

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

  
УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета радиотехники и электроники  
В.А. Небольсин  
И.О. *Валыгина*  
30 августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
ДИСЦИПЛИНЫ**

«Методы получения термоэлектрических материалов»

Направление подготовки 03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

Направленность 01.04.07- Физика конденсированного состояния

Квалификация выпускника Исследователь. Преподаватель-исследователь

Нормативный период обучения 4 года

Формы обучения очная

Год начала подготовки 2020

Автор программы  /Стогней О.В./

Заведующий кафедрой  
Физики твердого тела  /Калинин Ю.Ф./

Руководитель ОПОП  /Калинин Ю.Е./

Воронеж 2021

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1 Цели дисциплины

Формирование у обучающихся знаний физики термоэлектрических явлений, термоэлектрических материалов, используемых в термоэлектрических устройствах, и их свойств.

### 1.2 Задачи освоения дисциплины

Изучить основные термоэлектрические эффекты, термоэлектрические материалы и методы их получения.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Методы получения термоэлектрических материалов» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б.1 учебного плана.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Методы получения термоэлектрических материалов» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-7 - способностью демонстрировать и использовать углубленные теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, в том числе и тех, которые находятся на передовом рубеже физики конденсированного состояния

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-7	Знать фундаментальные законы термоэлектрических явлений, основные типы термоэлектрических материалов и методы их получения.
	Уметь прогнозировать свойства термоэлектрических материалов исходя из элементного состава; объяснять основные наблюдаемые эффекты в термоэлектрических материалах с позиции фундаментальных физических взаимодействий.
	Владеть терминологией, способностью подбирать метод получения термоэлектриков исходя из требуемых характеристик материалов.

## 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Методы получения термоэлектрических материалов» составляет 3 зачетные единицы.

#### Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
					5
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	10				10
В том числе:					
Лекции	10				10
Практические занятия (ПЗ)					
<b>Самостоятельная работа</b>	98				98
Реферат (есть, нет)					
Вид промежуточной аттестации (зачет, зачет с оценкой, экзамен)	зачет				зачет
Общая трудоемкость час	108				108
зач. ед.	3				3

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение	История открытия термоэлектрических эффектов. Значение и задачи курса.	2			19	21
2	Основные термоэлектрические эффекты и связь между ними	Три этапа развития науки о термоэлектричестве. Основные термоэлектрические эффекты. Теория термоэлектрических преобразователей Е. Альтенкирха. Идеи А.Ф. Иоффе. Взаимосвязь термоэлектрических эффектов.	2			19	21
3	Термоэлектрические материалы	Условия максимальной эффективности термоэлектрических материалов. Основные требования к термоэлектрическим материалам. Теллурид висмута $Bi_2Te_3$ . Твердые растворы на основе теллурида висмута. Оксидные термоэлектрики.	2			20	22
4	Низкоразмерные термоэлектрические структуры	Низкоразмерные термоэлектрические структуры: тонкие пленки, сверхрешетки, нитевидные кристаллы, наноразмерные	2			20	22

	ические структуры	структуры, квантовые ямы, квантовые проволоки, квантовые точки. Структуры типа «фононное стекло – электронный кристалл». Скуттерудиты. Клатраты.					
5	Применение термоэлектрических материалов	Применения термоэлектрических холодильных машин. Применения термоэлектрических генераторов. Перспективы развития термоэлектрического преобразования энергии.	2			20	22
<b>Контроль</b>			<b>зачет</b>				
<b>Итого</b>			<b>10</b>			<b>98</b>	<b>108</b>

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА РЕФЕРАТОВ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение реферата.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-7	Знать фундаментальные законы термоэлектрических явлений, основные типы термоэлектрических материалов и методы их получения.	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь прогнозировать свойства термоэлектрических материалов исходя из элементного состава; объяснять основные наблюдаемые эффекты в термоэлектрических	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	материалах с позиции фундаментальных физических взаимодействий.			
	Владеть терминологией, способностью подбирать метод получения термоэлектриков исходя из требуемых характеристик материалов.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5 семестре по системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ПК-7	Знать фундаментальные законы термоэлектрических явлений, основные типы термоэлектрических материалов и методы их получения.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь прогнозировать свойства термоэлектрических материалов исходя из элементного состава; объяснять основные наблюдаемые эффекты в термоэлектрических материалах с	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

позиции фундаментальных физических взаимодействий.						
Владеть терминологией, способностью подбирать метод получения термоэлектриков исходя из требуемых характеристик материалов.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены	

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств ( типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Какой из эффектов не относится к термоэлектрическим эффектам?

- эффект Пельтье
- эффект Зеебека
- эффект Видемана-Франца
- эффект Томсона

2. При каких условиях возникает эффект Зеебека?

