

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.  
Н.И. Лобачевского»**

**Физический факультет**

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО

Решением ученого совета ННГУ

протокол от

«30» ноября 2022 г. №13

**Рабочая программа дисциплины**

**Спецпрактикум по функциональным  
материалам**

(наименование дисциплины (модуля))

**Уровень высшего образования**

**Магистратура**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

**Направление подготовки**

**03.04.02 - Физика**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

**Направленность образовательной программы**

**Физика конденсированного состояния**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

**Квалификация (степень)**

**Магистр**

(бакалавр / магистр / специалист)

**Форма обучения**

**Очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород - 2023

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Спецпрактикум по функциональным материалам» (ФТД.13) относится к факультативной части ООП по направлению подготовки 03.04.02 «Физика» и осваивается в 2 и 3 семестрах.

Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Характеристика дисциплины
ФТД. Факультативные дисциплины	Дисциплина ФТД.13 относится к факультативной части ООП направления подготовки 03.04.02 Физика

Целью освоения дисциплины «Спецпрактикум по функциональным материалам» является формирование у студентов знаний в области базовых физических принципов проявления свойств материалов, а также формирование у них навыков применения технологических методов управления этими свойствами.

- дать студентам расширенное представление о законах и методах современной физики твёрдого тела, научить использовать эти знания для решения задач, возникающих перед специалистами-материаловедами;
- научить описывать сложные явления, протекающие в твердотельных материалах на языке физического материаловедения;
- научить составлять рекомендации (предписания), позволяющие подбирать методы и режимы модификации свойств материалов;
- научить студентов использовать теоретические знания в области физики конденсированного состояния для решения практических задач (экспериментальных исследований), связанных с изучением физических явлений в твердотельных материалах.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-3. Способен свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности	ПК-3.1 Знание основных законов физики	З1: Фундаментальные основы новых методом исследований функциональных материалов.	Собеседование Отчет по лабораторной работе
	ПК-3.2 Умение решать научно-инновационные задачи в своей инновационной и проектной деятельности	У1: Уметь использовать специализированные знания в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и смежных дисциплин для обоснования выбора оптимального способа решения поставленных задач.	Собеседование
	ПК-3.3 Навыки применения результатов научных	В1: Владеть опытом использования современных методик	Отчет по лабораторной работе

	исследований в инновационной и проектной деятельности	исследований функциональных материалов	
--	---	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы, всего 144 часа, из которых 130 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (128 часов лабораторные работы, 2 часа контроль самостоятельной работы), 14 часов самостоятельная работа обучающегося.

Очная форма обучения	
Общая трудоемкость	4 з.е.
Часов по учебному плану в том числе	144
аудиторные занятия (контактная работа):	130
- занятия лекционного типа, ч	-
- практические занятия, ч	128
самостоятельная работа, ч	14
КСРИФ	2
Промежуточная аттестация	Зачет

#### Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе					
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
Исследование термоэлектрических явлений в полупроводниках.	71	-		64		64	7
Применение пьезоэлектрического эффекта. Кварцевый резонатор.	71	-		64		64	7
В том числе текущий контроль – 2 часа							
Промежуточная аттестация:							
Зачет – по итогам обучения							

В преподавании дисциплины активно используются интерактивные технологии групповой работы, когда студенты обсуждают с преподавателем предложенную им задачу (научно-практическую проблему) как индивидуально («преподаватель – студент»), так и в ходе группового обсуждения с преподавателем возможных вариантов предложенных студентами решений («преподаватель – группа студентов»). В ходе обсуждения преподаватель может высказывать конструктивные критические замечания к предлагаемым решениям, просить студентов уделить особое внимание какому-нибудь аспекту рассматриваемого явления (обосновать сделанные выводы), а также предложить провести групповое обсуждение рассматриваемой проблемы и прийти к единому мнению.

Самостоятельная работа студентов связана с применением компьютерных и информационно-коммуникационных технологий, а также современного исследовательского аналитического и технологического оборудования.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа студентов включает активное изучение лекционного материала по дисциплине «Функциональные материалы», основной и вспомогательной учебной литературы, а также соответствующих разделов учебных и учебно-методических пособий, перечень которых приведен в п.6 настоящей рабочей программы дисциплины.

Основной целью самостоятельной работы является подготовка к выполнению лабораторных работ (практических занятий), анализ результатов, полученных в ходе выполнения лабораторных работ, а также решение задач, заданных преподавателем для самостоятельного разбора.

В случае отклонения студента от графика учебного процесса по какой-либо причине, в рамках самостоятельной работы может выделяться время на выполнение той части лабораторной работы, по которой имеет место отставание обучающегося от графика.

Для проведения самостоятельной работы обучающимся предоставляются свободные аудитории, доступ к компьютерной технике и, в случае необходимости, доступ к исследовательскому оборудованию, перечень которого приведен в п.8 настоящей рабочей программы дисциплины.

#### **5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине**

##### **5.1 Описание шкал оценивания**

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)	
	«не зачтено»	«зачтено»
Знания	Студент не овладел необходимыми знаниями по данной компетенции	Студент овладел необходимыми знаниями по данной компетенции
Умения	Студент не овладел необходимыми умениями по данной компетенции	Студент овладел необходимыми умениями по данной компетенции
Навыки	Студент не овладел необходимыми навыками по данной компетенции	Студент не овладел необходимыми навыками по данной компетенции
Мотивация (личностное отношение)	Студент не продемонстрировал заинтересованности в освоении разделов дисциплины, формирующих данную компетенцию	Студент продемонстрировал заинтересованности в освоении разделов дисциплины, формирующих данную компетенцию
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	менее 50%	более 50%, в.т. включительно 50%

При проверке отчета по лабораторной работе преподавателем оценивается:

- степень понимания целей работы, в том числе – умение соотносить цели и задачи работы (проекта) с более общими целями и задачами своей научно-исследовательской работы;
- степень достижения поставленных целей (соответствие объема выполненной работы минимальным требованиям, установленным в учебном или учебно-методическом пособии);
- качество и достоверность полученных экспериментальных результатов;

- степень владения исследовательским оборудованием, а также специализированным программным обеспечением;
- обоснованность полученных выводов (качество анализа полученных экспериментальных результатов, включая сопоставление полученных результатов с литературными данными, а также данными, полученными другими исследователями);
- умение объяснить полученные результаты с использованием базовых и дополнительных источников, а также знаний, полученных при изучении профильных дисциплин;
- умение представить полученные результаты (оформить отчет в соответствии с требованиями, изложенными в учебном или учебно-методическом пособии).

Зачет-незачет по результатам сдачи отчетов по проделанным лабораторным работам выставляется на основании следующих критериев:

Оценка	Критерий выставления
Зачет	Отчет о проделанной лабораторной работе содержит ряд некритических отклонений от формы, описанной в учебном (учебно-методическом) пособии к лабораторной работе. При ответах на дополнительные вопросы (при сдаче отчета по лабораторной работе) студент демонстрирует знание основного материала с рядом негрубых ошибок или погрешностей, наличие минимально необходимого множества навыков, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение обозначить проблемные ситуации, владение источниками, а также отвечает на большинство поставленных вопросов. В тексте отчета неправомерные заимствования отсутствуют.
Незачет	Отчет о проделанной лабораторной работе не представлен или форма представленного отчета существенно отличается от формы, описанной в учебном (учебно-методическом) пособии к лабораторной работе. При ответах на дополнительные вопросы (при сдаче отчета по лабораторной работе) студент демонстрирует полное непонимание смысла проблем, присутствуют грубые ошибки в основном материале, студент не демонстрирует достаточно полное владение терминологией, а также отсутствуют один или несколько навыков, предусмотренных данной компетенцией. В тексте отчета встречаются элементы неправомерного заимствования, в том числе – текста лабораторных работ других студентов.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний и умений используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование (текущий контроль, промежуточная аттестация);
- письменные ответы на вопросы (промежуточная аттестация).

Для оценивания результатов обучения в виде владений (оценка навыков) используются следующие процедуры и технологии:

- отчет по лабораторной работе (текущий контроль, промежуточная аттестация).

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1 Типовые контрольные вопросы

1. Опишите последовательность выполнения лабораторной работы с использованием выбранной методики и изучаемого материала.
2. Обоснуйте корректность выбора методики для решения поставленных перед Вами профессиональных задач.
3. Опишите границы применимости используемой методики (с точки зрения решаемой задачи).

4. Опишите, как Вы будете определять корректность полученных экспериментальных данных.
5. Опишите, как Вы будете использовать результаты полученные другими авторами и с данными из литературных источников для проверки корректности полученных Вами экспериментальных данных.
6. Опишите тепловые свойства материалов и основное уравнение для теплового потока. Обоснуйте понятия «теплопроводность», «коэффициент теплопроводности».
7. Опишите физический принцип генерации термоэдс в материалах при создании в них линейного градиента температур.
8. Объясните действие эффекта Пелтье – изменения температуры при пропускании через полупроводник электрического тока.
9. В чем состоит специфика структуры изучаемых Вами материалов в зависимости от специфики используемых Вами методом (технологий) получения материала (эпитаксия, напыление, электроимпульсное плазменное спекание)?
10. Опишите принципы применения термоэлектрических явлений. Рассмотрите основные принципы построения термоэлектрических генераторов.
11. Опишите основные характеристики, описывающие электрическую мощность и КПД термоэлектрического генератора. Проанализируйте взаимосвязь между коэффициентами, входящими в формулу для КПД.
12. Опишите основные подходы, использующиеся для измерения величины коэффициента Зеебека;
13. Опишите основные подходы, использующиеся для измерения электропроводности полупроводников;
14. Опишите основные подходы, использующиеся для измерения коэффициента теплопроводности объёмных термоэлектрических материалов;
15. Опишите основные подходы, использующиеся для измерения коэффициента теплопроводности плёночных термоэлектрических материалов;

#### 5.2.2 Требования к отчету по лабораторной работе

При проверке отчета по лабораторной работе преподавателем оценивается:

- степень понимания целей работы;
- степень достижения поставленных целей (соответствие объема выполненной работы минимальным требованиям, установленным в учебном или учебно-методическом пособии);
- качество и достоверность полученных экспериментальных результатов;
- обоснованность полученных выводов (качество анализа полученных экспериментальных результатов);
- умение объяснить полученные результаты с использованием базовых и дополнительных источников, а также знаний, полученных при изучении профильных дисциплин;
- умение представить полученные результаты (оформить отчет в соответствии с требованиями, изложенными в учебном или учебно-методическом пособии).

#### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1) Шаскольская, М.П. Кристаллография // М. Высш.школа. 1984. 375 С. [3 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].

2) П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов Физика твёрдого тела // М. ВШ. 1985. 384 С. [5 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].

3) Коротких А.Г. Теплопроводность материалов. Учебное пособие. ТПУ. 2011. 97 С. [доступно в электронном виде с серверов ННГУ по электронному адресу [http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/s/STZIBULSKY/academic/Tab2/Teploprovodnost\\_mat.pdf](http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/s/STZIBULSKY/academic/Tab2/Teploprovodnost_mat.pdf)].

4) Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики / А.П. Пятаков, А.К. Звездин // Успехи физических наук. 2012. Т.182. С.593–620. [статья находится в открытом доступе и с серверов ННГУ по электронному адресу <http://ufn.ru/ru/articles/2012/6/b/> ].

5) Эффект Холла / Д.А. Павлов, С.М. Планкина, А.В. Кудрин // Практикум. Изд. ННГУ. 2013. 24 С. [доступно по адресу: [http://www.unn.ru/books/met\\_files/Hall%20Effect.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/Hall%20Effect.pdf)].

6) Гигантская магнитострикция / К.П. Белов, Г.И. Катаев, Р.З. Левитин, С.А. Никитин, В.И. Соколов // Успехи физических наук. 1983. Т.140, вып.2. С.271-312. [статья доступна с серверов ННГУ по электронному адресу <http://ufn.ru/ru/articles/1983/6/c/>].

