

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 10.08.2023 16:07:31
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП



Б.Б.Педько

«30»

мая

2023 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

Физика пьезоэлектриков

Направление подготовки

03.03.02 Физика

профиль

Физика конденсированного состояния вещества

Для студентов

3 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Педько Б.Б.

Тверь, 2023

I. Аннотация

1. Цель и задачи дисциплины

Целью дисциплины является формирование у студентов профессиональных знаний по физике пьезоэлектриков и пироэлектриков для понимания и постановки научной задачи по технологиям расчета, изготовления материалов этого типа и их использованию в современной промышленности. Приобретение обучающимися навыка решения задач и обсуждения полученных результатов с учетом современных достижений мировой науки по данному направлению.

Задачами освоения дисциплины является:

- формирование у обучающихся представлений о физике пьезоэлектрического и пироэлектрического эффектов, экспериментальных методах исследования пьезо- и пироэлектриков.

- освоение обучающимися методов поиска, критического анализа и синтеза информации в области физики пьезо- и пироэлектриков, а также применение системного подхода для решения поставленных задач.

- получение обучающимися практического опыта проведения теоретических исследований в области пьезо- и пироэлектриков с применением современных цифровых баз данных для анализа научно-технической информации, а также подготовки отчетов по результатам исследования.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Физика пьезоэлектриков и пироэлектриков» изучается в элективном модуле «Диэлектрики» Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Для успешного освоения дисциплины обучающимся необходимы знания и компетенции, полученные при изучении предшествующих дисциплин: «Кристаллография», «Физика конденсированного состояния вещества», «Физика диэлектриков», «Векторный и тензорный анализ».

Компетенции, сформированные при изучении дисциплины «Физика пьезоэлектриков и пироэлектриков» необходимы для качественного освоения содержания дисциплин «Физика нелинейных кристаллов», «Физические свойства сегнетоэлектриков», а также для выполнения выпускной квалификационной работы.

3. Объем дисциплины: 3 зачетные единицы, 108 академических часов, **в том числе:**

контактная аудиторная работа: лекции 28 часов, практические занятия 28 часов;

контактная внеаудиторная работа: 10 часов, в том числе курсовая работа 10 часов.

самостоятельная работа: 42 часа, в том числе контроль 27 часов.

4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

<ul style="list-style-type: none"> Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции) 	<ul style="list-style-type: none"> Планируемые результаты обучения по дисциплине
<ul style="list-style-type: none"> УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач. 	<ul style="list-style-type: none"> УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие. УК-1.2. Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи.
<ul style="list-style-type: none"> ПК-2. Способен выполнять экспериментальную работу в области физики и оформлять результаты исследований и разработок. 	<ul style="list-style-type: none"> ПК-2.2. Анализирует физические явления и процессы в области физики конденсированного состояния и составляет отчет по теме исследования или по результатам проведенных экспериментов.

	•
<ul style="list-style-type: none"> ПК-3. Способен сопровождать типовые технологические процессы в области материаловедения и технологии материалов. 	<ul style="list-style-type: none"> ПК-3.1. Осуществляет анализ структуры материалов. ПК-3.2. Оценивает влияние технологических факторов типовых режимов термической и химической обработки на свойства и структуру материалов.

5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

Экзамен в 6 семестре.

6. Язык преподавания: русский.

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

1. Для студентов очной формы обучения

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Практические (лабораторные) занятия	
<u>Введение.</u> Природа пьезоэлектрического эффекта. Исторический обзор. Практическое использование пьезоэлектрического эффекта. Наиболее важные пьезоэлектрические кристаллы и их материалы. Электрострикционный эффект.	6	2	2	2
<u>Глава 1.</u> Основные физические характеристики и соотношения пьезоэлектрического эффекта в кристаллах. Прямой и обратный пьезоэффекты.	42	6	18	18

<p>Кристаллография пьезоэффекта. Связь пьезоэлектрических свойств кристаллов с упругими и диэлектрическими свойствами.</p> <p>Тензор пьезоэлектрических модулей.</p> <p>Ограничения, налагаемые симметрией на диэлектрические, пьезоэлектрические и упругие постоянные. Термодинамика пьезоэлектрических явлений в кристаллах.</p> <p>Пьезоэлектрические кристаллы как электромеханические преобразователи. Коэффициент электромеханической связи.</p>	26	6	8	12
<p><u>Глава 2.</u> Экспериментальные методы исследования пьезоэлектрических кристаллов.</p> <p>Методика измерений на кристаллах малых размеров. Резонансные методы измерений. Продольные и сдвиговые колебания.</p> <p>Зависимость между частотами резонанса и антирезонанса, основными постоянными пьезоэлектрического кристалла</p> <p>Определение упругих и пьезоэлектрических постоянных на срезах различной ориентации.</p>	44	4	20	20
<p><u>Глава 3.</u> Важнейшие пьезоэлектрические кристаллы, их свойства и применение.</p> <p>Кварц. Физические свойства кварца. Различные типы колебаний, возбуждаемых в кварцевых пластинах. Кварцевые генераторы. Применения пьезокварца в ультразвуку.</p> <p>Пьезоэлектрические свойства и применение пьезоэлектрических кристаллов.</p> <p>Сегнетова соль. Титанат бария. Дигидрофосфат калия (КДП), Триглицинсульфат (ТГС). Сульфоидид сурьмы.</p>	28	6	8	14
<p><u>Глава 4.</u> Пьезоэлектрическая керамика.</p> <p>Основы технологии производства пьезокерамики. Изготовление пьезокерамики.</p> <p>Пьезоэлектрический эффект в керамике. Уравнения пьезоэффекта в керамике. Экспериментальные методы пьезо-электрических измерений в керамике.</p>	22	2	2	18

Важнейшие представители пьезокерамики. Титанаты. Цирконаты. Твердые растворы.				
Глава 5. Основные принципы пьезоэлектроники. Применение пьезоэффекта. Принципы построения пьезоэлектронных устройств. Основные пьезоэлектронные приборы и устройства. Акустические преобразователи. Пьезокерамические датчики. Гидроакустические излучатели, приемники, фильтры, звукосниматели. и др.	12	4	2	6
ИТОГО	180	30	60	90

III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (или модулю)

- планы практических занятий и методические рекомендации к ним;
- тематика рефератов и выступлений, методические рекомендации по их написанию;
- методические рекомендации по выполнению практических работ;
- методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов при решении поставленных задач;
- электронные презентации.

