МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт физики металлов имени М.Н. Михеева

Уральского отделения Российской академии наук

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | --- | | УТВЕРЖДЕНО:  Зам. директора ИФМ УрО РАН,  доктор физ.-мат. наук |      |  | | --- | | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ М.А. Коротин |   «3» июня 2019 г. |
|  |  |

**фонд оценочных средств   
для проведения промежуточной аттестации**

**УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**ПОДГОТОВКА КАДРОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ**

**Направление подготовки**

**03.06.01 «Физика и астрономия»**

**Направленность подготовки**

**«Физика конденсированного состояния»**

Квалификация

**«Исследователь. Преподаватель-исследователь»**

Программа утверждена на заседании

Ученого совета ИФМ УрО РАН протокол № 9 от «29» мая 2019 г.

Екатеринбург, 2019 г.

**Список документов и материалов**

|  |
| --- |
| 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП |
| 1. Цели и место дисциплины в структуре ОПОП |
| 1. Фонд оценочных средств по дисциплине |
| 3.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания |
| 3.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций   1. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины   4.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины |
|
|
| 4.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины. |
| 1. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. |

1. **Дисциплина «Фундаментальные вопросы физики конденсированного состояния»**
   1. **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы***(с ориентацией на карты компетенций)*

В результате освоения основной профессиональной образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Результаты обучения | | Формируемая компетенция  (с указанием кода) | Примечание |
| Знания | знать основы физики конденсированного состояния, базисные физические концепции, теоретические модели и методы исследования. | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| знать основы физики конденсированного состояния, базисные физические концепции, теоретические модели и методы исследования | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| знать основы физики конденсированного состояния, базисные физические концепции, теоретические модели и методы исследования. | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| знать основы физики конденсированного состояния, базисные физические концепции, теоретические модели и методы исследования. | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |
| Умения | правильно и разумно критически оценивать новые публикуемые результаты, сопоставлять их с собственными результатами, использовать их в своей работе. | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| правильно и разумно критически оценивать новые публикуемые результаты, сопоставлять их с собственными результатами, использовать их в своей работе. | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| правильно и разумно критически оценивать новые публикуемые результаты, сопоставлять их с собственными результатами, использовать их в своей работе. | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| правильно и разумно критически оценивать новые публикуемые результаты, сопоставлять их с собственными результатами, использовать их в своей работе. | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |
| Владения (навыки / опыт деятельности) | стандартной терминологией и базисными методами исследования. | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| стандартной терминологией и базисными методами исследования. | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| стандартной терминологией и базисными методами исследования. | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| стандартной терминологией и базисными методами исследования. | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |

**1.2 Цели и место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» относится к вариативной части.

Дисциплина изучается на \_3\_ курсе в \_5\_ семестре.

Целью дисциплины является подготовка высококвалифицированного специалиста в области теоретической и фундаментальной физики, математического моделирования физических объектов, явлений и процессов.

В результате аспирант приобретает умение ориентироваться в современной науке, приобщается к ее передовому краю, получает возможность соотнести собственные исследовательские интересы с актуальными задачами, стоящими перед современной наукой, сделать их частью научного поля.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

Теоретическая механика, Механика сплошных сред, Термодинамика, Статистическая физика, Физическая кинетика, Электродинамика сплошных сред, Квантовая теория.

**1.3 Фонд оценочных средств по дисциплине**

**1.3.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы.**

**Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

Код и формулировка компетенции

**ОПК-1** Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать основы физики конденсированного состояния, базисные физические концепции, теоретические модели и методы исследования. | Фрагментарное владение основами физики конденсированного состояния, базисными физические концепциями, теоретическими моделями и методами исследования. | В целом успешное, но не систематическое владение основами физики конденсированного состояния, базисными физические концепциями, теоретическими моделями и методами исследования. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами физики конденсированного состояния, базисными физические концепциями, теоретическими моделями и методами исследования. | Успешное и систематическое владение основами физики конденсированного состояния, базисными физические концепциями, теоретическими моделями и методами исследования. |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно и разумно критически оценивать новые публикуемые результаты, сопоставлять их с собственными результатами, использовать их в своей работе. | Фрагментарное владение способностью к критическому анализу и оценке новых публикуемых результатов, их сопоставлению с собственными результатами, и их использованию в своей работе. | В целом успешное, но не систематическое владение способностью к критическому анализу и оценке новых публикуемых результатов, их сопоставлению с собственными результатами, и их использованию в своей работе. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы  владение способностью к критическому анализу и оценке новых публикуемых результатов, их сопоставлению с собственными результатами, и их использованию в своей работе. | Успешное и систематическое владение способностью к критическому анализу и оценке новых публикуемых результатов, их сопоставлению с собственными результатами, и их использованию в своей работе.числе в междисциплинарных областях |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и базисными методами исследования. | Фрагментарное владение стандартной терминологией и базисными методами исследования. | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и базисными методами исследования. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение стандартной терминологией и базисными методами исследования. | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и базисными методами исследования. |

**ПК-1** Способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать основы физики конденсированного состояния, базисные физические концепции, теоретические модели и методы исследования. | Фрагментарное владение основами физики конденсированного состояния, базисными физические концепциями, теоретическими моделями и методами исследования. | В целом успешное, но не систематическое владение основами физики конденсированного состояния, базисными физические концепциями, теоретическими моделями и методами исследования. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами физики конденсированного состояния, базисными физические концепциями, теоретическими моделями и методами исследования. | Успешное и систематическое владение основами физики конденсированного состояния, базисными физические концепциями, теоретическими моделями и методами исследования. |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно и разумно критически оценивать новые публикуемые результаты, сопоставлять их с собственными результатами, использовать их в своей работе. | Фрагментарное владение способностью к критическому анализу и оценке новых публикуемых результатов, их сопоставлению с собственными результатами, и их использованию в своей работе. | В целом успешное, но не систематическое владение способностью к критическому анализу и оценке новых публикуемых результатов, их сопоставлению с собственными результатами, и их использованию в своей работе. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы  владение способностью к критическому анализу и оценке новых публикуемых результатов, их сопоставлению с собственными результатами, и их использованию в своей работе. | Успешное и систематическое владение способностью к критическому анализу и оценке новых публикуемых результатов, их сопоставлению с собственными результатами, и их использованию в своей работе.числе в междисциплинарных областях |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и базисными методами исследования. | Фрагментарное владение стандартной терминологией и базисными методами исследования. | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и базисными методами исследования. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение стандартной терминологией и базисными методами исследования. | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и базисными методами исследования. |

