

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/04-577

от 27.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.03.01 Прикладные математика и физика

| Семестр | Трудоемкость,<br>кред. | Общий объем<br>курса, час. | Лекции, час. | Практич.<br>занятия, час. | Лаборат. работы,<br>час. | В форме<br>практической<br>подготовки/В<br>СРС, час. | КСР, час. | Форма(ы)<br>контроля,<br>экс./зач./КР/КП |
|---------|------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|--|-----------|--|
| 7       | 4                      | 144                        | 48           | 32                        | 0                        | 19   | 0         | Э  |
| 8       | 3                      | 108                        | 36           | 24                        | 0                        | 21   | 0         | Э  |
| Итого   | 7                      | 252                        | 84           | 56                        | 0                        | 40   | 0         |  |

## АННОТАЦИЯ

Цель курса – научить студентов работе с экспериментальными данными по параметрам кристаллов, основным способам описания систем многих частиц с взаимодействием, методам вычислений спектров колебаний, зонной структуре электронов, связи конкретных данных с теоретическим описанием из первых принципов основных параметров твердого тела.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса – научить студентов работе с экспериментальными данными по параметрам кристаллов, основным способам описания систем многих частиц с взаимодействием, методам вычислений спектров колебаний, зонной структуре электронов, связи конкретных данных с теоретическим описанием из первых принципов основных параметров твердого тела.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс двухсеместровый.

Знания, полученные при изучении курса «Теоретическая физика твердого тела» необходимы для освоения макроскопической электродинамики, теории фазовых переходов, уравнений состояния вещества, теории сверхпроводимости и многих специализированных дисциплин по теоретической и экспериментальной физике, изучаемых студентами старших курсов. Данный курс фактически завершает базовую часть теоретической физики как студентов-теоретиков, так и студентов- экспериментаторов.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

| Код и наименование компетенции  | Код и наименование индикатора достижения компетенции   |
|---|--|
| ОПК-3 [1] – Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты) | З-ОПК-3 [1] – Знать современные средства представления результатов научно-технической деятельности, в том числе в форме отчетов, публикаций, презентаций, докладов.<br>У-ОПК-3 [1] – Уметь использовать современные средства для представления результатов деятельности, составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты).<br>В-ОПК-3 [1] – Владеть навыками представления результатов научно-технической деятельности с использованием современных средств, ориентируясь на потребности аудитории, в том числе в форме отчетов, публикаций. |
| ОПК-4 [1] – Способен осуществлять сбор и обработку  | З-ОПК-4 [1] – Знать принципы, методы и средства сбора и обработки научно-технической и (или) технологической   |

|  |  |
|--|--|
| научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач | <p>информации для решения фундаментальных и прикладных задач на основе информационной и библиографической культуры.</p> <p>У-ОПК-4 [1] – Уметь осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач с применением информационно-коммуникационных технологий.</p> <p>В-ОПК-4 [1] – Владеть навыками сбора, обработки и анализа научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач</p> |
|--|--|

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

| <b>Задача профессиональной деятельности (ЗПД)</b>  | <b>Объект или область знания</b>  | <b>Код и наименование профессиональной компетенции;<br/>Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)</b>                                | <b>Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции</b>  |
|--|---|---|---|
| научно-исследовательский   |   |   |   |
| участие в обобщении полученных данных, формировании выводов, в подготовке научных и аналитических отчетов, публикаций и презентаций результатов научных и аналитических исследований участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок; | природные и социальные явления и процессы, объекты техники, технологии и производства, модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого | ПК-4 [1] - Способен критически оценивать применяемые методики и методы исследования<br><br><i>Основание:</i><br>Профессиональный стандарт: 40.011 | З-ПК-4[1] - Знать основные методики и методы исследования в сфере своей профессиональной деятельности ;<br>У-ПК-4[1] - Уметь анализировать и критически оценивать применяемые методики и методы исследования.;<br>В-ПК-4[1] - Владеть навыками выбора и критической оценки применяемых методик и методов исследования в сфере своей профессиональной деятельности |

