

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
"САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ"

Кафедра № 31

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель образовательной программы

Ст. преподаватель

(должность, уч. степень, звание)

А.В. Статкевич

(инициалы, фамилия)

(подпись)

«16» февраля 2026 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Основы сверхпроводимости»
(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки/ специальности	16.03.01
Наименование направления подготовки/ специальности	Техническая физика
Наименование направленности/ специализации	Физические методы контроля качества и диагностики
Форма обучения	очная
Год приема	2026

Санкт-Петербург– 2026

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

Ст. преп.

(должность, уч. степень, звание)

16.02.2026

(подпись, дата)

С.С. Тимофеев

(инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании кафедры № 31

«16» февраля 2026 г, протокол № 5

Заведующий кафедрой № 31

д.т.н., проф.

(уч. степень, звание)

16.02.2026

(подпись, дата)

В.Ф. Шишлаков

(инициалы, фамилия)

Заместитель директора института №3 по методической работе

доц., к.т.н.

(должность, уч. степень, звание)

16.02.2026

(подпись, дата)

Н.В. Решетникова

(инициалы, фамилия)

Аннотация

Дисциплина «Основы сверхпроводимости» входит в образовательную программу высшего образования – программу бакалавриата по направлению подготовки/специальности 16.03.01 «Техническая физика» направленности/специализации «Физические методы контроля качества и диагностики». Дисциплина реализуется кафедрой «№31».

Дисциплина не является обязательной при освоении обучающимся образовательной программы и направлена на углубленное формирование следующих компетенций:

ПК-1 «Способность применять эффективные методы исследования физико-технических объектов, процессов и материалов, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов и изделий с использованием современных аналитических средств технической физики»

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с физикой явлений в конденсированном состоянии при низких температурах, в частности — с квантовыми макроскопическими эффектами, проявляющимися в сверхпроводниках.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, самостоятельная работа обучающегося.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме дифференцированного зачета (4 семестр).

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа.

Язык обучения по дисциплине «русский»

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

1.1. Цели преподавания дисциплины

Освоение физических основ явлений сверхпроводимости, включая теорию БКШ, эффект Мейснера, квантование магнитного потока. Изучение свойств классических и высокотемпературных сверхпроводников, а также механизмов их применения в технике. Развитие навыков анализа и интерпретации экспериментальных данных, связанных с низкотемпературными и криогенными системами. Подготовка к использованию сверхпроводящих материалов и устройств в приборах контроля, диагностики и квантовых сенсорах.

1.2. Дисциплина является факультативной дисциплиной по направлению образовательной программы высшего образования (далее – ОП ВО).

1.3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями или их частями. Компетенции и индикаторы их достижения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Категория (группа) компетенции	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Профессиональные компетенции	ПК-1 Способность применять эффективные методы исследования физико-технических объектов, процессов и материалов, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов и изделий с использованием современных аналитических средств технической физики	ПК-1.3.1 знать методы исследования физико-технических объектов, процессов и материалов ПК-1.В.1 владеть навыками исследования физико-технических объектов и работы с ними

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина может базироваться на знаниях, ранее приобретенных обучающимися при изучении следующих дисциплин:

- «Теория физических полей»,
- «Физика»,
- «Инженерная и компьютерная графика».

3. Объем и трудоемкость дисциплины

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объем и трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего	Трудоемкость по семестрам
		№4
1	2	3
Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)	2/ 72	2/ 72
Из них часов практической подготовки	17	17
Аудиторные занятия, всего час.	34	34
в том числе:		
лекции (Л), (час)	17	17
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)	17	17
лабораторные работы (ЛР), (час)		
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)		
экзамен, (час)		
Самостоятельная работа, всего (час)	38	38
Вид промежуточной аттестации: зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.)	Дифф. зач.,	Дифф. зач.,

4. Содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий.

Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Разделы, темы дисциплины, их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекции (час)	ПЗ (СЗ) (час)	ЛР (час)	КП/КР (час)	СР (час)
Семестр 4					
Раздел 1. Введение в теорию сверхпроводимости Тема 1.1. История открытия: эксперимент Х. Камерлинг-Оннеса (1911), открытие ВТСП (Беднорц и Мюллер, 1986). Тема 1.2. Основные экспериментальные факты: нулевое сопротивление, эффект Мейснера. Тема 1.3. Критические параметры: температура T_c , магнитное поле H_c , ток J_c Тема 1.4. Сравнение сверхпроводника с идеальным проводником.	4				9
Раздел 2. Классическая электродинамика и термодинамика сверхпроводников Тема 2.1. Эффект Мейснера-Оксенфельда: полное вытеснение магнитного поля. Тема 2.2. Глубина проникновения магнитного поля λ . Тема 2.3. Теория Лондонов: уравнения Лондонов, кинетическая индуктивность. Тема 2.4. Двухжидкостная модель. Тема 2.5. Термодинамика перехода: свободная энергия, теплопроводность, теплоёмкость.	4	6			10

Раздел 3. Высокотемпературная сверхпроводимость (ВТСП) Тема 3.1. История открытия ВТСП: LaBaCuO , $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ («иттриевая керамика») Тема 3.2. Кристаллическая структура: слоистые купраты, медные октаэдры. Тема 3.3. Особенности физических свойств: анизотропия, короткая длина когерентности. Тема 3.4. Химическая сложность: катионная и анионная нестехиометрия. Тема 3.5. Методы синтеза ВТСП: твёрдофазные реакции, текстурирование лент.	4	3			10
Раздел 4. Применение сверхпроводников в технике и технологиях Тема 4.1. Сверхпроводящие магниты: ускорители (например, ЛHC), ЯМР-томографы. Тема 4.2. Энергетика: кабели, накопители энергии (SMES). Тема 4.3. Транспорт: магнитная левитация (маглев). Тема 4.4. Квантовые технологии: квантовые компьютеры на основе сверхпроводников.	5	8			9
Итого в семестре:	17	17			38
Итого	17	17	0	0	38

Практическая подготовка заключается в непосредственном выполнении обучающимися определенных трудовых функций, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий.

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание разделов и тем лекционного цикла

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
1	История открытия: эксперимент Х. Камерлинг-Оннеса (1911), открытие ВТСП (Беднорц и Мюллер, 1986). Основные экспериментальные факты: нулевое сопротивление, эффект Мейснера. Критические параметры: температура T_c , магнитное поле H_c , ток J_c . Сравнение сверхпроводника с идеальным проводником.
2	Эффект Мейснера-Оксенфельда: полное вытеснение магнитного поля. Глубина проникновения магнитного поля λ . Теория Лондонов: уравнения Лондонов, кинетическая индуктивность. Двухжидкостная модель. Термодинамика перехода: свободная энергия, теплопроводность, теплоёмкость.
3	История открытия ВТСП: LaBaCuO , $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ («иттриевая керамика»). Кристаллическая структура: слоистые купраты, медные октаэдры. Особенности физических свойств: анизотропия, короткая длина когерентности. Химическая сложность: катионная и анионная нестехиометрия. Методы синтеза ВТСП: твёрдофазные реакции, текстурирование лент.
4	Сверхпроводящие магниты: ускорители (например, ЛHC), ЯМР-томографы. Энергетика: кабели, накопители энергии (SMES). Транспорт: магнитная левитация (маглев). Квантовые технологии: квантовые компьютеры на основе сверхпроводников.

4.3. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Практические занятия и их трудоемкость

№ п/п	Темы практических занятий	Формы практических занятий	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Семестр 4					
1	Моделирование вольт-амперной характеристики Джозефсоновского контакта в Simulink	Расчетно-графическая работа	3	3	2
2	Создание модели СКВИДа на базе одного Джозефсоновского перехода	Расчетно-графическая работа	3	3	2
3	Исследование динамики куперовских пар в цепи с индуктивностью и ёмкостью (RCSJ-модель)	Расчетно-графическая работа	3	3	3
4	Моделирование квантового интерферометра (двухконтактный СКВИД) и его отклика на магнитный поток	Расчетно-графическая работа	4	4	4
5	Анализ перехода в сверхпроводящее состояние: численное моделирование уравнений Лондонов	Расчетно-графическая работа	4	4	4
Всего			17	17	