IV. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Наряду с естественнонаучными дисциплинами базовой части блока Б1 дисциплина «Физика пьезоэлектриков» участвует в формировании профессиональных компетенций ПК-1, ПК-2 и ПК-3 (см. выше).

Форма проведения экзамена: студенты, освоившие программу курса могут получить оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

На полусеместровой аттестации используется опросный лист для проверки категорий знать и уметь (2 вопроса и задача). На семестровой аттестации – опросный лист для проверки категорий знать и владеть (2 вопроса и задача).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ (протокол №9 от 28 мая 2014 г.).

При сдаче экзамена используются билеты для проверки категорий знать, уметь и владеть (2 вопроса и 1 задача).

Пример опросного листа для полусеместровой аттестации:

1. Пьезоэлектрические коэффициенты и их физический смысл.
2. Основные методы исследования различных физических свойств пьезокерамики.
3. Используя метод Фуми показать, что для кристаллов симметрии 422 и 622 не существует продольного пьезоэлектрического эффекта ни в одном направлении

Пример билета для окончательной аттестации:

1. Обратный пьезоэлектрический эффект.
2. Физический смысл различных компонент тензора пьезомодулей.
3. Из поляризованной керамики титаната бария изготовили образец в виде куба и подействовали напряжением сжатия t в направлении оси поляризации. Затем этот образец был подвергнут действию гидростатического сжатия p . На каких гранях куба при таких испытаниях возникают электрические заряды? Какие пьезомодули керамики титаната бария могут быть определены при таких испытаниях?

Шкала оценивания: Максимальная возможная оценка за заполнение опросного листа (билета) промежуточной аттестации составляет 30 баллов. Она складывается из оценки уровня знаний (максимум 15 баллов), умений (максимум 15 баллов).

Максимальная возможная оценка за заполнение билета заключительной аттестации составляет 40 баллов. Она складывается из оценки уровня знаний (максимум 20 баллов) и владений (максимум 20 баллов).

Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-1 «Способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин»

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
<p>Начальный</p> <p>Уметь: теоретически объяснять рассматриваемые физические явления, решать поставленные физические задачи в области пьезоэлектричества.</p>	<p>Кристаллы турмалина, сульфата лития и виннокислого калия относятся к полярным классам симметрии и могут быть использованы в качестве датчиков статического или низкочастотного гидростатического давления. Какой из перечисленных кристаллов обладает наибольшей чувствительностью к гидростатическому давлению?</p>	<p>1. Не использует базовые знания в области физики пьезоэлектриков при решении конкретных задач.</p> <p>2. Использует лишь ограниченные знания физических законов.</p> <p>3. Удовлетворительно использует знания физических законов, но не всегда может получить окончательный результат.</p> <p>4. Умеет хорошо использовать знания в области физики пьезоэлектриков,</p>

		допускает ошибки. 5. Свободно использует основные физические представления и законы, получает правильный результат.
Начальный Знать: физику пьезоэлектрического эффекта.	Описать понятия: Пьезоэлектрический эффект; прямой пьезоэлектрический эффект; Обратный пьезоэлектрический эффект.	1. Не знает основных классических законов пьезоэлектриков, определений основных характеристик вещества. 2. Знает лишь отдельные законы пьезоэлектричества, некоторые определения пьезоэлектрических характеристик вещества. 3. Удовлетворительно знает основные законы физики пьезоэлектриков, допускает отдельные ошибки. 4. Хорошо знает основные законы физики пьезоэлектрических явлений. 5. Исчерпывающе знает основные законы раздела.
Промежуточный Владеть: основными понятиями и терминологией физики пьезоэлектрических явлений.	Для определения пьезомодулей поляризованной керамики титаната бария из нее изготовили образец в виде куба и подействовали напряжением сжатия t в	1. Не владеет методиками электрических измерений. 2. Удовлетворительно владеет методиками, но не может объяснить

	<p>направлении оси поляризации керамики. Затем этот же образец был подвергнут действию гидростатического сжатия <i>p</i>.</p> <p>На каких гранях куба при таких испытаниях возникают электрические заряды? Какие пьезомодули керамики титаната бария могут быть определены по результатам этих испытаний?</p>	<p>полученные результаты.</p> <p>3. Удовлетворительно владеет методиками пьезоэлектрических измерений и наблюдения пьезосвойств, но допускает методические ошибки.</p> <p>4. Хорошо владеет методиками электрических измерений и наблюдения пьезосвойств.</p> <p>5. Свободно владеет экспериментальными методиками и методами анализа и обработки полученных результатов.</p>
<p>Промежуточный</p> <p>Уметь: теоретически объяснять рассматриваемые физические явления, решать поставленные физические задачи в области пьезоэлектричества, применять знания в области смежных дисциплин.</p>	<p>Найти вид матрицы пьезомодулей для сегнетовой соли (в задачах, посвященных пьезоэффекту в сегнетовой соли, имеется в виду кристалл в сегнетоэлектрической фазе, в полидоменном состоянии).</p>	<p>1. Не использует базовые знания в области физики пьезоэлектрических явлений при решении конкретных задач.</p> <p>2. Использует лишь ограниченные знания физических законов.</p> <p>3. Удовлетворительно использует знания физических законов, но не всегда может получить окончательный результат.</p> <p>4. Умеет хорошо использовать знания в области физики пьезоэлектрических</p>

		явлений, допускает ошибки. 5. Свободно использует основные физические представления и законы, получает правильный результат.
Промежуточный Знать: физику пьезоэлектрического эффекта; экспериментальные методы исследования пьезоэлектрических кристаллов.	Пьезоэлектрические коэффициенты и физические условия их определения. (Основные понятия).	1. Не знает основных классических законов физики пьезоэлектриков, определений основных пьезоэлектрических характеристик вещества. 2. Знает лишь отдельные законы физики пьезоэлектриков, некоторые определения пьезоэлектрических характеристик вещества. 3. Удовлетворительно знает основные законы пьезоэлектричества, допускает отдельные ошибки. 4. Хорошо знает основные законы физики пьезоэлектриков. 5. Исчерпывающе знает основные законы физики пьезоэлектриков.

1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-2 «Способность проводить научные исследования в

избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта »

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
<p>Начальный</p> <p>Уметь: Применять полученные знания в области научных исследований.</p>	<p>Охарактеризовать продольный пьезоэлектрический эффект в кристаллах сегнетовой соли. Каким уравнением описывается продольный пьезоэлектрический эффект пластинки произвольной ориентации? Есть ли такие направления, в которых этот эффект отсутствует?</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не умеет правильно производить вычисления и обрабатывать результаты с помощью стандартных и специализированных компьютерных программ. 2. Обладает лишь начальными навыками работы на экспериментальных установках, применения теоретических методов и методами компьютерной обработки полученных результатов. 3. Удовлетворительно справляется с проведением измерений, теоретическими расчетами и обработкой полученных результатов. 4. Умеет правильно производить нужные измерения,

		<p>теоретические расчеты и обрабатывать их с применением прикладных компьютерных программ, анализировать полученные результаты на основе теоретических знаний, допускает отдельные ошибки.</p> <p>5. Умеет правильно производить нужные измерения, теоретические расчеты, обрабатывать их с применением прикладных компьютерных программ, анализировать полученные результаты на основе теоретических знаний.</p>
<p>Начальный</p> <p>Знать: основные экспериментальные методы исследования свойств пьезоэлектриков, физические принципы работы экспериментальных установок.</p>	<p>Опишите основные методы исследования различных физических свойств пьезокерамики.</p>	<p>1. Не знает основных экспериментальных методов исследования магнитных свойств и физических принципов работы экспериментальных установок.</p> <p>2. Знает лишь отдельные экспериментальные методы исследования магнитных свойств.</p> <p>3. Удовлетворительно знает экспериментальные методы исследования</p>

		<p>магнитных свойств и физические принципы работы экспериментальных установок, допускает отдельные ошибки.</p> <p>4. Хорошо знает экспериментальные методы исследования магнитных свойств и физические принципы работы экспериментальных установок.</p> <p>5. Знает в полном объеме экспериментальные методы исследования магнитных свойств и физические принципы работы экспериментальных установок.</p>
<p>Промежуточный</p> <p>Владеть:</p> <p>современными методами экспериментального и теоретического исследований пьезоэлектрического эффекта, информацией о современных технологиях производства пьезоматериалов и их применения на практике, компьютерными программами для построения графиков, таблиц, анализа</p>	<p>Показать, что для кристаллов симметрии 422 и 622 не существует продольного пьезоэлектрического эффекта ни в одном направлении</p>	<p>1. Не владеет компьютерными программами для построения графиков, таблиц, анализа изображений, полученных с помощью приборов, навыками работы с литературой.</p> <p>2. Удовлетворительно владеет компьютерными программами для построения графиков, таблиц, анализа изображений, полученных с помощью приборов,</p>

<p>изображений, полученных с помощью микроскопа, навыками работы с литературой.</p>		<p>навыками работы с литературой, но не может объяснить полученные результаты.</p> <p>3. Удовлетворительно владеет компьютерными программами для построения графиков, таблиц, анализа изображений, полученных с помощью приборов, навыками работы с литературой, но допускает методические ошибки.</p> <p>4. Хорошо владеет компьютерными программами для построения графиков, таблиц, анализа изображений, полученных с помощью приборов, навыками работы с литературой.</p> <p>5. Свободно владеет компьютерными программами для построения графиков, таблиц, анализа изображений, полученных с помощью приборов, навыками работы с литературой.</p>
<p>Промежуточный Уметь: Применять полученные знания в области научных</p>	<p>Пьезоприемник состоит из мембраны, на внутренней стороне которой набирается столбик из</p>	<p>1. Не умеет правильно производить измерения и обрабатывать</p>

<p>исследований, правильно производить нужные измерения, обрабатывать их с применением прикладных компьютерных программ, анализировать полученные результаты на основе теоретических знаний.</p>	<p>тонких кристаллических пласти-нок. Между пластинками прокладываются электроды из тонкой металлической фольги. Выбрать пластинки сегнетовой соли - $45^\circ X$ - среза или $45^\circ Y$ –среза, которые обладают большей чувствительностью в качестве приемников, если используется поперечный пьезоэффект.</p>	<p>результаты с помощью стандартных и специализированных компьютерных программ.</p> <p>2. Обладает лишь начальными навыками работы на экспериментальных установках и методами компьютерной обработки полученных результатов.</p> <p>3. Удовлетворительно справляется с проведением измерений и обработкой полученных результатов.</p> <p>4. Умеет правильно производить нужные измерения, обрабатывать их с применением прикладных компьютерных программ, анализировать полученные результаты на основе теоретических знаний, допускает отдельные ошибки.</p> <p>5. Умеет правильно производить нужные измерения, обрабатывать их с применением прикладных компьютерных программ,</p>
--	--	---

