

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Высшая школа общей и прикладной физики

Программа утверждена решением президиума
Ученого совета ННГУ
протокол от «14» декабря 2021г. № 4.

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

2022 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.08 «Специальная теория относительности» относится к части ООП 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 | Демонстрация способности применять в научно-исследовательской деятельности профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин | 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. Уметь пользоваться законами специальной теории относительности для расчета движения релятивистских частиц, а также расчета электромагнитных полей (в том числе полей излучения). 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

| | |
|--|-------|
| | очная |
|--|-------|

| | |
|--|--------------------------|
| | |
| Общая трудоемкость | 2 |
| Часов по учебному плану | 72 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 16 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 32 |
| - КСР | 1 |
| самостоятельная работа | 23 |
| Промежуточная аттестация | 0 зачёт |

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 | | | | |
|---|--------------|---|---------------------------|----------------------------|-------|---|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
| | | 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 компетенций) | Шкала оценивания сформированности компетенций | | | | | | |
|--|---|---------------------|-------------------|--------|--------------|---------|-------------|
| | плохо | неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо | очень хорошо | отлично | превосходно |
| | не зачтено | | зачтено | | | | |

| | | | | | | | |
|---------------|--|--|--|---|--|--|--|
| <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)

5.2.1 Контрольные вопросы

| Вопрос | Код формируемой компетенции |
|--|-----------------------------|
| 1. Опыт Майкельсона. | ПК-2 |
| 2. Относительность движения в классической и релятивистской механике. | ПК-2 |
| Постулаты теории относительности. | ПК-2 |
| 3. Преобразования Лоренца. | ПК-2 |
| 4. Относительность пространственных и временных промежутков. | ПК-2 |
| 5. Закон сложения скоростей Эйнштейна. | ПК-2 |
| 6. Преобразование углов. Явление абберации света. | ПК-2 |
| 7. Относительность одновременности. | ПК-2 |
| 8. Интервал. Времени-, пространственно- и светоподобные интервалы. | ПК-2 |
| 9. Собственное время. | ПК-2 |
| 10. Пространство Минковского. Геометрическая интерпретация преобразования Лоренца и закона сложения скоростей. | ПК-2 |
| 11. 4х-мерные векторы, 4х-скорость и ускорение. | ПК-2 |
| 12. Обобщение 2-го закона Ньютона. 4х-сила Минковского. | ПК-2 |
| 13. Энергия свободной частицы, кинетическая энергия, энергия покоя. | ПК-2 |
| 14. Уравнения Лагранжа, функция Гамильтона. | ПК-2 |
| 15. Импульс и энергия системы частиц. Система центра инерции. | ПК-2 |

| | |
|--|------|
| 16. Столкновения частиц. Распад частиц. Устойчивость атомных ядер. | ПК-2 |
| 17. Эффект Комптона. | ПК-2 |
| 18. 4х-тензоры, 4х-дивергенция, инвариантность даламбертиана. | ПК-2 |
| 19. 4х-плотность тока. Инвариантность электрического заряда. | ПК-2 |
| 20. Инвариантная формулировка уравнений электродинамики через потенциалы. | ПК-2 |
| 21. Инвариантная формулировка уравнений электродинамики через поля. Тензор электромагнитного поля. 22. Поле равномерно движущегося заряда. | ПК-2 |
| 23. Преобразование напряженностей электрического и магнитного полей. Инварианты электромагнитного поля. | ПК-2 |
| 24. Инвариантность фазы плоской волны. Эффект Доплера. | ПК-2 |
| 25. Сила Лоренца (вывод). 4х-сила Минковского для заряда в электромагнитном поле. | ПК-2 |
| 26. Движение заряженной частицы в однородном электростатическом и магнитостатическом полях. | ПК-2 |
| 27. Потенциалы Лиенара-Вихерта. | ПК-2 |
| 29. Излучение ускоренно движущегося заряда при малой скорости и при произвольной скорости, параллельной ускорению. | ПК-2 |
| 30. Циклотронное и синхротронное излучение. | ПК-2 |
| 31. Потери энергии на излучение. Сила реакции излучения. | ПК-2 |
| 32. Эффект Вавилова-Черенкова. | ПК-2 |
| 33. Электродинамика движущихся сред: уравнения Максвелла и материальные уравнения в тензорной форме, инварианты электро-магнитного поля. | ПК-2 |

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

Типовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-2:

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, $f_j = (f, i, \dots)$. 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, движутся 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/ОС ННГУ 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.