

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Специальная теория относительности

---

Уровень высшего образования

Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность

03.03.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы

Радиофизика и электроника

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.03 Специальная теория относительности относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен осваивать принципы работы и методы эксплуатации современной и перспективной радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры	ПК-1.1: Применяет теоретические основы создания и принципы функционирования радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры ПК-1.2: Осваивает новые технологии радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры, используя специальную, научную и учебную литературу	ПК-1.1: Знать современные образовательные и информационные технологии, чтобы самостоятельно приобретать новые знания об основных принципах и возможностях применения уравнений (законов) электродинамики, релятивистской кинематики и механики движущихся тел для решения конкретных задач в области радиофизики и радиоэлектроники. Уметь самостоятельно приобретать новые знания об основных принципах и уравнениях (законах) электродинамики, релятивистской кинематики и механики движущихся тел, используя современные образовательные и информационные технологии, а также критически анализируя наблюдаемые эффекты и результаты физических экспериментов в области радиофизики и радиоэлектроники. Владеть современными образовательными и информационными технологиями и правильно использовать общенаучную и специальную терминологию,	Задания Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы Задания Задачи

		<p>касающуюся основных принципов и уравнений (законов) электродинамики, релятивистской кинематики и механики движущихся тел, чтобы самостоятельно приобретать новые знания для корректной интерпретации наблюдаемых эффектов и результатов физических экспериментов в области радиофизики и радиоэлектроники.</p> <p>ПК-1.2:</p> <p>Знать современные образовательные и информационные технологии, чтобы самостоятельно приобретать новые знания об основных принципах и возможностях применения уравнений (законов) электродинамики, релятивистской кинематики и механики движущихся тел для решения конкретных задач в области радиофизики и радиоэлектроники.</p> <p>Уметь самостоятельно приобретать новые знания об основных принципах и уравнениях (законах) электродинамики, релятивистской кинематики и механики движущихся тел, используя современные образовательные и информационные технологии, а также критически анализируя наблюдаемые эффекты и результаты физических экспериментов в области радиофизики и радиоэлектроники.</p> <p>Владеть современными образовательными и информационными технологиями и правильно использовать общенаучную и специальную терминологию, касающуюся основных принципов и уравнений (законов) электродинамики,</p>		
--	--	---	--	--

		<p>релятивистской кинематики и механики движущихся тел, чтобы самостоятельно приобретать новые знания для корректной интерпретации наблюдаемых эффектов и результатов физических экспериментов в области радиофизики и радиоэлектроники.</p>		
<p>ПК-2: Способен осваивать и применять современные и перспективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики</p>	<p>ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации. в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики</p>	<p>ПК-2.1:</p> <p>Знает новейшие методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p> <p>Умеет применять базовые знания для освоения новейших методов проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p> <p>Имеет практический опыт освоения новейших методов проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p> <p>Знает новейшие методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p> <p>Умеет применять новейшие методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p> <p>Имеет практический опыт освоения и применения новейших методов теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p>	<p>Задания</p> <p>Собеседование</p>	<p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Задания</p> <p>Задачи</p>

		<p><b>ПК-2.2:</b>  Знает новейшие методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p> <p>Умеет применять базовые знания для освоения новейших методов проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p> <p>Имеет практический опыт освоения новейших методов проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p> <p>Знает новейшие методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p> <p>Умеет применять новейшие методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p> <p>Имеет практический опыт освоения и применения новейших методов теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p> <p><b>ПК-2.3:</b>  Знает новейшие методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p> <p>Умеет применять базовые знания для освоения новейших методов проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p>		
--	--	---	--	--

		<p>исследований в области радиофизики.</p> <p>Имеет практический опыт освоения новейших методов проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p> <p>Знает новейшие методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p> <p>Умеет применять новейшие методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p> <p>Имеет практический опыт освоения и применения новейших методов теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p>		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
самостоятельная работа	39
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>Зачёт</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	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 (практические занятия/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Тема 1. Введение	4	2		2	2
Тема 2. Кинематика СТО	9	4		4	5
Тема 3. Релятивистская механика	9	4		4	5
Тема 4. Ковариантная форма уравнений электродинамики в вакууме	7	3		3	4
Тема 5. Ковариантная запись силовых и энергетических соотношений в электродинамике	9	4		4	5
Тема 6. Движение заряженных частиц в магнитном поле.	9	4		4	5
Тема 7. Поля, создаваемые движущимися зарядами.	11	5		5	6
Тема 8. Электромагнитная масса электрона и её использование в классической электронной теории	5	2		2	3
Тема 9. Электродинамика движущихся сред	8	4		4	4
Аттестация	0				
КСР	1				1
Итого	72	32	0	33	39

### Содержание разделов и тем дисциплины

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

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

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Еженедельно текст каждой прочитанной лекции вместе с соответствующими контрольными вопросами из списка и типовыми задачами рассылается старостам академических групп для стимулирования самостоятельной внеаудиторной работы студентов, а также формирования компетенций ПК-1 и ПК-2.

