

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики
В.В. Иванов**

| | |
|----------------------------|--|
| | Рабочая программа дисциплины (модуля) |
| по дисциплине: | Твердотельная волновая электроника |
| по направлению: | Прикладные математика и физика |
| профиль подготовки: | Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра электроники |
| курс: | 1 |
| квалификация: | магистр |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: С.Г. Алексеев, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры электроники 12.02.2024

Аннотация

Курс "Твердотельная волновая электроника" предусматривает формирование у студентов понимания физических принципов работы устройств волновой электроники.

Задачи курса:

- ознакомление студентов с физическими основами волновой электроники;
- развитие у студентов умения применять физические эффекты для практического использования;
- обзор основных направлений развития современной волновой электроники и помощь в выборе темы бакалаврской работы.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Введение
2. Волновое уравнение упругой среды
3. Объемные волны в упругой среде
4. Поверхностные волны в упругой среде
5. Упругие волны в слоистых средах
6. Поглощение акустических волн
7. Акустоэлектроника
8. Приборы акустоэлектроники
9. Акустооптика
10. Спин-волновая электроника

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- формирование у студентов понимания физических принципов работы устройств волновой электроники.

Задачи дисциплины

- ознакомление студентов с физическими основами волновой электроники;
- развитие у студентов умения применять физические эффекты для практического использования;
- обзор основных направлений развития современной волновой электроники и помощь в выборе темы бакалаврской работы.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|---|---|
| УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий | УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними |
| | УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации |
| | УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности |
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и | ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности |

решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты

ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- физические принципы работы устройств волновой электроники.

уметь:

- приближенно определять основные характеристики волновых процессов в твердом теле.

владеть:

- основами расчета и конструирования устройств волновой электроники.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

| № | Тема (раздел) дисциплины | Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час. | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|---|----------|-----------------|----------------|
| | | Лекции | Семинары | Лаборат. работы | Самост. работа |
| 1 | Введение | 2 | | | 4 |
| 2 | Волновое уравнение упругой среды | 2 | | | 4 |
| 3 | Объемные волны в упругой среде | 4 | | | 8 |
| 4 | Поверхностные волны в упругой среде | 4 | | | 8 |
| 5 | Упругие волны в слоистых средах | 4 | | | 8 |
| 6 | Поглощение акустических волн | 2 | | | 4 |
| 7 | Акустоэлектроника | 4 | | | 8 |
| 8 | Приборы акустоэлектроники | 4 | | | 8 |
| 9 | Акустооптика | 2 | | | 4 |
| 10 | Спин-волновая электроника | 2 | | | 4 |
| Итого часов | | 30 | | | 60 |
| Подготовка к экзамену | | 0 час. | | | |
| Общая трудоёмкость | | 90 час., 2 зач.ед. | | | |

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

1. Введение

Плоская волна. Фазовая и групповая скорости. Двумерный волновод. Дисперсия. Отражение от границы в одномерном случае. Импеданс. КСВ. Типы симметрии кристаллов. Связь симметрии кристалла и вида тензоров его материальных констант.

2. Волновое уравнение упругой среды

Определение тензоров механического напряжения и деформации. Тензор модулей упругости. Обозначения Фойгта. Решение волнового уравнения для бесконечной среды. Тензор Кристоффеля.

3. Объемные волны в упругой среде

Продольные и поперечные волны. Поверхность обратных скоростей. Фазовая и групповая скорости плоской волны в анизотропной упругой среде. Пьезоэлектрическая среда. Ужестчение упругих модулей. Тензор Кристоффеля для пьезоэлектрической среды.

4. Поверхностные волны в упругой среде

Поверхностные акустические волны (ПАВ). Вывод уравнений и основные свойства волн Рэлея, Гуляева-Блюстейна. Влияние анизотропии.

5. Упругие волны в слоистых средах

Отражение объемных и поверхностных волн от границ раздела и неоднородностей. Волны Лэмба. Волны Лява.

6. Поглощение акустических волн

Механизмы взаимодействия объемных акустических волн с электронами проводимости в полупроводниках. Приближение Ландау-Румера. Приближение Ахиезера. Электронное поглощение и усиление объемных и поверхностных волн.

7. Акустоэлектроника

Акустоэлектрический эффект. Влияние электронов в полупроводнике на скорость звука. Акустоэлектронное взаимодействие в магнитном поле. Акустомагнитоэлектрический эффект. Акустотермические эффекты.

8. Приборы акустоэлектроники

Акустоэлектронные устройства на объемных акустических волнах: линии задержки, резонаторы, фильтры. Акустоэлектронные устройства на поверхностных акустических волнах: многоотводные и дисперсионные линии задержки, резонаторы, фильтры, конвольверы и корреляторы.

9. Акустооптика

Акустооптическое взаимодействие в твердых телах, режимы Брэгга и Раман-Ната. Акустооптические устройства: deflectors, модуляторы, фильтры.

10. Спин-волновая электроника

Магнитные кристаллы. Энергия магнитоупорядоченного кристалла, объемное и релятивистские взаимодействия. Спиновые волны. Магнитоупругое взаимодействие. Поверхностные магнитостатические волны. Приборы спин-волновой электроники.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Литература выдается на кафедре:

1. Дьелесан Э., Руайе Д. Упругие волны в твердых телах. - М.: Наука, 1982
2. Красильников В. А., Крылов В. В. Введение в акустику. - М.: Наука, 1986
3. Акустоэлектронные устройства обработки и генерации сигналов. Принципы работы, расчета и проектирования / под ред. Ю.В. Гуляева. - М.: Радиотехника, 2012
4. Такер Дж., Рэмpton В. Гиперзвук в физике твердого тела. - М.: Мир, 1975

Дополнительная литература

Литература выдается на кафедре:

1. Поверхностные акустические волны / под ред. А. Олинера. - М.: Мир, 1981
2. Кайно Г. Акустоэлектроника. - М.: Мир, 1990

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

на лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

- 1) посещение всех лекций, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий; активное участие в обсуждении лекций;
- 2) важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультацией к преподавателю на лекции.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

| | |
|--|--|
| по направлению: | Прикладные математика и физика |
| профиль подготовки: | Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра электроники |
| курс: | <u>1</u> |
| квалификация: | магистр |
| Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет | |
| Разработчик: | С.Г. Алексеев, канд. физ.-мат. наук |

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|---|---|
| УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий | УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними |
| | УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации |
| | УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности |
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты | ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности |
| | ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели |
| | ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты |

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Твердотельная волновая электроника» обучающийся должен:

знать:

- физические принципы работы устройств волновой электроники.

уметь:

- приближенно определять основные характеристики волновых процессов в твердом теле.

владеть:

- основами расчета и конструирования устройств волновой электроники.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы для подготовки к дифференцированному зачету:

1. Тензор упругости кубической симметрии.
2. Скорость и поляризация акустических волн (АВ) в изотропной среде.
3. Условия существования волны Гуляева-Блюштейна.
4. Закон дисперсии волн Лява.
5. Частотная зависимость коэффициента поглощения АВ для механизма Ахиезера.
6. Условия электронного усиления АВ.
7. Принцип работы трансверсального фильтра.

8. Основные типы акустооптической дифракции.
9. Виды магнитостатических волн.
10. Магнитные кристаллы.
11. Энергия магнитоупорядоченного кристалла, объемное и релятивистские взаимодействия. Спиновые волны.
12. Магнитоупругое взаимодействие.
13. Поверхностные магнитостатические волны.
14. Приборы спин-волновой электроники.

Критерии оценивания

10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);
- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;

- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;
- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;
- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов.