МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет
Кафедра теоретической физики



Рабочая программа дисциплины

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Направление подготовки **03.04.02 Физика**

Направление подготовки **03.04.01 Прикладные математика и физика**

Направленность (профиль): **все профили подготовки**

Форма обучения **Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	144	32	32		58	18	2			2
Всего 144 часа / 4 зачётных единицы, из них: - контактная работа 68 часов										
Компетенции: ОПК-1(03.04.02 Физика, 03.04.01 Прикладные математика и физика)										

Руководитель программы
д.ф.-м.н. И.Б. Логашенко

Новосибирск, 2026

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. 3

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 4

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. 4

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий 4

5. Перечень учебной литературы. 6

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. 7

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. 7

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. 7

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. 8

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. 8

11 Аннотация……..... 9

1. **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

Задачей дисциплины «Общая теория относительности» является ознакомление студентов с современной теорией явлений, наблюдающихся во Вселенной.

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал лекционного курса увязывается с современными исследованиями в космологии. Все практические занятия проводятся в интерактивной форме. Специально указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе и планах дальнейших работ в институтах, в которых студенты планируют проходить научную практику. Материал курса увязывается с общефизическими и математическими дисциплинами, изучаемыми студентами-физиками (электродинамика, квантовая механика, статистическая физика и т. д.).

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося общепрофессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ОПК-1. (03.04.02 Физика) Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности.	**ОПК - 1.1.** Применяет фундаментальные и прикладные знания, новейшие достижения в области физико-математических и естественных наук для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности. **ОПК - 1.2.** Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности.	**Знать** фундаментальные идеи общей теории относительности, сделанные на их основе предсказания основных наблюдаемых эффектов в космологии и результаты современных наблюдений. **Уметь** находить точные и приближенные решения уравнений Эйнштейна и описывать на их основе известные наблюдаемые явления. **Владеть** основами римановой геометрии и основными приближенными методами, используемыми в общей теории относительности.
ОПК-1. (03.04.01 Прикладные математика и физика) Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности.	**ОПК - 1.1.** Применяет фундаментальные и прикладные знания, новейшие достижения в области физико-математических и естественных наук для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности. **ОПК - 1.2.** Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, инфор-	

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
	мационные технологии для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности.	

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Общая теория относительности» изучается в осеннем семестре студентами первого и второго курса магистратуры физического факультета, обучающимися по направлению подготовки **03.04.02 Физика, 03.04 01 Прикладные математика и физика**. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой теоретической физики. Особое внимание уделяется умению делать оценки различных физических характеристик. Этот навык, который основан на глубоком качественном понимании явлений, практически полностью отсутствует у студентов после окончания бакалавриата. Поэтому подробное обсуждение физического смысла основных понятий общей теории относительности и обучение методам их применения для интерпретации космологических явлений является весьма важным и будет полезным как при изучении других курсов, так и в будущей профессиональной деятельности выпускников физического факультета НГУ.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Трудоемкость дисциплины – 4 з.е. (144 ч)
Форма промежуточной аттестации: 1 семестр – экзамен

Таблица 3.1

№	Вид деятельности	Семестр
		1
1	Лекции, ч	32
2	Практические занятия, ч	32
3	Лабораторные занятия, ч	
4	Занятия в контактной форме, ч, из них	68
5	из них аудиторных занятий, ч	64
6	в электронной форме, ч	-
7	консультаций, час.	2
8	промежуточная аттестация, ч	2
9	Самостоятельная работа, час.	76
10	Всего, ч	144