4.4. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
-------	---------------------------------	---------------------	---------------------------------------	----------------------

Учебным планом не предусмотрено				
Всего				

4.5. Выполнение курсового проекта/ курсовой работы
Учебным планом не предусмотрено

4.6. Самостоятельная работа обучающихся
Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 4, час
1	2	3
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	20	20
Курсовое проектирование (КП, КР)		
Расчетно-графические задания (РГЗ)		
Выполнение реферата (Р)		
Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)		
Домашнее задание (ДЗ)		
Контрольные работы заочников (КРЗ)		
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	18	18
Всего:	38	38

5. Перечень учебно-методического обеспечения
для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся указаны в п.п. разделов 6-11.

6. Перечень печатных и электронных учебных изданий
Перечень печатных и электронных учебных изданий приведен в таблице 8.
Таблица 8– Перечень печатных и электронных учебных изданий

Шифр/ URL адрес	Библиографическая ссылка	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
https://urait.ru/book/fizika-583634 <i>Режим доступа: для авторизованных пользователей.</i>	Кравченко, Н. Ю. Физика : учебник и практикум для вузов / Н. Ю. Кравченко. — Москва : Издательство Юрайт, 2026. — 322 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-19224-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт].	
https://urait.ru/book/lineynye-	Журомский, В. М. Линейные системы	

sistemy-avtomaticheskogo-upravleniya-chastotnye-metody-inzhenerno-fizicheskie-osnovy-565120 <i>Режим доступа: для авторизованных пользователей.</i>	автоматического управления. Частотные методы. Инженерно-физические основы : учебник для вузов / В. М. Журомский. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 154 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08524-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт].	
--	--	--

7. Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

URL адрес	Наименование
https://pro.guap.ru/	Материалы для выполнения лабораторных, практических и курсовых работ, варианты для их выполнения, а также электронный лекционный материал по дисциплине размещаются внутри ЭИОС ГУАП «Интегрированная среда обучения» в течение учебного семестра
https://lms.guap.ru	Тестирования для проведения контрольных работ, а также для проведения промежуточной аттестации размещаются в системе дистанционного обучения ГУАП в течение учебного семестра

8. Перечень информационных технологий

8.1. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10– Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
1	Электронная информационно-образовательная среда ГУАП «Интегрированная среда обучения» (https://pro.guap.ru/) разработана сотрудниками ГУАП (введена в эксплуатацию приказом ГУАП от 06.06.2017 № 05-215/17), перечень модулей и их функциональное назначение изложены по ссылке https://guap.ru/it/system/iso
2	Официальный сайт образовательной организации в сети «Интернет» (https://guap.ru/), разработан сотрудниками ГУАП (введен в эксплуатацию Приказом ГУАП от 23.03.2023 № 05-145/23)
3	MathWorks MATLAB (договор ГУАП, информация о лицензии представлена по ссылке https://guap.ru/it/system/iso/po)
4	LibreOffice 5 (Лицензия LGPLv3)

8.2. Перечень информационно-справочных систем,используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11– Перечень информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование
1	Образовательная платформа «Юрайт» (https://urait.ru/), доступ через личный кабинет читателя библиотеки ГУАП, а также по IP -адресам ГУАП
2	Электронный каталог библиотеки ГУАП с доступом к базе полнотекстовых изданий (https://lib.guap.ru), доступ через личный кабинет читателя библиотеки ГУАП

