

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

**Высшая школа общей и прикладной физики**

(факультет)

УТВЕРЖДАЮ:

Декан ВШОПФ \_\_\_\_\_ Е.Д. Господчиков

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**Специальная теория относительности**

Уровень высшего образования

бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.02 Физика

Направленность образовательной программы

профиль: Фундаментальная физика

Квалификация (степень)

бакалавр

Форма обучения

очная

Нижегород

2018

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Специальная теория относительности» относится к вариативной части Блока 1 «Дисциплины, модули» ОПОП. Дисциплина является обязательной для освоения в шестом семестрах третьего года обучения в бакалавриате.

**Целями освоения дисциплины являются:**

- формирование у студентов современного представления об основах теории относительности, а также о ее месте в классической механике, квантовой механике и электродинамике;
- освоение студентами основных уравнений специальной теории относительности и используемого в этой теории математического аппарата на примерах расчетов простейших систем;
- формирование у студентов общепрофессиональных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 «Физика».

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

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<b>ПК-1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (этап освоения – базовый)	<i>З1 (ПК-1) Знать</i> обобщение принципа относительности на быстрые движения тел; основные законы релятивистской кинематики и динамики материальной точки и системы частиц; основные эффекты специальной теории относительности; формулировку основных законов электродинамики (включая уравнения Максвелла) в ковариантной форме; основы теории излучения электромагнитных волн релятивистскими заряженными частицами. <i>У1 (ПК-1) Уметь</i> пользоваться законами специальной теории относительности для расчета движения релятивистских частиц, а также расчета электромагнитных полей (в том числе полей излучения). <i>В1 (ПК-1) Владеть</i> навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.

## 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 49 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия лекционного типа, 32 часа занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия), 1 час мероприятия промежуточной аттестации), 23 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

## Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,  форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе					Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					
		из них					
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего		
<b>Тема 1.</b> Основные принципы специальной теории относительности.	9	2	4		6	3	
<b>Тема 2.</b> Релятивистская кинематика.	9	2	4		6	3	
<b>Тема 3.</b> Пространство Минковского.	9	2	4		6	3	
<b>Тема 4.</b> Релятивистская динамика.	9	2	4		6	3	
<b>Тема 5.</b> Релятивистская формулировка уравнений электродинамики.	9	2	4		6	3	
<b>Тема 6.</b> Движение релятивистской частицы в электромагнитном поле.	9	2	4		6	3	
<b>Тема 7.</b> Излучение заряженных частиц.	9	2	4		6	3	
<b>Тема 8.</b> Электродинамика движущихся сред.	8	2	4		6	2	
в т.ч.текущий контроль			4				
Промежуточная аттестация – Зачет					1		

Текущий контроль успеваемости осуществляется в виде решений и последующей проверки домашних контрольных работ, а также в рамках занятий практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на зачете.

### **4. Образовательные технологии**

При изучении дисциплины используются современные образовательные технологии. Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению практических задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) по дисциплине проходит в форме лекций и практических занятий, а также в виде коллективных и индивидуальных консультаций. На занятиях лекционного типа используются мультиме-

дийные средства поддержки образовательного процесса, часть занятий проводятся в виде лекций с проблемным изложением материала. На занятиях практического типа разбираются решения задач различной степени сложности, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних контрольных работ и теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. Кроме того, студенты имеют возможность принимать участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций, проводимых в Федеральном исследовательском центре Институт прикладной физики Российской академии наук.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине является, в ходе которого оценивается уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

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

Самостоятельная работа студента – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – формирование у студентов способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, решение домашних контрольных работ с последующей проверкой навыков решения задач.

Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных студентам на самостоятельную работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится в период сессии при подготовке к экзамену по дисциплине.

Выполнение домашних контрольных работ осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

Задачи для выполнения самостоятельных контрольных работ по каждому разделу дисциплины составляются преподавателем самостоятельно при ежегодном обновлении банка тестовых заданий. Количество вариантов зависит от числа обучающихся.

**Типовые задачи**, предлагаемые студентам в качестве домашних контрольных работ:

Задача 1. Получить формулу Эйнштейна для сложения скоростей из формул преобразования 4-импульса  $P_x = (P'_x + VE' / c^2) / \sqrt{1 - V^2 / c^2}$ .

Задача 2. В лабораторной системе отсчета К электрическое поле перпендикулярно магнитному,  $\vec{E} \perp \vec{B}$ . Найти скорость системы отсчета К', движущейся перпендикулярно векторам E и B, в которой одно из полей оказывается равным нулю.