**ПК-2** Готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов и устройств на их основе

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать основы физики конденсированного состояния, базисные физические концепции, теоретические модели и методы исследования. | Фрагментарное владение основами физики конденсированного состояния, базисными физические концепциями, теоретическими моделями и методами исследования. | В целом успешное, но не систематическое владение основами физики конденсированного состояния, базисными физические концепциями, теоретическими моделями и методами исследования. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами физики конденсированного состояния, базисными физические концепциями, теоретическими моделями и методами исследования. | Успешное и систематическое владение основами физики конденсированного состояния, базисными физические концепциями, теоретическими моделями и методами исследования. |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно и разумно критически оценивать новые публикуемые результаты, сопоставлять их с собственными результатами, использовать их в своей работе. | Фрагментарное владение способностью к критическому анализу и оценке новых публикуемых результатов, их сопоставлению с собственными результатами, и их использованию в своей работе. | В целом успешное, но не систематическое владение способностью к критическому анализу и оценке новых публикуемых результатов, их сопоставлению с собственными результатами, и их использованию в своей работе. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы  владение способностью к критическому анализу и оценке новых публикуемых результатов, их сопоставлению с собственными результатами, и их использованию в своей работе. | Успешное и систематическое владение способностью к критическому анализу и оценке новых публикуемых результатов, их сопоставлению с собственными результатами, и их использованию в своей работе.числе в междисциплинарных областях |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и базисными методами исследования. | Фрагментарное владение стандартной терминологией и базисными методами исследования. | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и базисными методами исследования. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение стандартной терминологией и базисными методами исследования. | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и базисными методами исследования. |

**ПК-3** Способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать основы физики конденсированного состояния, базисные физические концепции, теоретические модели и методы исследования. | Фрагментарное владение основами физики конденсированного состояния, базисными физические концепциями, теоретическими моделями и методами исследования. | В целом успешное, но не систематическое владение основами физики конденсированного состояния, базисными физические концепциями, теоретическими моделями и методами исследования. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами физики конденсированного состояния, базисными физические концепциями, теоретическими моделями и методами исследования. | Успешное и систематическое владение основами физики конденсированного состояния, базисными физические концепциями, теоретическими моделями и методами исследования. |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно и разумно критически оценивать новые публикуемые результаты, сопоставлять их с собственными результатами, использовать их в своей работе. | Фрагментарное владение способностью к критическому анализу и оценке новых публикуемых результатов, их сопоставлению с собственными результатами, и их использованию в своей работе. | В целом успешное, но не систематическое владение способностью к критическому анализу и оценке новых публикуемых результатов, их сопоставлению с собственными результатами, и их использованию в своей работе. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы  владение способностью к критическому анализу и оценке новых публикуемых результатов, их сопоставлению с собственными результатами, и их использованию в своей работе. | Успешное и систематическое владение способностью к критическому анализу и оценке новых публикуемых результатов, их сопоставлению с собственными результатами, и их использованию в своей работе.числе в междисциплинарных областях |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и базисными методами исследования. | Фрагментарное владение стандартной терминологией и базисными методами исследования. | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и базисными методами исследования. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение стандартной терминологией и базисными методами исследования. | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и базисными методами исследования. |

**1.3.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Этапы освоения | Результаты обучения | Компетенция | Оценочные средства |
| 1-й этап  Знания | знать основы физики конденсированного состояния, базисные физические концепции, теоретические модели и методы исследования. | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов |
| знать основы физики конденсированного состояния, базисные физические концепции, теоретические модели и методы исследования | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| знать основы физики конденсированного состояния, базисные физические концепции, теоретические модели и методы исследования. | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| знать основы физики конденсированного состояния, базисные физические концепции, теоретические модели и методы исследования. | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |
| 2-й этап  Умения | правильно и разумно критически оценивать новые публикуемые результаты, сопоставлять их с собственными результатами, использовать их в своей работе. | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов, решение задач |
| правильно и разумно критически оценивать новые публикуемые результаты, сопоставлять их с собственными результатами, использовать их в своей работе. | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| правильно и разумно критически оценивать новые публикуемые результаты, сопоставлять их с собственными результатами, использовать их в своей работе. | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| правильно и разумно критически оценивать новые публикуемые результаты, сопоставлять их с собственными результатами, использовать их в своей работе. | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |
| 3-й этап  Владеть навыками | стандартной терминологией и базисными методами исследования. | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов, решение задач |
| стандартной терминологией и базисными методами исследования. | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| стандартной терминологией и базисными методами исследования. | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| стандартной терминологией и базисными методами исследования. | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |

В качестве основного оценочного средства текущего контроля используются индивидуальная проверка заданий по самостоятельной работе, дискуссии на лекционном и практических занятиях по прочитанной литературе. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – письменная работа. Аттестация по итогам освоения дисциплины – кандидатский экзамен.

**Примерные критерии оценивания**

**Собеседование** проходит в виде устной беседы для выявления у аспиранта знаний по предметной области

**Примерные критерии оценивания ответа на экзамене:**

**5 баллов (отлично)** выставляется аспиранту, если он дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Аспирант без затруднений ответил на все дополнительные вопросы. Практическая часть работы выполнена полностью без неточностей и ошибок.

**4 балла (хорошо)**выставляется, если аспиранту, если он раскрыл в основном теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий. При ответе на дополнительные вопросы допущены небольшие неточности. При выполнении практической части работы допущены несущественные ошибки.

**3 (удовлетворительно)** выставляется аспиранту, если при ответе на теоретические вопросы им допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос. Аспирант не решил задачу или при решении допущены грубые ошибки.

**2 (неудовлетворительно)** выставляется аспиранту, если ответы на теоретические вопросы свидетельствуют о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов. Обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий. Аспирант не смог ответить ни на один дополнительный вопрос.

**Программа кандидатского экзамена для направления – 03.06.01 Физика и астрономия (Направленность подготовки «Физика конденсированного состояния»)**

1. Силы связи в твердых телах.

Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO3.

Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

2. Симметрия твердых тел.

Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

**3. Дефекты в твердых телах.**

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

4. Дифракция в кристаллах.

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

5. Колебания решетки.

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

6. Тепловые свойства твердых тел.

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

**7. Электронные свойства твердых тел.**

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоэдс, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии. Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

8. Магнитные свойства твердых тел.

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

Ферромагнитные домены**.** Причины появлениядоменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

Спиновые волны, магноны.

Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел.

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.

Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта, и Керра).

Проникновение высокочастотного поля в проводник Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

**10. Сверхпроводимость.**

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейсснера. Критическое поле и критический ток.

Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

Эффект Джозефсона.

Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

**1.4 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

Литература.

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М., Наука, 1978.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела, тт. I и II. М., Мир, 1979.
3. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М., Мир, 1969.
4. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М: Мир, 1974.
5. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высшая школа, 2000.
6. Вонсовский С.В. Магнетизм. М., Наука, 1971.
7. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М:, Наука, 1979.

8. В.В.Шмидт «Введение в физику сверхпроводимости». МЦ НМО, Москва, 2000.

**1.5 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для успешного осуществления рабочей программы необходимы программа курса «Физика конденсированного состояния», литература и методические указания; принтер и ксерокс для копирования учебных материалов и материалов тестов, мультимедийный класс. Институт располагает аудиториями, оснащенными современным оборудованием для проведения занятий лекционного типа и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также для самостоятельной работы.