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
|   | производства, управления и бизнеса.   |   |   |
| инновационный   |   |   |   |
| проведение фундаментальных и прикладных математических и физических исследований, направленных на решение инженерных, технических и информационных задач  | природные и социальные явления и процессы, объекты техники, технологии и производства, модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса. | ПК-5 [1] - Способен управлять программами освоения новой продукции и технологии, разрабатывать эффективную стратегию<br><br><i>Основание:</i><br>Профессиональный стандарт: 40.011                          | З-ПК-5[1] - Знать основные методы и принципы управления программами освоения новой продукции и технологии, разрабатывать эффективную стратегию в сфере своей профессиональной деятельности. ;<br>У-ПК-5[1] - Уметь находить оптимальные решения при освоения новой продукции и технологии, разрабатывать эффективную стратегию. ;<br>В-ПК-5[1] - Владеть навыками нахождения оптимальных решений для освоения новой продукции и технологии, разрабатывать эффективную стратегию |
| экспертно-аналитический   |   |   |   |
| изучение и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования, сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий подготовка исходных данных для | природные и социальные явления и процессы, объекты техники, технологии и производства, модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и  | ПК-10 [1] - Способен к аналитической и количественной оценке процессов в природе, технике и обществе и к выбору на их основе путей решения теоретических и практических проблем природного, экологического, | З-ПК-10[1] - Знать основные методики, цели и задачи построения аналитических и количественных моделей процессов в природе, технике и обществе. ;<br>У-ПК-10[1] - Уметь строить аналитические и  |

|  |   |  |   |
|--|---|--|---|
| <p>выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа сбор и анализ информационных источников и исходных данных для планирования и разработки исследовательских проектов</p> | <p>разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса.</p> | <p>технико-технологического характера</p> <p><i>Основание:</i><br/>Профессиональный стандарт: 40.011</p>   | <p>количественные модели процессов в природе, технике и обществе и выбирать на их основе путей решения теоретических и практических проблем природного, экологического, технико-технологического характера. ; В-ПК-10[1] - Владеть навыками построения аналитических и количественных моделей процессов в природе, технике и обществе и выбора на их основе путей решения теоретических и практических проблем природного, экологического, технико-технологического характера</p> |
| <p>педагогический</p>  |   |  |   |
| <p>Проведение дополнительных/факультативных занятий по учебным курсам, связанными с математическим моделированием физических процессов</p>   | <p>природные и социальные явления и процессы, объекты техники, технологии и производства, модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и</p>     | <p>ПК-12 [1] - Способен преподавать специальные предметы в области прикладной и фундаментальной физики.</p> <p><i>Основание:</i><br/>Профессиональный стандарт: 01.003</p> | <p>З-ПК-12[1] - Знать основные цели и задачи, особенности содержания и организации педагогического процесса на основе компетентностного подхода; психологические особенности обучающихся, особенности педагогического взаимодействия в условиях</p>   |

|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
|  | социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса. |  | изменяющегося образовательного пространства. ;<br>У-ПК-12[1] - Уметь организовывать образовательно-воспитательный процесс в изменяющихся социокультурных условиях;<br>применять психолого-педагогические знания в области общей, прикладной и фундаментальной физики. ;<br>В-ПК-12[1] - Владеть навыками преподавания специальных дисциплин в области общей, прикладной и фундаментальной физики. |
|--|--|--|---|

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

| Направления/цели воспитания | Задачи воспитания (код)  | Воспитательный потенциал дисциплин   |
|-----------------------------|--|--|
| Профессиональное воспитание | Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18) | Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий. |
| Профессиональное воспитание | Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических                 | 1. Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для:<br>- формирования понимания  |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  | <p>решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)</p> | <p>основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед;</li> <li>- формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</li> </ul> |
|--|--|---|

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

| № п.п | Наименование раздела учебной дисциплины | Недели | Лекции/ Практик. (семинары )/ Лабораторные работы, час. | Обязат. текущий контроль (форма*, неделя) | Максимальный балл за раздел** | Аттестация раздела (форма*, неделя) | Индикаторы освоения компетенции |
|-------|---|--------|---|---|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1     | <p>7 Семестр</p> <p>Первый раздел</p>   | 1-8    | 24/16/0   |   | 25                            | КИ-8                                | 3-ОПК-3, У-ОПК-                 |

|   |               |      |         |  |    |       |   |
|---|---------------|------|---------|--|----|-------|---|
|   |               |      |         |  |    |       | 3,<br>В-<br>ОПК-<br>3,<br>3-<br>ОПК-<br>4,<br>У-<br>ОПК-<br>4,<br>В-<br>ОПК-<br>4,<br>3-ПК-<br>4,<br>У-<br>ПК-4,<br>В-<br>ПК-4,<br>3-ПК-<br>5,<br>У-<br>ПК-5,<br>В-<br>ПК-5,<br>3-ПК-<br>10,<br>У-<br>ПК-<br>10,<br>В-<br>ПК-<br>10,<br>3-ПК-<br>12,<br>У-<br>ПК-<br>12,<br>В-<br>ПК-<br>12 |
| 2 | Второй раздел | 9-16 | 24/16/0 |  | 25 | КИ-16 | 3-<br>ОПК-<br>3,<br>У-<br>ОПК-<br>3,<br>В-<br>ОПК-<br>3,<br>3-<br>ОПК-  |