		анализировать полученные результаты на основе теоретических знаний.
<p>Промежуточный</p> <p>Знать: основные физические характеристики и соотношения пьезоэлектрического эффекта в кристаллах. экспериментальные методы исследования пьезоэлектрических кристаллов, физические принципы работы экспериментальных установок.</p>	<p>Дать классификацию основных экспериментальных методов исследования пьезоэлектрических и упругих характеристик кристаллов.</p>	<p>1. Не знает основных экспериментальных методов исследования магнитных свойств и физических принципов работы экспериментальных установок.</p> <p>2. Знает лишь отдельные экспериментальные методы исследования магнитных свойств.</p> <p>3. Удовлетворительно знает экспериментальные методы исследования магнитных свойств и физические принципы работы экспериментальных установок, допускает отдельные ошибки.</p> <p>4. Хорошо знает экспериментальные методы исследования магнитных свойств и физические принципы работы экспериментальных установок.</p> <p>5. Знает в полном объеме экспериментальные методы исследования магнитных свойств и физические принципы работы</p>

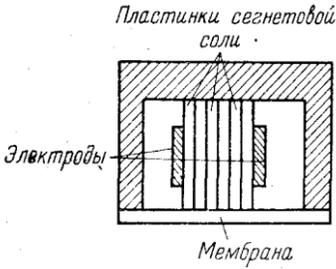
		экспериментальных установок.
--	--	------------------------------

3. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции 3 (ПК-3: готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований).

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
<p>Начальный</p> <p>Уметь: грамотно планировать проведение заданных экспериментов, объяснять результаты на основе современных теоретических представлений, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики пьзоэлектриков и решать их с использованием современного экспериментального оборудования</p>	<p>Кристаллы турмалина, сульфата лития, а также калия виннокислого относятся к полярным классам симметрии и могут быть использованы в качестве датчиков статического или низкочастотного гидростатического давления. Какой из перечисленных кристаллов обладает наибольшей чувствительностью к гидростатическому давлению?</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не умеет планировать проведение заданных экспериментов. 2. Обладает лишь начальными навыками планирования заданных экспериментов, затрудняется объяснять результаты. 3. Удовлетворительно справляется с планированием экспериментов, может объяснить отдельные результаты. 4. Умеет планировать проведение заданных экспериментов. При объяснении результатов допускает отдельные ошибки. 5. Умеет грамотно планировать проведение заданных

		экспериментов, объяснять результаты на основе современных теоретических представлений.
<p>Начальный</p> <p>Знать: особенности практических применений конкретных физических свойств пьезоэлектриков, способы управления ими в ходе эксперимента.</p>	<p>Описать работу пьезоэлектрических кристаллов как электромеханических преобразователей.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не знает основные практические применения конкретных физических свойств пьезоэлектриков. 2. Знает применения лишь отдельных физических свойств пьезоэлектриков. 3. Удовлетворительно знает основные применения физических свойств пьезоэлектриков, допускает ошибки. 4. Хорошо знает основные применения физических свойств пьезоэлектриков, испытывает затруднения в выборе способов управления ими в ходе эксперимента. 5. Знает особенности практических применений конкретных физических свойств пьезоэлектриков, способы управления ими в ходе эксперимента.
<p>Промежуточный</p> <p>Владеть:</p>	<p>Коллективная работа по планированию</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не владеет навыками работы в

<p>способностью планирования практического использования пьезоматериалов для решения конкретных технологических проблем, навыками работы в коллективе, деятельность которого подчинена достижению общей цели.</p>	<p>эксперимента, проведению измерений, обсуждению полученных результатов и подготовке отчета.</p>	<p>коллективе. 2. Испытывает определенные трудности при работе в коллективе. 3. Удовлетворительно владеет навыками работы в коллективе. 4. Хорошо владеет навыками работы в коллективе. 5. Свободно владеет навыками работы в коллективе, деятельность которого подчинена достижению общей цели.</p>
<p>Промежуточный Уметь: грамотно планировать проведение заданных экспериментов, объяснять результаты на основе современных теоретических представлений, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики пьезоэлектриков и решать их с использованием современного экспериментального оборудования, применять полученные навыки и знания в практической</p>	<p>Для определения пьезомодулей поляризованной керамики титаната бария из нее изготовили образец в виде куба и подействовали напряжением сжатия t в направлении оси поляризации керамики. Затем этот же образец был подвергнут действию гидростатического сжатия p. На каких гранях куба при таких испытаниях возникают электрические заряды? Какие пьезомодули керамики титаната бария могут быть определены по результатам этих испытаний?</p>	<p>1. Не умеет планировать проведение заданных экспериментов. 2. Обладает лишь начальными навыками планирования заданных экспериментов, затрудняется объяснять результаты. 3. Удовлетворительно справляется с планированием экспериментов, может объяснить отдельные результаты. 4. Умеет планировать проведение заданных экспериментов. При объяснении результатов допускает отдельные ошибки.</p>