7) Спонтанная и индуцированная внешним магнитным полем магнитострикция в многокомпонентных сплавах на основе RCo<sub>2</sub> / Г.А. Политова, В.Б. Чжан, И.С. Терёшина, Г.С. Бурханов, А.А. Манаков, О.А. Алексеева, А.В. Филимонов, А.С. Илюшин // Физика твёрдого тела. 2015. Т.57, вып.2. С.2345-2349. [статья находится доступна с серверов ННГУ по электронному адресу <http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/42487>].

8) Ф.Иона, Д.Ширане Сегнетоэлектрические кристаллы М. 1965. 555 С. [3 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].

9) Сегнетоэластики – новый класс кристаллических твёрдых тел / С.А. Гриднев // Соросовский образовательный журнал. Физика. 2000. Т.6, вып.8. С.100-107. [статья доступна с серверов ННГУ: [http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/0008\\_100.pdf](http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/0008_100.pdf)].

10) С.А. Гриднев Сегнетоэластические кристаллы. Основные свойства, влияние дефектов. Книги портала РФФИ. 2002. [доступно в электронном виде с серверов ННГУ по электронному адресу [http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o\\_15220](http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_15220) ].

11) Термомагнитные и термоэлектрические явления в науке и технике / С.А. Алиев, Э.И. Зульфигаров // Баку, «Элм», 2009, 325 С. [доступно в электронном виде с серверов ННГУ по электронному адресу [http://anl.az/el\\_ru/a/as\\_ttynt.pdf](http://anl.az/el_ru/a/as_ttynt.pdf) ].

б) дополнительная литература:

1) Шаскольская М.П. Кристаллография // М. Высшая школа. 1984. 376 С. [5 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].

2) Статьи об определении термина «Функциональные материалы» [статьи находятся в открытом доступе и доступны по ссылкам: <http://old.fnm.msu.ru/documents/16/1intro.pdf>; [www.nsu.ru/rs/mw/link/Media:/5618/kach.ppt](http://www.nsu.ru/rs/mw/link/Media:/5618/kach.ppt); <http://www.imperial.ac.uk/materials/research/functional/>; [www.miics.net/archive/getfile.php?file=114](http://www.miics.net/archive/getfile.php?file=114)].

3) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.8 Электродинамика сплошных сред. // М. Наука. 1992. 661 С. [15 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].

4) Д.В. Сивухин / Общий курс физики. Электричество. // М. Наука. 1983. 687 С. [22 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].

5) С.Г. Калашников / Электричество // М. Наука. 1985. 586 С. [15 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].

1) Аваев, Н.А., Наумов Ю.Е., Фролкин В.Т. Основы микроэлектроники, М. Радио и Связь. 1991 г. 288 С. [3 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].

2) Обзорные статьи по сегнетоэлектрическим материалам  
[[http://dssp.petrus.ru/p/tutorial/ft/Part8/part8\\_6.html](http://dssp.petrus.ru/p/tutorial/ft/Part8/part8_6.html); <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=38442>; <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/690589>].

6) Revival of the magnetoelectric effect / M. Fiebig // J. Phys D. Appl. Phys. - 2005. - V.38. - P.R123-R152. [статья находится в открытом доступе и доступна с серверов ННГУ по электронному адресу <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3727/38/8/R01/meta> ].

7) Магнетизм / С.В. Вонсовский // М. Наука. - 1971. - 1032 С. [2 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].

8) Основы спинтроники / Ю.А. Данилов, Е.С. Демидов, А.А. Ежевский // Н. Новгород, изд. ННГУ. 2009. 173 С. (электронное издание, [http://www.unn.ru/books/met\\_files/spintronik.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/spintronik.pdf)).

9) Trend: Classifying multiferroics: Mechanisms and effects / D. Lhomskii // Physics. 2009. V.2. P.20. [статья находится в открытом доступе и доступна с серверов ННГУ по электронному адресу <https://physics.aps.org/articles/pdf/10.1103/Physics.2.20> ].