|  |   |  |         |  |    |   |   |
|--|---|--|---------|--|----|---|---|
|  |   |  |         |  |    |   | 4,<br>У-<br>ОПК-<br>4,<br>В-<br>ОПК-<br>4,<br>3-ПК-<br>4,<br>У-<br>ПК-4,<br>В-<br>ПК-4,<br>3-ПК-<br>5,<br>У-<br>ПК-5,<br>В-<br>ПК-5,<br>3-ПК-<br>10,<br>У-<br>ПК-<br>10,<br>В-<br>ПК-<br>10,<br>3-ПК-<br>12,<br>У-<br>ПК-<br>12,<br>В-<br>ПК-<br>12 |
|  | <i>Итого за 7 Семестр</i>                   |  | 48/32/0 |  | 50 |   |   |
|  | <b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b> |  |         |  | 50 | Э | 3-<br>ОПК-<br>3,<br>У-<br>ОПК-<br>3,<br>В-<br>ОПК-<br>3,<br>3-<br>ОПК-<br>4,<br>У-<br>ОПК-<br>4,<br>В-  |

|   |                  |     |         |  |    |      |   |
|---|------------------|-----|---------|--|----|------|---|
|   |                  |     |         |  |    |      | ОПК-4,<br>3-ПК-4,<br>У-ПК-4,<br>В-ПК-4,<br>3-ПК-5,<br>У-ПК-5,<br>В-ПК-5,<br>3-ПК-10,<br>У-ПК-10,<br>В-ПК-10,<br>3-ПК-12,<br>У-ПК-12,<br>В-ПК-12 |
|   | <i>8 Семестр</i> |     |         |  |    |      |   |
| 1 | Первый раздел    | 1-8 | 24/16/0 |  | 25 | КИ-8 | 3-ОПК-3,<br>У-ОПК-3,<br>В-ОПК-3,<br>3-ОПК-4,<br>У-ОПК-4,<br>В-ОПК-4,<br>3-ПК-4,<br>У-   |

|   |               |      |        |  |    |       |  |
|---|---------------|------|--------|--|----|-------|--|
|   |               |      |        |  |    |       | ПК-4,<br>В-<br>ПК-4,<br>3-ПК-<br>5,<br>У-<br>ПК-5,<br>В-<br>ПК-5,<br>3-ПК-<br>10,<br>У-<br>ПК-<br>10,<br>В-<br>ПК-<br>10,<br>3-ПК-<br>12,<br>У-<br>ПК-<br>12,<br>В-<br>ПК-<br>12       |
| 2 | Второй раздел | 9-15 | 12/8/0 |  | 25 | КИ-15 | 3-<br>ОПК-<br>3,<br>У-<br>ОПК-<br>3,<br>В-<br>ОПК-<br>3,<br>3-<br>ОПК-<br>4,<br>У-<br>ОПК-<br>4,<br>В-<br>ОПК-<br>4,<br>3-ПК-<br>4,<br>У-<br>ПК-4,<br>В-<br>ПК-4,<br>3-ПК-<br>5,<br>У- |

|  |   |  |         |  |    |   |  |
|--|---|--|---------|--|----|---|--|
|  |   |  |         |  |    |   | ПК-5,<br>В-<br>ПК-5,<br>3-ПК-<br>10,<br>У-<br>ПК-<br>10,<br>В-<br>ПК-<br>10,<br>3-ПК-<br>12,<br>У-<br>ПК-<br>12,<br>В-<br>ПК-<br>12  |
|  | <i>Итого за 8 Семестр</i>                   |  | 36/24/0 |  | 50 |   |  |
|  | <b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b> |  |         |  | 50 | Э | 3-<br>ОПК-<br>3,<br>У-<br>ОПК-<br>3,<br>В-<br>ОПК-<br>3,<br>3-<br>ОПК-<br>4,<br>У-<br>ОПК-<br>4,<br>В-<br>ОПК-<br>4,<br>3-ПК-<br>4,<br>У-<br>ПК-4,<br>В-<br>ПК-4,<br>3-ПК-<br>5,<br>У-<br>ПК-5,<br>В-<br>ПК-5,<br>3-ПК-<br>10, |

|  |  |  |  |  |  |  |   |
|--|--|--|--|--|--|--|---|
|  |  |  |  |  |  |  | У-ПК-10, В-ПК-10, 3-ПК-12, У-ПК-12, В-ПК-12 |
|--|--|--|--|--|--|--|---|

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

| Обозначение | Полное наименование |
|-------------|---------------------|
| КИ          | Контроль по итогам  |
| Э           | Экзамен             |