Есть аудитории с доступом к глобальной сети Интернет, в соответствии с объемом изучаемых дисциплин, каждый аспирант может быть обеспечен рабочим местом. Данные аудитории обеспечивают доступ в электронно-библиотечную систему (электронную библиотеку) института.

Приложение № 1

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины «Фундаментальные вопросы физики конденсированного состояния» на 4 курсе

(наименование дисциплины)

|  |  |
| --- | --- |
| **Вид работы** | **Объем дисциплины** |
| Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов) | 252 |
| Учебных часов на контактную работу с преподавателем: | 120 |
| Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СРС) | 132 |

Формы контроля: кандидатский экзамен 4 курс

1. **Дисциплина «Физические основы материаловедения»**
   1. **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы***(с ориентацией на карты компетенций)*

В результате освоения основной профессиональной образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Результаты обучения | | Формируемая компетенция  (с указанием кода) | Примечание |
| Знания | Знать современную физику полупроводников | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| Знать современную физику полупроводников | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| Знать современную физику полупроводников | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| Знать современную физику полупроводников | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |
| Умения | Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты. | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты. | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты. | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты. | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |
| Владения (навыки / опыт деятельности) | Владеть стандартной терминологией и определениями. | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| Владеть стандартной терминологией и определениями. | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| Владеть стандартной терминологией и определениями. | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| Владеть стандартной терминологией и определениями. | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |

**2.2 Цели и место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Физические основы материаловедения» относится к вариативной части.

Дисциплина изучается на \_4\_ курсе.

Целью дисциплины является подготовка высококвалифицированного специалиста в области теоретической и фундаментальной физики, математического моделирования физических объектов, явлений и процессов.

В результате аспирант приобретает умение ориентироваться в современной науке, приобщается к ее передовому краю, получает возможность соотнести собственные исследовательские интересы с актуальными задачами, стоящими перед современной наукой, сделать их частью научного поля.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

Теоретическая механика, Механика сплошных сред, Термодинамика, Статистическая физика, Физическая кинетика, Электродинамика сплошных сред, Квантовая теория.

**2.3. Фонд оценочных средств по дисциплине**

**2.3.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы.   
Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

Код и формулировка компетенции

**ОПК-1** Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать современную физику полупроводников | Фрагментарное владение основами современной физики полупроводников | В целом успешное, но не систематическое владение основами современной физики полупроводников | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами современной физики полупроводников | Успешное и систематическое владение основами современной физики полупроводников |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты. | Фрагментарное владение способностью к выбору области их применения, правильно интерпретированию экспериментальных результатов | В целом успешное, но не систематическое владение способностью к выбору области их применения, правильно интерпретированию экспериментальных результатов | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы во владении способности к выбору области их применения, правильно интерпретированию экспериментальных результатов | Успешное и систематическое владение способностью к выбору области их применения, правильно интерпретированию экспериментальных результатов |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и определениями | Фрагментарное владение стандартной терминологией и определениями. | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и определениями. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владения стандартной терминологией и определениями. | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и определениями |

**ПК-1** Способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать современную физику полупроводников | Фрагментарное владение основами современной физики полупроводников | В целом успешное, но не систематическое владение основами современной физики полупроводников | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами современной физики полупроводников | Успешное и систематическое владение основами современной физики полупроводников |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты. | Фрагментарное владение способностью к выбору области их применения, правильно интерпретированию экспериментальных результатов | В целом успешное, но не систематическое владение способностью к выбору области их применения, правильно интерпретированию экспериментальных результатов | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы во владении способности к выбору области их применения, правильно интерпретированию экспериментальных результатов | Успешное и систематическое владение способностью к выбору области их применения, правильно интерпретированию экспериментальных результатов |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и определениями | Фрагментарное владение стандартной терминологией и определениями. | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и определениями. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владения стандартной терминологией и определениями. | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и определениями |

**ПК-2** Готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов и устройств на их основе

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать современную физику полупроводников | Фрагментарное владение основами современной физики полупроводников | В целом успешное, но не систематическое владение основами современной физики полупроводников | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами современной физики полупроводников | Успешное и систематическое владение основами современной физики полупроводников |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты. | Фрагментарное владение способностью к выбору области их применения, правильно интерпретированию экспериментальных результатов | В целом успешное, но не систематическое владение способностью к выбору области их применения, правильно интерпретированию экспериментальных результатов | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы во владении способности к выбору области их применения, правильно интерпретированию экспериментальных результатов | Успешное и систематическое владение способностью к выбору области их применения, правильно интерпретированию экспериментальных результатов |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и определениями | Фрагментарное владение стандартной терминологией и определениями. | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и определениями. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владения стандартной терминологией и определениями. | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и определениями |

**ПК-3** Способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать современную физику полупроводников | Фрагментарное владение основами современной физики полупроводников | В целом успешное, но не систематическое владение основами современной физики полупроводников | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами современной физики полупроводников | Успешное и систематическое владение основами современной физики полупроводников |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты. | Фрагментарное владение способностью к выбору области их применения, правильно интерпретированию экспериментальных результатов | В целом успешное, но не систематическое владение способностью к выбору области их применения, правильно интерпретированию экспериментальных результатов | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы во владении способности к выбору области их применения, правильно интерпретированию экспериментальных результатов | Успешное и систематическое владение способностью к выбору области их применения, правильно интерпретированию экспериментальных результатов |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и определениями | Фрагментарное владение стандартной терминологией и определениями. | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и определениями. | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владения стандартной терминологией и определениями. | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и определениями |

**2.3.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Этапы освоения | Результаты обучения | Компетенция | Оценочные средства |
| 1-й этап  Знания | Знать современную физику полупроводников | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов |
| Знать современную физику полупроводников | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| Знать современную физику полупроводников | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| Знать современную физику полупроводников | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |
| 2-й этап  Умения | Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты. | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов, решение задач |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты. | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты. | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты. | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |
| 3-й этап  Владеть навыками | Владеть стандартной терминологией и определениями. | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов, решение задач |
| Владеть стандартной терминологией и определениями. | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| Владеть стандартной терминологией и определениями. | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| Владеть стандартной терминологией и определениями. | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |

В качестве основного оценочного средства текущего контроля используются индивидуальная проверка заданий по самостоятельной работе, дискуссии на лекционном и практических занятиях по прочитанной литературе. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – письменная работа. Аттестация по итогам освоения дисциплины – кандидатский экзамен.

**Примерные критерии оценивания**

**Собеседование** проходит в виде устной беседы для выявления у аспиранта знаний по предметной области

**Примерные критерии оценивания ответа на экзамене:**

**5 баллов (отлично)** выставляется аспиранту, если он дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Аспирант без затруднений ответил на все дополнительные вопросы. Практическая часть работы выполнена полностью без неточностей и ошибок.

**4 балла (хорошо)**выставляется, если аспиранту, если он раскрыл в основном теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий. При ответе на дополнительные вопросы допущены небольшие неточности. При выполнении практической части работы допущены несущественные ошибки.