9. Материально-техническая база

Состав материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине, представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
1	Мультимедийная лекционная аудитория: Специализированная мебель; технические средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории; набор демонстрационного оборудования. Обеспечен доступ в электронную информационно-образовательную среду ГУАП по точке доступа Wi-Fi.	
2	Лаборатория компьютерного моделирования: – специализированная мебель; – технические средства обучения, служащие для представления учебной информации; панель интерактивная/телевизор; Лабораторное оборудование: ПЭВМ – «Место рабочее автоматизированное» – 13 шт. Обеспечен доступ в электронную информационно-образовательную среду ГУАП по локальной вычислительной сети.	21-12, 21-13 (ул. Большая Морская, д.67, лит. А)
3	Помещение для самостоятельной работы, Интернет-класс. Специализированная мебель, возможность подключения к сети «Интернет» и доступ в электронную информационно-образовательную среду организации. 10 ПК, Принтер лазерный HP LJ P4515n, Принтер HP LaserJet Enterprise 600 M602dn.	12-16 (ул. Большая Морская, д.67, лит. А)
4	Помещение для самостоятельной работы обучающихся - Читальный зал библиотеки ГУАП: специализированная мебель; персональные компьютеры – 10 шт., обеспечен доступ в электронную информационно-образовательную среду ГУАП по локальной вычислительной сети и точке доступа WiFi, а также к электронно-библиотечным системам, реферативной базе данных Scopus; копировальный аппарат Kyocera KM2035.	22-19 (ул. Большая Морская, д.67, лит. А)

10. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

10.1. Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Перечень оценочных средств
Дифференцированный зачёт	Тесты.

10.2. В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) компетенций обучающимися применяется 5-балльная шкала оценки сформированности компетенций, которая приведена в таблице 14. В течение семестра может использоваться 100-балльная шкала модульно-рейтинговой системы Университета, правила использования которой, установлены соответствующим локальным нормативным актом ГУАП.

Таблица 14 – Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Оценка компетенции	Характеристика сформированных компетенций
5-балльная шкала	
«отлично» «зачтено»	Обучающийся: – глубоко и всесторонне усвоил программный материал; – уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает; – опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно связывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления; – умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи; – делает выводы и обобщения; – свободно владеет системой специализированных понятий. – правильно выполнил от 90% до 100% тестовых заданий**.
«хорошо» «зачтено»	Обучающийся: – твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы; – не допускает существенных неточностей; – увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления; – аргументирует научные положения; – делает выводы и обобщения; – владеет системой специализированных понятий. – правильно выполнил от 70% до 89% тестовых заданий**.
«удовлетворительно» «зачтено»	– обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы; – допускает несущественные ошибки и неточности; – испытывает затруднения в практическом применении знаний направления; – слабо аргументирует научные положения; – затрудняется в формулировании выводов и обобщений; – частично владеет системой специализированных понятий. – правильно выполнил от 51% до 69% тестовых заданий**.
«неудовлетворительно» «не зачтено»	– обучающийся не усвоил значительной части программного материала; – допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении; – испытывает трудности в практическом применении знаний; – не может аргументировать научные положения; – не формулирует выводов и обобщений. – правильно выполнил менее 51% тестовых заданий**.

10.3. Типовые контрольные задания или иные материалы.

Вопросы (задачи) для экзамена представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена	Код индикатора
	Учебным планом не предусмотрено	

Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета представлены в таблице 16.
Таблица 16 – Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для зачета / дифф. зачета	Код индикатора
	Учебным планом не предусмотрено	

Перечень тем для выполнения курсового проекта/ курсовой работы представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень тем для выполнения курсового проекта / курсовой работы

№ п/п	Примерный перечень тем для выполнения курсового проекта/ курсовой работы
	Учебным планом не предусмотрено

Вопросы для проведения промежуточной аттестации в виде тестирования представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов	Код индикатора
1	<p>1 тип) Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора. Инструкция: Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа. Какое из приведённых утверждений наиболее точно описывает эффект Мейснера?</p> <p>Варианты ответов: А) Полное исчезновение электрического сопротивления при температуре ниже T_c. Б) Появление критического тока, при превышении которого сверхпроводимость разрушается. В) Полное вытеснение магнитного поля из объёма сверхпроводника при переходе в сверхпроводящее состояние. Г) Возникновение вихревой решётки в сверхпроводнике II рода при внешнем магнитном поле.</p> <p>Правильный ответ: В</p>	ПК-1.3.1
2	<p>2 тип) Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора. Инструкция: Прочитайте текст, выберите правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов. Какие из перечисленных характеристик являются критическими параметрами сверхпроводника? Выберите все верные утверждения. Варианты ответов: А) Критическая температура T_c Б) Критическое магнитное поле H_c или H_{c2} В) Критическая длина проводника</p>	ПК-1.3.1