10) Особенности магнитных, магнитоэлектрических и магнитоупругих свойств ферробората самария  $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$  / Ю.Ф. Попов, А.П. Пятаков, А.М. Кадомцева, Г.П. Воробьёв, А.К. Звездин, А.А. Мухин, В.Ю. Иванов, И.А. Гудим // ЖЭТФ. 2010. Т.138, вып.2(8). С.226-230. [статья находится в открытом доступе и доступна с серверов ННГУ по электронному адресу [http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/dn/r\\_138\\_226.pdf](http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/dn/r_138_226.pdf)].

11) Магнитострикция редкоземельных металлов, в парамагнитном, антиферромагнитном и ферромагнитном состояниях / К.П. Белов и др. / ЖЭТФ. 1965. Т.49, вып.6. - С.1733-1740. [статья находится в открытом доступе и доступна с серверов ННГУ по электронному адресу [http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/dn/e\\_022\\_06\\_1185.pdf](http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/dn/e_022_06_1185.pdf)].

12) Н.П. Гражданкина / Магнитные фазовые переходы // УФН. - 1965. - Т.96, вып.2. - С.291-325. [статья доступна с серверов ННГУ по адресу <http://ufn.ru/ru/articles/1968/10/d/>].

13) О проявлении пиромангнитного эффекта в ферромагнетиках со слабой подрешёткой / К.П. Белов // Успехи физических наук. 2000. Т.170, вып.4. С.447–454. [статья доступна с серверов ННГУ по электронному адресу [https://ufn.ru/ufn00/ufn00\\_4/Russian/r004e.pdf](https://ufn.ru/ufn00/ufn00_4/Russian/r004e.pdf)].

14) Кварцевые резонаторы. Описание задач спецпрактикума. А.А. Белов, А.В. Степанов. М. МГУ. 2012. [доступно в электронном виде и доступна с серверов ННГУ по электронному адресу <http://www.osc.phys.msu.ru/mediawiki/upload/9/99/KRR.pdf>].

15) Магнитокалорический эффект в магнитоупорядоченных кристаллах. Состояние проблемы и перспективы технических приложений / Е.В. Бабкин // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2007. С.31-34. [статья доступна с серверов ННГУ по электронному адресу <https://cyberleninka.ru/article/v/magnitokaloricheskiy-effekt-v-magnitouporyadochennyhkristallah-sostoyanie-problemy-i-perspektivy-tehnicheskikh-prilozheniy>].

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. <http://www.lib.unn.ru/> - сайт Фундаментальной библиотеки ННГУ.
2. <http://www.unn.ru/books/> - фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ.
3. <http://www.sciencedirect.com> – сайт международного издательства «Elsevier», публикующего статьи и монографии по актуальным направлениям физики конденсированного состояния и физического материаловедения, совпадающим с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
4. <http://elibrary.ru/defaultx.asp> - российская научная электронная библиотека «Elibrary», публикующая статьи, тематика которых совпадает с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
5. <http://znaniy.com> – сайт электронно-библиотечной системы «Znaniy.com», содержащий книги по отдельным разделам дисциплины.
6. <http://eqworld.ipmnet.ru/> - сайт электронной библиотеки EqWord, содержащий книги по отдельным разделам дисциплины

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Библиотечные залы и компьютерные классы ННГУ и НИФТИ ННГУ, обеспечивающие доступ к Интернет – ресурсам. Для чтения лекций со стороны физического факультета и НИФТИ ННГУ предоставляются аудитории с презентационным оборудованием.

Для выполнения лабораторных работ со стороны НИФТИ ННГУ предоставляется доступ к современному исследовательскому и технологическому оборудованию, необходимому для проведения практических занятий, в том числе:

- Универсальная установка для гальваномагнитных и оптических исследований на базе криостата Janis CCS-300S/202.
- Установка для исследования термоэлектрических свойств материалов.



Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.04.02 «Физика» и ООП направленности «Физика спроектированных материалов: металлы, сплавы и керамики».

Автор д.ф.-м.н., проф. Дорохин М.В.

Заведующий кафедрой: д.ф.-м.н., проф. Чувильдеев В.Н.

Рецензенты: зам. декана по учебной работе Белова О.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета  
от «    »                    202    года, протокол № б/н.

Председатель учебно-методической комиссии  
физического факультета ННГУ

\_\_\_\_\_ / Перов А.А. /