**3 (удовлетворительно)** выставляется аспиранту, если при ответе на теоретические вопросы им допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос. Аспирант не решил задачу или при решении допущены грубые ошибки.

**2 (неудовлетворительно)** выставляется аспиранту, если ответы на теоретические вопросы свидетельствуют о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов. Обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий. Аспирант не смог ответить ни на один дополнительный вопрос.

**Программа кандидатского экзамена для направления – 03.06.01 Физика и астрономия (Направленность подготовки «Физика конденсированного состояния»)**

1. Силы связи в твердых телах.

Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO3.

Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

2. Симметрия твердых тел.

Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

**3. Дефекты в твердых телах.**

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

4. Дифракция в кристаллах.

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

5. Колебания решетки.

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

6. Тепловые свойства твердых тел.

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

**7. Электронные свойства твердых тел.**

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоэдс, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии. Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

8. Магнитные свойства твердых тел.

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

Ферромагнитные домены**.** Причины появлениядоменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

Спиновые волны, магноны.

Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел.

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.

Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта, и Керра).

Проникновение высокочастотного поля в проводник Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

**10. Сверхпроводимость.**

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейсснера. Критическое поле и критический ток.

Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

Эффект Джозефсона.

Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

**2.4 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

Литература.

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теория упругости, 1965.

2. А.И. Китайгородский. Рентгеноструктурный анализ, 1950, гл I.

3. Г.Б. Бокий. Кристаллохимия. 1960.

4. Г. Шульце. Металлофизика, 1971.

5. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела, 1962.

6. Ч. Уэрт, Р. Томсон.Физика твердого тела, 1969.

7. А.А. Смирнов, М.А. Кривоглаз. Теория упорядочивающихся сплавов, 1959.

8. Ж. Фридель. Дислокации, 1966.

9. А.И. Китайгородский. Рентгеноструктурный анализ, 1950.

10. Г. Лейбфрид. Микроскопическая теория мех. и тепловых свойств кристаллов, 1963.

**2.5 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для успешного осуществления рабочей программы необходимы программа курса «Физика конденсированного состояния», литература и методические указания; принтер и ксерокс для копирования учебных материалов и материалов тестов, мультимедийный класс. Институт располагает аудиториями, оснащенными современным оборудованием для проведения занятий лекционного типа и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также для самостоятельной работы.

Есть аудитории с доступом к глобальной сети Интернет, в соответствии с объемом изучаемых дисциплин, каждый аспирант может быть обеспечен рабочим местом. Данные аудитории обеспечивают доступ в электронно-библиотечную систему (электронную библиотеку) института.

Приложение № 1

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины «Фундаментальные вопросы физики конденсированного состояния» на 4 курсе

(наименование дисциплины)

|  |  |
| --- | --- |
| **Вид работы** | **Объем дисциплины** |
| Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов) | 252 |
| Учебных часов на контактную работу с преподавателем: | 120 |
| Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СРС) | 132 |

Формы контроля: кандидатский экзамен 4 курс

1. **Дисциплина «Электронные явления»**
   1. **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине,**

**соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной**

**профессиональной образовательной программы**

*(с ориентацией на карты компетенций)*

В результате освоения основной профессиональной образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Результаты обучения | | Формируемая компетенция  (с указанием кода) | Примечание |
| Знания | Знать современную физику электронных систем | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| Знать современную физику электронных систем | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| Знать современную физику электронных систем | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| Знать современную физику электронных систем | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |
| Умения | Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |
| Владения (навыки / опыт деятельности) | Владеть стандартной терминологией и определениями | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |

**2.2 Цели и место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Электронные явления» относится к вариативной части.

Дисциплина изучается на \_4 курсе.

Целью дисциплины является подготовка высококвалифицированного специалиста в области теоретической и фундаментальной физики, математического моделирования физических объектов, явлений и процессов.

В результате аспирант приобретает умение ориентироваться в современной науке, приобщается к ее передовому краю, получает возможность соотнести собственные исследовательские интересы с актуальными задачами, стоящими перед современной наукой, сделать их частью научного поля.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

Теоретическая механика, Механика сплошных сред, Термодинамика, Статистическая физика, Физическая кинетика, Электродинамика сплошных сред, Квантовая теория.

**2.3. Фонд оценочных средств по дисциплине**

**2.3.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы.   
Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

Код и формулировка компетенции

**ОПК-1** Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать современную физику электронных систем | Фрагментарное владение основами современной физики электронных систем | В целом успешное, но не систематическое владение основами современной физики электронных систем | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами современной физики электронных систем | Успешное и систематическое владение основами современной физики электронных систем |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | Фрагментарное владение способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов | В целом успешное, но не систематическое владение способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владения способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов | Успешное и систематическое владение способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и определениями | Фрагментарное владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение стандартной терминологией и определениями | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и определениями |

**ПК-1** Способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать современную физику электронных систем | Фрагментарное владение основами современной физики электронных систем | В целом успешное, но не систематическое владение основами современной физики электронных систем | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами современной физики электронных систем | Успешное и систематическое владение основами современной физики электронных систем |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | Фрагментарное владение способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов | В целом успешное, но не систематическое владение способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владения способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов | Успешное и систематическое владение способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и определениями | Фрагментарное владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение стандартной терминологией и определениями | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и определениями |

**ПК-2** Готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов и устройств на их основе

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать современную физику электронных систем | Фрагментарное владение основами современной физики электронных систем | В целом успешное, но не систематическое владение основами современной физики электронных систем | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами современной физики электронных систем | Успешное и систематическое владение основами современной физики электронных систем |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | Фрагментарное владение способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов | В целом успешное, но не систематическое владение способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владения способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов | Успешное и систематическое владение способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и определениями | Фрагментарное владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение стандартной терминологией и определениями | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и определениями |

**ПК-3** Способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать современную физику электронных систем | Фрагментарное владение основами современной физики электронных систем | В целом успешное, но не систематическое владение основами современной физики электронных систем | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами современной физики электронных систем | Успешное и систематическое владение основами современной физики электронных систем |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | Фрагментарное владение способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов | В целом успешное, но не систематическое владение способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владения способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов | Успешное и систематическое владение способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и определениями | Фрагментарное владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение стандартной терминологией и определениями | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и определениями |

**2.3.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Этапы освоения | Результаты обучения | Компетенция | Оценочные средства |
| 1-й этап  Знания | Знать современную физику электронных систем | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов |
| Знать современную физику электронных систем | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| Знать современную физику электронных систем | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| Знать современную физику электронных систем | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |
| 2-й этап  Умения | Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов, решение задач |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |
| 3-й этап  Владеть навыками | Владеть стандартной терминологией и определениями | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов, решение задач |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |

В качестве основного оценочного средства текущего контроля используются индивидуальная проверка заданий по самостоятельной работе, дискуссии на лекционном и практических занятиях по прочитанной литературе. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – письменная работа. Аттестация по итогам освоения дисциплины – кандидатский экзамен.