## **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

Задание 1. Объяснить содержание понятия **принцип относительности Галилея**.

Задание 2.

Привести формулировки **постулатов Эйнштейна** и объяснить их содержания.

Задание 3. Объяснить содержание понятия **интервал** между мировыми координатами двух событий в ИСО.

Задание 4. Объяснить содержание понятия **инвариантность интервала**. Задание 5. Объяснить содержание понятия **преобразований Лоренца**.

Задание 6. Объяснить содержания понятий **световой конус** и **мировые линии** в 4-мерном пространстве.

Задание 7. Объяснить содержание понятия **относительность одновременности двух событий**.

Задание 8. Объяснить содержание понятия **лоренцево сокращение длины движущегося масштаба**.

Задание 9. Объяснить содержание **закона сложения скоростей**.

Задание 10. Объяснить физическое содержание и привести формулы для расчёта **эффекта Доплера** в вакууме.

Задание 11. Привести формулы для **импульса и энергии свободной материальной частицы**. Задание 12. Записать уравнение движения релятивистской частицы в 3-мерном пространстве. Задание 13. Объяснить содержание понятий **4-скорость и 4-импульс свободной материальной частицы**.

Задание 14. Записать формулы и объяснить содержание **закона преобразования полей**. Задание 15. Записать **4-вектор плотности силы Лоренца** и установить его связь с **тензором электромагнитного поля**.

Задание 16. Написать формулу для **импульса заряженной частицы** в заданном **электромагнитном поле** и объяснить содержание её элементов.

Задание 17. Привести формулу для **энергии заряженной частицы** в заданном **электромагнитном поле**.

Задание 18. Записать уравнение движения заряженной частицы в заданном **электромагнитном поле**.

Задание 19. Объяснить содержание понятия **макроскопическая плотность тока**. Задание 20. Объяснить содержание понятия **макроскопическая плотность заряда**.

Задание 21. Записать макроскопические уравнения электродинамики в 3-мерном пространстве. Задание 22. Записать **тензор возбуждения электромагнитного поля**.

Задание 23. Записать **ковариантную форму уравнений электродинамики в среде** с участием **тензор возбуждения электромагнитного поля** и **тензора электромагнитного поля**.

Задание 24. Записать формулы и объяснить содержание понятия **преобразование поляризаций среды**.

Задание 25. Записать формулы и объяснить содержание понятия **преобразование полей и индукций электромагнитного поля**.

Задание 26. Объяснить содержание **материальных уравнений**

**Минковского**. Задание 27. Граничные условия для полей в движущемся диэлектрике.

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

Задание 1. Объяснить содержание понятия **инерциальная система отсчёта (ИСО)**.

Задание 2. Записать уравнения Максвелла в вакууме в канонической форме с участием 4- потенциала и 4-плотности тока.

Задание 3. Привести два **условия ковариантности** уравнений Максвелла в

**ИСО**. Задание 4. Объяснить содержание понятия **собственное время объекта**.

Задание 5. Объяснить содержание **закона сложения скоростей**.

Задание 6. Объяснить содержания понятий **инвариантность фазы плоской волны и 4-вектор волнового числа**.

Задание 7. Объяснить физическое содержание и привести формулы для расчёта **эффекта Доплера** в вакууме.

Задание 8. Объяснить содержания понятий **действие и функция Лагранжа свободной материальной частицы в ИСО**.

Задание 9. Записать уравнение движения релятивистской частицы в ковариантной форме и ввести понятие **4-силы Минковского**.

Задание 10. Записать **тензор электромагнитного поля** и ковариантную форму уравнений электродинамики в вакууме.

Задание 11. Записать формулы и объяснить содержание **закона преобразования полей**. Задание 12. Записать формулы и объяснить содержание понятия **инварианты тензора электромагнитного поля**.

Задание 13. Записать **4-вектор плотности силы Лоренца** и установить его связь с **тензором электромагнитного поля**.

Задание 14. Записать **4-вектор плотности силы Лоренца** и установить его связь с **электромагнитным тензором энергии-импульса**.

Задание 15. Записать **закон сохранения энергии в электродинамике** и установить его связь с **электромагнитным тензором энергии-импульса**.