<p>профессиональной деятельности.</p>		<p>5. Умеет грамотно планировать проведение заданных экспериментов, объяснять результаты на основе современных теоретических представлений.</p>
<p>Промежуточный Знать: основные принципы пьезоэлектроники, применения пьезоэффекта; принципы построения пьезоэлектронных устройств, технологии производства пьезоактивных материалов</p>	<p>Пьезоэлектрический приемник звука состоит из мембраны, на внутренней которой набирается столбик из тонких кристаллических пластинок. Между пластинками прокладываются электроды из тонкой металлической фольги (рис. 6.4). Какие из пластинок сегнетовой соли — 45° X-среза или 45° Y-среза — обладают большей чувствительностью в качестве приемников?</p>  <p style="text-align: center;">Пластинки сегнетовой соли</p> <p>Электроды</p> <p style="text-align: center;">Мембрана</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не знает основные практические применения конкретных физических свойств пьезоэлектриков. 2. Знает применения лишь отдельных физических свойств магнетиков. 3. Удовлетворительно знает основные применения физических свойств пьезоэлектриков, допускает ошибки. 4. Хорошо знает основные применения физических свойств пьезоэлектриков, испытывает затруднения в выборе способов управления ими в ходе эксперимента. 5. Знает особенности практических применений конкретных физических свойств пьезоэлектриков, способы управления ими в ходе

V. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (или модуля)

а) Основная литература:

1. Физические основы, методы исследования и практическое применение пьезоматериалов / В.А. Головнин, И.А. Каплунов, О.В. Малышкина и др. - М.: Техносфера, 2013. - 272 с. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233464>
2. Епифанов, Г. И. Физика твердого тела : учебное пособие / Г. И. Епифанов. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 288 с. — ISBN 978-5-8114-1001-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167893>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) Дополнительная литература:

1. Головнин В. А., Каплунов И. А., Педько Б. Б. , Малышкина О. В. , Мовчикова А. А.. Материаловедение электронной техники. Технологии наноматериалов. Учебное пособие. Тверь, ТвГУ, 2011, 100 с. http://texts.lib.tversu.ru/texts/materialovedenie_elektronnoy_tehniki_tehnologii_nanomaterialov/Start.html
2. Матухин, В. Л. Физика твердого тела : учебное пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 224 с. — ISBN 978-5-8114-0923-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167762>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие : в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский ; под редакцией Г. С. Ландсберга. — 5-е изд., испр. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2021 — Том 9 : Статистическая физика. Ч. 2. Теория конденсированного состояния — 2021. — 440 с. — ISBN 978-5-9221-1580-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185699>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (или модуля)

Информационными технологиями, используемыми при изучении данной дисциплины, является доступ к следующим электронным библиотечным системам:

1. ЭБС «ИНФРА-М» <http://www.znaniium.com>
2. ЭБС «Университетская библиотека ОН-ЛАЙН» <http://www.biblioclub.ru>
3. Сервер информационно-методического обеспечения учебного процесса ТвГУ <http://edc.tversu.ru>
4. ЭБС «ЛАНЬ» <http://e.lanbook.com>

VIII. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (или модуля)

1) Планы практических занятий и методические рекомендации к ним:

Планы практических (лабораторных) занятий приведены в учебно-методических разработках по выполнению конкретных задач.

2) Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов при решении поставленных задач:

- подготовка к контрольным работам и зачету проводится:

- по вопросам для рубежного контроля (см. раздел «Требования к рейтинг-контролю»);
- по контрольным вопросам (раздел «Планы и методические указания»).

Контрольные вопросы (знать)

1. Пьезоэлектрический эффект (введение).
2. Прямой пьезоэлектрический эффект.
3. Физический смысл различных компонент тензора пьезомодулей.
4. Влияние симметрии кристалла на вид тензора (матрицы) пьезомодулей.
5. Пьезоэлектрические коэффициенты и их физический смысл.
6. Обратный пьезоэлектрический эффект.
7. Термодинамический потенциал и смысл производных термодинамических потенциалов.
8. Вывод уравнения пьезоэффекта из термодинамических уравнений.
9. Взаимосвязь между пьезоэлектрическими коэффициентами в кристалле.
10. Физические условия измерения пьезоэлектрических коэффициентов. Прямой пьезоэлектрический эффект.
11. Физические условия измерения пьезоэлектрических коэффициентов. Обратный пьезоэлектрический эффект.
12. Пьезоэлектрические кристаллы как электромеханические преобразователи (определение коэффициента электромеханической связи).
13. Пьезоэлектрические кристаллы как электромеханические преобразователи (коэффициент электромеханической связи в пьезопреобразователях различного назначения).
14. Методы исследования пьезоэлектрических кристаллов (статические и динамические методы).
15. Продольные упругие колебания пьезоэлектрических кристаллов.

16. Сдвиговые упругие колебания пьезоэлектрических кристаллов.
17. Метод резонанса—антирезонанса.
18. Осевые представители пьезоэлектриков (линейные кристаллические диэлектрики).
19. Пьезоэлектрические кристаллы. Сегнетоэлектрики. Особенности протекания пьезоэффекта в сегнетоэлектриках.
20. Представление о технологии производства пьезоэлектрической керамики.
21. Особенности пьезоэлектрического эффекта в пьезокерамике.
22. Основные представители пьезокерамических материалов. ЦТС. Фазовые диаграммы.
23. Применение пьезоэффекта.
24. Пьезоэлемент как многомерный объект управления основной математического описания моделей пьезоэлементов.

Контрольные задания (уметь)

1. Найти вид матрицы пьезомодулей для сегнетовой соли (в задачах, посвященных пьезоэффекту в сегнетовой соли, имеется в виду кристалл в сегнетоэлектрической фазе, в полидоменном состоянии).

Решение.

Для решения задачи воспользуемся методом прямой проверки. Рассмотрим сначала ось симметрии 2, совпадающую с осью X_3 кристаллофизической системы координат. Ось $2 \parallel X_3$ преобразует координатные оси следующим образом: $X_1 \rightarrow -X_1$, $X_2 \rightarrow -X_2$, $X_3 \rightarrow X_3$ или, в краткой записи: $1 \rightarrow -1$, $2 \rightarrow -2$, $3 \rightarrow 3$.