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| Недели     | Темы занятий / Содержание   | Лек., час.             | Пр./сем., час. | Лаб., час. |
|------------|---|------------------------|----------------|------------|
|            | <i>7 Семестр</i>  | 48                     | 32             | 0          |
| <b>1-8</b> | <b>Первый раздел</b>  | 24                     | 16             | 0          |
| 1          | <b>Конденсированное состояние системы макроскопического числа частиц с произвольным взаимодействием.</b><br>Конденсированное состояние системы макроскопического числа частиц с произвольным взаимодействием.<br>Кристаллическая и аморфная фазы. Квантовая жидкость и газ. | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |   | 3                      | 2              | 0          |
|            |   | Онлайн                 |                |            |
|            |   | 0                      | 0              | 0          |
| 2          | <b>Колебания атомов в произвольном твердом теле.</b><br>Колебания атомов в произвольном твердом теле.<br>Адиабатическое приближение. Система уравнений движения и набор собственных частот в гармоническом приближении.   | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |   | 3                      | 2              | 0          |
|            |   | Онлайн                 |                |            |
|            |   | 0                      | 0              | 0          |
| 3          | <b>Кристаллическая симметрия, элементарная ячейка.</b><br>Кристаллическая симметрия, элементарная ячейка. Одно- и многоатомные кристаллы. Примеры одномерных кристаллов. Система уравнений движения атомов элементарной ячейки. Квазиволновой вектор.                       | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |   | 3                      | 2              | 0          |
|            |   | Онлайн                 |                |            |
|            |   | 0                      | 0              | 0          |
| 4          | <b>Колебания атомов линейного одноатомного кристалла.</b><br>Колебания атомов линейного одноатомного кристалла.   | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |   | 3                      | 2              | 0          |

|       |  |                        |    |   |   |
|-------|--|------------------------|----|---|---|
|       | Акустический спектр. Отношение смещений соседних атомов, групповая и фазовая скорости распространения волн смещений.   | Онлайн                 | 0  | 0 | 0 |
| 5     | <b>Спектр колебаний двухатомного кристалла.</b><br>Спектр колебаний двухатомного кристалла. Акустические и оптические частоты. Скорости распространения и относительные смещения атомов  | Всего аудиторных часов | 3  | 2 | 0 |
|       |  | Онлайн                 | 0  | 0 | 0 |
|       |  | 0                      | 0  | 0 |   |
| 6 - 7 | <b>Обратная решётка и её базис.</b><br>Периодическая зависимость собственных частот и векторов смещения от квазиволнового вектора. Обратная решётка и её базис. Длинноволновое приближение для частот и амплитуд смещения атомов в произвольном кристалле. Числа акустических и оптических частот. | Всего аудиторных часов | 6  | 4 | 0 |
|       |  | Онлайн                 | 0  | 0 | 0 |
|       |  | 0                      | 0  | 0 |   |
| 8     | <b>Квантование колебаний атомов. Фононы.</b><br>Квантование колебаний атомов. Фононы. Оператор смещения и его матричные элементы. Средний квадрат смещения атома.  | Всего аудиторных часов | 3  | 2 | 0 |
|       |  | Онлайн                 | 0  | 0 | 0 |
|       |  | 0                      | 0  | 0 |   |
| 9-16  | <b>Второй раздел</b>   | 24                     | 16 | 0 |   |
| 9     | <b>Термодинамика колеблющегося кристалла.</b><br>Термодинамика колеблющегося кристалла. Тепловая энергия и теплоёмкость. Температурное поведение теплоёмкости. Дебаевское приближение. Уравнение состояния.  | Всего аудиторных часов | 3  | 2 | 0 |
|       |  | Онлайн                 | 0  | 0 | 0 |
|       |  | 0                      | 0  | 0 |   |
| 10    | <b>Температурное поведение среднего квадрата смещения любого атома в кристалле</b><br>Температурное поведение среднего квадрата смещения любого атома в кристалле. Неустойчивость 1- и 2-х мерных кристаллов.  | Всего аудиторных часов | 3  | 2 | 0 |
|       |  | Онлайн                 | 0  | 0 | 0 |
|       |  | 0                      | 0  | 0 |   |
| 11    | <b>Эффект Мёссбауэра.</b><br>Эффект Мёссбауэра. Вероятность эффекта и её температурное поведение. Восстановление характеристик кристаллов по анализу вероятности эффекта в разных системах.  | Всего аудиторных часов | 3  | 2 | 0 |
|       |  | Онлайн                 | 0  | 0 | 0 |
|       |  | 0                      | 0  | 0 |   |
| 12    | <b>Рассеяние внешнего излучения на колеблющемся кристалле.</b><br>Рассеяние внешнего излучения на колеблющемся кристалле. Вероятность рассеяния в приближении тонкого кристалла.   | Всего аудиторных часов | 3  | 2 | 0 |
|       |  | Онлайн                 | 0  | 0 | 0 |
|       |  | 0                      | 0  | 0 |   |
| 13    | <b>Упругое и неупругое когерентное рассеяние.</b><br>Упругое и неупругое когерентное рассеяние. Восстановление фонов спектра кристаллов по результатам неупругого однофононного рассеяния нейтронов. Времена жизни фононов.  | Всего аудиторных часов | 3  | 2 | 0 |
|       |  | Онлайн                 | 0  | 0 | 0 |
|       |  | 0                      | 0  | 0 |   |
| 14    | <b>Упругое и неупругое некогерентное рассеяние нейтронов.</b><br>Упругое и неупругое некогерентное рассеяние нейтронов. Восстановление функции плотности фононных частот.  | Всего аудиторных часов | 3  | 2 | 0 |
|       |  | Онлайн                 | 0  | 0 | 0 |
|       |  | 0                      | 0  | 0 |   |
| 15    | <b>Гамильтониан системы взаимодействующих магнитных моментов атомов в ферромагнетике.</b><br>Гамильтониан системы взаимодействующих магнитных моментов атомов в ферромагнетике. Преобразование гамильтониана к представлению с выделенной магнитным  | Всего аудиторных часов | 3  | 2 | 0 |
|       |  | Онлайн                 | 0  | 0 | 0 |
|       |  | 0                      | 0  | 0 |   |

