

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе



_____ А.Л. Толстик

(подпись)

20.07.2015

(дата утверждения)

Регистрационный № УД- 1561 /уч.

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Учебная программа учреждения высшего образования

по учебной дисциплине для специальности

1-31 04 01 Физика (по направлениям),

направлению специальности

1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность)

Минск 2015 г.

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 01-2013, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08. 2013 № 88; учебных планов №G31-163/уч., №G31и-174/уч., утвержденных 30.05.2013.

СОСТАВИТЕЛЬ:

А.К. Горбацевич — профессор кафедры теоретической физики и астрофизики Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической физики и астрофизики физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 10 от 04.06.2015);

Советом физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 10 от 18.06.2015);

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Целью учебной дисциплины «Общая теория относительности» является ознакомление студентов с современной теорией гравитационного поля и основанными на ней космологическими моделями. Задача учебной дисциплины — освоить физическое содержание теории, а также ее математический аппарат на уровне, дающем возможность понимать современную научную литературу по теории гравитационных полей и проблемам космологии.

Общая теория относительности относится к наиболее фундаментальным разделам современной физики. Глубокие геометрические идеи, лежащие в основе общей теории относительности, раскрываются во всей своей красоте в космологических и астрофизических приложениях, которые в последние десятилетия испытали чрезвычайно бурное развитие. В связи с этим понимание основных идей, лежащих в основе общей теории относительности и владение ее понятийным аппаратом являются необходимым условием успешной профессиональной деятельности специалиста, имеющего квалификацию «Физик. Исследователь» и работающего в области теоретической физики.

В первой части курса подробно излагаются основы специальной теории относительности. При этом основное внимание уделяется методам, использующим геометрические представления в плоском псевдоевклидовом пространстве — пространстве Минковского. Активное использование методов, присущих общей теории относительности, позволяет, во-первых, добиться более глубокого понимания основ специальной теории относительности, и, во-вторых, существенно упростить переход к изложению физических процессов в искривленном пространстве-времени, лежащем в основе общей теории относительности.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основные идеи и современные представления о физике пространства-времени, теории гравитации и основанных на ней релятивистской космологии и астрофизики;

уметь:

- применять основные представления и математический аппарат общей теории относительности для решения конкретных задач в современной космологии и астрофизике;

владеть:

- понятийным аппаратом и методами общей теории относительности.

Материал курса основан на знаниях и представлениях, заложенных в общих курсах по теоретической механике и электродинамике. Он является базовым для последующих спецкурсов по теоретической физике, читаемых на кафедре.

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины — 129, из них количество аудиторных часов — 82.

Форма получения высшего образования — очная, дневная,

Аудиторные занятия проводятся в виде лекций и лабораторных занятий. На проведение лекционных занятий отводится 52 часа, на лабораторные занятия — 22 часа, на управляемую самостоятельную работу — 8 часов.

Первая часть дисциплины читается на 3-м курсе в 5-м семестре, на это отводится 46 часов, из них 24 часа отводится на лекции, 6 часов - на управляемую самостоятельную работу. Затем делается перерыв на 1 семестр, потому что для полного усвоения второй части дисциплины студентам необходимо знание тензорного и спинорного анализа, который преподается на 3-м курсе в 6 семестре. На 4-м курсе в 7 семестре чтение дисциплины продолжается, на это отводится 83 часа, из них 28 часов отводится на лекции, 22 часа — на лабораторные занятия и 6 часов — на управляемую самостоятельную работу.

Формы текущей аттестации по учебной дисциплине — зачет на 3-м курсе в 5-м семестре и экзамен на 4-м курсе в 7 семестре.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Элементы специальной теории относительности.

Принцип относительности Эйнштейна. Измерение расстояний и промежутков времени. Введение координат. Преобразования Лоренца и их классификация. Групповые свойства преобразований Лоренца. Явные выражения для преобразований Лоренца. Специальный и общий случаи. Кинематические следствия преобразований Лоренца: относительность одновременности, сокращение длин, замедление времени, эйнштейновская формула сложения скоростей. Эксперименты, подтверждающие кинематические следствия преобразований Лоренца.

2. 4-мерная формулировка специальной теории относительности.