	<p>Г) Критическая плотность тока J_c Д) Критическая частота тока Правильные ответы: А, Б, Г</p>											
3	<p>3 тип) Задание закрытого типа на установление соответствия. Инструкция: Прочитайте текст и установите соответствие. К каждой позиции, данной в левом столбце, выберите соответствующую позицию в правом столбце. Установите соответствие между физическим явлением и его описанием.</p> <table><thead><tr><th>Явление</th><th>Описание</th></tr></thead><tbody><tr><td>1) Эффект Джозефсона</td><td>А) Квантование магнитного потока в сверхпроводящем кольце</td></tr><tr><td>2) Эффект Мейснера</td><td>Б) Протекание сверхтока через тонкий диэлектрик между двумя сверхпроводниками</td></tr><tr><td>3) Квантование потока</td><td>В) Полное вытеснение магнитного поля из объёма сверхпроводника</td></tr><tr><td>4) Промежуточное состояние</td><td>Г) Чередование нормальных и сверхпроводящих слоёв в сверхпроводнике I рода при магнитном поле</td></tr></tbody></table> <p>Ответ: 1 — Б 2 — В 3 — А 4 — Г</p>	Явление	Описание	1) Эффект Джозефсона	А) Квантование магнитного потока в сверхпроводящем кольце	2) Эффект Мейснера	Б) Протекание сверхтока через тонкий диэлектрик между двумя сверхпроводниками	3) Квантование потока	В) Полное вытеснение магнитного поля из объёма сверхпроводника	4) Промежуточное состояние	Г) Чередование нормальных и сверхпроводящих слоёв в сверхпроводнике I рода при магнитном поле	ПК-1.3.1
Явление	Описание											
1) Эффект Джозефсона	А) Квантование магнитного потока в сверхпроводящем кольце											
2) Эффект Мейснера	Б) Протекание сверхтока через тонкий диэлектрик между двумя сверхпроводниками											
3) Квантование потока	В) Полное вытеснение магнитного поля из объёма сверхпроводника											
4) Промежуточное состояние	Г) Чередование нормальных и сверхпроводящих слоёв в сверхпроводнике I рода при магнитном поле											
4	<p>4 тип) Задание закрытого типа на установление последовательности. Инструкция: Прочитайте текст и установите последовательность. Запишите соответствующую последовательность букв слева направо. Установите правильную последовательность этапов эксперимента по измерению критической температуры ВТСП-образца резистивным методом.</p> <p>Этапы: А) Подключение образца к измерительной схеме с токовым возбуждением Б) Построение графика зависимости сопротивления от температуры В) Понижение температуры образца с помощью жидкого азота Г) Регистрация момента исчезновения сопротивления Д) Установка образца в криостат</p> <p>Правильная последовательность: А, Д, В, Г, Б</p>	ПК-1.3.1										
5	<p>5 тип) Задание открытого типа с развернутым ответом. Инструкция: Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. Объясните, почему сверхпроводники II рода более пригодны для создания мощных магнитов, чем сверхпроводники I рода. Приведите физические и технические аргументы. Развернутый ответ:</p>	ПК-1.3.1										

