

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

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол от

«14» декабря 2021 г. № 4

Рабочая программа дисциплины

Специальная теория относительности

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

Бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.03.03 Радиофизика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Фундаментальная радиофизика

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

Бакалавр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

Очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

20__

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «**Специальная теория относительности**» принадлежит к вариативной части профессионального цикла образовательной программы бакалавров на радиофизическом факультете ННГУ по направлению подготовки **03.03.03 «Радиофизика»**. В соответствии с концепцией программы академического бакалавра по профилю «**Фундаментальная радиофизика**» дисциплина «**Специальная теория относительности**» обязательна для освоения в **6 семестре** образовательного профессионального цикла основной образовательной программы (ООП) высшего профессионального образования (ВПО).

Изучение дисциплины «**Специальная теория относительности**» базируется на знаниях и умениях, которые обучающиеся должны иметь в результате освоения содержания дисциплин математического и общезначимого циклов, включая курсы «Математического анализа», «Аналитической геометрии», «Кратных рядов и интегралов», «Дифференциальных и интегральных уравнений», «Линейной алгебры», «Векторного и тензорного анализа», «Механики», «Молекулярной физики», «Электричества и магнетизма», «Колебаний и волн, оптики», «Атомной и ядерной физики», а также «Теоретической механики» и «Электродинамики» из базовой части профессионального цикла.

Целью освоения дисциплины «Специальная теория относительности» является приобретение знаний совокупности основных физических принципов, закономерностей и методов исследования, которые, образуя фундаменты современных теорий релятивистской электродинамики и релятивистской механики движущихся объектов, представляют собой базовую часть университетского образования в важнейшей области теоретической физики «Теория поля».

Освоение дисциплины «**Специальная теория относительности**» является необходимым базовым образованием для изучения в 7-ом и 8-ом семестрах дисциплин «Физика волновых процессов», «Физическая электроника», «Квантовая радиофизика», «Методы радиофизических измерений» из базовой части ООП ВПО.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения Образовательной Программы (компетенциями выпускников)

Таблица 1

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-2 – способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные	31. 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. У1. Уметь самостоятельно приобретать новые знания об основных

образовательные и информационные технологии	<p>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>В1. Владеть современными образовательными и информационными технологиями и правильно использовать общенаучную и специальную терминологию, 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>
ПК-1 – способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования	<p>З1. Знать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования, чтобы самостоятельно решать вопросы о возможностях их применения для решения конкретных экспериментальных задач в таких областях радиофизики и радиоэлектроники, которые тесно связаны с электродинамикой и релятивистскими потоками заряженных частиц.</p> <p>У1. Уметь понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования, чтобы самостоятельно решать вопросы о возможностях их применения для решения конкретных экспериментальных электродинамических задач взаимодействия электромагнитного излучения с релятивистскими потоками заряженных частиц.</p>

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Общая трудоёмкость дисциплины «Специальная теория относительности» составляет **2** зачетные единицы или всего **72** академических часа, из которых **33** часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (**32** часа лекций и **1** час мероприятий промежуточной аттестации) и **39** часов отводится на самостоятельную работу студента.

3.2. Содержание дисциплины

Таблица 2

Наименование и краткое содержание	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				
		самост	ител	ная	работ	буча
						цего
						час

разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)				Занятия лекционного типа			Занятия семинарского типа			Занятия лабораторного типа			Всего					
	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное
Введение.				2									2			2		
Кинематика СТО				4									4			5		
Релятивистская механика.				4									4			5		
Ковариантная форма уравнений электродинамики в вакууме				3									3			4		
Ковариантная запись силовых и энергетических соотношений в электродинамике				4									4			5		
Движение заряженных частиц в магнитном поле.				4									4			5		
Поля, создаваемые движущимися зарядами.				5									5			6		
Электромагнитная масса электрона и её использование				2									2			3		

в классической электронной теории																		
Электродинамика движущихся сред.				4								4			4			
В т.ч. текущий контроль				1								1						
Промежуточная аттестация - Зачет																		

3.2.2. Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Введение

Однородность пространства и времени. Инерциальные системы отсчёта (ИСО). Принцип относительности Галилея в механике и электродинамике. Экспериментальные основы СТО. Постулаты Эйнштейна. Ковариантность уравнений физики в ИСО.

