердых диэлектриках |
| 7 | Пьезоэлектрические свойства твердых тел |
| 8 | Определение удельного сопротивления полупроводника 4-х зондовым методом и определение знака носителей заряда |
| 9 | Эффект Холла |
| 10 | Исследование параметров высокотемпературных сверхпроводников |
| 11 | Исследование температурной зависимости электропроводности и термоэлектродвижущей силы в полупроводниках |
| 12 | Определение ширины запрещенной зоны полупроводников оптическим методом |
| 13 | Определение энергии ионизации и ширины запрещенной зоны полупроводника |
| 14 | Определение температуры Кюри ферромагнитных сплавов |
| 15 | Кривая намагничивания ферро- и ферримагнетиков |

**4. Образовательные технологии**

Занятия по дисциплине проводят в следующих формах:

* лабораторных занятий, осваивают экспериментальные методы исследования свойств вещества в конденсированном состоянии
* самостоятельной работы студентов.

**5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

 Самостоятельная работа студентов включает в себя активное изучение лекционного материала по курсу «Физика конденсированного состояния» вместе с решением задач при использовании соответствующих разделов учебных пособий и описаний лабораторных работ.

 Оценочными средствами для контроля текущей успеваемости являются индивидуальные оценки, полученные при сдаче допусков и отчетов по лабораторным работам.

**6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина «Практикум по физике конденсированного состояния»

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Перечень компетенций** | **Лабораторные работы** | **Планируемые результаты** |
| 1 | ПК-1способностью использовать специализированные знания в области физики конденсированного состояния для освоения профильных физических дисциплин | 1-15 | З1 (ПК-1)У1 (ПК-1) |
| 2 | ПК-2способностью проводить научные исследования в области физики конденсированного состояния с помощью современной приборной базы | 1-15 | З1 (ПК-2)У1 (ПК-2)В1 (ПК-2) |
| 3 | ПК-4способностью применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении дисциплины физика конденсированного состояния | 1-15 | З1 (ПК-4)У1 (ПК-4) |
| 4 | ПК-5способностью применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении дисциплины физика конденсированного состояния | 1-15 | У1 (ПК-5) |

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина, приводятся в Приложении.

6.2. Описание шкал оценивания

Промежуточная аттестация проводится по результатам сдачи допуска и отчета по каждойлабораторной работе, которые происходят в формате обсуждения с преподавателем.

Оценка «зачтено» ставится при полностью выполненных лабораторных заданиях и сданных отчетах.

6.3. Критерии оценивания результатов обучения для проведения аттестации обучающихся по дисциплине

|  |  |
| --- | --- |
| Зачтено | Полностью выполнены задания лабораторных работ. Сданы отчеты по лабораторным работам. Студент способен объяснить полученные результаты и сделать соответствующие выводы. |
| Незачтено | Не выполнены задания лабораторных работ.  |

6.4. Типовые контрольные вопросы и задания, обсуждаемые на допуске и отчете, необходимые для оценки результатов обучения

Лабораторная работа «Возникновение и рост кристаллов»

Вопросы

1. Понятие атомных и ионных радиусов.

2. Методы определения атомных и ионных радиусов.

3. Понятие удельной и молекулярной рефракции.

4. Поляризация диэлектриков.

5. Уравнение Клаузиуса-Моссотти.

6. Виды упругой поляризации твёрдых тел.

7. Частотная зависимость поляризуемости.

8. Определение размеров атомов и ионов из рефрактометрических измерений.

9. Соотношение Лорентц-Лоренца и Онзагера-Бетгера.

Задания

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы рефрактометра.

2. Определить показатель преломления и вычислить поляризуемость.

3. Вычислить радиус иона, используя формулы из описания к лабораторной работе.

4. Используя вычисленный радиус, найти радиусы всех других элементов этой подгруппы периодической системы химических элементов (таблице Менделеева). Сравнить полученные данные с данными по Гольдшмидту.

**Лабораторная работа «Исследование упругих видов поляризации в твердых диэлектриках»**

# Вопросы

1. Что такое поляризация и каковы могут быть причины ее возникновения?

2. Типы поляризации.

3. Параметры, характеризующие поляризацию.

4. Понятие о среднем макроскопическом поле и локальном поле в диэлектрике.

5. Уравнение Клаузиуса-Моссотти

6. Электронная упругая поляризация. Ее характерные особенности. Чем определяется величина поляризуемости атома?

7. Упругая ионная поляризация. Ее особенности. Чем определяется величина поляризуемости молекулы? Формула Борна.