**Примерные критерии оценивания**

**Собеседование** проходит в виде устной беседы для выявления у аспиранта знаний по предметной области

**Примерные критерии оценивания ответа на экзамене:**

**5 баллов (отлично)** выставляется аспиранту, если он дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Аспирант без затруднений ответил на все дополнительные вопросы. Практическая часть работы выполнена полностью без неточностей и ошибок.

**4 балла (хорошо)**выставляется, если аспиранту, если он раскрыл в основном теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий. При ответе на дополнительные вопросы допущены небольшие неточности. При выполнении практической части работы допущены несущественные ошибки.

**3 (удовлетворительно)** выставляется аспиранту, если при ответе на теоретические вопросы им допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос. Аспирант не решил задачу или при решении допущены грубые ошибки.

**2 (неудовлетворительно)** выставляется аспиранту, если ответы на теоретические вопросы свидетельствуют о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов. Обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий. Аспирант не смог ответить ни на один дополнительный вопрос.

**Программа кандидатского экзамена для направления – 03.06.01 Физика и астрономия (Направленность подготовки «Физика конденсированного состояния»)**

1. Силы связи в твердых телах.

Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO3.

Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

2. Симметрия твердых тел.

Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

**3. Дефекты в твердых телах.**

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

4. Дифракция в кристаллах.

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

5. Колебания решетки.

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

6. Тепловые свойства твердых тел.

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

**7. Электронные свойства твердых тел.**

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоэдс, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии. Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

8. Магнитные свойства твердых тел.

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

Ферромагнитные домены**.** Причины появлениядоменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

Спиновые волны, магноны.

Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел.

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.

Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта, и Керра).

Проникновение высокочастотного поля в проводник Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

**10. Сверхпроводимость.**

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейсснера. Критическое поле и критический ток.

Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

Эффект Джозефсона.

Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

**2.4 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

Литература.

1. Л.Д. Ландау. Е.М. Лифшиц. Квантовая механика. М, Наука, 1974, 567 с.

2. Л.Д. Ландау. Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. М., Наука,1976, 573с.

3. Л.Д. Ландау. Е.М. Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. М., Наука, 1982, 620с.

4. Л.Д. Ландау. Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. Ч.2. М., Наука, 1978 с.

5. А.А. Абрикосов. Основы теории металлов. М., Наука, 1978, с.

6.С.В. Вонсовский, М.И. Кацнельсон. Квантовая физика твердого тела. М., Наука 1983.

7. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. М., Мир, 1974, 472 с.

8. Ч. Китель. Квантовая теория твердых тел. М., Наука,1967, 491 с.

9.У. Харрисон. Теория твердого тела. М., Мир,1972, 616 с.

10. А. Анималу. Квантовая теория кристаллических твердых тел. М., Мир, 1981, 574 с.

11. М.И. Кацнельсон, А.В. Трефилов. Динамика и термодинамика кристаллической решетки. М., ИздАТ, 2002, 382 с.

12. Х. Бётгер Принципы динамической теории решетки. М., Мир, 1986, 393 с.

**3.5 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для успешного осуществления рабочей программы необходимы программа курса «Физика конденсированного состояния», литература и методические указания; принтер и ксерокс для копирования учебных материалов и материалов тестов, мультимедийный класс. Институт располагает аудиториями, оснащенными современным оборудованием для проведения занятий лекционного типа и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также для самостоятельной работы.

Есть аудитории с доступом к глобальной сети Интернет, в соответствии с объемом изучаемых дисциплин, каждый аспирант может быть обеспечен рабочим местом. Данные аудитории обеспечивают доступ в электронно-библиотечную систему (электронную библиотеку) института.

Приложение № 1

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины «Фундаментальные вопросы физики конденсированного состояния» на 4 курсе

(наименование дисциплины)

|  |  |
| --- | --- |
| **Вид работы** | **Объем дисциплины** |
| Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов) | 72 |
| Учебных часов на контактную работу с преподавателем: | 36 |
| Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СРС) | 36 |

Формы контроля: кандидатский экзамен 4 курс

1. **Дисциплина «Магнитные явления»**
   1. **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине,**

**соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной**

**профессиональной образовательной программы**

*(с ориентацией на карты компетенций)*

В результате освоения основной профессиональной образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Результаты обучения | | Формируемая компетенция  (с указанием кода) | Примечание |
| Знания | Знать современную физику магнетизма | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| Знать современную физику магнетизма | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| Знать современную физику магнетизма | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| Знать современную физику магнетизма | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |
| Умения | Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |
| Владения (навыки / опыт деятельности) | Владеть стандартной терминологией и определениями | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |

**4.2 Цели и место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Магнитные явления» относится к вариативной части.

Дисциплина изучается на \_4\_ курсе.

Целью дисциплины является подготовка высококвалифицированного специалиста в области теоретической и фундаментальной физики, математического моделирования физических объектов, явлений и процессов.

В результате аспирант приобретает умение ориентироваться в современной науке, приобщается к ее передовому краю, получает возможность соотнести собственные исследовательские интересы с актуальными задачами, стоящими перед современной наукой, сделать их частью научного поля.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

Теоретическая механика, Механика сплошных сред, Термодинамика, Статистическая физика, Физическая кинетика, Электродинамика сплошных сред, Квантовая теория.

**4.3. Фонд оценочных средств по дисциплине**

**4.3.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы.   
Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

Код и формулировка компетенции

**ОПК-1** Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать современную физику магнетизма | Фрагментарное владение основами современной физики магнетизма | В целом успешное, но не систематическое владение основами современной физики магнетизма | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами современной физики магнетизма | Успешное и систематическое владение основами современной физики магнетизма |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | Фрагментарное владение способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов | В целом успешное, но не систематическое владение способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов | Успешное и систематическое владение способностью выбора области их применения, правильной интерпретации экспериментальных результатов |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и определениями | Фрагментарное владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение стандартной терминологией и определениями | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и определениями |

**ПК-1** Способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов

**ПК-2** Готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов и устройств на их основе

**ПК-3** Способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций

**4.3.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Этапы освоения | Результаты обучения | Компетенция | Оценочные средства |
| 1-й этап  Знания | Знать современную физику магнетизма | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов |
| Знать современную физику магнетизма | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| Знать современную физику магнетизма | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| Знать современную физику магнетизма | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |
| 2-й этап  Умения | Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов, решение задач |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| Уметь правильно выбрать область их применения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |
| 3-й этап  Владеть навыками | Владеть стандартной терминологией и определениями | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов, решение задач |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |

В качестве основного оценочного средства текущего контроля используются индивидуальная проверка заданий по самостоятельной работе, дискуссии на лекционном и практических занятиях по прочитанной литературе. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – письменная работа. Аттестация по итогам освоения дисциплины – кандидатский экзамен.