Раздел 2. Кинематика СТО

Каноническая форма уравнений Максвелла в вакууме: 4-потенциал \vec{A} и 4-плотность тока \vec{J} в 4-мерном пространстве. Два условия ковариантности (сохранения формы) уравнений Максвелла во всех ИСО. Интервал между двумя событиями. Преобразования проекций интервала при вращении 4-мерной системы координат – преобразования Лоренца. Инвариантность интервала. Световой конус и мировые линии в 4-пространстве. Относительность понятия одновременности двух событий. Собственное время объекта. Лоренцево сокращение длины движущегося масштаба. Закон сложения скоростей. Эффект Доплера.

Раздел 3. Релятивистская механика

Интеграл действия, функция Лагранжа, импульс и энергия свободной частицы. Уравнение движения релятивистской частицы в трехмерном пространстве. Четырехвекторы скорости и импульса. Ковариантная форма уравнения движения материальной точки. 4-сила Минковского. Примеры расчетов в динамике релятивистских частиц, устанавливающих связи компонентов 4-векторов в двух разных ИСО.

Раздел 4. Ковариантная форма уравнений электродинамики в вакууме

Тензор электромагнитного поля. Ковариантные формы уравнений Максвелла для полей \vec{B} и \vec{E} . Закон преобразования полей. Инварианты тензора электромагнитного поля.

Раздел 5. Ковариантная запись силовых и энергетических соотношений в электродинамике

Четырехвектор плотности силы Лоренца. Электромагнитный тензор энергии-импульса. Законы сохранения энергии и импульса.

Раздел 6. Движение заряженных частиц в электромагнитном поле

Интеграл действия, функция Лагранжа, импульс, энергия и уравнение движения заряженной частицы в заданном электромагнитном поле. Движение заряда в однородных статических полях (постоянном электрическом и постоянном магнитном полях). Дрейф частиц в неоднородном магнитном поле. Адиабатические инварианты.

Раздел 7. Поля, создаваемые движущимися зарядами

Поле равномерно движущегося электрона. Потенциалы Лиенара-Вихерта и поля неравномерно движущегося электрона. Поле излучения и излучаемая мощность ускоренно движущегося электрона. Дипольное приближение. Тормозное и синхротронное излучения. Излучение Вавилова-Черенкова.

Раздел 8. Электромагнитная масса электрона и её использование в классической электронной теории

Гипотезы теории электромагнитной массы электрона. Критика содержания и полезные приложения теории. Реакция излучения и уравнение движения электрона Абрагама-Лоренца. Примеры расчетов излучения электрона с учётом радиационного торможения: затухание собственных колебаний и сечение рассеяния связанного электрона.

Раздел 9. Электродинамика движущихся сред

Усреднение микрополей, зарядов и токов по малым физическим объёмам. Макроскопические уравнения электродинамики. Тензор электрической и магнитной поляризации. Тензор возбуждения электромагнитного поля. Преобразования полей и векторов поляризации. Материальные уравнения Минковского. Граничные условия на движущихся поверхностях. Эффект Доплера в движущейся среде.

3.3. Список вопросов для контроля текущей успеваемости

Написать необходимые выражения и объяснить содержание следующих **понятий**:

1. Понятие **инерциальной системы отсчёта (ИСО)**.
2. Принцип относительности Галилея.
3. Формулировки и содержания **постулатов Эйнштейна**.
4. Каноническая форма уравнений Максвелла в вакууме: 4-потенциал и 4-плотность тока в 4-пространстве.
5. Условия ковариантности уравнений Максвелла в ИСО.
6. **Интервал** между мировыми координатами двух событий в ИСО.
7. Содержание понятия **инвариантность интервала**.
8. Содержание понятия **преобразования Лоренца**.
9. **Световой конус** и **мировые линии** в 4-мерном пространстве.
10. Понятие **относительность одновременности двух событий**.
11. Понятие **собственного времени объекта**.