	<p>Сверхпроводники II рода предпочтительнее для создания мощных магнитов по нескольким причинам. Во-первых, они обладают высоким вторым критическим полем H_{c2}, которое может достигать десятков тесла, тогда как сверхпроводники I рода разрушаются при сравнительно небольших полях (обычно менее 0.1 Тл). Это позволяет использовать их в условиях сильных магнитных полей — например, в ускорителях частиц или МРТ-томографах.</p> <p>Во-вторых, сверхпроводники II рода способны находиться в смешанном состоянии, где магнитное поле проникает в виде квантованных вихрей Абрикосова. При этом материал сохраняет сверхпроводимость между вихрями, и ток может протекать без сопротивления. Благодаря пиннингу вихрей на дефектах решётки, достигается высокая критическая плотность тока J_c, что важно для передачи больших токов без потерь.</p> <p>Кроме того, многие сверхпроводники II рода (например, Nb_3Sn, $NbTi$) — это сплавы, обладающие хорошей механической прочностью и технологичностью при изготовлении проводов. В отличие от них, сверхпроводники I рода (например, чистый алюминий или ртуть) хрупки, труднообрабатываемы и не подходят для создания компактных и мощных магнитных систем.</p> <p>Таким образом, сочетание высоких критических полей, устойчивости к магнитному полю и возможности передачи больших токов делает сверхпроводники II рода незаменимыми в современных магнитных технологиях.</p>	
6	<p>1 тип) Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора.</p> <p>Инструкция: Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа.</p> <p>Какое из приведённых утверждений верно описывает поведение сверхпроводника II рода при увеличении внешнего магнитного поля от нуля до значений выше H_{c2}?</p> <p>Варианты ответов:</p> <p>А) Сверхпроводник сохраняет идеальную диамагнитность до H_c, затем резко переходит в нормальное состояние.</p> <p>Б) Магнитное поле постепенно проникает в материал с самого начала, но сопротивление остаётся нулевым.</p> <p>В) При достижении H_{c1} магнитное поле начинает проникать в виде квантованных вихрей, при этом сверхпроводимость сохраняется до H_{c2}.</p> <p>Г) Сверхпроводник полностью вытесняет поле до H_{c2}, после чего мгновенно теряет сверхпроводимость.</p> <p>Правильный ответ: В</p>	ПК-1.В.1
7	<p>2 тип) Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора.</p> <p>Инструкция: Прочитайте текст, выберите правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов.</p> <p>Какие из перечисленных устройств используют эффекты сверхпроводимости? Выберите все верные варианты.</p>	ПК-1.В.1

	<p>Варианты: А) СКВИД (сверхпроводящий квантовый интерферометр) Б) Транзистор В) МРТ-томограф Г) Джозефсоновский контакт Д) Лазер</p> <p>Правильные ответы: А, В, Г</p>											
8	<p>3 тип) Задание закрытого типа на установление соответствия. Инструкция: Прочитайте текст и установите соответствие. К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию в правом столбце.</p> <p>Установите соответствие между понятием и его определением.</p> <table><thead><tr><th>Понятие</th><th>Определение</th></tr></thead><tbody><tr><td>1) Глубина проникновения λ</td><td>А) Температура, при которой материал теряет сопротивление</td></tr><tr><td>2) Длина когерентности ξ</td><td>Б) Характерное расстояние, на котором изменяется плотность сверхпроводящего заряда</td></tr><tr><td>3) Критическая температура T_c</td><td>В) Характерный размер куперовской пары</td></tr><tr><td>4) Параметр Гинзбурга–Ландау κ</td><td>Г) Отношение λ/ξ, определяющее тип сверхпроводника</td></tr></tbody></table> <p>Ответ: 1 — Б 2 — В 3 — А 4 — Г</p>	Понятие	Определение	1) Глубина проникновения λ	А) Температура, при которой материал теряет сопротивление	2) Длина когерентности ξ	Б) Характерное расстояние, на котором изменяется плотность сверхпроводящего заряда	3) Критическая температура T_c	В) Характерный размер куперовской пары	4) Параметр Гинзбурга–Ландау κ	Г) Отношение λ/ξ , определяющее тип сверхпроводника	ПК-1.В.1
Понятие	Определение											
1) Глубина проникновения λ	А) Температура, при которой материал теряет сопротивление											
2) Длина когерентности ξ	Б) Характерное расстояние, на котором изменяется плотность сверхпроводящего заряда											
3) Критическая температура T_c	В) Характерный размер куперовской пары											
4) Параметр Гинзбурга–Ландау κ	Г) Отношение λ/ξ , определяющее тип сверхпроводника											
9	<p>4 тип) Задание закрытого типа на установление последовательности. Инструкция: Прочитайте текст и установите последовательность. Запишите соответствующую последовательность букв слева направо.</p> <p>Установите правильную последовательность этапов перехода металла в сверхпроводящее состояние при охлаждении в магнитном поле.</p> <p>Этапы: А) Наблюдение эффекта Мейснера — вытеснение магнитного поля Б) Охлаждение образца ниже T_c В) Приложение слабого магнитного поля Г) Исчезновение электрического сопротивления Д) Установка металлического образца в измерительную систему</p>	ПК-1.В.1										

