

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики  
А.С. Батурин**

|                            |   |
|----------------------------|---|
|                            | <b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>  |
| <b>по дисциплине:</b>      | Современные проблемы электроники  |
| <b>по направлению:</b>     | Материаловедение и технологии материалов  |
| <b>профиль подготовки:</b> | Перспективные функциональные материалы<br>Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики<br>кафедра электроники |
| <b>курс:</b>               | 1   |
| <b>квалификация:</b>       | магистр   |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: А.С. Соболев, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры электроники 26.12.2023

## **Аннотация**

Курс "Современные проблемы электроники" предусматривает изучение современных направлений в исследовании твердотельных структур и создании на их основе принципиально новой электронной компонентной базы.

Задачи дисциплины:

- Знакомство с современными физическими объектами, актуальными для фундаментальных и прикладных исследований.
- Изучение физических моделей, описывающих эффекты в этих объектах.
- Изучение практических проблем, на решение которых могут быть направлены прикладные научные разработки в области физики твердого тела.

По результатам освоения студент должен:

**Знать:**

Основные актуальные научные направления в области создания твердотельных структур для новой элементной базы микро- и нанoeлектроники, а также ориентироваться в актуальных направлениях научных исследований и перспективных эффектах в различных твердотельных структурах.

**Уметь:**

Работать с научной литературой по физике твердого тела и понимать содержание оригинальных научных статей в периодических изданиях.

Применять знания, полученные в курсах «Теоретической физика. Основы квантовой механики», «Физика твердого тела» и «Электронные свойства твердых тел» для понимания эффектов и их физических моделей в современных твердотельных структурах.

Излагать свои мысли и доводы, пользуясь грамотным техническим языком и научной терминологией.

**Владеть:**

Профессиональной терминологией, теоретическими моделями, описывающими основные эффекты в твердотельных структурах.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Детекторы субмиллиметрового и терагерцового диапазонов.
2. Способы генерации субмиллиметрового и терагерцового диапазонов.
3. Плазмоны и наноплазмоника.
4. Низкоразмерные электронные структуры. РТД.
5. Низкоразмерные электронные структуры. Полевые транзисторы с двумерным электронным газом.
6. Графен и его свойства.
7. Основные методы просвечивающей микроскопии электронной микроскопии сверхвысокого разрешения.
8. Краевые состояния в графене. Топологические изоляторы.
9. Однофотонные детекторы.
10. Датчики магнитного поля на основе ВТСП-сквидов нового поколения.
11. Переключатели на основе нанодиодов Шоттки.
12. Сверхпроводниковые метаматериалы.
13. NV-центры в алмазе.

## **1. Цели и задачи**

### **Цель дисциплины**

- изучение современных направлений в исследовании твердотельных структур и создании на их основе принципиально новой электронной компонентной базы.

### **Задачи дисциплины**

- знакомство с современными физическими объектами, актуальными для фундаментальных и прикладных исследований;
- изучение физических моделей, описывающих эффекты в этих объектах;

- изучение практических проблем, на решение которых могут быть направлены прикладные научные разработки в области физики твердого тела.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции  | Индикаторы достижения компетенции  |
|---|--|
| 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   |
|   | 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:

- основные актуальные научные направления в области создания твердотельных структур для новой элементной базы микро- и нанoeлектроники, а также ориентироваться в актуальных направлениях научных исследований и перспективных эффектах в различных твердотельных структурах.

уметь:

- работать с научной литературой по физике твердого тела и понимать содержание оригинальных научных статей в периодических изданиях;
- применять знания, полученные в курсах «Теоретической физика. Основы квантовой механики», «Физика твердого тела» и «Электронные свойства твердых тел» для понимания эффектов и их физических моделей в современных твердотельных структурах;
- излагать свои мысли и доводы, пользуясь грамотным техническим языком и научной терминологией.

владеть:

- профессиональной терминологией, теоретическими моделями, описывающими основные эффекты в твердотельных структурах.

