

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ

Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Институт физики

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института физики

д.ф.м.н. профессор

С. Б. Вениг



2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ**

Направление подготовки бакалавриата  
44.03.01 Педагогическое образование

Профиль подготовки бакалавриата  
Физика

Квалификация (степень) выпускника  
Бакалавр

Форма обучения  
очная

Саратов,  
2023

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Дмитриев Вадим Владимирович		31.05.2023
Председатель НМК	Скрипаль Анатолий Владимирович		01.06.2023
Заведующий кафедрой	Аникин Валерий Михайлович		31.05.2023
Специалист Учебного управления			

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Элементы теории относительности» 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 и общей теории относительности и используемого математического аппарата на примерах расчетов простейших систем;
- получение высшего образования, позволяющего выпускнику успешно работать в избранной сфере деятельности в РФ и за рубежом, обладать компетенциями, способствующими его социальной мобильности, востребованности на рынке труда и успешной профессиональной карьере.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.ДВ.08.01 «Элементы теории относительности» относится к вариативной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» и изучается после дисциплин: Б1.О.18 «Механика», Б1.О.20 «Электричество и магнетизм», Б1.О.21 «Оптика», Б1.О.27 «Математический анализ». Изучение данной дисциплины запланировано в 5 семестре. В результате студенты приобретают знания, которые помогут освоить дисциплины Б1.О.24 «Электродинамика», Б1.О.25 «Квантовая механика», а также подготовить выпускную квалификационную работу.

Студенты должны иметь навыки самостоятельной работы с учебной, монографической и периодической литературой, уметь решать физические задачи с применением ранее пройденного математического аппарата.

Знания, умения и навыки, сформированные в результате изучения дисциплины, будут способствовать активизации учебно-познавательной, научно-исследовательской и социально-общественной деятельности студентов, что позволит наиболее полно реализовать их личностный потенциал, заложить основы конкурентоспособности будущих выпускников СГУ.

## 3. Результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
ПК-1. Способен осуществлять педагогическую деятельность по профильным предметам (дисциплинам,	1.1_Б.ПК-1. Формулирует концептуальные и теоретические основы физики и астрономии, их место в общей	Знать исходные принципы и постулаты теории относительности. Уметь излагать и критически



1	Специальная теория относительности	5	1-4	5	0	4	9	Контр. раб., тест.
2	Тензорный анализ и риманова геометрия	5	5-8	4	0	5	9	Контр. раб., тест.
3	Общая теория относительности	5	9-10	5	0	4	9	Контр. раб., тест.
4	Современная космология	5	11-17	4	0	5	9	Контр. раб., тест.
	<b>Промежуточная аттестация – 36 ч.</b>	<b>5</b>						<b>Экзамен</b>
	<b>Итого за 5-й семестр: 108 ч.</b>			<b>18</b>	<b>0</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	
	<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>				<b>108 часов</b>			

### *Содержание дисциплины*

#### **1. Специальная теория относительности**

1.1 Принцип относительности Галилея. Формулы Галилея. Абсолютные и относительные величины в классической физике. Инвариантность законов классической механики. Принцип относительности и классическая электродинамика. Эфир. опыты по обнаружению эфира.

1.2 Постулаты Эйнштейна. Относительность одновременности, времени и длины. Формулы преобразования координат и времени в СТО. Интервал и собственное время. Классификация интервалов и причинно-следственные связи между событиями. Преобразования Лоренца как поворот системы координат в пространстве Минковского.

1.3 Энергия, импульс и масса релятивистской частицы. Закон сохранения энергии-импульса. Энергия покоя. Безмассовые частицы. Система связанных частиц, ее масса и энергия связи. Дефект масс. Примеры применения законов сохранения в ядерной физике и физике элементарных частиц.

1.4 Электродинамика СТО. Инвариантность заряда, четырехмерный ток. Релятивистски-инвариантная формулировка уравнений для потенциалов. Тензор электромагнитного поля. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля. Ковариантная запись уравнений Максвелла.

