

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

Высшая школа общей и прикладной физики

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ

протокол от  
«        »        20\_\_ г.

**Рабочая программа дисциплины**

Специальная теория относительности

---

Уровень высшего образования  
Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
03.03.02 - Физика

---

Направленность образовательной программы  
Фундаментальная физика

---

Форма обучения  
очная

---

Нижний Новгород

2021 год

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.08, Специальная теория относительности относится к части ОПОП направления подготовки 03.03.02 Физика, формируемой участниками образовательных отношений.

## 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	
ПК-2: Способен применять в научно-исследовательской деятельности профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин	ПК-2.1: Знания: ПК-2.2: Умения: ПК-2.3: Навыки:	ПК-2.1: 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. ПК-2.2: Уметь пользоваться законами специальной теории относительности для расчета движения релятивистских частиц, а также расчета электромагнитных полей (в том числе полей излучения). ПК-2.3: Владеть навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.	Собеседование и задачи (практические задания)

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость</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	<b>16</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>32</b>
- КСР	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>23</b>
<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 и краткое содержание разделов и тем дисциплины	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		
	очная	очная	очная	очная	очная	очная	
Основные принципы специальной теории относительности.	9	2	4	0	6	3	
Релятивистская кинематика.	9	2	4	0	6	3	
Пространство Минковского.	9	2	4	0	6	3	
Релятивистская динамика.	9	2	4	0	6	3	
Релятивистская формулировка уравнений электродинамики.	9	2	4	0	6	3	
Движение релятивистской частицы в электромагнитном поле.	9	2	4	0	6	3	
Излучение заряженных частиц.	9	2	4	0	6	3	
Электродинамика движущихся сред.	8	2	4	0	6	2	
Аттестация	0						

КСР	1				1	
Итого	72	16	32	0	49	23

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.

Практическая подготовка предусматривает:

Разбор решения задач различной степени сложности, проведение обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в соответствующей области знаний. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 8 ч.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

Применение знаний и умений при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности

- компетенций:

ПК-2: Способен применять в научно-исследовательской деятельности профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках: занятий семинарского типа, групповых консультаций, индивидуальных консультаций.

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

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

#### 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

##### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенции)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				

й)							
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем 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.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. 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	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	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
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	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»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

(согласно оценочным средствам табл.2)

### 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 абберации 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:**

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,  $f_j = (\vec{f}, i...)$ . 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. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

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 втузов]. - М. : Наука, 1985. - 399 с. -191 экз.

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

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

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

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: 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.

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 03.03.02 - Физика.



Автор(ы): А.В. Савилов

Заведующий кафедрой:

Программа одобрена на заседании методической комиссии  
ВШОПФ от 30.06.2021, протокол № 3.