Будем все модули поочередно преобразовывать согласно (6.5). Если знак модуля при этом изменится на обратный, то соответствующий модуль равен нулю, если же знак остается неизменным, то модуль остается в матрице пьезомодулей. Очевидно, сохраняются только те модули d_{ij} , которые имеют в индексах либо одну, либо три цифры 3. Поэтому

$$d_{111} = 0, d_{112} = 0, d_{113} \neq 0, d_{211} = 0, d_{212} = 0, d_{213} \neq 0, d_{123} \neq 0, d_{133} = 0, d_{222} = 0, d_{233} = 0,$$

$$d_{223} \neq 0, d_{331} = 0, d_{323} = 0, d_{311} \neq 0, d_{312} \neq 0, d_{122} = 0, d_{322} \neq 0, d_{333} \neq 0$$

или в матричных обозначениях:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & d_{14} & d_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{24} & d_{25} & \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & 0 & 0 & d_{36} \end{pmatrix}.$$

Далее возьмем следующую ось 2, совпадающую с X_2 . Эта ось симметрии преобразует координатные оси следующим образом:

$$X_1 \rightarrow -X_1, X_2 \rightarrow X_2, X_3 \rightarrow -X_3$$

$$1 \rightarrow -1, 2 \rightarrow 2, 3 \rightarrow -3$$

Из оставшихся восьми пьезомодулей сохраняются лишь те, которые имеют в индексах либо одну, либо три цифры 2, т. е. пьезомодули

$$d_{132} = d_{123}(d_{14}), \quad d_{231} = d_{213}(d_{25}), \quad d_{321} = d_{312}(d_{36}).$$

Рассматривать действие третьей оси второго порядка, совпадающей с X_1 , не имеет смысла: по теореме Эйлера она является порожденным элементом симметрии и ее действие сводится к действию уже рассмотренных осей $2 \parallel X_3$ и $2 \parallel X_2$.

В окончательном виде матрица пьезомодулей кристаллов класса симметрии 222 имеет вид

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & d_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{25} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_{36} \end{pmatrix}$$

2. Охарактеризовать продольный пьезоэлектрический эффект в кристаллах сегнетовой соли, ответив на следующие вопросы:

- а) Каким уравнением описывается продольный пьезоэлектрический эффект пластинки произвольной ориентации?
- б) Есть ли такие направления, в которых этот эффект отсутствует?
- в) Как ориентированы относительно кристаллофизических осей пластинки, обладающие максимальным продольным пьезоэлектрическим эффектом?

Решение.

а) Рассмотрим пластинку с нормалью $\mathbf{n}(n_1, n_2, n_3)$, произвольно ориентированную относительно кристаллофизических осей, и растянем (или сожмем) пластинку вдоль направления ее нормали. Чтобы найти величину продольного пьезоэлектрического эффекта, т. е. плотность зарядов, возникающих на поверхности пластинки, перпендикулярной направлению растяжения, воспользуемся уравнением прямого пьезоэлектрического эффекта (6.1). При этом тензор пьезомодулей и тензор напряжений должны быть выражены в одной и той же координатной системе. Можно связать систему координат с направлением растяжения (сжатия) — в этой системе тензор напряжений будет иметь самый простой вид, но отличными от нуля могут быть все 18 компонент матрицы пьезомодулей. Поэтому нет смысла связывать систему координат с этим направлением. Проведем решение в кристаллофизической системе координат, в которой матрица пьезомодулей задается и имеет наиболее простой вид. Одноосное растяжение (сжатие) в произвольном направлении $\mathbf{n}(n_1, n_2, n_3)$ представляется в кристаллофизической системе координат тензором, компоненты которого находятся из соотношения

$$t_{jk} = tn_j n_k; \text{ отсюда}$$

$$[t_{jk}] = \begin{bmatrix} n_1^2 & n_1 n_2 & n_1 n_3 \\ n_1 n_2 & n_2^2 & n_3 n_2 \\ n_1 n_3 & n_2 n_3 & n_3^2 \end{bmatrix} t.$$

Продольный пьезоэлектрический эффект определяется компонентой поляризации, параллельной направлению растяжения (сжатия), т. е.

$$P_{\parallel} = P_i n_i.$$

Учитывая, что $P_i = d_{ijk} t_{jk}$, получаем $P_{\parallel} = d_{ijk} t_{jk} n_i n_j n_k$.

Для сегнетовой соли отличными от нуля являются пьезомодули

$$d_{14} = 2d_{123}, \quad d_{25} = 2d_{231}, \quad d_{36} = 2d_{321}$$

В соответствии с этим продольный пьезоэлектрический эффект пластинки сегнетовой соли, ориентация которой задается направлением ее нормали \mathbf{n} , относительно кристаллофизической системы координат описывается уравнением

$$P_{\parallel} = n_1 n_2 n_3 (2d_{123} + 2d_{231} + 2d_{321}) t = n_1 n_2 n_3 (d_{14} + d_{25} + d_{36}) t$$

б) Исходя из выражения для P_{\parallel} , можно заключить, что для всех направлений, лежащих в координатных плоскостях, продольного пьезоэффекта нет.

в) Максимальным продольным пьезоэлектрическим эффектом обладают кристаллические пластинки, нормаль к которым составляет равные углы с кристаллофизическими осями. Такие пластинки широко применяются для практических целей.

Контрольные задания (владеть)

1. Как следует направить ребра пластинки Z-среза ADP, чтобы она поляризовалась при действии на нее только нормальных напряжений, приложенных в направлениях, параллельных ее ребрам?

Решение.