Задание 16. Записать **закон сохранения импульса в электродинамике** и установить его связь с **электромагнитным тензором энергии-импульса**.

Задание 17. Объяснить содержания понятий **действие и функция Лагранжа заряженной частицы в заданном электромагнитном поле**.

Задание 18. Написать формулу для **импульса заряженной частицы** в заданном **электромагнитном поле** и объяснить содержание её элементов

Задание 19. Привести формулу для **энергии заряженной частицы** в заданном **электромагнитном поле**.

Задание 20. Записать уравнение движения заряженной частицы в заданном электромагнитном поле.

Задание 21. Записать **потенциалы Льенара-Вихерта** неравномерно движущегося электрона. Задание 22. Записать **диаграмму направленности** и **формулу Лармора** для

полной мощности излучения заряда, движущегося на малой скорости.

Задание 23. Сравнить основные характеристики (диаграммы направленности и полные мощности) **тормозного излучения** и излучения заряда, движущегося на малой

скорости. Задание 24. Сравнить основные характеристики (диаграммы направленности и полные мощности) **синхротронного** (магнитотормозного) **излучения** и излучения заряда, движущегося на малой скорости.

Задание 25. Объяснить физическую природу **излучения Вавилова-Черенкова**.

Задание 26. Объяснить содержание **теории электромагнитной массы** и формулы для **радиуса электрона**.

Задание 27. Объяснить содержание понятия **сила реакции излучения** и записать **уравнение Абрагама-Лоренца**.

Задание 28. Объяснить содержание понятия **макроскопическая плотность тока**.

Задание 29. Объяснить содержание понятия **макроскопическая плотность заряда**.

Задание 30. Записать макроскопические уравнения электродинамики в 3-мерном пространстве.

Задание 31. Записать **тензор электрической и магнитной поляризации**.

Задание 32. Записать **тензор возбуждения электромагнитного поля**.

Задание 33. Записать **ковариантную форму уравнений электродинамики в среде** с участием **тензор возбуждения электромагнитного поля** и **тензора электромагнитного поля**.

Задание 34. Записать формулы и объяснить содержание понятия **преобразование поляризаций среды**.

Задание 35. Записать формулы и объяснить содержание понятия **преобразование полей и индукций электромагнитного поля**.

Задание 36. Объяснить физическое содержание понятия **инвариантность фазы** плоской волны и привести формулы для расчёта **эффекта Доплера** в движущейся среде.

**Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Отличная, хорошая или удовлетворительная подготовка. Студент на удовлетворительно или лучше отвечает на вопросы программы–минимум и основные вопросы билета, а также на большинство дополнительных вопросов
не зачтено	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий, допускает значительные ошибки при ответах на большинство дополнительных вопросов. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания

### 5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Принцип относительности Галилея
2. Формулировки и содержания постулатов Эйнштейна
3. Интервал между мировыми координатами двух событий в ИСО
4. Содержание понятия инвариантность интервала
5. Содержание понятия преобразования Лоренца
6. Световой конус и мировые линии в 4-мерном пространстве

7. Содержание понятия относительность одновременности двух событий
8. Содержание закона сложения скоростей
9. Физическое содержание и аналитическое описание эффекта Допплера
10. Импульс и энергия свободной материальной частицы
11. Уравнение движения релятивистской частицы в 3-мерном пространстве
12. 4-скорость и 4-импульс свободной материальной частицы
13. Форма и содержание закона преобразования полей
14. 4-вектор плотности силы Лоренца и его связь с тензором электромагнитного поля
15. Импульс заряженной частицы в заданном электромагнитном поле
16. Энергия заряженной частицы в заданном электромагнитном поле
17. Уравнение движения заряженной частицы в заданном электромагнитном поле
18. Макроскопическая плотность тока
19. Макроскопическая плотность заряда
20. Макроскопические уравнения электродинамики в 3-мерном пространстве
21. Тензор электрической и магнитной поляризации
22. Ковариантная форма макроскопических уравнений электродинамики
23. Преобразование поляризаций среды
24. Преобразование полей и индукций электромагнитного поля
25. Материальные уравнения Минковского
26. Граничные условия для полей в движущемся диэлектрике

#### **5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

1. Понятие инерциальной системы отсчёта (ИСО)
2. . Каноническая форма уравнений Максвелла в вакууме: 4-потенциал и 4-плотность тока в 4-пространстве
3. Условия ковариантности уравнений Максвелла в ИСО
4. Понятие собственного времени объекта