**Примерные критерии оценивания**

**Собеседование** проходит в виде устной беседы для выявления у аспиранта знаний по предметной области

**Примерные критерии оценивания ответа на экзамене:**

**5 баллов (отлично)** выставляется аспиранту, если он дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Аспирант без затруднений ответил на все дополнительные вопросы. Практическая часть работы выполнена полностью без неточностей и ошибок.

**4 балла (хорошо)**выставляется, если аспиранту, если он раскрыл в основном теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий. При ответе на дополнительные вопросы допущены небольшие неточности. При выполнении практической части работы допущены несущественные ошибки.

**3 (удовлетворительно)** выставляется аспиранту, если при ответе на теоретические вопросы им допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос. Аспирант не решил задачу или при решении допущены грубые ошибки.

**2 (неудовлетворительно)** выставляется аспиранту, если ответы на теоретические вопросы свидетельствуют о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов. Обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий. Аспирант не смог ответить ни на один дополнительный вопрос.

**Программа кандидатского экзамена для направления – 03.06.01 Физика и астрономия (Направленность подготовки «Физика конденсированного состояния»)**

1. Силы связи в твердых телах.

Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO3.

Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

2. Симметрия твердых тел.

Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

**3. Дефекты в твердых телах.**

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

4. Дифракция в кристаллах.

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

5. Колебания решетки.

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

6. Тепловые свойства твердых тел.

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

**7. Электронные свойства твердых тел.**

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоэдс, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии. Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

8. Магнитные свойства твердых тел.

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

Ферромагнитные домены**.** Причины появлениядоменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

Спиновые волны, магноны.

Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел.

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.

Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта, и Керра).

Проникновение высокочастотного поля в проводник Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

**10. Сверхпроводимость.**

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейсснера. Критическое поле и критический ток.

Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

Эффект Джозефсона.

Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

**4.4 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

Литература.

1. Л.Д. Ландау. Е.М. Лифшиц. Квантовая механика. М, Наука, 1974, 567 с.

2. Л.Д. Ландау. Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. М., Наука,1976, 573с.

3. Л.Д. Ландау. Е.М. Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. М., Наука, 1982, 620с.

4. Л.Д. Ландау. Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. Ч.2. М., Наука, 1978 с.

5. С.В. Вонсовский, Магнетизм. М.:Наука,1971. с.

6. С.В. Тябликов. Методы квантовой теории магнетизма. М.: Наука,1975, 527 с.

7. Е.А.Туров. Физические свойства магнитоупорядоченных кристаллов. М.: Изд.АН

СССР, 1963, 224с.

8. Ч. Китель. Квантовая теория твердых тел. М., Наука,1967, 491 с.

9. Т. Мория. Спиновые флуктуации в магнетиках с коллективизированными электронами.

М.: Мир,1988, 287с.

10. Ю.А. Изюмов, Ю.Н. Скрябин. Базовые модели в квантовой теории магнетизма.

Екатеринбург:УрО РАН, 2002, 259 с.

11. А.И. Ахиезер, В.Г. Барьяхтар, С.В. Пелетминский. Спиновые волны. М.: Наука 1967, 368 с.

12. Р.М. Уайт. Квантовая теория магнетизма. М.: Мир, 1972, 306с.

**4.5 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для успешного осуществления рабочей программы необходимы программа курса «Физика конденсированного состояния», литература и методические указания; принтер и ксерокс для копирования учебных материалов и материалов тестов, мультимедийный класс. Институт располагает аудиториями, оснащенными современным оборудованием для проведения занятий лекционного типа и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также для самостоятельной работы.

Есть аудитории с доступом к глобальной сети Интернет, в соответствии с объемом изучаемых дисциплин, каждый аспирант может быть обеспечен рабочим местом. Данные аудитории обеспечивают доступ в электронно-библиотечную систему (электронную библиотеку) института.

Приложение № 1

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины «Магнитные явления» на 4 курсе

(наименование дисциплины)

|  |  |
| --- | --- |
| **Вид работы** | **Объем дисциплины** |
| Общая трудоемкость дисциплины | 72 |
| Учебных часов на контактную работу с преподавателем: | 36 |
| Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СРС) | 36 |

Формы контроля: кандидатский экзамен 4 курс

1. **Дисциплина «Фазовые переходы в конденсированных средах»**
   1. **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине,**

**соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной**

**профессиональной образовательной программы**

*(с ориентацией на карты компетенций)*

В результате освоения основной профессиональной образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Результаты обучения | | Формируемая компетенция  (с указанием кода) | Примечание |
| Знания | Знать современную физику фазовых превращений | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| Знать современную физику фазовых превращений | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| Знать современную физику фазовых превращений | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| Знать современную физику фазовых превращений | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |
| Умения | Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные фазовыми превращениями, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные фазовыми превращениями, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные фазовыми превращениями, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные фазовыми превращениями, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |
| Владения (навыки / опыт деятельности) | Владеть стандартной терминологией и определениями | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |

**5.2 Цели и место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Фазовые переходы в конденсированных средах» относится к вариативной части.

Дисциплина изучается на \_4\_ курсе.

Целью дисциплины является подготовка высококвалифицированного специалиста в области теоретической и фундаментальной физики, математического моделирования физических объектов, явлений и процессов.

В результате аспирант приобретает умение ориентироваться в современной науке, приобщается к ее передовому краю, получает возможность соотнести собственные исследовательские интересы с актуальными задачами, стоящими перед современной наукой, сделать их частью научного поля.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

Теоретическая механика, Механика сплошных сред, Термодинамика, Статистическая физика, Физическая кинетика, Электродинамика сплошных сред, Квантовая теория.

**5.3. Фонд оценочных средств по дисциплине**

**5.3.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы.   
Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

Код и формулировка компетенции

**ОПК-1** Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать современную физику фазовых превращений | Фрагментарное владение основами современной физики фазовых превращений | В целом успешное, но не систематическое владение основами современной физики фазовых превращений | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами современной физики фазовых превращений | Успешное и систематическое владение основами современной физики фазовых превращений |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные фазовыми превращениями, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | Фрагментарное владение способностью правильно объяснять физические явления, вызванные фазовыми превращениями, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | В целом успешное, но не систематическое владение способностью правильно объяснять физические явления, вызванные фазовыми превращениями, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение способностью правильно объяснять физические явления, вызванные фазовыми превращениями, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | Успешное и систематическое владение способностью правильно объяснять физические явления, вызванные фазовыми превращениями, правильно интерпретировать экспериментальные результаты |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и определениями | Фрагментарное владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение стандартной терминологией и определениями | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и определениями |

**ПК-1** Способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов

**ПК-2** Готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов и устройств на их основе

**ПК-3** Способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций

**5.3.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Этапы освоения | Результаты обучения | Компетенция | Оценочные средства |
| 1-й этап  Знания | Знать современную физику фазовых превращений | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов |
| Знать современную физику фазовых превращений | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| Знать современную физику фазовых превращений | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| Знать современную физику фазовых превращений | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |
| 2-й этап  Умения | Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные фазовыми превращениями, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов, решение задач |
| Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные фазовыми превращениями, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные фазовыми превращениями, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные фазовыми превращениями, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |
| 3-й этап  Владеть навыками | Владеть стандартной терминологией и определениями | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов, решение задач |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |

В качестве основного оценочного средства текущего контроля используются индивидуальная проверка заданий по самостоятельной работе, дискуссии на лекционном и практических занятиях по прочитанной литературе. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – письменная работа. Аттестация по итогам освоения дисциплины – кандидатский экзамен.