Из вида матрицы пьезомодулей класса симметрии $\bar{4}2m$ следует, что пластинка Z-среза будет поляризована ($P_3 \neq 0$) только в том случае, если ее напряженное состояние описывается тензором

$$\begin{bmatrix} 0 & t_6 & 0 \\ t_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Приведем указанный тензор напряжений к главным осям X'_1, X'_2, X'_3 и найдем ориентацию главных осей относительно исходных. Искомые направления ребер пластинки Z-среза и будут являться направлениями главных осей тензора напряжений.

Приведение заданного тензора к главным осям осуществляется поворотом исходных осей тензора вокруг оси X_3 на 45° по часовой стрелке. При этом тензор напряжений принимает вид

$$\begin{bmatrix} -t & 0 & 0 \\ 0 & t & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Следовательно, чтобы кристаллическая пластинка Z-среза ADP поляризовалась при действии на нее нормальных напряжений, ее следует вырезать так, как это показано на рис. 6.3. Такие пластинки называются 45° Z-срезами.

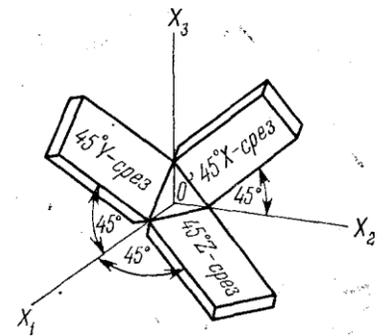


Рис. 6.3. 45° X-, 45° Y- и 45° Z-срезы.

2. Для определения пьезомодулей поляризованной керамики титаната бария из нее изготовили образец в виде куба и подействовали напряжением сжатия t в направлении оси поляризации керамики. Затем этот же образец был подвергнут действию гидростатического сжатия p .

На каких гранях куба при таких испытаниях возникают электрические заряды? Какие пьезомодули керамики титаната бария могут быть определены по результатам этих испытаний? Решение.

Поскольку ось X_3 кристаллофизической системы координат керамики совпадает с направлением поляризации, то ее напряженное состояние будет описываться тензором

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -t_{33} \end{bmatrix}.$$

Гидростатическое сжатие задается тензором вида

$$\begin{bmatrix} -p & 0 & 0 \\ 0 & -p & 0 \\ 0 & 0 & -p \end{bmatrix},$$

следовательно, $t_1 = t_2 = t_3 = -p$. И одноосное сжатие в указанном направлении, и гидростатическое сжатие вызывают поляризацию керамики в направлении ее полярной оси; в первом случае $P_3 = d_{33}(-t_3)$, во втором $P_3 = (2d_{31} + d_{33})(-p)$. Таким образом, по результатам экспериментов могут быть определены два из трех независимых пьезомодулей керамики титаната бария d_{31} и d_{33} .

3. Пьезоэлектрический приемник звука состоит из мембраны, на внутренней которой набирается столбик из тонких кристаллических пластинок. Между пластинками прокладываются электроды из тонкой металлической фольги (рис. 6.4). Какие из пластинок сегнетовой соли — 45° X-среза или 45° Y-среза — обладают большей чувствительностью в качестве приемников?

Решение.

Чувствительность приемника может быть определена как отношение электрического напряжения, возникшего под действием данного механического напряжения (давления звуковой волны), к величине этого механического напряжения, т. е. как V/t .

Звуковые колебания, воздействующие на пластинки сегнетовой соли, имеют частоты, значительно меньшие резонансных частот, поэтому в данном случае можно воспользоваться уравнением (6.10)

$$E_i = -g_{il}t_l,$$

которое для пластинки 45° X-среза запишется в виде

$$E_l = -g_l t_l$$

где t_l — механическое напряжение, действующее по направлению длины пластинки, проходящей под углом 45° к кристаллофизическим осям X_2 и X_3 (см. рис. 6.3); g_l — эффективный пьезоэлектрический коэффициент, ответственный за возбуждение пластинки 45° X-среза. Он может быть вычислен из соотношения $g_l = l_i l_j l_k g_{ijk}$, где g_{ijk} — пьезоэлектрические коэффициенты сегнетовой соли, а l_i — направляющие косинусы длины пластинки относительно кристаллофизических осей.

Величина напряженности электрического поля, возбужденного механическим напряжением t , равна

$$E_l = V/d = -g_l t_l = 31,5 \cdot 10^{-8} \cdot t_l \text{ ед. СГСЭ},$$

где t_l — давление в дин/см², d — толщина пластинки в см, V — электрическое напряжение, возникающее между рабочими гранями пластинки сегнетовой соли 45° X-среза в ед. СГСЭ. Отсюда

$$V = -dg_l t_l = dg_l t_l$$

В этом случае чувствительность приемника, определяемая отношением V/t_l , равна dg_l . Следовательно, чувствительность пропорциональна пьезоэлектрическому коэффициенту g_l . Если мембрана состоит из n последовательно соединенных пластин-приемников, то ее чувствительность будет в n раз больше.

Пьезоэлектрические коэффициенты g_l для 45° X- и 45° Y-срезов соответственно равны

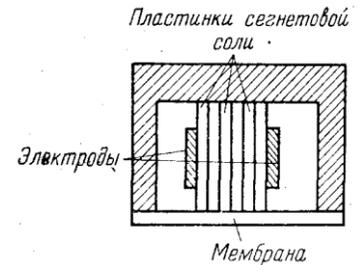


Рис. 6.4. Схема устройства пьезоэлектрического приемника звука.

$$g_l = 1/2g_{14} = 3,15 \cdot 10^{-7} \text{ ед. СГСЭ}, g_l = 1/2g_{25} = -9,5 \cdot 10^{-7} \text{ ед. СГСЭ},$$

откуда следует, что g_l для 45°Х-среза втрое меньше, чем для 45°У-среза. Поэтому пластинка 45°У-среза при том же давлении будет возбуждать электрическое напряжение в разомкнутой цепи примерно втрое большее, чем пластинка 45°Х-среза, а следовательно, чувствительность пластинок 45°У-среза втрое больше, чем чувствительность пластинок 45°Х-среза сегнетовой соли. Пластины 45°У-среза употребляются как в приемниках звука, так и в качестве датчиков гидростатических давлений.