	Правильная последовательность: Д, В, Б, Г, А	
10	<p>5 тип) Задание открытого типа с развернутым ответом.</p> <p>Инструкция: Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ.</p> <p>Объясните, почему сверхпроводимость считается макроскопическим квантовым явлением. Приведите не менее трёх аргументов.</p> <p>Пример развернутого ответа:</p> <p>Сверхпроводимость относится к макроскопическим квантовым явлениям, потому что:</p> <p>Единая волновая функция: всё множество куперовских пар описывается единой когерентной волновой функцией, фаза которой определена во всём объёме образца. Это аналогично когерентности в лазере, но в макроскопическом масштабе.</p> <p>Квантование магнитного потока: в сверхпроводящем кольце магнитный поток квантуется с шагом $\Phi_0 = 2eh$. Это — прямое следствие квантовой природы носителей заряда (пары электронов).</p> <p>Джозефсоновские эффекты: ток через тонкий диэлектрик зависит от разности фаз волновых функций по разные стороны барьера. Это — чисто квантовое туннелирование, проявляющееся в макроскопических токах и напряжениях.</p> <p>Макроскопическая когерентность: куперовские пары “действуют как одно целое” на расстояниях до миллиметров — это гораздо больше, чем размеры отдельных атомов, но когерентность сохраняется.</p> <p>Таким образом, сверхпроводимость — не просто отсутствие сопротивления, а макроскопическое проявление квантовой механики, что делает её уникальной и ценной для фундаментальной физики и квантовых технологий.</p>	ПК-1.В.1

Система оценивания тестовых заданий:

1 тип) Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора считается верным, если правильно указана цифра и приведены конкретные аргументы, используемые при выборе ответа. Полное совпадение с верным ответом оценивается 1 баллом, неверный ответ или его отсутствие – 0 баллов.

2 тип) Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора считается верным, если правильно указаны цифры и приведены конкретные аргументы, используемые при выборе ответов. Полное совпадение с верным ответом оценивается 1 баллом, если допущены ошибки или ответ отсутствует – 0 баллов.

3 тип) Задание закрытого типа на установление соответствия считается верным, если установлены все соответствия (позиции из одного столбца верно сопоставлены с позициями другого столбца). Полное совпадение с верным ответом оценивается 1 баллом, неверный ответ или его отсутствие – 0 баллов

4 тип) Задание закрытого типа на установление последовательности считается верным, если правильно указана вся последовательность цифр. Полное совпадение с верным ответом оценивается 1 баллом, если допущены ошибки или ответ отсутствует – 0 баллов.

5 тип) Задание открытого типа с развернутым ответом считается верным, если ответ совпадает с эталонным по содержанию и полноте. Правильный ответ за задание оценивается в 3 балла, если допущена одна ошибка \ неточность \ ответ правильный, но не полный – 1 балл, если допущено более 1 ошибки \ ответ неправильный \ ответ отсутствует – 0 баллов.

Перечень тем контрольных работ по дисциплине обучающихся заочной формы обучения, представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень контрольных работ

№ п/п	Перечень контрольных работ
	Не предусмотрено

10.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в локальных нормативных актах ГУАП, регламентирующих порядок и процедуру проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ГУАП.

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

11.1. Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала.

Основное назначение лекционного материала – логически стройное, системное, глубокое и ясное изложение учебного материала. Назначение современной лекции в рамках дисциплины не в том, чтобы получить всю информацию по теме, а в освоении фундаментальных проблем дисциплины, методов научного познания, новейших достижений научной мысли. В учебном процессе лекция выполняет методологическую, организационную и информационную функции. Лекция раскрывает понятийный аппарат конкретной области знания, её проблемы, дает цельное представление о дисциплине, показывает взаимосвязь с другими дисциплинами.