8. Частотная зависимость поляризуемости.

9. Методы определения диэлектрической проницаемости.

# Задания

1. Освоить методику измерения емкости. Особое внимание обратить на правильную исходную настройку прибора и исключение паразитных емкостей (емкость проводов, держателей образцов и т.д.). Для измерений использовать прибор, указанный преподавателем.

2. Для предложенных прозрачных диэлектриков произвести измерения емкости и рассчитать диэлектрическую проницаемость.

3. Для тех же диэлектриков измерить показатель преломления.

4. Проверить соотношение $ε=\overbar{n}^{2}$ и сделать вывод о роли электронной поляризации в предложенных образцах.

**7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Практикум по физике конденсированного состояния »**

Методическое обеспечение:

а) основная литература:

1. Павлов П. В., Хохлов А. Ф. - Физика твердого тела: учебник. - М.: Высшая школа, 2000. - 494 с. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=44686
2. Гуртов В.А., Осауленко Р.Н. Физика твердого тела для инженеров. – М.: Техносфера, 2007. http://dssp.petrsu.ru/p/tutorial/ftt/giv.htm
3. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=342141
4. Задачи по физике твердого тела./ Под ред. Г.Дж.Голдсмида.- М.:Наука, 1976. http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Goldsmid1976ru.djvu
5. Физика твердого тела. Лабораторный практикум. Том 2. Физические свойства твердых тел. Под редакцией А.Ф. Хохлова. Издание второе, исправленное. Москва: Высшая школа, 2001 -286 с. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=42525

б) дополнительная литература:

1. Физический энциклопедический словарь./ Под ред. Прохорова А.М. - М.: Советская энциклопедия, 1983. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=444897
2. Физические величины. Справочник./ Под ред. Григорьева И.С., Мейлихова Е.З.- М.: Энергоатомиздат, 1991. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=25449
3. Рейсленд Дж. Физика фононов.- М.: Мир, 1975. http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Rejslend1975ru.djvu
4. Харисон У. Электронная структура и свойства твердых тел, т.1.- М.: Мир, 1983. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=82961
5. Харисон У. Электронная структура и свойства твердых тел, т. 2.- М.: Мир, 1983. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=82962
6. Щуров А.Ф. Введение в физику керамики: химическая связь, кристаллическая и электронная структура. – Нижний Новгород: изд.ННГУ, 1994. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=81135
7. Пул Ч., Оуэнс Ф. - Нанотехнологии: учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки "Нанотехнологии". - М.: Техносфера, 2005. - 336 с. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=97002
8. Блейкмор Дж. Физика твердого тела. - М.: Мир, 1988. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=78875
9. Анималу А. Квантовая теория кристаллических твердых тел. – М.: Мир, 1981. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=7891
10. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела, т.1.- М.: Мир, 1979. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=78867
11. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела, т. 2.- М.: Мир, 1979. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=78865
12. Определение ионных радиусов из рефрактометрических измерений: Авторы: Курильчик Е.В., Сдобняков В.В. Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. – 9 с. http://www.unn.ru/books/met\_files/Ionic%20radius.pdf
13. Исследование упругих видов поляризации в твердых диэлектриках: Авторы: Курильчик Е.В., Сдобняков В.В. Практикум. - Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2017 – 17 с. http://www.unn.ru/books/met\_files/polarization.pdf

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Пакет компьютерных аналитических и графических вычислений для персонального компьютера. Допускается применение сред Wolfram Mathematica или любых иных компьютерных ресурсов аналогичного назначения.
2. Журнал Успехи физических наук http://ufn.ru/
3. Журнал Физика твердого тела http://journals.ioffe.ru/ftt/
4. Журнал Физика и техника полупроводников <http://journals.ioffe.ru/ftp/>

**8. Материально-техническое обеспечение дисциплины «Практикум по физике конденсированного состояния»**

 Материально-техническим обеспечением дисциплины является оборудование для лабораторных практикумов и наличие необходимого количества учебников и учебных пособий в библиотеке ННГУ и в открытом доступе в internet. При выполнении некоторых расчетов студенты могут воспользоваться техническими возможностями одного из имеющихся на физическом факультете ННГУ терминал-классов с установленным лицензионным программным обеспечением.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.03.02 – «Физика».