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

Проблемная лекция, активизация творческой лекции, практические упражнения, лекция с использованием презентаций, подготовка доклада, проведение лабораторных работ в практикуме по «Физике пьезоэлектриков».

Перечень программного обеспечения:

1. Microsoft Office 365 pro plus
2. Microsoft Windows 10 Enterprize
3. Google Chrome

IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (или модулю)

Аудитория для проведения лекционных (А-219) и практических занятий (А-35) оборудованная мультимедийной и другой (кодоскоп и т.п.) показывающей техникой.

Лабораторный практикум с электроизмерительным оборудованием для изучения физических свойств пьезоэлектриков: установка по изучению пьезоэлектрического эффекта в сегнетоэлектриках, термостаты, мосты переменного тока, схема Соьера-Гауэра, осциллографы, кристаллодержатели, кристаллы ТГС, образцы пьезокерамики, схемы измерения температуры (термопара медь-константан, потенциометр).

IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Наименование специальных* помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения.
-------------------------------------	---	--

		Реквизиты подтверждающего документа
Кафедра общей физики. Лаборатория методики преподавания физики. Кабинет качества преподавания физики. №219 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	<p>1 Внешний жесткий диск Transcend 1 Gb</p> <p>2 Компьютер Kraftway Credo KC36Vista Business/E7400/2*10024Mb DDR800/T160G/DVDRW/500W/CARE3/Монитор 20'' LG W2043S-PFpf</p> <p>3 Камера Web Logitech – 3 шт.</p> <p>4 Коммутатор Linksys SD2008T-EU CISCO SB 8-портовый – 3 шт.</p> <p>5 Сумка Continent</p> <p>6 Принтер лазерный HP LJ 1100 C4224A</p> <p>7 МФУ XEROX PH 3100</p> <p>8 Сканер UMAX Astra 3450 600*1200dpi, 42bit встроенный слайд-проектор</p> <p>9 Ноутбук Dell Ispiron 1300 (1.7 GHz) 15.4WXGA. 512MB. 80GB</p> <p>10 Принтер лазерный CANON LBP-2900 A4.600*600</p> <p>11 Ксерокс 1215</p> <p>12 Мультимедийный проектор BenQ MP 624</p> <p>13 АРМС для исследования и демонстрации опытов по дифракции с ПЭВМ (монитор Samsung TFT 22)</p> <p>14 Интерактивная доска Smart Board 660</p> <p>15 Компьютер iRU Corp 510 – 6 шт.</p> <p>16 Стеллаж – 10 шт.</p> <p>17 Комплект компьютерных датчиков</p> <p>18 Универсальный измерительный прибор ADM2</p> <p>19 Демонстрационный набор по электричеству и магнетизму. Часть 1</p> <p>20 Демонстрационный набор по электричеству и магнетизму. Часть 2</p> <p>21 Демонстрационный набор по оптике</p> <p>22 Демонстрационный набор по механике</p> <p>23 Доска для проведения демонстрационных работ – 2 шт.</p> <p>24 Интерактивный комплект Oculus Development Kit 2</p> <p>25 Источник питания постоянного тока и напряжения большой мощности</p> <p>26 Комплект Monster Kit v 1.0</p> <p>27 ИБП</p>	<p>Google Chrome – бесплатно</p> <p>Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г.</p> <p>MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p> <p>Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>
Базовая учебная	<p>1 Монитор 15" TFT Proview</p> <p>2 Принтер-сканер-копир МФУ KYOCERA FS-1016MFP (A4. 16стр/мин</p>	<p>Google Chrome – бесплатно</p> <p>Kaspersky Endpoint</p>

<p>лаборатория общей физики. Лаборатория механики №230 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>3 Сист.блок HELiOS Profice VL310 In P2GHz.256Mb/40GB/CD-ROM 3.5. клавиатура,мышь оптическая (ПО Mic Win XP Prof ,Mc Off 200 4 Сист.блок HELiOS Profice VL310 In P2GHz.256Mb/40GB/CD-ROM 3.5. клавиатура,мышь оптическая (ПО Mic Win XP Prof ,Mc Off 200 5 Компьютер iRU Corp 510 I5-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21.5" 6 Лазерный принтер Samsung ML-3310d 7 Ноутбук DEll Ispiron 1300 (1.7 GHz) 15.4WXGA. 512MB. 80GB 8 Системный блок AMD Septron 64 2800/80Gb/256 Mb CD ROM 52/FDD 9 Огнетушитель</p>	<p>Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>
--	--	--

Помещения для самостоятельной работы:

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
<p>Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, практики, Компьютерный класс физико-технического факультета. Компьютерная лаборатория</p>	<p>1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт 2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2) Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь 3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-portr DGS-1016D 4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО 5. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО 6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3»</p>	<p>Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009 Google Chrome - бесплатно Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. Lazarus 1.4.0 - бесплатно Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав IC00000027 от 16.09.2011 MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012 Microsoft Express Studio 4 - бесплатно MiKTeX 2.9 - бесплатно</p>

робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	7. Комплект учебной мебели	MPICH 64-bit – бесплатно MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017
---	----------------------------	--

Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины (модуля)	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания, утвердившего изменения
1	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
2	Раздел IV	Скорректированы задания для промежуточной аттестации в соответствии с обновленным «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
3	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
4	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
5	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ № 6 от 15.01.2019 г.
6	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.
7	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о рейтинговой системе обучения в ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.

8	Раздел IX	Актуализированы данные на основе Справки МТО ООП	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021
9	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021