## 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 | Детекторы субмиллиметрового и терагерцового диапазонов.         | 4   |          |                 | 5              |
| 2 | Способы генерации субмиллиметрового и терагерцового диапазонов. | 4   |          |                 | 5              |
| 3 | Плазмоны и наноплазмоника.                                      | 4   |          |                 | 5              |
| 4 | Низкоразмерные электронные структуры. РТД.                      | 4   |          |                 | 5              |

|                       |  |                     |  |  |    |
|-----------------------|--|---------------------|--|--|----|
| 5                     | Низкоразмерные электронные структуры. Полевые транзисторы с двумерным электронным газом.     | 4                   |  |  | 5  |
| 6                     | Графен и его свойства.   | 6                   |  |  | 5  |
| 7                     | Основные методы просвечивающей микроскопии электронной микроскопии сверхвысокого разрешения. | 6                   |  |  | 1  |
| 8                     | Краевые состояния в графене. Топологические изоляторы.                                       | 6                   |  |  | 5  |
| 9                     | Однофотонные детекторы.  | 6                   |  |  | 2  |
| 10                    | Датчики магнитного поля на основе ВТСП-сквидов нового поколения.                             | 4                   |  |  | 1  |
| 11                    | Переключатели на основе нанодиодов Шоттки.   | 4                   |  |  | 1  |
| 12                    | Сверхпроводниковые метаматериалы.  | 4                   |  |  | 2  |
| 13                    | NV-центры в алмазе.  | 4                   |  |  | 3  |
| Итого часов           |  | 60                  |  |  | 45 |
| Подготовка к экзамену |  | 30 час.             |  |  |    |
| Общая трудоёмкость    |  | 135 час., 3 зач.ед. |  |  |    |

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

Семестр: 2 (Весенний)

##### 1. Детекторы субмиллиметрового и терагерцового диапазонов.

1.1. Терагерцовый диапазон и область его применения.

1.2. Параметры оценки эффективности детекторов мощности и супергетеродинных смесителей.

1.3. Боллометры и диоды.

1.4. Методы интеграции детекторов в квазиоптический тракт.

##### 2. Способы генерации субмиллиметрового и терагерцового диапазонов.

2.1. Линии СВЧ-передач с нормальной и аномальной дисперсией.

2.2. Лампы обратной и бегущей волны.

2.3. Гармонические умножители.

2.4. Квантовые каскадные лазеры.

2.5. Генераторы на вязком потоке джозефсоновских вихрей.

2.6. Импульсные генераторы с использованием фемтосекундных лазеров и непрерывная генерация при помощи смешивания оптических мод.

##### 3. Плазмоны и наноплазмоника.

3.1. Модель Друде. Трёхмерные плазмоны.

3.2. Поверхностные плазмоны-поляритоны и их дисперсия.

3.3. Способы возбуждения поверхностных плазмонов-поляритонов.

3.4. Сенсоры на поверхностных плазмонах. Плазмонные наноплазмонные антенны.

3.5. Взаимодействие оптических наноплазмонных антенн с квантовыми точками.

##### 4. Низкоразмерные электронные структуры. РТД.

4.1. Способы создания низкоразмерных электронных систем.

4.2. Размерное квантование. Двухбарьерные (резонансно-туннельные) диоды. Их характеристики во внешнем магнитном поле.

4.3. Поляроны.

5. Низкоразмерные электронные структуры. Полевые транзисторы с двумерным электронным газом.

5.1. Механизмы рассеяния электронов. Способы увеличения подвижности в квантовых ямах.

5.2. Плазмоны в двумерном газе.

5.3. Нелинейные плазменные эффекты. Ректификация.

5.4. Терагерцовые смесители на транзисторах с эффектом ректификации.

6. Графен и его свойства.

6.1. История открытия. Свойства.

6.2. Электронный спектр в графене. Исследование поверхностных состояний методами ARPES.

6.3. Двумерные структуры на основе графена.

7. Основные методы просвечивающей микроскопии электронной микроскопии сверхвысокого разрешения.

7.1. Методы коррекции сферических aberrаций.

7.2. Голография. Методы измерения магнитного момента и электростатического потенциала.

8. Краевые состояния в графене. Топологические изоляторы.

8.1. Таммовские краевые состояния.

8.2. Проводимость перфорированного графена.

8.3. Топологические изоляторы с каналами проводимости, невырожденными по спину.

9. Однофотонные детекторы.

9.1. Основы квантовой информации.