- сильное электрическое поле
- сильное магнитное поле
- градиент температуры
- контакт двух материалов

3. Что можно определить по знаку термоэдс?

- знак носителей заряда
- концентрацию носителей заряда
- подвижность носителей заряда
- величину термоэдс

4. Физические процессы, обусловленные термоэлектрическими эффектами, являются

- необратимыми
- обратимыми
- метастабильными
- случайными

5. Эффект Пельтье возникает

- в контакте двух материалов
- в однородном материале
- в композитных материалах
- в полярных диэлектриках

6. Тепло Пельтье зависит от силы тока

- линейно
- квадратично
- не зависит от величины тока
- экспоненциально

7. В каких случаях наблюдается эффект Томсона?

- в неоднородных проводниках
- при наличии тока и градиента температуры
- всегда при протекании тока
- при наличии собственных колебаний образца

8. Выражение для теплоты Томсона имеет вид:

- $Q_T = \tau \Delta T I t$
- $Q_T = I^2 R t$
- $Q_T = P I t$
- $dQ_T = dU + dA$

9. Коэффициент Пельтье связан с коэффициентом Зеебека следующим соотношением:

- $P = T \alpha^2$
- $P = T^2 \alpha$
- $P = T \alpha$
- $P = T^2 \alpha^2$

10. Коэффициент Томсона  $\tau$  связан с коэффициентом термоэдс  $\alpha$  соотношением:

- $\tau = T (d\alpha/dT)$
- $\tau = T \alpha$
- $\tau = T \alpha^2$
- $\tau = T^2 \alpha$

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Физические явления, приводящие к возникновению термоэдс

- разность энергий носителей заряда
- взаимная диффузия горячих и холодных носителей
- взаимодействие носителей заряда
- ток от внешнего источника

2. Теплопроводность и теплота Джоуля являются процессами

- обратимыми
- метастабильными
- необратимыми
- неустойчивыми

3. Как зависит тепло Пельтье от направления тока?

- в разных материалах по-разному
- изменяет знак
- не зависит от направления тока
- в сильном электрическом поле

4. Зависит ли тепло Джоуля от направления тока?

- *зависит*
  - *не зависит*
  - *в разных материалах по-разному*
  - *в сильном электрическом поле*
5. Размерность коэффициента Пельтье
- *Кл/м*
  - *Кл/м<sup>2</sup>*
  - *Вольт*
  - *Дж / м*
6. Зависит ли тепло Джоуля от сопротивления проводника?
- *в зависимости от материала*
  - *не зависит*
  - *зависит*
  - *при низких температурах*
7. Тепло Джоуля изменяется в зависимости от силы тока
- *линейно*
  - *квадратично*
  - *не зависит от величины тока*
  - *экспоненциально*
8. Существует ли взаимосвязь между термоэлектрическими эффектами?
- *не существует*
  - *существует*
  - *в полярных кристаллах*
  - *в изотермических условиях*
9. Величина коэффициента Пельтье для большинства пар металлов
- *10 – 100 В*
  - *1,0 – 10 мкВ*
  - *10<sup>-2</sup> – 10<sup>-3</sup> В*
  - *1,0 - 10 В*
10. Величина термоэдс  $\alpha$  у металлов имеет порядок величины
- *10 – 100 В/град*
  - *1,0 – 10 В/град*
  - *10<sup>-2</sup> – 10<sup>-3</sup> В/град*
  - *1,0 - 10 мкВ/град*

### **7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

1. От какого из параметров не зависит эффективность термоэлектрического материала  $Z$  по Альтенкирху?
- *термоэдс  $\alpha$*
  - *электропроводность  $\sigma$*
  - *теплопроводность  $k$*
  - *коэффициент Пельтье  $\Pi$*
2. В каких материалах величина  $Z$  имеет большее значение?
- *металл*
  - *диэлектрик*

- полупроводник
  - не зависит от типа материала
3. Каким параметром НЕ характеризуется работа термоэлектрических устройств?
- холодильный коэффициент
  - КПД генераторной термобатареи
  - теплота Джоуля
  - отопительный коэффициент
4. Что необходимо для увеличения параметра  $Z$ ?
- увеличивать проводимость и уменьшать теплопроводность
  - увеличивать проводимость и теплопроводность
  - уменьшать проводимость и теплопроводность
  - уменьшать проводимость и увеличивать теплопроводность
5. Для получения высокой добротности  $Z$  термоэлектрических материалов предпочтительны материалы
- с тяжелыми атомами
  - с легкими атомами
  - с чередованием легких и тяжелых атомов
  - атомный вес не влияет на величину  $Z$
6. Для повышения добротности термоэлектрических материалов требуются материалы
- с сильными межатомными связями
  - со слабыми межатомными связями
  - характер связей не влияет на  $Z$
  - смешанный тип межатомных связей
7. Выражение для коэффициента Альтенкирха  $Z$  имеет вид
- $Z = \alpha^2 \sigma / k$
  - $Z = \alpha \sigma^2 / k$
  - $Z = \alpha^2 / k \sigma$
  - $Z = \alpha^2 k / \sigma$
8. Какой вид связи реализуется в квинтетах теллурида висмута  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ?
- ковалентный и ионный
  - ионный
  - ионный и металлический
  - металлический
9. Как изменяется фактор мощности при увеличении концентрации носителей?
- увеличивается
  - уменьшается
  - остается неизменным
  - проходит через максимум
10. Как изменяется термоэдс при увеличении концентрации носителей?
- увеличивается
  - уменьшается
  - остается неизменной