Планируемые результаты при освоении обучающимися лекционного материала:

- получение современных, целостных, взаимосвязанных знаний, уровень которых определяется целевой установкой к каждой конкретной теме;
- получение опыта творческой работы совместно с преподавателем;
- развитие профессионально-деловых качеств, любви к предмету и самостоятельного творческого мышления.
- появление необходимого интереса, необходимого для самостоятельной работы;
- получение знаний о современном уровне развития науки и техники и о прогнозе их развития на ближайшие годы;
- научиться методически обрабатывать материал (выделять главные мысли и положения, приходить к конкретным выводам, повторять их в различных формулировках);
- получение точного понимания всех необходимых терминов и понятий.

Лекционный материал может сопровождаться демонстрацией слайдов и использованием раздаточного материала при проведении коротких дискуссий об особенностях применения отдельных тематик по дисциплине.

Структура предоставления лекционного материала:

- постановка задачи;
- основные сведения по теме лекции;
- результаты и выводы.

11.2. Методические указания для обучающихся по участию в семинарах
Учебным планом не предусмотрено

11.3. Методические указания для обучающихся по прохождению практических занятий

Практическое занятие является одной из основных форм организации учебного процесса, заключающаяся в выполнении обучающимися под руководством преподавателя комплекса учебных заданий с целью усвоения научно-теоретических основ учебной дисциплины, приобретения умений и навыков, опыта творческой деятельности.

Целью практического занятия для обучающегося является привитие обучающимся умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Планируемые результаты при освоении обучающимся практических занятий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Требования к проведению практических занятий

Методические указания и требования к проведению практических занятий приведены в следующих источниках:

Журомский, В. М. Линейные системы автоматического управления. Частотные методы. Инженерно-физические основы : учебник для вузов / В. М. Журомский. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 154 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08524-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт].

11.4. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ
Учебным планом не предусмотрено

11.5. Методические указания для обучающихся по выполнению курсового проекта/курсовой работы
Учебным планом не предусмотрено

11.6. Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы

В ходе выполнения самостоятельной работы, обучающийся выполняет работу по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

В процессе выполнения самостоятельной работы у обучающегося формируется целесообразное планирование рабочего времени, которое позволяет ему развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, помогает получить навыки повышения профессионального уровня.

Основными методическими материалами, направляющими самостоятельную работу обучающихся, являются источники из перечня печатных и электронных учебных

изданий, указанных в таблице 8. Кроме этого, обучающийся может пользоваться электронными ресурсами, указанными в таблицах 9 и 11.

11.7. Методические указания для обучающихся по прохождению текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль успеваемости предусматривает контроль качества знаний обучающихся, осуществляемого в течение семестра с целью оценивания хода освоения дисциплины.

Текущий контроль успеваемости (ТКУ) осуществляется путем проведения двух контрольных работ в семестре, а также путем оценки выполнения лабораторных работ.

В случае невыполнения условий ТКУ обучающийся при прохождении промежуточной аттестации не может получить оценку выше, чем «удовлетворительно».

11.8. Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине. Она включает в себя:

- дифференцированный зачет – это форма оценки знаний, полученных обучающимся при изучении дисциплины, при выполнении курсовых проектов, курсовых работ, научно-исследовательских работ и прохождении практик с аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Промежуточная аттестация проводится в формате тестирования в системе дистанционного обучения ГУАП lms.guap.ru в компьютерном классе ГУАП, оснащенном соответствующим оборудованием и программным обеспечением. Тестирование содержит 20 случайных вопросов, время выполнения тестирования – 15 минут. В случае сдачи всех лабораторных и практических работ в семестре на положительную оценку применяется шкала оценивания тестирования согласно критериям оценки уровня сформированности компетенций (табл. 14). В случае, если не выполнены практические работы в семестре, на дифференцированном зачете студент не может получить оценку выше, чем «удовлетворительно».

Лист внесения изменений в рабочую программу дисциплины

Дата внесения изменений и дополнений. Подпись внесшего изменения	Содержание изменений и дополнений	Дата и № протокола заседания кафедры	Подпись зав. кафедрой