**Примерные критерии оценивания**

**Собеседование** проходит в виде устной беседы для выявления у аспиранта знаний по предметной области

**Примерные критерии оценивания ответа на экзамене:**

**5 баллов (отлично)** выставляется аспиранту, если он дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Аспирант без затруднений ответил на все дополнительные вопросы. Практическая часть работы выполнена полностью без неточностей и ошибок.

**4 балла (хорошо)**выставляется, если аспиранту, если он раскрыл в основном теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий. При ответе на дополнительные вопросы допущены небольшие неточности. При выполнении практической части работы допущены несущественные ошибки.

**3 (удовлетворительно)** выставляется аспиранту, если при ответе на теоретические вопросы им допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос. Аспирант не решил задачу или при решении допущены грубые ошибки.

**2 (неудовлетворительно)** выставляется аспиранту, если ответы на теоретические вопросы свидетельствуют о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов. Обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий. Аспирант не смог ответить ни на один дополнительный вопрос.

**Программа кандидатского экзамена для направления – 03.06.01 Физика и астрономия (Направленность подготовки «Физика конденсированного состояния»)**

1. Силы связи в твердых телах.

Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO3.

Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

2. Симметрия твердых тел.

Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

**3. Дефекты в твердых телах.**

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

4. Дифракция в кристаллах.

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

5. Колебания решетки.

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

6. Тепловые свойства твердых тел.

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

**7. Электронные свойства твердых тел.**

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоэдс, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии. Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

8. Магнитные свойства твердых тел.

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

Ферромагнитные домены**.** Причины появлениядоменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

Спиновые волны, магноны.

Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел.

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.

Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта, и Керра).

Проникновение высокочастотного поля в проводник Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

**10. Сверхпроводимость.**

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейсснера. Критическое поле и критический ток.

Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

Эффект Джозефсона.

Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

**5.4 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

Литература.

1. Л.Д. Ландау. Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. М., Наука,1976, 573с.

2. Г. Стенли. Фазовые переходы и критические явления. М.: Мир,1973, 419 с.

3. К. Вильсон. Дж. Когут. Ренормализационная группа и ε- разложение. М.: Мир,1975, 256с.

4. Ш. Ма. Современная теория критических явлений. М.: Мир, 1980, 298 с.

5. А.З. Паташинский, В.Л. Покровский. Флуктуационная теория фазовых переходов. М.:

Наука, 1982, с.

6. Ю.А. Изюмов, В.Н. Сыромятников. Фазовые переходы и симметрия кристаллов. М.:

Наука, 1884, 246 с.

7.А.М. Поляков. Калибровочные поля и струны. ИТФ им. Л.Д. Ландау, 1995, 299с.

8. В.Ф. Гантмахер. В.Т. Долгополов УФН, 2008,т.178,с.3.

**5.5 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для успешного осуществления рабочей программы необходимы программа курса «Физика конденсированного состояния», литература и методические указания; принтер и ксерокс для копирования учебных материалов и материалов тестов, мультимедийный класс. Институт располагает аудиториями, оснащенными современным оборудованием для проведения занятий лекционного типа и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также для самостоятельной работы.

Есть аудитории с доступом к глобальной сети Интернет, в соответствии с объемом изучаемых дисциплин, каждый аспирант может быть обеспечен рабочим местом. Данные аудитории обеспечивают доступ в электронно-библиотечную систему (электронную библиотеку) института.

Приложение № 1

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины «Фазовые переходы в конденсированных средах» на 4 курсе

(наименование дисциплины)

|  |  |
| --- | --- |
| **Вид работы** | **Объем дисциплины** |
| Общая трудоемкость дисциплины | 72 |
| Учебных часов на контактную работу с преподавателем: | 36 |
| Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СРС) | 36 |

Формы контроля: кандидатский экзамен 4 курс

1. **Дисциплина «Дефекты и диффузионные явления»**
   1. **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине,**

**соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной**

**профессиональной образовательной программы**

*(с ориентацией на карты компетенций)*

В результате освоения основной профессиональной образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Результаты обучения | | Формируемая компетенция  (с указанием кода) | Примечание |
| Знания | Знать современную физику дефектов кристаллического строения | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| Знать современную физику дефектов кристаллического строения | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| Знать современную физику дефектов кристаллического строения | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| Знать современную физику дефектов кристаллического строения | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |
| Умения | Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |
| Владения (навыки / опыт деятельности) | Владеть стандартной терминологией и определениями | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |  |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |  |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |  |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |  |

**6.2 Цели и место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Дефекты и диффузионные явления» относится к вариативной части.

Дисциплина изучается на \_4\_ курсе.

Целью дисциплины является подготовка высококвалифицированного специалиста в области теоретической и фундаментальной физики, математического моделирования физических объектов, явлений и процессов.

В результате аспирант приобретает умение ориентироваться в современной науке, приобщается к ее передовому краю, получает возможность соотнести собственные исследовательские интересы с актуальными задачами, стоящими перед современной наукой, сделать их частью научного поля.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

Теоретическая механика, Механика сплошных сред, Термодинамика, Статистическая физика, Физическая кинетика, Электродинамика сплошных сред, Квантовая теория.

**6.3. Фонд оценочных средств по дисциплине**

**6.3.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы.   
Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

Код и формулировка компетенции

**ОПК-1** Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать современную физику дефектов кристаллического строения | Фрагментарное владение основами современной физики дефектов кристаллического строения | В целом успешное, но не систематическое владение основами современной физики дефектов кристаллического строения | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами современной физики дефектов кристаллического строения | Успешное и систематическое владение основами современной физики дефектов кристаллического строения |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | Фрагментарное владение способностью объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | В целом успешное, но не систематическое владение способностью объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение способностью объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | Успешное и систематическое владение способностью объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и определениями | Фрагментарное владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение стандартной терминологией и определениями | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и определениями |

**ПК-1** Способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать современную физику дефектов кристаллического строения | Фрагментарное владение основами современной физики дефектов кристаллического строения | В целом успешное, но не систематическое владение основами современной физики дефектов кристаллического строения | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами современной физики дефектов кристаллического строения | Успешное и систематическое владение основами современной физики дефектов кристаллического строения |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | Фрагментарное владение способностью объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | В целом успешное, но не систематическое владение способностью объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение способностью объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | Успешное и систематическое владение способностью объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и определениями | Фрагментарное владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение стандартной терминологией и определениями | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и определениями |