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Автор (ы) |  | к.ф.-м.н., доцент кафедры ЭТТСдобняков В.В. |
| Рецензент (ы) |  | д.ф.-м.н. профессорДемидов Е.С. |
| Заведующий кафедрой ФПЭН |  | д.ф.-м.н. профессорПавлов Д.А. |
| Программа одобрена на заседании методической комиссии |
| физического | факультета |  |
| от | « |  | » |  | 20\_\_ г., | протокол | № | б/н |  |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Председательучебно-методической комиссии |  |  |
| физического факультета ННГУ |  |  |

ПРИЛОЖЕНИЕ

**Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина**

*ПК-1.* Способностью использовать специализированные знания в области физики конденсированного состояния для освоения профильных физических дисциплин

|  |  |
| --- | --- |
| **Планируемые результаты обучения**(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | **Критерии оценивания результатов обучения**  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Знать на базовом уровне методы определения кристаллической структуры, механических, электрических, оптический и магнитных свойств твердого тела. | Отсутствиезнаний | Фрагментарные представления о математическом аппарате и основах математического моделирования  | В целом успешные, но не систематические представления об основах математического аппарата в области информационных систем и технологий | В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий | Сформированные представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий и смежных дисциплинах. |
| Уметь рассчитывать физические характеристики твердотельных объектов на основании результатов эксперимента по основным разделам физики конденсированного состояния | Отсутствиезнаний | Фрагментарные представления об элементах радиотехнических систем. | В целом успешные, но не систематические представления о базовом и уровне и элементах радиотехнических систем | В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления на базовом и эксплуатационном уровне описания элементов радиотехнических систем. | Сформированные представления о базовом и эксплуатационном уровне описания элементов радиотехнических систем |

*ПК-2.* Способностью проводить научные исследования в области физики

|  |  |
| --- | --- |
| **Планируемые результаты обучения**(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | **Критерии оценивания результатов обучения**  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Знать физико-математический аппарат, необходимый для выполнения научно-исследовательских работ в области физики конденсированного состояния и смежных с ней дисциплинах | Отсутствиезнаний | Фрагментарные представления о математическом аппарате и основах математического моделирования  | В целом успешные, но не систематические представления об основах математического аппарата в области информационных систем и технологий | В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий | Сформированные представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий и смежных дисциплинах. |
| Уметь применять полученные теоретические знания, математический аппарат и современную приборную базу для проведения научных исследований в области физики конденсированного состояния  | Отсутствиезнаний | Фрагментарные представления о математическом аппарате и основах математического моделирования  | В целом успешные, но не систематические представления об основах математического аппарата в области информационных систем и технологий | В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий | Сформированные представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий и смежных дисциплинах. |
| Владеть навыками использования современного оборудования, достаточными для выполнения научных исследований в области физики конденсированного состояния | Отсутствиезнаний | Фрагментарные представления о математическом аппарате и основах математического моделирования  | В целом успешные, но не систематические представления об основах математического аппарата в области информационных систем и технологий | В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий | Сформированные представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий и смежных дисциплинах. |

*ПК-4.* Способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении дисциплины физика конденсированного состояния

|  |  |
| --- | --- |
| **Планируемые результаты обучения**(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | **Критерии оценивания результатов обучения**  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| *Знать* основные принципы описания физических явлений в конденсированном состоянии, понимать связь между пространственной структурой, природой межатомных взаимодействий и свойствами вещества в конденсированном состоянии, иметь представления о практической значимости разнообразных свойств конденсированного состояния вещества | Отсутствиезнаний | Фрагментарные представления о математическом аппарате и основах математического моделирования  | В целом успешные, но не систематические представления об основах математического аппарата в области информационных систем и технологий | В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий | Сформированные представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий и смежных дисциплинах. |
| *Уметь* определять кристаллическую структуру, механические, электрические, оптические и магнитные свойства с помощью современной приборной базы | Отсутствиезнаний | Фрагментарные представления о математическом аппарате и основах математического моделирования  | В целом успешные, но не систематические представления об основах математического аппарата в области информационных систем и технологий | В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий | Сформированные представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий и смежных дисциплинах. |

*ПК-5.* Способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики конденсированного состояния

|  |  |
| --- | --- |
| **Планируемые результаты обучения**(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | **Критерии оценивания результатов обучения**  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| *Уметь* применять полученные теоретические и практические знания и современный математический аппарат для решения актуальных задач в области физики конденсированного состояния | Отсутствиезнаний | Фрагментарные представления о математическом аппарате и основах математического моделирования  | В целом успешные, но не систематические представления об основах математического аппарата в области информационных систем и технологий | В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий | Сформированные представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий и смежных дисциплинах. |