|             |  |                        |    |   |
|-------------|--|------------------------|----|---|
|             | полю осью. Основное состояние и возбуждение магненов.  |                        |    |   |
| 16          | <b>Термодинамика ферромагнетика.</b><br>Термодинамика ферромагнетика. Температурное поведение теплоёмкости и макроскопического магнитного момента. Ферромагнетизм как пример фазового перехода 2-го рода.  | Всего аудиторных часов |    |   |
|             |  | 3                      | 2  | 0 |
|             |  | Онлайн                 |    |   |
|             |  | 0                      | 0  | 0 |
|             | <i>8 Семестр</i>   | 36                     | 24 | 0 |
| <b>1-8</b>  | <b>Первый раздел</b>   | 24                     | 16 | 0 |
| 1           | <b>Электронная ветвь возбуждения в кристаллах.</b><br>Электронная ветвь возбуждения в кристаллах. Плазменная модель переходного металла. Гамильтониан электрон-ионной системы. Условие электронейтральности. Невзаимодействующий электронный газ, его основные характеристики, уравнение состояния.  | Всего аудиторных часов |    |   |
|             |  | 3                      | 2  | 0 |
|             |  | Онлайн                 |    |   |
|             |  | 0                      | 0  | 0 |
| 2           | <b>Взаимодействующий электронный газ.</b><br>Взаимодействующий электронный газ. Обменное взаимодействие. Корреляция в положении электронов. Структура корреляционной энергии. Вигнеровский кристалл. Нулевая модель металла и проблема металлического водорода.  | Всего аудиторных часов |    |   |
|             |  | 3                      | 2  | 0 |
|             |  | Онлайн                 |    |   |
|             |  | 0                      | 0  | 0 |
| 3           | <b>Электрон-ионное взаимодействие в неоднородном случае.</b><br>Электрон-ионное взаимодействие в неоднородном случае. Диэлектрическая проницаемость электронного газа. Поляризационный оператор. Экранировка внешнего заряда электронным газом различной плотности. Фриделевские осцилляции. Собственные возбуждения в электронном газе, плазмоны. | Всего аудиторных часов |    |   |
|             |  | 3                      | 2  | 0 |
|             |  | Онлайн                 |    |   |
|             |  | 0                      | 0  | 0 |
| 4           | <b>Косвенные взаимодействия между ионами и звук в металле.</b><br>Косвенные взаимодействия между ионами и звук в металле. Скорость звука. Одночастичные возбуждения в электронном газе металла. Работа выхода.   | Всего аудиторных часов |    |   |
|             |  | 3                      | 2  | 0 |
|             |  | Онлайн                 |    |   |
|             |  | 0                      | 0  | 0 |
| 5           | <b>Зонная структура спектра.</b><br>Одноэлектронное приближение. Уравнение Шредингера для электрона в поле периодического потенциала. Зонная структура спектра. Волновые функции Блоха. Операторы координаты и скорости зонного электрона.   | Всего аудиторных часов |    |   |
|             |  | 3                      | 2  | 0 |
|             |  | Онлайн                 |    |   |
|             |  | 0                      | 0  | 0 |
| 6           | <b>Электроны металла во внешнем поле</b><br>Движение в классическом электрическом и магнитном полях. Эффективные массы электронов.   | Всего аудиторных часов |    |   |
|             |  | 3                      | 2  | 0 |
|             |  | Онлайн                 |    |   |
|             |  | 0                      | 0  | 0 |
| 7           | <b>Статистика заполнения электронами состояний в зонах.</b><br>Статистика заполнения электронами состояний в зонах. Классификация кристаллов. Диэлектрики, полупроводники, металлы.  | Всего аудиторных часов |    |   |
|             |  | 3                      | 2  | 0 |
|             |  | Онлайн                 |    |   |
|             |  | 0                      | 0  | 0 |
| 8           | <b>Электронные спектры</b><br>Приближения: а) почти свободных электронов; б) сильной связи. Электронные спектры. Зоны Бриллюэна.   | Всего аудиторных часов |    |   |
|             |  | 3                      | 2  | 0 |
|             |  | Онлайн                 |    |   |
|             |  | 0                      | 0  | 0 |
| <b>9-15</b> | <b>Второй раздел</b>   | 12                     | 8  | 0 |