5. Содержание закона сложения скоростей
6. Содержание понятий инвариантность фазы плоской волны и 4-вектор волнового числа
7. Физическое содержание и аналитическое описание эффекта Доплера
8. Действие и функция Лагранжа свободной материальной частицы в ИСО
9. Ковариантная форма уравнения движения частицы в ИСО и 4-сила Минковского
10. Тензор электромагнитного поля и ковариантная форма уравнений электродинамики в вакууме
11. Форма и содержание закона преобразования полей
12. Инварианты тензора электромагнитного поля
13. 4-вектор плотности силы Лоренца и его связь с тензором электромагнитного поля
14. 4-вектор плотности силы Лоренца и его связь с электромагнитным тензором энергии- импульса
15. . Закон сохранения энергии в электродинамике
16. Закон сохранения импульса в электродинамике
17. Действие и функция Лагранжа заряженной частицы в заданном электромагнитном поле
18. Импульс заряженной частицы в заданном электромагнитном поле
19. Энергия заряженной частицы в заданном электромагнитном поле
20. Уравнение движения заряженной частицы в заданном электромагнитном поле
21. Потенциалы Лье́на-Вихерта неравномерно движущегося электрона
22. Излучение неравномерно движущегося на малой скорости заряда (формула Лармора)
23. Тормозное излучение заряда
24. Синхротронное (магнитотормозное) излучение заряда
25. Излучение Вавилова-Черенкова
26. Гипотезы теории электромагнитной массы и радиус электрона
27. Сила реакции излучения и уравнение Абрагама-Лоренца
28. Макроскопическая плотность тока
29. Макроскопическая плотность заряда
30. Макроскопические уравнения электродинамики в 3-мерном пространстве

31. Тензор электрической и магнитной поляризации
32. Тензор возбуждения электромагнитного поля
33. Ковариантная форма макроскопических уравнений электродинамики
34. Преобразование поляризаций среды
35. Преобразование полей и индукций электромагнитного поля
36. Инвариантность фазы плоской волны и эффект Доплера в движущейся среде
37. Понятие инерциальной системы отсчёта (ИСО)
38. Содержание понятий инвариантность фазы плоской волны и 4-вектор волнового числа
39. Тормозное излучение заряда
40. Синхротронное (магнитотормозное) излучение заряда
41. Излучение Вавилова-Черенкова

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Отличная, хорошая или удовлетворительная подготовка. Студент на удовлетворительно или лучше отвечает на вопросы программы–минимум и основные вопросы билета, а также на большинство дополнительных вопросов
не зачтено	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий, допускает значительные ошибки при ответах на большинство дополнительных вопросов. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания

#### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

##### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического	Уровень знаний ниже минимальных	Минимально допустимы	Уровень знаний в объеме,	Уровень знаний в объеме,	Уровень знаний в объеме,	Уровень знаний в объеме,

	материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	требований. Имели место грубые ошибки	й уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	соответству ющем программе подготовки . Допущено несколько негрубых ошибок	соответству ющем программе подготовки . Допущено несколько несуществе нных ошибок	соответств ующем программе подготовк и. Ошибок нет.	превышающе м программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»

<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### **5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1**

1. Понятие инерциальной системы отсчёта (ИСО).
2. Принцип относительности Галилея .
3. Формулировки и содержания постулатов Эйнштейна.
4. Интервал между мировыми координатами двух событий в ИСО.
5. Содержание понятия инвариантность интервала.
6. Содержание понятия преобразования Лоренца.
7. Световой конус и мировые линии в 4-мерном пространстве .
8. Понятие относительность одновременности двух событий.
9. Содержание понятия лоренцево сокращение длины движущегося масштаба.
10. Содержание понятий инвариантность фазы плоской волны и 4-вектор волнового числа.
11. Физическое содержание и аналитическое описание эффекта Доплера.
12. Импульс и энергия свободной материальной частицы.
13. Уравнение движения релятивистской частицы в 3-мерном пространстве.
14. 4-скорость и 4-импульс свободной материальной частицы.
15. Форма и содержание закона преобразования полей.
16. Энергия заряженной частицы в заданном электромагнитном поле.
17. Уравнение движения заряженной частицы в заданном электромагнитном поле.
18. Излучение Вавилова-Черенкова.
19. Макроскопическая плотность тока.

20. Макроскопическая плотность заряда.
21. Макроскопические уравнения электродинамики в 3-мерном пространстве.
22. Преобразование поляризаций среды.
23. Материальные уравнения Минковского.
24. Граничные условия для полей в движущемся диэлектрике.

### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2**

1. Каноническая форма уравнений Максвелла в вакууме: 4-потенциал и 4-плотность тока в 4-пространстве.
2. Условия ковариантности уравнений Максвелла в ИСО.
3. Понятие собственного времени объекта.
4. Содержание закона сложения скоростей.
5. Действие и функция Лагранжа свободной материальной частицы в ИСО.
6. Ковариантная форма уравнения движения частицы в ИСО и 4-сила Минковского.
7. Тензор электромагнитного поля и ковариантная форма уравнений электродинамики в вакууме.
8. Инварианты тензора электромагнитного поля.
9. 4-вектор плотности силы Лоренца и его связь с тензором электромагнитного поля.
10. 4-вектор плотности силы Лоренца и его связь с электромагнитным тензором энергии-импульса.
11. Закон сохранения энергии в электродинамике.
12. Закон сохранения импульса в электродинамике.
13. Действие и функция Лагранжа заряженной частицы в заданном электромагнитном поле.
14. Импульс заряженной частицы в заданном электромагнитном поле.
15. Потенциалы Лиенара-Вихерта неравномерно движущегося электрона.
16. Излучение неравномерно движущегося на малой скорости заряда (формула Лармора).
17. Тормозное излучение заряда.
18. Синхротронное (магнитотормозное) излучение заряда.
19. Гипотезы теории электромагнитной массы и радиус электрона.

20. Сила реакции излучения и уравнение Абрагама-Лоренца.
21. Тензор электрической и магнитной поляризации.
22. Тензор возбуждения электромагнитного поля.
23. Ковариантная форма макроскопических уравнений электродинамики.
24. Преобразование полей и индукций электромагнитного поля.
25. Инвариантность фазы плоской волны и эффект Допплера в движущейся среде.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Отличная, хорошая или удовлетворительная подготовка. Студент на удовлетворительно или лучше отвечает на вопросы программы–минимум и основные вопросы билета, а также на большинство дополнительных вопросов
не зачтено	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий, допускает значительные ошибки при ответах на большинство дополнительных вопросов. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания

### 5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Задание 1. Объяснить содержание понятия принцип относительности Галилея. Задание 2. Привести формулировки постулатов Эйнштейна и объяснить их содержания.

Задание 3. Объяснить содержание понятия интервал между мировыми координатами двух событий в ИСО.

Задание 4. Объяснить содержание понятия инвариантность интервала. Задание 5. Объяснить содержание понятия преобразования Лоренца.

Задание 6. Объяснить содержания понятий световой конус и мировые линии в 4-мерном пространстве.

Задание 7. Объяснить содержание понятия относительность одновременности двух событий. Задание 8. Объяснить содержание понятия лоренцево сокращение длины движущегося масштаба.

Задание 9. Объяснить содержание закона сложения скоростей.

Задание 10. Объяснить физическое содержание и привести формулы для расчёта эффекта Допплера в вакууме.

Задание 11. Привести формулы для импульса и энергии свободной материальной частицы. Задание 12. Записать уравнение движения релятивистской частицы в 3-мерном пространстве. Задание 13. Объяснить содержание понятий 4-скорость и 4-импульс свободной материальной частицы.

Задание 14. Записать формулы и объяснить содержание закона преобразования полей. Задание 15. Записать 4-вектор плотности силы Лоренца и установить его связь с тензором электромагнитного поля.

Задание 16. Записать формулу для импульса заряженной частицы в заданном электромагнитном поле.

Задание 16. Написать формулу для импульса заряженной частицы в заданном электромагнитном поле и объяснить содержание её элементов.

Задание 17. Привести формулу для энергии заряженной частицы в заданном электромагнитном поле.

Задание 18. Записать уравнение движения заряженной частицы в заданном электромагнитном поле.

Задание 19. Объяснить содержание понятия макроскопическая плотность тока. Задание 20. Объяснить содержание понятия макроскопическая плотность заряда.

Задание 21. Записать макроскопические уравнения электродинамики в 3-мерном пространстве. Задание 22. Записать тензор возбуждения электромагнитного поля.

Задание 23. Записать ковариантную форму уравнений электродинамики в среде с участием тензор возбуждения электромагнитного поля и тензора электромагнитного поля.

Задание 24. Записать формулы и объяснить содержание понятия преобразование поляризаций среды.

Задание 25. Записать формулы и объяснить содержание понятия преобразование полей и индукций электромагнитного поля.

Задание 26. Объяснить содержание материальных уравнений Минковского. Задание 27. Граничные условия для полей в движущемся диэлектрике.

### **5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2**

Задание 1. Объяснить содержание понятия инерциальная система отсчёта (ИСО). Задание 2. Записать уравнения Максвелла в вакууме в канонической форме с участием 4- потенциала и 4-плотности тока.

Задание 3. Привести два условия ковариантности уравнений Максвелла в ИСО. Задание 4. Объяснить содержание понятия собственное время объекта.