Задача 3. В лабораторной СО вдоль оси  $X$  распространяется фотон с энергией  $E$ . Найти энергию этого фотона в системе отсчета, которая движется вдоль той же оси со скоростью  $V$ .

**6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине,**  
включающий:

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)	
	«незачет»	«зачет»
<u>Знания</u> Знать обобщение принципа относительности на быстрые движения тел; основные законы релятивистской кинематики и динамики материальной точки и системы частиц; основные эффекты специальной теории относительности; формулировку основных законов электродинамики (включая уравнения Максвелла) в ковариантной форме; основы теории излучения электромагнитных волн релятивистскими заряженными частицами.	отсутствие знаний материала, наличие грубых ошибок в основном материале	знание основного материала с незначительными погрешностями
<u>Умения</u> Уметь пользоваться законами специальной теории относительности (СТО) для расчета движения релятивистских частиц, а также расчета электромагнитных полей (в том числе полей излучения).	Неумение использовать основные законы СТО для решения задач (демонстрация грубых ошибок, противоречащих основным законам)	Умение использовать все изученные законы СТО для решения стандартных задач с незначительными погрешностями
<u>Навыки</u> Владеть навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.	Не владение навыками решения стандартных задач (демонстрация грубых ошибок, противоречащих основным законам СТО)	Владение навыками решения стандартных задач по всем разделам курса с незначительными погрешностями
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 50 %	50 – 100 %

6.2. Описание шкал оценивания

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в форме оценки уровня теоретических знаний и навыков решения практических задач, который выполняется на основе результатов работы студентов на практических занятиях и выполнения ими регулярно проводимых контрольных работ. При этом определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Контроль успеваемости проводится как в устной форме (в виде опроса студентов по теоретическим вопросам курса с предварительной подготовкой и последующим собеседованием в рамках тематики курса), так и в форме контроля выполнения студентами регулярно проводимых контрольных работ.

Оценка	Уровень подготовки
Зачет	В целом хорошая подготовка с возможными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит почти полные решения всех сформулированных в контрольных работах задач с некоторыми недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей, демонстрирующих, в целом, знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий свыше 50%.
Незачет	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора; приводит решения сформулированных в билете задач с грубыми недочетами, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки, не владение методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

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

- индивидуальное собеседование,
- устные и/или письменные ответы на вопросы.

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

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающие одну или несколько задач.

По сложности ПКЗ разделяются на простые (стандартные) и комплексные задания. Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия, применяются для оценки умений. Комплексные задания (задания повышенной сложности) требуют поэтапно-

го решения и развернутого ответа с применением нестандартных подходов к решению. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

**Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:**

1. Опыт Майкельсона.
2. Относительность движения в классической и релятивистской механике. Постулаты теории относительности.
3. Преобразования Лоренца.
4. Относительность пространственных и временных промежутков.
5. Закон сложения скоростей Эйнштейна.
6. Преобразование углов. Явление абберрации света.
7. Относительность одновременности.
8. Интервал. Времени-, пространственно- и светоподобные интервалы.
9. Собственное время.
10. Пространство Минковского. Геометрическая интерпретация преобразования Лоренца и закона сложения скоростей.
11. 4х-мерные векторы, 4х-скорость и ускорение.
12. Обобщение 2-го закона Ньютона. 4х-сила Минковского.
13. Энергия свободной частицы, кинетическая энергия, энергия покоя.
14. Уравнения Лагранжа, функция Гамильтона.
15. Импульс и энергия системы частиц. Система центра инерции.
16. Столкновения частиц. Распад частиц. Устойчивость атомных ядер.
17. Эффект Комптона.
18. 4х-тензоры, 4х-дивергенция, инвариантность даламбертиана.
19. 4х-плотность тока. Инвариантность электрического заряда.
20. Инвариантная формулировка уравнений электродинамики через потенциалы.
21. Инвариантная формулировка уравнений электродинамики через поля. Тензор электромагнитного поля.
22. Поле равномерно движущегося заряда.
23. Преобразование напряженностей электрического и магнитного полей. Инварианты электромагнитного поля.
24. Инвариантность фазы плоской волны. Эффект Доплера.
25. Сила Лоренца (вывод). 4х-сила Минковского для заряда в электромагнитном поле.
26. Движение заряженной частицы в однородном электростатическом и магнитостатическом полях.
27. Потенциалы Лиенара-Вихерта.
29. Излучение ускоренно движущегося заряда при малой скорости и при произвольной скорости, параллельной ускорению.
30. Циклотронное и синхротронное излучение.