|         |   |                        |   |   |
|---------|---|------------------------|---|---|
| 9       | <b>Движение электронов в узкой зоне.</b><br>Движение электронов в узкой зоне. Роль кулоновского взаимодействия. Модель Хаббарда. Переход "металл-диэлектрик". Спиновое упорядочение электронов.   | Всего аудиторных часов |   |   |
|         |   | 3                      | 2 | 0 |
|         |   | Онлайн                 |   |   |
| 0       | 0   | 0                      |   |   |
| 10      | <b>Термодинамика электронных возбуждений в металлах.</b><br>Термодинамика электронных возбуждений в металлах. Теплоемкость и тепловое расширение электронной системы. Полупроводники собственные и примесные. Концентрация носителей. Спектр мелких примесей. Экситоны в полупроводниках. | Всего аудиторных часов |   |   |
|         |   | 3                      | 2 | 0 |
|         |   | Онлайн                 |   |   |
| 0       | 0   | 0                      |   |   |
| 11 - 12 | <b>Электрон-фононное взаимодействие.</b><br>Электрон-фононное взаимодействие. Гамильтониан Фрелиха. Изменение полной энергии системы электронов и фононов.  | Всего аудиторных часов |   |   |
|         |   | 3                      | 2 | 0 |
|         |   | Онлайн                 |   |   |
| 0       | 0   | 0                      |   |   |
| 12 - 15 | <b>Электрон-фононное взаимодействие (продолжение).</b><br>Поправка к энергии отдельного электрона и частота фонона, времена жизни электронов и фононов.   | Всего аудиторных часов |   |   |
|         |   | 3                      | 2 | 0 |
|         |   | Онлайн                 |   |   |
| 0       | 0   | 0                      |   |   |

Сокращенные наименования онлайн опций:

| Обозначение | Полное наименование              |
|-------------|----------------------------------|
| ЭК          | Электронный курс                 |
| ПМ          | Полнотекстовый материал          |
| ПЛ          | Полнотекстовые лекции            |
| ВМ          | Видео-материалы                  |
| АМ          | Аудио-материалы                  |
| Прз         | Презентации                      |
| Т           | Тесты                            |
| ЭСМ         | Электронные справочные материалы |
| ИС          | Интерактивный сайт               |

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В курсе «Теоретическая физика твердого тела» используются традиционные образовательные технологии: лекции, семинарские занятия с разбором задач и примеров.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

| Компетенция | Индикаторы освоения | Аттестационное мероприятие (КП 1) | Аттестационное мероприятие (КП 2) |
|-------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| ОПК-3       | 3-ОПК-3             | Э, КИ-8, КИ-16                    | Э, КИ-8, КИ-15                    |



|       |         |                |                |
|-------|---------|----------------|----------------|
|       | У-ОПК-3 | Э, КИ-8, КИ-16 | Э, КИ-8, КИ-15 |
|       | В-ОПК-3 | Э, КИ-8, КИ-16 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| ОПК-4 | З-ОПК-4 | Э, КИ-8, КИ-16 | Э, КИ-8, КИ-15 |
|       | У-ОПК-4 | Э, КИ-8, КИ-16 | Э, КИ-8, КИ-15 |
|       | В-ОПК-4 | Э, КИ-8, КИ-16 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| ПК-10 | З-ПК-10 | Э, КИ-8, КИ-16 | Э, КИ-8, КИ-15 |
|       | У-ПК-10 | Э, КИ-8, КИ-16 | Э, КИ-8, КИ-15 |
|       | В-ПК-10 | Э, КИ-8, КИ-16 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| ПК-12 | З-ПК-12 | Э, КИ-8, КИ-16 | Э, КИ-8, КИ-15 |
|       | У-ПК-12 | Э, КИ-8, КИ-16 | Э, КИ-8, КИ-15 |
|       | В-ПК-12 | Э, КИ-8, КИ-16 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| ПК-4  | З-ПК-4  | Э, КИ-8, КИ-16 | Э, КИ-8, КИ-15 |
|       | У-ПК-4  | Э, КИ-8, КИ-16 | Э, КИ-8, КИ-15 |
|       | В-ПК-4  | Э, КИ-8, КИ-16 | Э, КИ-8, КИ-15 |
| ПК-5  | З-ПК-5  | Э, КИ-8, КИ-16 | Э, КИ-8, КИ-15 |
|       | У-ПК-5  | Э, КИ-8, КИ-16 | Э, КИ-8, КИ-15 |
|       | В-ПК-5  | Э, КИ-8, КИ-16 | Э, КИ-8, КИ-15 |

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

| Сумма баллов | Оценка по 4-ех балльной шкале | Оценка ECTS | Требования к уровню освоению учебной дисциплины   |
|--------------|-------------------------------|-------------|---|
| 90-100       | 5 – «отлично»                 | A           | Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы. |
| 85-89        | 4 – «хорошо»                  | B           | Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.   |
| 75-84        |                               | C           |   |
| 70-74        |                               | D           |   |
| 65-69        | 3 – «удовлетворительно»       | E           | Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.    |
| 60-64        |                               |             |   |

|         |                              |   |   |
|---------|------------------------------|---|---|
| Ниже 60 | 2 –<br>«неудовлетворительно» | F | Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. |
|---------|------------------------------|---|---|

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.2 Н63 Сборник задач по курсу "Физика твердого тела" : , И. Н. Николаев, А. И. Маймистов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2009
2. 539.2 К45 Введение в физику твердого тела : , Ч. Киттель , М.: МедиаСтар, 2006
3. ЭИ К12 Теоретическая физика твердого тела : , Ю. М. Каган, В. Н. Собакин, С. В. Ивлиев, М.: МИФИ, 2009

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Методические рекомендации по освоению теоретического материала.

Для успешного изучения курса необходимо придерживаться определенной методики занятий. Основное условие успеха — систематические занятия.

Для успешного освоения теоретической части курса необходимо регулярно посещать лекции и вести конспект. После каждой лекции следует внимательно разбирать лекционный материал, причём при необходимости следует проделывать некоторые дополнительные

выкладки, если такие были оставлены лектором для самостоятельной работы. Перед началом каждой лекции имеет смысл просмотреть конспект, чтобы усвоение нового материала проходило лучше, так как в большинстве случаев изложение опирается на материал, прочитанный на предыдущих занятиях.

Для полного освоения курса недостаточно изучать лишь лекционный материал. В ходе освоения курса следует читать книги, предложенные в списке литературы по курсу. Настоятельно рекомендуется также использовать литературу, обозначенную как «дополнительная», а также самостоятельно или с помощью преподавателя искать и другие источники. При работе с литературой почти бесполезно только читать предложенный материал. Следует проделывать все или хотя бы основные выкладки. Важно осознавать, что только самостоятельно проделанные выкладки приводят к пониманию материала. Все, что осталось непонятым, следует спросить у преподавателя на ближайшем занятии. Если даже целый раздел остался неясным, это не показатель ваших способностей; скорее всего вы еще не начали задавать вопросы себе и другим. А изучить теоретическую физику без вопросов: зачем?, почему?, откуда? — невозможно. То же касается и разбора лекционного материала.

Методические рекомендации для подготовки к семинарским занятиям и решению задач.

Программа курса и семестровый календарный план составлены так, что темы семинарских занятий следуют за темами лекций. И программа курса, и семестровый календарный план доступны каждому студенту на сайте учебного управления университета. Под-готовиться к очередному семинарскому занятию - это, прежде всего, проработать лекционный материал, согласно методическим рекомендациям, данным выше. Все невыясненные вопросы теории можно (и нужно) задать преподавателю в начале семинарского занятия. На семинаре, как правило, разбираются вопросы и качественные задачи, дающие возможность более глубоко постичь изучаемый раздел курса. Кроме того, на семинаре учат правильно ставить и решать задачи, анализировать решение задач. По пройденной на семинаре теме даются задачи для самостоятельного (домашнего) решения. Усвоение курса во многом зависит от осмысленного выполнения домашнего задания, вдумчивого решения большого количества задач.

При решении задач целесообразно руководствоваться следующими правилами.

Прежде всего нужно хорошо вникнуть в условие задачи, записать кратко ее условие.

Следует прикинуть, какие основные законы и уравнения и в каких приближениях следует использовать и записать их, после чего попытаться решить.