Пространственно-временной континуум. Преобразования Лоренца как псевдовращения в пространстве Минковского. Световой конус. Классификация интервалов. Причинность. Векторы и тензоры в пространстве Минковского. Инвариантная классификация векторов. Понятия о собственном времени, 4-скорости и 4-ускорении материальной точки. Теорема о максимальной собственной времени для равномерного и прямолинейного движения. Проекционный тензор. Инвариантные выражения для промежутков времени и расстояний в произвольной системе отсчета. Парадокс близнецов. Элементы релятивистских механики и электродинамики. Четырехмерная и трехмерная формы релятивистских уравнений движения. Законы сохранения. Движение с постоянным 4-ускорением гипер-

болическое движение). Сила Лоренца. 4-мерная формулировка уравнений Максвелла. Распространение электромагнитных волн. Эффект Доплера.

3. Формулировка основ общей теории относительности.

Основные принципы, лежащие в основе общей теории относительности: принципы эквивалентности, общей ковариантности, соответствия. Основные физические законы в искривленном пространстве-времени: механика точки, электродинамика в вакууме, приближение геометрической оптики. Основы эйнштейновской теории гравитации: уравнения Эйнштейна, ньютоновский предел, уравнения движения пробной частицы, вариационный принцип для эйнштейновской теории гравитации.

4. Геометрия Шварцшильда.

Общий случай сферически-симметричной метрики. Теорема Биркгофа. Внешнее решение Шварцшильда и его исследование. Движение планет в поле Шварцшильда. Смещение перигелия Меркурия. Распространение света в метрике Шварцшильда: отклонение лучей света, гравитационные линзы, красное смещение. Метрика Шварцшильда в изотропных и гармонических координатах. Внутреннее решение Шварцшильда. Классические опыты по проверке эйнштейновской теории гравитации.

5. Слабые гравитационные поля.

Линеаризованная теория гравитации. Аналогия уравнений Эйнштейна с уравнениями Максвелла. Псевдотензор энергии-импульса. Уравнения баланса импульса, момента импульса и энергии. Гравитационные волны: плоские гравитационные волны; поляризация гравитационных волн; гравитационные волны, как точные решения уравнений Эйнштейна. Эксперименты по обнаружению гравитационных волн. Постньютоновское приближение.

6. Гравитационный коллапс и черные дыры

Сингулярность в решении Шварцшильда. Решение Шварцшильда как черная дыра. Гравитационный коллапс. Эволюция звезд. Вращающиеся черные дыры. Решение Керра. Свойства черных дыр.

7. Основы релятивистской космологии

Метрика Робертсона—Уолкера и ее свойства. Движение частиц и распространение света в пространстве Робертсона—Уолкера. Измерение расстояний. Горизонты. Модели Фридмана. Вселенная Фридмана: красное смещение, плотность масс, реликтовое излучение. Проблема «недостающей» материи. Инфляция. Ранняя Вселенная.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное			
1	2	3	4	5	6	7		8	9
1	Элементы специальной теории относительности	10					2	[5], [6], [1]	Коллоквиум
2	4-мерная формулировка специальной теории относительности	14					4	[4], [6], [1]	Контрольная работа
	Текущая аттестация							[4], [6], [1]	Зачет
3	Формулировка основ общей теории относительности	6			4			[4], [6], [1], [2], [9]	
4	Геометрия Шварцшильда	6			4			[3], [5], [4]	
5	Слабые гравитационные поля	6			4			[3], [6], [7], [8],[9]	
6	Гравитационный коллапс и черные дыры	4			4			[4], [6], [10]	
7	Основы релятивистской космологии	6			6		2	[5], [6], [1]	Коллоквиум
	Текущая аттестация	52			22		8		Экзамен

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Мизнер, Ч. Гравитация. Т.1/ Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уиллер, — М.: Мир, 1977.—480 С.
2. Мизнер, Ч. Гравитация. Т.2/ Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уиллер, — М.: Мир, 1977.—527 С.
3. Мизнер, Ч. Гравитация. Т.3/ Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уиллер, — М.: Мир, 1977.—512 С.
4. Вейнберг, С. Гравитация и космология/ С. Вейнберг, , М.: Мир, 1975 – 697 С.
5. Ландау, Л.Д. Теория поля /Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, М.: Физматлит, 2014. — 506 с.
6. Stephani, H. Relativity/ H. Stephani. Cambridge university press, 2004 – 416 P.
7. Бронников, К.А. Лекции по гравитации и космологии/ К.А. Бронников, С.Г. Рубин. М., 2008.