#### **2. Тензорный анализ и риманова геометрия**

2.1 Аффинное пространство и тензоры в нем. Аффинная координатная система. Преобразование аффинного базиса. Определение тензора.

2.2 Алгебраические операции над тензорами. Сложение, вычитание, умножение, свертка тензоров. Перестановка индексов. Симметрирование, альтернирование тензоров. Обобщенные символы Кронекера. Псевдотензор Леви – Чивиты.

2.3 Евклидовы и псевдоевклидовы пространства. Тензорная алгебра в евклидовых пространствах. Криволинейные координаты. Метрический

тензор. Параллельный перенос. Коэффициенты связности. Ковариантное дифференцирование тензоров. Тензор Римана – Кристоффеля.

2.4 Уравнение геодезических. Геометрия пространств постоянной кривизны. Векторы Киллинга, производные Ли и законы сохранения.

### **3. Общая теория относительности**

3.1 Основные принципы, лежащие в основе общей теории относительности: принципы эквивалентности, общей ковариантности, соответствия. Гравитация как геометрия. Движение точечной частицы в искривленном пространстве-времени.

3.2 Уравнения Эйнштейна. Решение Шварцшильда как черная дыра. Горизонт. Диаграммы Пенроуза. Вращающиеся черные дыры. Решение Керра. Свойства черных дыр. Гравитационный коллапс.

3.3 Классические опыты по проверке ОТО. Гравитационное красное смещение. Прецессия перигелия. Отклонение лучей света в гравитационном поле. Гравитационное линзирование. Временная задержка сигналов.

3.4 Линейное приближение уравнений Эйнштейна и ньютонов предел. Гравитационные волны: плоские гравитационные волны; поляризация гравитационных волн. Эксперименты по обнаружению гравитационных волн.

### **4. Современная космология**

4.1 Однородные изотропные пространства. Метрика Фридмана-Робертсона-Уокера. Космологическое красное смещение. Закон Хаббла. Замедление относительного движения.

4.2 Уравнение Фридмана. Примеры космологических решений: пыль, излучение, вакуум. Возраст Вселенной. Космологический горизонт.

4.3 Лямбда CDM: космологическая модель с темной материей и темной энергией. Инфляционная стадия. Модели генезиса и отскока.

4.4 Расширенные теории гравитации. Модифицированная ньютоновская динамика. Гравитационные теории  $f(R)$ . Скалярно-тензорные теории.

### **5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины**

При реализации различных видов учебной работы используются следующие современные образовательные технологии:

- Информационно-коммуникационные технологии;
- Проектные методы обучения;
- Исследовательские методы в обучении;
- Разноуровневое обучение.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 44.03.01 «Педагогическое образование» реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерные симуляции, разбор конкретных ситуаций, работа над проектами) в сочетании

с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Эффективность применения интерактивных форм обучения обеспечивается реализацией следующих условий:

- нахождение проблемной формулировки темы занятий, заданий, вопросов;
- мониторинг личностных особенностей и профессиональной направленности студентов;
- оценка результата совместной деятельности.

Использование интерактивных форм и методов обучения направлено на достижение ряда важнейших образовательных целей:

- стимулирование мотивации и интереса к конкретной дисциплине в общеобразовательном, общекультурном и профессиональном плане;
- повышение уровня активности и самостоятельности обучающихся;
- развитие навыков анализа, критичности мышления, взаимодействия, коммуникации.

В случае наличия среди обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья применяются следующие адаптивные образовательные технологии:

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать пособия, выполненные шрифтом Брайля, крупноформатные наглядные материалы и аудиофайлы;
- обязательное звуковое сопровождение демонстрационного или иллюстративного материала для лиц с ограниченными возможностями по слуху;
- создание условий для организации коллективных занятий в студенческих группах, где инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью оказывалась бы помощь для получения информации;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.