*- зависимость имеет не монотонный характер*

#### **7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету**

1. Три этапа развития науки о термоэлектричестве.
2. Основные термоэлектрические эффекты: Зеебека, Пельтье и Томсона.
3. Взаимосвязь термоэлектрических эффектов.
4. Три типа термоэлектрических устройств: генераторы, холодильники и нагреватели.
5. Термоэлектрический нагрев. Термоэлектрические генераторы и их применение.
6. Термоэлектрические материалы. Основные требования, определяющие высокую термоэлектрическую эффективность материалов.
7. Твердые растворы на основе теллурида висмута.
8. Оксидные термоэлектрики.
9. Низкоразмерные термоэлектрические структуры: сверхрешетки, квантовые ямы, квантовые проволоки, квантовые точки. Достоинства и недостатки.
10. Супрамолекулярные структуры: наполненные скуттерудиты и полупроводниковые клатраты. Достоинства и недостатки.
11. Способы повышения термоэлектрической эффективности материалов. Каскадирование. Метод твердых растворов.
12. Способы повышения термоэлектрической эффективности материалов. Выбор легирующей примеси. Рассеяние фононов на границах зерен.
13. Способы повышения термоэлектрической эффективности материалов. Многослойные пленочные гетероструктуры. Действие гидростатического сжатия. Повышение микрооднородности.
14. Способы повышения термоэлектрической эффективности материалов. Сверхрешетки и системы с квантовыми ямами.
15. Способы повышения термоэлектрической эффективности материалов. Квантовые проволоки. Наноккомпозиты.
16. Применение термоэлектрических материалов.

#### **7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену**

Не предусмотрено учебным планом

#### **7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 20 вопросов. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если аспирант набрал менее 7 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если аспирант набрал от 7 баллов до 13.

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если аспирант набрал от 14 баллов до 16.

4. Оценка «Отлично» ставится в случае, если аспирант набрал от 17 до 20 баллов.

### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1.	Введение. Основные термоэлектрические эффекты и связь между ними	ПК-7	Тест, зачёт
2.	Термоэлектрические материалы	ПК-7	Тест, зачёт
3.	Низкоразмерные термоэлектрические структуры	ПК-7	Тест, зачёт
4.	Применение термоэлектрических материалов	ПК-7	Тест, зачёт

### **7.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется

проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

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

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Гриднев С.А. Термоэлектрические материалы: учебное пособие. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014. – 130 с.
2. Гриднев С.А., Расчет термоэлектрических устройств: учебное пособие. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014. – 114 с.
3. Булат Л.П., Ведерников М.В., Вялов А.П. Термоэлектрическое охлаждение: текст лекций. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2002. – 147 с.
4. Марченко О.В., Кашин А.П., Лозбин В.И., Максимов М.З. Методы расчета термоэлектрических генераторов. – Новосибирск: Наука, 1995. – 222 с.

### **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

Программные продукты: Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer

Электронная библиотечная система IPRbooks

<http://www.iprbookshop.ru/>

Информационные справочные системы

dict.sernam.ru, Wikipedia, Math-Net.Ru

<http://eios.vorstu.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой (ауд. 226, учебный корпус, расположенный по адресу: Московский пр., 14).

2. Дисплейный класс, оснащенный компьютерами с необходимым программным обеспечением и выходом во внешнюю сеть Internet (ауд. 226а, учебный корпус, расположенный по адресу: Московский пр., 14).

3. Помещения для самостоятельной работы:

- библиотечный зал (учебный корпус, расположенный по адресу: Московский пр., 14, 1 этаж);

- читальный зал (учебный корпус, расположенный по адресу: Московский пр., 14, ауд. 203).

## 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

По дисциплине «Методы получения термоэлектрических материалов» читаются лекции.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Контроль усвоения материала дисциплины производится путем зачета.

Вид учебных занятий	Деятельность обучающегося
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"><li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li><li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li><li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li><li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li><li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li></ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачётом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.