9.2. Цели оптимизации однофотонных детекторов.

9.3. Сравнительный анализ сверх- и полупроводниковых детекторов.

10. Датчики магнитного поля на основе ВТСП-СКВИДов нового поколения.

10.1. Эффект Джозефсона и квантовая интерференция.

10.2. СВКИД-магнетометры на основе перовскитных Джозефсоновских переходов.

10.3. Практические применения СКВИД-магнетометров.

11. Переключатели на основе нанодиодов Шоттки.

11.1. Диоды Шоттки.

11.2. Особенности продвижения в наноразмерную область.

12. Сверхпроводниковые метаматериалы.

12.1. 1D и 2D метаматериалы и способы их реализации.

12.2. Способ создания метаматериалов с управляемыми свойствами с использованием Джозефсоновских переходов.

13. NV-центры в алмазе.

13.1. Энергетический спектр NV-центров.

13.2. Способы управления кубитами на NV-центрах.

## **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, Электроника: в 4 ч. Ч. 4, Функциональная электроника / А. А. Щука ; под ред. А. С. Сигова - М. Юрайт, 2016

Дополнительная литература

Литература выдается на кафедре:

1. Нанoeлектроника: учеб. пособие для вузов / А. А. Щука .— М. : Физматкнига, 2007 .— 464 с.

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

1. <http://www.elsevier.com>
2. <http://www.elibrary.ru>
3. <http://www.books.google.ru>

## **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)**

Студент, прослушавший курс лекций, должен овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике.

Успешное освоение курса требует:

- 1) посещения 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.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

|   |   |
|---|---|
| <b>по направлению:</b>  | Материаловедение и технологии материалов  |
| <b>профиль подготовки:</b>                                      | Перспективные функциональные материалы<br>Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики<br>кафедра электроники |
| <b>курс:</b>  | 1   |
| <b>квалификация:</b>  | магистр   |
| Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен |   |
| <b>Разработчик:</b>   | А.С. Соболев, канд. физ.-мат. наук  |

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции  | Индикаторы достижения компетенции  |
|---|--|
| 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   |
|   | 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 «Современные проблемы электроники» обучающийся должен:

### знать:

- основные актуальные научные направления в области создания твердотельных структур для новой элементной базы микро- и нанoeлектроники, а также ориентироваться в актуальных направлениях научных исследований и перспективных эффектах в различных твердотельных структурах.

### уметь:

- работать с научной литературой по физике твердого тела и понимать содержание оригинальных научных статей в периодических изданиях;
- применять знания, полученные в курсах «Теоретической физика. Основы квантовой механики», «Физика твердого тела» и «Электронные свойства твердых тел» для понимания эффектов и их физических моделей в современных твердотельных структурах;
- излагать свои мысли и доводы, пользуясь грамотным техническим языком и научной терминологией.

### владеть:

- профессиональной терминологией, теоретическими моделями, описывающими основные эффекты в твердотельных структурах.

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

В целях проведения текущего контроля успеваемости проводится краткий опрос по теме предыдущего занятия

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

Вопросы к экзамену.

1. Детекторы субмиллиметрового и терагерцового диапазонов
2. Способы генерации субмиллиметрового и терагерцового диапазонов
3. Плазмоны и наноплазмоника
4. Низкоразмерные электронные структуры. РТД,
5. Низкоразмерные электронные структуры. Полевые транзисторы с двумерным электронным газом.
6. Графен и его свойства.
7. Основные методы просвечивающей микроскопии электронной микроскопии сверхвысокого разрешения
8. Краевые состояния в графене. Топологические изоляторы
9. Однофотонные детекторы



10. Датчики магнитного поля на основе ВТСП-сквидов нового поколения
11. Переключатели на основе нанодиодов Шоттки
12. Сверхпроводниковые метаматериалы.
13. NV-центры в алмазе

Примеры билетов.

Пример 1.

1. Переключатели на основе нанодиодов Шоттки
2. Сверхпроводниковые метаматериалы.
3. NV-центры в алмазе

Пример 2.

1. Низкоразмерные электронные структуры. РТД,
2. Низкоразмерные электронные структуры. Полевые транзисторы с двумерным электронным газом.
3. Графен и его свойства.

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 экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать одного часа.