**6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

*Самостоятельная работа студентов в рамках данного курса включает:*

- работа с конспектами лекций;
- проработка пройденных лекционных материалов по учебникам и пособиями на основании вопросов, подготовленных преподавателем;
- проработка дополнительных тем, не вошедших в лекционный материал, но обязательных согласно учебной программе дисциплины;
- самостоятельно решение сформулированных задач по основным разделам курса;

- написание реферата;
- подготовка к экзамену.

Фонд оценочных средств оформлен в качестве приложения к учебной рабочей программе дисциплине «Элементы теории относительности».

### 7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Балльно-рейтинговая система оценки теоретических знаний (экзамен).

Таблица 1.1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
5	25	0	15	20	0	10	30	100

### Программа оценивания учебной деятельности студента

#### 5 семестр

##### *Лекции*

Посещаемость, ведение конспектов лекций, решение контрольных работ – от 0 до 25 баллов.

##### *Лабораторные занятия*

Не предусмотрены.

##### *Практические занятия*

Студент получает 15 баллов за посещаемость занятий, активность (участие в обсуждении при решении задач на практических занятиях), выполнение домашних заданий.

##### *Самостоятельная работа*

Выполнение тестовых заданий, работа с дополнительной учебной литературой – от 0 до 20 баллов.

##### *Автоматизированное тестирование*

Не предусмотрено.

##### *Другие виды учебной деятельности*

Презентация (реферат) – от 0 до 10 баллов. Темы для рефератов выбираются из фонда оценочных средств.

### *Промежуточная аттестация*

Промежуточная аттестация проводится в устной форме. Студенты получают билеты, которые содержат 2 теоретических вопроса из разных разделов.

При проведении промежуточной аттестации

ответ на «отлично» оценивается от 26 до 30 баллов;

ответ на «хорошо» оценивается от 20 до 25 баллов;

ответ на «удовлетворительно» оценивается от 10 до 19 баллов;

ответ на «неудовлетворительно» оценивается от 0 до 9 баллов.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 5 семестр по дисциплине «Элементы теории относительности» составляет 100 баллов.

Таблица 2.1 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Элементы теории относительности» в оценку (экзамен):

81-100 баллов	«отлично»
61-80 баллов	«хорошо»
51-60 баллов	«удовлетворительно»
0-50 баллов	«не удовлетворительно»

### **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.**

а) литература:

1. Логунов, А. А. Лекции по теории относительности [Текст] / А. А. Логунов. - Москва : Наука, 2002. - 175, [1] с.
2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие : в 10 томах [Текст] / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - Том 2 : Теория поля. - 8-е изд., стер. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 533, [3] с.
3. Батыгин, В. В. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности [Текст] : учеб. пособие / В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин. - 4-е изд., перераб. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2010. - 473, [7] с.
4. Матвеев, А. Н. Механика и теория относительности [Текст] : учеб. пособие / А. Н. Матвеев. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2009. - 324, [12] с.
5. Гриб, А. А. Основные представления современной космологии [Текст] : учеб. пособие / А. А. Гриб. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 105, [3] с.

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. ОС Windows (лицензионное ПО) или ОС Unix/Linux (свободное ПО)
2. Microsoft Office (лицензионное ПО) или Open Office/Libre Office (свободное ПО)
3. Браузеры Internet Explorer, Google Chrome, Opera и др. (свободное ПО)

4. Научная электронная библиотека. <http://www.elibrary.ru/>
5. Библиотека СГУ. <http://library.sgu.ru/>

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Оборудование лекционной аудитории, мультимедийный проектор для лекционных презентаций, персональный компьютер, доступ к сети Интернет.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 44.03.01 «Педагогическое образование» и профилю подготовки «Физика».

Автор:

доцент кафедры

общей, теоретической и компьютерной физики,

к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ В.В. Дмитриев

Программа разработана в 2022 г. (одобрена на заседании кафедры общей, теоретической и компьютерной физики, протокол № 6 от 23 мая 2022 года).

Программа актуализирована в 2023 г. (одобрена на заседании кафедры общей, теоретической и компьютерной физики, протокол № 11 от 31 мая 2023 года).