Задание 5. Объяснить содержание закона сложения скоростей.

Задание 6. Объяснить содержания понятий инвариантность фазы плоской волны и 4-вектор волнового числа.

Задание 7. Объяснить физическое содержание и привести формулы для расчёта эффекта Доплера в вакууме.

Задание 8. Объяснить содержания понятий действие и функция Лагранжа свободной материальной частицы в ИСО.

Задание 9. Записать уравнение движения релятивистской частицы в ковариантной форме и ввести понятие 4-силы Минковского.

Задание 10. Записать тензор электромагнитного поля и ковариантную форму уравнений электродинамики в вакууме.

Задание 11. Записать формулы и объяснить содержание закона преобразования полей. Задание 12. Записать формулы и объяснить содержание понятия инварианты тензора электромагнитного поля.

Задание 13. Записать 4-вектор плотности силы Лоренца и установить его связь с тензором электромагнитного поля.

Задание 14. Записать 4-вектор плотности силы Лоренца и установить его связь с электромагнитным тензором энергии-импульса.

Задание 15. Записать закон сохранения энергии в электродинамике и установить его связь с электромагнитным тензором энергии-импульса.

Задание 16. Записать закон сохранения импульса в электродинамике и установить его связь с электромагнитным тензором энергии-импульса.

Задание 17. Объяснить содержания понятий действие и функция Лагранжа заряженной частицы в заданном электромагнитном поле.

Задание 18. Написать формулу для импульса заряженной частицы в заданном электромагнитном поле и объяснить содержание её элементов

Задание 19. Привести формулу для энергии заряженной частицы в заданном электромагнитном поле.

Задание 20. Записать уравнение движения заряженной частицы в заданном электромагнитном поле.

Задание 21. Записать потенциалы Лиенара-Вихерта неравномерно движущегося электрона. Задание 22. Записать диаграмму направленности и формулу Лармора для полной мощности излучения заряда, движущегося на малой скорости.

Задание 23. Сравнить основные характеристики (диаграммы направленности и полные мощности) тормозного излучения и излучения заряда, движущегося на малой скорости. Задание 24. Сравнить основные характеристики (диаграммы направленности и полные мощности) синхротронного (магнитотормозного) излучения и излучения заряда, движущегося на малой скорости.

Задание 25. Объяснить физическую природу излучения Вавилова-Черенкова.

Задание 26. Объяснить содержание теории электромагнитной массы и формулы для радиуса электрона.

Задание 27. Объяснить содержание понятия сила реакции излучения и записать уравнение Абрагама-Лоренца.

Задание 28. Объяснить содержание понятия макроскопическая плотность тока. Задание 29. Объяснить содержание понятия макроскопическая плотность заряда.

Задание 30. Записать макроскопические уравнения электродинамики в 3-мерном пространстве. Задание 31. Записать тензор электрической и магнитной поляризации.

Задание 32. Записать тензор возбуждения электромагнитного поля.

Задание 33. Записать ковариантную форму уравнений электродинамики в среде с участием тензор возбуждения электромагнитного поля и тензора электромагнитного поля.

Задание 34. Записать формулы и объяснить содержание понятия преобразование поляризаций среды.

Задание 35. Записать формулы и объяснить содержание понятия преобразование полей и индукций электромагнитного поля.

Задание 36. Объяснить физическое содержание понятия инвариантность фазы плоской волны и привести формулы для расчёта эффекта Допплера в движущейся среде.

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Отличная, хорошая или удовлетворительная подготовка. Студент на удовлетворительно или лучше отвечает на вопросы программы–минимум и основные вопросы билета, а также на большинство дополнительных вопросов
не зачтено	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий, допускает значительные ошибки при ответах на большинство дополнительных вопросов. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания

#### **5.3.5 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1**

**Задача 1.** Пусть система  $S'$  движется относительно системы  $S$  со скоростью  $V$  вдоль оси  $z$ . Часы, покоящиеся в  $S'$  в точке  $(x'_0, y'_0, z'_0)$ , в момент  $t'_0$  проходят мимо точки  $(x_0, y_0, z_0)$  в системе  $S$ , где находятся часы, показывающие в этот момент время  $t_0$ . Написать формулы преобразования Лоренца для этого случая. **Б. № 543**

**Задача 2.** Пусть для измерения времени используется периодический процесс отражения светового “зайчика” попеременно от двух зеркал, укрепленных на концах стержня длиной  $l$ . Один период – это время движения “зайчика” от одного зеркала до другого и обратно. Световые часы неподвижны в системе  $S'$  и ориентированы параллельно направлению движения. Показать, что интервал собственного времени  $d\tau$  выражается через промежуток времени  $dt$  в системе  $S$  формулой  $d\tau = dt\sqrt{1 - V^2/c^2}$ . **Б. № 547**.....