31. Потери энергии на излучение. Сила реакции излучения.
32. Эффект Вавилова-Черенкова.
33. Электродинамика движущихся сред: уравнения Максвелла и материальные уравнения в тензорной форме, инварианты электро-магнитного поля.

**Типовые задачи для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:**

Для оценки сформированности компетенции ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин:

Задача 1.1 Имеется шест с собственной длиной  $l_0$ . В собственной системе отсчета  $K'$  этого шеста на его концах одновременно происходят два события (А и В). Найти длину шеста и расстояние между точками, в которых произошли события А и В, в системе отсчета  $K$ , в которой шест движется со скоростью  $V$ . Решение задачи проиллюстрировать на плоскости Минковского  $(x, ict)$ .

Задача 1.2 Пусть есть некая произвольная 3-мерная сила  $\vec{F}$ , действующая на частицу с объемом  $V$ . Доказать, что 3-мерный вектор плотности силы,  $\vec{f} = \vec{F}/V$ , образует первые три компоненты 4-вектора пространства Минковского,  $f_j = (\vec{f}, i\dots)$ . Найти четвертую компоненту этого 4-вектора.

Задача 1.3 В лабораторной системе отсчета однородное магнитное поле  $B$  направлено вдоль оси  $y$ , а заряд  $q$  движется с постоянной скоростью  $V$  вдоль оси  $x$ . Найти силу, действующую на частицу в ее собственной системе отсчета. Задачу решить двумя способами (преобразованием 4-силы Минковского и преобразованием электромагнитного поля) и в обоих случаях по возможности желательно получить одинаковые ответы.

Задача 1.4 Два одинаковых заряда, расположенные на расстоянии  $l$  друг от друга, двигаются с одинаковой скоростью  $V$  вдоль соединяющей их прямой. Найти ускорение одного из зарядов.

Задача 1.5 Две микрочастицы, одинаково нестабильные (с одинаковым временем жизни), движутся в субсветовыми скоростями ( $V_1 \approx c$ ,  $V_2 \approx c$ ). Релятивистский масс-фактор второй частицы в 2 раза больше масс-фактора первой частицы,  $\gamma_2 = 2\gamma_1$ . Во сколько раз более длинный путь совершит вторая частица?

Задача 1.6 Лазерный импульс электромагнитного излучения отражается от зеркала, которое движется ему навстречу со ультрарелятивистской скоростью  $V \sim c$ . Как изменятся после отражения длина импульса ( $L_1/L_0$  - ?), частота волны, полная энергия импульса ( $E_1/E_0$  - ?) и характерная напряженность электромагнитного поля внутри импульса ( $E_1/E_0$  - ?) ?

Задача 1.7 Поток электронов, движущихся со скоростью  $V$ , имеет форму цилиндра, однороден по поперечному сечению радиуса  $R$  и бесконечен по продольной координате. Концентрация частиц в потоке –  $n$ . Найти поля, а также силу, действующую на одну из частиц потока, находящуюся на его боковой границе. Решить ту же самую задачу в ИСО, в которой все частицы покоятся. Проверить, что полученный результат согласуется с преобразованиями Лоренца для полей и силы.



## 6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утверждённое приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Специальная теория относительности»

### а) основная литература:

- 1) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика в 10 томах. Том 2. Теория поля. М.: Физматлит, 1988 -512 с. -407 экз.
- 2) Джексон Дж. Классическая электродинамика. М: Мир, 1965. -702 с. -32 экз.
- 3) Пановский В., Филлипс М. "КЛАССИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА" М.: Физматгиз, 1963. -432 с. -8 экз.
- 4) Мандельштам Л.И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М: Наука, 1972.-438 с. -20 экз.
- 5) В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности. М: Лань, 2010, -480 с. -40 экз.

### б) дополнительная литература:

- 1) В. Паули. Теория относительности. М.: Наука, 1983,1991 -324 с. -7 экз.
- 2) Бредов М. М., Румянцев В. В., Топтыгин И. Н. - Классическая электродинамика: [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - М. : Наука, 1985. - 399 с. -191 экз.

### в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- 1) Учебно-образовательная физико-математическая библиотека EqWorld  
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/relativity.htm>

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению 03.03.02 «Физика», профиль «Фундаментальная физика».

Авторы

\_\_\_\_\_

А.В. Савилов

Рецензент

\_\_\_\_\_

В.А. Миронов

Программа одобрена на заседании методической комиссии факультета «Высшая школа  
общей и прикладной физики»

от \_\_\_\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_.

Председатель методической комиссии \_\_\_\_\_ А.М. Фейгин