Перечень дополнительной литературы

8. Хокинг, С. Крупномасштабная структура пространства-времени./ С. Хокинг, Дж. Эллис. М.: Мир, 1977. – 432 С.
9. Чандрасекар, С. Математическая теория черных дыр. Т.1/ С. Чандрасекар. М.: Мир, 1986. – 279 С.
10. Wald, R.M. General Relativity./ R.M. Wald, The University of Chicago Press. Chicago and London, 1984. – 495 P.
11. Mukhanov, V. Physical foundations of cosmology./ V. Mukhanov, Cambridge University Press, 2005. – 442 P.
12. Gorbunov, D.S. Introduction to the theory of the early universe. Cosmological perturbations and inflationary theory./ D.S. Gorbunov, V.F. Rubakov. World Scientific, 2011. – 504 P.

Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности

1. Коллоквиумы
2. Контрольная работа

Темы лабораторных работ

1. Элементы специальной теории относительности
2. 4-мерная формулировка специальной теории относительности
3. Формулировка основ общей теории относительности
4. Решение Шварцшильда
5. Слабые гравитационные поля
6. Гравитационный коллапс и черные дыры
7. Основы релятивистской космологии

Мероприятия для контроля управляемой самостоятельной работой

Для контроля УСР используются коллоквиумы и контрольная работа, которые проводятся в письменной форме. Каждая из письменных работ включает в себя 2–3 задачи.

Коллоквиум №1. Основы релятивистской космологии.

Примерный перечень вопросов:

1. Космологический принцип;
2. метрика Робертсона—Уолкера;
3. движение частиц и распространение света в метрике Робертсона—Уолкера;
4. космологическое красное смещение, закон Хаббла;
5. модели Фридмана;
6. решение де Ситтера, инфляция;
7. проблемы темной энергии и темной материи.

Темы контрольных работ

1. Преобразования Лоренца.

Примерный перечень заданий

- 1) Задачи о сокращении длин и замедлении времени;
- 2) «парадоксы» специальной теории относительности.

2. 4-мерная формулировка специальной теории относительности.

Примерный перечень заданий

- 1) Инвариантные методы задания системы отсчета;
- 2) классификация интервалов, причинность.
- 3) собственное время;
- 4) парадокс близнецов;
- 5) гиперболическое движение.

Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать творческие задания по разделам дисциплины, устные дискуссии, коллоквиумы и контрольные работы. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Контрольная работа и коллоквиум проводятся в письменной форме, коллоквиум по 1 разу в семестр, контрольная работа – в первом семестре. Каж-

дая из письменных работ включает в себя 2–3 задачи. На выполнение как контрольных работ, так и коллоквиумов отводится 90 мин. По согласованию с преподавателем разрешается использовать справочные, научные и учебные печатные издания, любые электронные источники информации и конспект лекций (в любой форме). Каждая задача в соответствии с ее сложностью оценивается от 3 до 5 баллов (максимальная сумма баллов за все задачи в контрольной (коллоквиуме) равна 10). Количество баллов за каждую решенную задачу выставляется в зависимости от правильности, полноты и оригинальности ее решения. Нерешенная или решенная полностью неправильно задача оценивается в 0 баллов. Оценка за контрольную (коллоквиум) рассчитывается как сумма баллов, полученных за каждую задачу.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за каждый из письменных видов работ. При оценке текущей успеваемости 4 балла и более студенты допускаются к экзамену. При оценке ниже 4 баллов решением кафедры студенты не допускаются к экзамену, и им назначается срок выполнения контрольных работ и/или коллоквиумов.

Итоговая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена. Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Весовой коэффициент для оценки текущей успеваемости — 0,3; для экзаменационной оценки — 0,7. При всех расчетах округление производится по общепринятым правилам.

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)