**Задача 3.** Доказать формулу  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{\sqrt{1 - v'^2/c^2} \cdot \sqrt{1 - V^2/c^2}}{1 + (\vec{v}' \cdot \vec{V})/c^2}$ , в которой  $\vec{v}$  и  $\vec{v}'$  – скорости частицы в системах  $S$  и  $S'$ ,  $\vec{V} = V\vec{z}_0$  – скорость  $S'$  относительно  $S$ . **Б. № 556**

**Задача 4.** Длина волны света, излучаемого некоторым источником в той системе, в которой источник покоится, равна  $\lambda_0$ . Какую длину волны  $\lambda$  зарегистрируют:  
а) наблюдатель, приближающийся со скоростью  $V$  к источнику, и  
б) наблюдатель, удаляющийся с такой же скоростью от источника? **Б. № 576**

**Задача 5.** Монохроматичный свет частоты  $\omega_0$  падает нормально к поверхности плоского зеркала, движущегося равномерно со скоростью  $\vec{v}$  в направлении распространения падающего света. Определить частоту отражённого света. **В. 4.34**

**Задача 6.** Масса покоя частицы  $m$ . Выразить скорость  $v$  частицы через: 1) полную энергию  $W$ , 2) кинетическую энергию  $T$  и 3) импульс  $p$ . **В. 4.46**

**Задача 7.**  $\pi_0$ -мезон с массой покоя  $m$ , движущийся со скоростью  $v$ , распадается на два одинаковых  $\gamma$ -кванта. Определить угол разлета  $\gamma$ -квантов. **В.4.51**

**Задача 8.** Найти скорость  $v$  частицы с массой  $m$  и зарядом  $e$ , прошедшей разность потенциалов  $V$  (начальная скорость равна нулю). **Б. №625а**

**Задача 9.** Найти пробег  $l$  релятивистской заряженной частицы с зарядом  $e$ , массой  $m$  и начальной энергией  $W$  в тормозящем однородном электрическом поле  $\vec{E}$ , параллельном скорости частицы. **Б. № 694**

**Задача 10.** Определить движение релятивистской заряженной частицы  $(m, q)$  в однородном постоянном магнитном поле  $(\vec{B})$ . **В. 4.38**

### 5.3.6 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2

**Задача 1.** Найти частоту  $\omega$  световой волны, наблюдаемую при поперечном эффекте Доплера (направление распространения света перпендикулярно направлению движения источника в системе, связанной с приемником света). Каково направление распространения рассматриваемой волны в системе, связанной с источником?

**Б. № 575**

**Задача 2.** На плоское зеркало падает свет под углом  $\alpha$ . Зеркало движется равномерно со скоростью  $\vec{v}$  в направлении нормали к его поверхности в сторону распространения падающего света. Определить угол отражения.

**В. 4.35**

**Задача 3.** Неподвижный  $\pi$ -мезон распадается на  $\mu$ -мезон и нейтрино ( $m=0$ ). Зная массы  $\pi$ - и  $\mu$ -мезонов, вычислить кинетическую энергию  $\pi$ -мезона.

**В.4.47**

**Задача 4.** Возбужденное атомное ядро переходит в основное состояние путем испускания  $\gamma$ -кванта. Масса ядра в основном состоянии  $m$ . Энергия возбуждения  $\Delta W$ . Определить частоту  $\gamma$ -кванта.

**В.4.53**

**Задача 5.** Частица с массой  $m_{10}$  и скоростью  $v$  сталкивается с покоящейся частицей массы  $m_{20}$  и поглощается ею. Найти массу  $m_0$  и скорость  $V$  образовавшейся частицы.

**Б. № 642**

**Задача 6.** Определить движение релятивистской заряженной частицы  $(m, q)$  в однородном постоянном электрическом поле. Начальная скорость частицы равна нулю.

**В. 4.37**

**Задача 7.** Длину стержня, движущегося вдоль своей оси в некоторой системе отсчета, можно находить таким образом: измерять промежутки времени, в течение которого стержень проходит

14

мимо фиксированной точки этой системы, и умножать его на скорость стержня. Показать, что при таком методе измерения получается обычное Лоренцево сокращение длины отрезка.

**Б. № 545**

**Задача 8.** Два масштаба, каждый из которых имеет длину покоя  $l_0$ , равномерно движутся навстречу друг другу параллельно общей оси  $x$ . Наблюдатель, связанный с одним из них, заметил, что между совпадениями левых и правых концов масштабов прошло время  $\Delta t$ . Какова относительная скорость масштабов?