12. Содержание понятия **лоренцево сокращение длины движущегося масштаба**.
13. Содержание **закона сложения скоростей**.
14. Содержание понятий **инвариантность фазы плоской волны и 4-вектор волнового числа**.
15. Физическое содержание и аналитическое описание **эффекта Доплера**.
16. **Действие и функция Лагранжа свободной материальной частицы в ИСО**.
17. **Импульс и энергия свободной материальной частицы**.
18. Уравнение движения релятивистской частицы в 3-мерном пространстве.
19. **4-скорость и 4-импульс свободной материальной частицы**.
20. Ковариантная форма уравнения движения частицы в ИСО и **4-сила Минковского**.
21. **Тензор электромагнитного поля** и ковариантная форма уравнений электродинамики в вакууме.
22. Форма и содержание **закона преобразования полей**.
23. **Инварианты** тензора электромагнитного поля.
24. 4-вектор плотности силы Лоренца и его связь с **тензором электромагнитного поля**.
25. 4-вектор плотности силы Лоренца и его связь с **электромагнитным тензором энергии-импульса**.
26. Закон сохранения энергии в электродинамике.
27. Закон сохранения импульса в электродинамике.
28. Действие и **функция Лагранжа заряженной частицы в заданном электромагнитном поле**.
29. **Импульс заряженной частицы в заданном электромагнитном поле**.
30. **Энергия заряженной частицы в заданном электромагнитном поле**.
31. Уравнение движения заряженной частицы в заданном электромагнитном поле.
32. **Потенциалы Льенара-Вихерта** неравномерно движущегося электрона.
33. Излучение неравномерно движущегося на малой скорости заряда (**формула Лармора**).
34. Тормозное излучение заряда.
35. Синхротронное (магнитотормозное) излучение заряда.
36. Излучение Вавилова-Черенкова.
37. Гипотезы теории электромагнитной массы и **радиус электрона**.
38. **Сила реакции излучения и уравнение Абрагама-Лоренца**.
39. Макроскопическая плотность тока.
40. Макроскопическая плотность заряда.
41. Макроскопические уравнения электродинамики в 3-мерном пространстве.
42. Тензор электрической и магнитной поляризации.
43. Тензор возбуждения электромагнитного поля.
44. Ковариантная форма макроскопических уравнений электродинамики.
45. Преобразование поляризаций среды.
46. Преобразование полей и индукций электромагнитного поля.
47. Материальные уравнения Минковского.
48. Граничные условия в движущемся диэлектрике.
49. **Инвариантность фазы плоской волны и эффект Доплера в движущейся среде**.

4. Образовательные технологии

1. Еженедельно **текст** каждой прочитанной лекции вместе с соответствующими контрольными вопросами из списка **3.3** и типовыми задачами рассылается старостам академических групп для стимулирования самостоятельной внеаудиторной работы студентов, а также формирования компетенций **ПК-1** (способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности), **ПК-2** (способность самостоятельно приобретать новые

знания, используя современные образовательные и информационные технологии) и **ПК-1** (способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования).

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

1. Еженедельный контроль посещаемости аудиторных занятий.
2. Как оценочный способ контроля самостоятельной работы студентов и одновременно разновидность интерактивного обучения используется форма групповой консультации по отдельным разделам дисциплины в виде ответов на вопросы через посредство электронной почты старосты академической группы.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Дисциплина «Специальная теория относительности» вносит долевого вклада в *формирование компетенций* **ПК–1** и **ПК-2** выпускников Основной Образовательной Программы, *которое* предусмотрено в рамках утверждённого рабочего учебного плана для бакалавров на 20__-20__ учебный год по направлению подготовки **03.03.03 «Радиофизика**. Содержание компетенций **ПК–1, ПК–2** с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, представлено в разделе **2** настоящей РПД.

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведено в **Приложении 1**, которое является неотъемлемой частью РПД

6.2. Для оценки результатов обучения применяется в соответствии с учебным планом подготовки бакалавров традиционная форма аттестации **зачёт** с системой оценивания **Зачтено** и **Не зачтено**. Критерии оценок представлены в **таблице 3**.

Таблица 3

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.