Задача должна быть сначала решена в максимально общем виде.

Получив решение в общем виде, нужно проверить, правильную ли оно имеет размерность.

Если это возможно, исследовать поведение решения в предельных случаях и изобразить характер изучаемой зависимости графически.

Если возможно, при получении того или иного результата, следует указать границы его применимости.

Решение задач принесет наибольшую пользу только в том случае, если вы решаете задачи самостоятельно. Решить задачу без помощи, без подсказки часто бывает нелегко и не всегда удается. Но даже не увенчавшиеся успехом попытки найти решение, если они предпринимались достаточно настойчиво, приносят ощутимую пользу, так как развивают мышление и укрепляют волю. Не следует бояться непривычно длинных математических

выкладок, т.к. подобные «длинные» задачи приближены к реальным задачам, с которыми вы можете столкнуться в будущем в научной или другой работе.

Не следует смущаться тем, что некоторые задачи не решаются «с ходу». Достоверно установлено, что процесс творчества в области точных наук (а решение задач есть вид творчества) протекает по следующей схеме. Сначала идет подготовительная стадия, в ходе которой ученый настойчиво ищет решение проблемы. Если решение найти не удается и проблема оставлена, наступает вторая стадия (стадия инкубации) — ученый не думает о проблеме и занимается другими вопросами. Однако в подсознании продолжается скрытая работа мысли, которая часто приводит в конечном итоге к третьей стадии - внезапному озарению и получению требуемого решения. Нужно иметь в виду, что стадия инкубации не возникает сама собой - для того чтобы пустить в ход машину бессознательного, необходима настойчивая интенсивная работа в ходе подготовительной стадии.

Решение задач, как мы уже отмечали, есть также вид творчества и подчиняется тем же закономерностям, что и работа ученого над научной проблемой. Правда, в некоторых случаях, вторая стадия - стадия инкубации - может быть выражена настолько слабо, что остается незамеченной.

Из сказанного вытекает, что решение задач ни в коем случае не следует откладывать на последний вечер перед занятиями, как, к сожалению, нередко поступают студенты. В этом случае более сложные и притом наиболее содержательные и полезные задачи заведомо не могут быть решены.

Над заданными «на дом» задачами надо начинать думать как можно раньше, создавая условия для реализации стадии инкубации.

В рекомендуемых сборниках задач, в разделе, который следует за ответами, содержатся указания к решению более трудных задач. Обращаться к ним нужно лишь после того, как несколько попыток решить задачу не приведут к успеху.

Методические рекомендации для подготовки к контрольным и проверочным работам.

Контрольные работы проводятся для проверки качества усвоения материала и выполнения домашних заданий студентами. Они основываются строго на пройденном материале и не выходят за рамки излагаемого курса. Своевременное изучение лекционных материалов и выполнение домашних заданий гарантирует успешное выполнение контрольных и проверочных работ. При подготовке следует руководствоваться общепринятыми установками, т.е. повторить изученный материал, запомнить основные идеи, принципы и результаты курса. Не следует пытаться «вызубрить» материал, достаточно понять и запомнить логику вывода тех или иных результатов и решения задач и осознать их физический и математический смысл. При выполнении контрольной или проверочной работы необходимо записывать все основные шаги при решении задачи, не «перескакивая» к какому-то промежуточному или окончательному результату без каких-либо на то физических или математических обоснований.

Никаких особых требований к оформлению работ нет. Работа должна быть записана так, чтобы была понятна логика решения задач. Окончательный ответ необходимо выделить каким-либо способом так, чтобы проверяющему было понятно, что это и есть ответ к задаче.

## 11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

### Проведение практических занятий и выполнение самостоятельных работ

Студенты должны, используя прослушанный на лекциях материал, научиться решать задачи по курсу. Следует использовать различные приемы вовлечения студентов в творческий процесс освоения учебного материала: опрос студентов по содержанию прочитанных лекций, вызов студентов к доске для решения текущих задач, самостоятельное решение задачи со сверкой промежуточных и конечного результатов решения, показ преподавателем на доске решения типовых задач, самостоятельные работы.

### Организация контроля

Контроль знаний осуществляется и путем проведения контрольных или самостоятельных работ с последующей проверкой.

На основании этих результатов выставляется внутрисеместровый зачет.

### Проведение зачетов и экзаменов

Для допуска к аттестации необходимо иметь положительные оценки по каждой теме. Во время аттестации студент получает индивидуальный билет и готовит ответы на вопросы по курсу.

Автор(ы):

Ивлиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.

Собакин Виктор Николаевич, к.ф.-м.н., доцент

Рецензент(ы):

Юрий Николаевич Девятко, к.ф.-м.н., доцент