**ПК-2** Готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов и устройств на их основе

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать современную физику дефектов кристаллического строения | Фрагментарное владение основами современной физики дефектов кристаллического строения | В целом успешное, но не систематическое владение основами современной физики дефектов кристаллического строения | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами современной физики дефектов кристаллического строения | Успешное и систематическое владение основами современной физики дефектов кристаллического строения |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | Фрагментарное владение способностью объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | В целом успешное, но не систематическое владение способностью объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение способностью объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | Успешное и систематическое владение способностью объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и определениями | Фрагментарное владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение стандартной терминологией и определениями | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и определениями |

**ПК-3** Способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап (уровень) освоения компетенции | Планируемые результаты обучения  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | |
| 2 («Не удовлетворительно») | 3 («Удовлетворительно») | 4 («Хорошо») | 5 («Отлично») |
| Первый этап (Пороговый уровень) | Знать современную физику дефектов кристаллического строения | Фрагментарное владение основами современной физики дефектов кристаллического строения | В целом успешное, но не систематическое владение основами современной физики дефектов кристаллического строения | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основами современной физики дефектов кристаллического строения | Успешное и систематическое владение основами современной физики дефектов кристаллического строения |
| Второй этап (Базовый уровень) | Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | Фрагментарное владение способностью объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | В целом успешное, но не систематическое владение способностью объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение способностью объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | Успешное и систематическое владение способностью объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты |
| Третий этап (Повышенный уровень) | Владеть стандартной терминологией и определениями | Фрагментарное владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но не систематическое владение стандартной терминологией и определениями | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение стандартной терминологией и определениями | Успешное и систематическое владение стандартной терминологией и определениями |

**6.3.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Этапы освоения | Результаты обучения | Компетенция | Оценочные средства |
| 1-й этап  Знания | Знать современную физику дефектов кристаллического строения | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов |
| Знать современную физику дефектов кристаллического строения | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| Знать современную физику дефектов кристаллического строения | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| Знать современную физику дефектов кристаллического строения | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |
| 2-й этап  Умения | Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов, решение задач |
| Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| Уметь правильно объяснять физические явления, вызванные дефектами кристаллического строения, правильно интерпретировать экспериментальные результаты | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |
| 3-й этап  Владеть навыками | Владеть стандартной терминологией и определениями | ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | изучение основной и дополнительной литературы, составление кратких конспектов, решение задач |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-1 способность к самостоятельной разработке экспериментальных и теоретических методик изучения структуры, механических характеристик и физических свойств металлов и сплавов |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-2 готовность использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов |
| Владеть стандартной терминологией и определениями | ПК-3 способность формулировать перспективные задачи исследования в области физики конденсированного состояния с целью разработки новых материалов, методов их обработки, физических приборов, систем и конструкций |

В качестве основного оценочного средства текущего контроля используются индивидуальная проверка заданий по самостоятельной работе, дискуссии на лекционном и практических занятиях по прочитанной литературе. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – письменная работа. Аттестация по итогам освоения дисциплины – кандидатский экзамен.

**Примерные критерии оценивания**

**Собеседование** проходит в виде устной беседы для выявления у аспиранта знаний по предметной области

**Примерные критерии оценивания ответа на экзамене:**

**5 баллов (отлично)** выставляется аспиранту, если он дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Аспирант без затруднений ответил на все дополнительные вопросы. Практическая часть работы выполнена полностью без неточностей и ошибок.

**4 балла (хорошо)**выставляется, если аспиранту, если он раскрыл в основном теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий. При ответе на дополнительные вопросы допущены небольшие неточности. При выполнении практической части работы допущены несущественные ошибки.

**3 (удовлетворительно)** выставляется аспиранту, если при ответе на теоретические вопросы им допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос. Аспирант не решил задачу или при решении допущены грубые ошибки.

**2 (неудовлетворительно)** выставляется аспиранту, если ответы на теоретические вопросы свидетельствуют о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов. Обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий. Аспирант не смог ответить ни на один дополнительный вопрос.

**Программа кандидатского экзамена для направления – 03.06.01 Физика и астрономия (Направленность подготовки «Физика конденсированного состояния»)**

1. Силы связи в твердых телах.

Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO3.

Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

2. Симметрия твердых тел.

Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

**3. Дефекты в твердых телах.**

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

4. Дифракция в кристаллах.

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

5. Колебания решетки.

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

6. Тепловые свойства твердых тел.

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

**7. Электронные свойства твердых тел.**

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоэдс, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии. Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

8. Магнитные свойства твердых тел.

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

Ферромагнитные домены**.** Причины появлениядоменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

Спиновые волны, магноны.

Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел.

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.

Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта, и Керра).

Проникновение высокочастотного поля в проводник Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

**10. Сверхпроводимость.**

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейсснера. Критическое поле и критический ток.

Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

Эффект Джозефсона.

Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

**6.4 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

Литература.

1. Кайбышев О.А., Валиев Р.З. Границы зерен и свойства металлов. М: Металлургия,

1987. 214 с.

2. Структура и свойства внутренних поверхностей раздела в металлах / Под. ред. Б.С.

Бокштейна. М.: Наука, 1988, 272 с.

3. Маннинг Д. "Кинетика диффузии атомов в кристаллах", ' м., "Мир", 1971.

4. Тонкие пленки - Взаимная диффузия и реакции / Под. ред. Поута Дж., Ту К., Мейера

Дж.. М.: Мир, 1982.

5. Гуров К.П., Карташкин Б.А., Угасте Ю.Э. Взаимная диффузия в многофазных

металлических системах. М: Наука, 1981. 352 с.

6. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография,

рентгенография и электронная микроскопия. М.: Металлургия, 1982.

7. Рид С. Электронно-зондовый микроанализ. М.: Мир, 1979.

8. Вертхейм Г. "Эффект Мессбауэра", М., "Мир", 1968.

9. Химические применения мессбауэровской спектроскопии / Под. ред. В.И.

Гольданского. М.: Мир, 1970, 502 с.

**6.5 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для успешного осуществления рабочей программы необходимы программа курса «Физика конденсированного состояния», литература и методические указания; принтер и ксерокс для копирования учебных материалов и материалов тестов, мультимедийный класс. Институт располагает аудиториями, оснащенными современным оборудованием для проведения занятий лекционного типа и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также для самостоятельной работы.

Есть аудитории с доступом к глобальной сети Интернет, в соответствии с объемом изучаемых дисциплин, каждый аспирант может быть обеспечен рабочим местом. Данные аудитории обеспечивают доступ в электронно-библиотечную систему (электронную библиотеку) института.

Приложение № 1

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины «Дефекты и диффузионные явления» на 4 курсе

(наименование дисциплины)

|  |  |
| --- | --- |
| **Вид работы** | **Объем дисциплины** |
| Общая трудоемкость дисциплины | 72 |
| Учебных часов на контактную работу с преподавателем: | 36 |
| Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СРС) | 36 |

Формы контроля: кандидатский экзамен 4 курс