6.3. Для оценивания результатов обучения в виде *знаний* и *умений* используется **индивидуальное собеседование** по двум вопросам билета, в каждом из которых студенту предлагается изложить часть одного из разделов **содержания дисциплины 3.2.2.**

Для оценивания итогов обучения в виде *умений* и *владений* используются практические контрольные задания в виде краткой формулировки действий, которые следует выполнить для получения решения предложенной задачи, или описания ожидаемого результата решения предлагаемой задачи. Описание **показателей и критериев оценивания компетенций** на различных этапах их формирования приведено в **Приложении 1**, которое является неотъемлемой частью **РПД.**

6.4. Контрольные задания для оценки результатов обучения и для итогового контроля сформированности компетенции задаются во время **индивидуального собеседования на зачёте** по дисциплине. Типовые контрольные задания представляют собой большой набор возможных вопросов, связанных с наличием (или отсутствием) некоторых ограничений и пределов применимости, а также изменением условий существования (осуществления) того или иного эффекта (или решения определённой задачи) в излагаемой студентом части одного из разделов **содержания дисциплины.**

6.5. Методическими материалами, определяющими процедуры оценивания сформированности компетенций, являются некоторые разделы Федеральных Государственных Образовательных Стандартов и приказов Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по вопросам высшего профессионального образования в России. Используются также **методические материалы для определения процедур оценивания сформированности компетенций**, которые изложены в работах [6-7] списка основной литературы.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Рекомендуемая литература

а) основная литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.. Теория поля. М.: Наука, 1988, 512 с.
2. Джексон Дж. Классическая электродинамика. М.: Мир, 1965, 702 с.
3. Пановский В., Филипс М.. Классическая электродинамика. М.: Физматгиз, 1963, 432 с.
4. Терлецкий Я.П., Рыбаков Ю.П. Электродинамика. М.: Высшая школа, 1980, 335 с.
5. Угаров В.А.. Специальная теория относительности. М.: Наука, 1977, 583 с.
6. Петрова И.Э., Орлов А.В. Оценка сформированности компетенций. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: ННГУ, 2016. 48 с.
7. Методические материалы по определению процедур оценивания сформированности компетенции/. Составители: Болховская О.В., Горбунов А.А., Грибова Е.З. и др. Учебно-методическое пособие. Н. Новгород: ННГУ, 20__ [Электронный ресурс]. URL: http://www.unn.ru/books/met_files/met_mat_Mil.pdf. Рег. номер 1496.17.04 (дата обращения 29.05.20__).
8. Сердюцкий, Виталий Андреевич, Макроскопическая электродинамика : учебное пособие / В. А. Сердюцкий; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во ТПУ, 2008. — 249 с.: ил.. — Библиогр.: с. 241.. — ISBN 5-98298-342-X.

б) дополнительная литература:

1. Зоммерфельд А. Электродинамика. М.: ИЛ, 1958, 502 с.
2. Тоннела М.-А. Основы электромагнетизма и теории относительности. М.: ИЛ, 1962, 483 с.
3. Новаку В. Введение в электродинамику. М.: ИЛ, 1963,с.
4. Бредов М.М., Румянцев В.В., Топтыгин И.Н. Классическая электродинамика. М.: Наука, 2003, 400 с.
5. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып.2. Пространство, время, движение. М.: Мир, 1965, 168 с. Вып.6. Электродинамика. М.: Мир, 1966, 259 с.
6. Меллер К. Теория относительности. М.: Атомиздат, 1975, 400 с.

Сборники задач

1. Векштейн Е.Г. Сборник задач по электродинамике. М.: Высшая школа, 1966, 287 с.
2. Батыгин В.В., Топтыгин И.Н. Сборник задач по электродинамике. М., Наука, 1970, 503 с.
3. Батыгин В.В., Топтыгин И.Н. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности. СПб.: Лань, 2010, 474 с.

в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Имеются Интернет-ресурсы по всем разделам дисциплины.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудиторный фонд ННГУ.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки **03.03.03 «Радиофизика»**, квалификация **бакалавр**.

Автор **Программы**

Миловский Н.Д.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей физики протокол № 1.

Заведующий кафедрой, профессор

Бакунов М.И.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «9» декабря 2021 года, протокол № 07/21