**Б. № 551a**

**Задача 9.** Два масштаба, каждый из которых имеет в своей системе покоя длину  $l_0$ , движутся навстречу друг другу с равными скоростями  $v$  относительно некоторой системы отсчета. Какова длина  $l$  каждого из масштабов, измеренная в системе отсчета, связанной с другим масштабом?

**Б. № 559**

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Отличная, хорошая или удовлетворительная подготовка. Студент на удовлетворительно или лучше отвечает на вопросы программы–минимум и основные вопросы билета, а также на большинство дополнительных вопросов
не зачтено	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий, допускает значительные ошибки при ответах на большинство дополнительных вопросов. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### Основная литература:

1. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов : в 10 т. Т. 2. Теория поля. - М. : Наука, 1988. - 512 с. - ISBN 5-02-014420-7 (т. 2). - ISBN 5-02-013850-9 : 1.40., 403 экз.
2. Джексон Джон. Классическая электродинамика / пер. с англ. Г. В. Воскресенского и Л. С. Соловьева ; под ред. Э. Л. Бурштейна. - М. : Мир, 1965. - 702 с. : черт. - 2.95., 23 экз.
3. Пановский В. Классическая электродинамика / пер. с англ. В. П. Быкова ; под ред. С. П. Капицы. - М. : Физматгиз, 1963. - 432 с. : черт. - 1.49., 4 экз.
4. Терлецкий Яков Петрович. Электродинамика : [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов]. - М. : Высшая школа, 1980. - 335 с. : ил. - 0.95., 13 экз.
5. Угаров Владимир Александрович. Специальная теория относительности : учеб. пособие для физ.-мат. фак. пед. ин-тов / В. А. Угаров ; Моск. гос. заоч. пед. ин-т. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1977. - 383 с. : ил. - 1.80., 3 экз.
6. Методические материалы по определению процедур оценивания сформированности компетенций : учебно-методическое пособие / О. В. Болховская, А. А. Горбунов, Е. З. Грибова [и др.] ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2017. - 26 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=823045&idb=0>.
7. Векштейн Ефим Гершович. Сборник задач по электродинамике : [пособие для вузов]. - М. : Высшая школа, 1966. - 287 с. : с черт. - 0.46., 96 экз.
8. Батыгин Владимир Владимирович. Сборник задач по электродинамике : учеб. пособие для вузов / под ред. М. М. Бредова. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1970. - 503 с. - 50.00., 179 экз.
9. Батыгин Владимир Владимирович. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности : учеб. пособие. - Изд. 4-е, перераб. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. - 480 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-0921-1 : 728.20., 40 экз.

### Дополнительная литература:

1. Зоммерфельд А. Электродинамика : пер. с нем. / под ред. С. А. Элькинда. - М. : Изд-во иностр. лит., 1958. - 502 с. : черт. - 19.00., 3 экз.
2. Тоннела Мари-Антуанетт. Основы электромагнетизма и теории относительности / пер. с фр. Г. А. Зайцева. - М. : Изд-во иностр. лит., 1962. - 483 с. : черт. - 1.85., 1 экз.
3. Новаку В. Введение в электродинамику / пер. с рум. Н. М. Остиану. - М. : Изд-во иностр. лит., 1963. - 303 с. : черт. - 1.26., 1 экз.
4. Бредов Михаил Михайлович. Классическая электродинамика : учеб. пособие / под ред. И. Н. Топтыгина. - СПб. [и др.] : Лань, 2003. - 400 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 5-8114-0511-1 : 176.00., 2 экз.
5. Фейнман Ричард П. Фейнмановские лекции по физике = The Feynman Lectures on Physics. Вып. 2. Пространство. Время. Движение / [пер. с англ. А. В. Ефремова и др. ; под ред. Я. А. Смородинского]. - М. : Мир, 1965. - 167 с. - 1.60., 10 экз.
6. Фейнман Ричард П. Фейнмановские лекции по физике = The Feynman Lectures on Physics : [пер. с англ.]. [Вып.] 6. Электродинамика. - М. : Мир, 1966. - 343 с. : ил. - 1.50., 24 экз.
7. Меллер Кристиан. Теория относительности / пер. с англ. В. Г. Кречета, В. Г. Лапачинского ; под

ред. Д. Иваненко. - 2-е изд. - М. : Атомиздат, 1975. - 400 с. : черт. - 3.54., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

-

#### **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Миловский Николай Дмитриевич, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Бакунов Михаил Иванович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 г., протокол № 09/23.