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий

№ п/п	Раздел дисциплины, основное содержание лекций	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	Введение. Краткая история. Уравнения движения. Геодезические. Ньютоновское приближение.	1	8	2	2	4	
2	Основы римановой геометрии. Параллельный перенос, символы Кристоффеля, ковариантное дифференцирование. Тензор Римана и его свойства. Тождества Бьянки.	2-4	20	6	6	8	
3	Уравнения Эйнштейна. Линейное приближение, закон Ньютона.	5	8	2	2	4	
4	Линейные эффекты. Красное смещение, отклонение света Солнцем.	6	8	2	2	4	
5	Вариационный принцип. Тензор энергии-импульса.	7	8	2	2	4	
6	Решение Шварцшильда. Решение Нордстрёма.	8	8	2	2	4	
7	Вращение перигелия Меркурия.	9	8	2	2	4	
8	Квазимагнитные эффекты. Прецессия гироскопа на орбите, спин-орбитальное и спин-спиновое взаимодействия. Сдвиг фазы света.	10-11	14	4	4	6	
9	Гравитационные волны. Псевдотензор энергии-импульса гравитационного поля. Квадрупольное излучение.	12-13	14	4	4	6	
10	Излучение релятивистских частиц. Электромагнитное излучение. Резонансное взаимодействие электромагнитной и гравитационной волны во внешнем поле.	14	10	2	2	6	
11	Горизонт поля Шварцшильда. Чёрные дыры и их свойства.	15	8	2	2	4	
12	Космологические решения. Возраст Вселенной.	16	8	2	2	4	
13	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18				18
14	Консультации		2				2
15	Экзамен		2				2
	Всего		**144**	**32**	**32**	**58**	**22**

Программа лекций

Раздел 1. Цели и задачи курса. Порядок проведения экзаменов и сдачи заданий. Используемая литература. Общая структура и логика построения курса. Уравнения движения. Геодезические. Ньютоновское приближение. **(2 часа)**

Раздел 2. Основы римановой геометрии. Параллельный перенос, символы Кристоффеля, ковариантное дифференцирование. Тензор Римана и его свойства. Тождества Бьянки. **(6 часов)**

Раздел 3. Уравнения Эйнштейна. Линейное приближение, закон Ньютона. **(2 часа)**

Раздел 4. Линейные эффекты. Красное смещение, отклонение света Солнцем. **(2 часа)**

Раздел 5. Вариационный принцип. Тензор энергии-импульса. **(2 часа)**

Раздел 6. Решение Шварцшильда. Решение Нордстрёма. **(2 часа)**

Раздел 7. Вращение перигелия Меркурия. **(2 часа)**

Раздел 8. Квазимагнитные эффекты. Прецессия гироскопа на орбите, спин-орбитальное и спин-спиновое взаимодействия. Сдвиг фазы света. **(4 часа)**

Раздел 9. Гравитационные волны. Псевдотензор энергии-импульса гравитационного поля. Квадрупольное излучение. **(4 часа)**

Раздел 10. Излучение релятивистских частиц. Электромагнитное излучение. Резонансное взаимодействие электромагнитной и гравитационной волны во внешнем поле. **(2 часа)**

Раздел 11. Горизонт поля Шварцшильда. Чёрные дыры и их свойства. **(2 часа)**

Раздел 12. Космологические решения. Возраст Вселенной. **(2 часа)**

Программа практических занятий

1. Релятивистская ракета. **(2 часа)**
2. Параллельный перенос и кривизна на сфере и конусе. **(2 часа)**
3. Тензор кривизны в двумерном и трёхмерном пространстве. **(2 часа)**
4. Свойства символов Кристоффеля и тензора кривизны. **(2 часа)**
5. Векторный анализ в криволинейных координатах. **(3 часа)**
6. Электродинамика в криволинейных координатах. **(3 часа)**
7. Тензор энергии-импульса для точечной частицы и электромагнитного поля. **(2 часа)**
8. Искривление лучей и задержка света при распространении вблизи Солнца. **(2 часа)**
9. Круговые орбиты в метрике Шварцшильда. **(2 часа)**
10. Четырёхмерный вектор спина. **(2 часа)**
11. Влияние вращения тяготеющего тела на распространение света. **(3 часа)**
12. Влияние вращения тяготеющего тела на сдвиг перигелия планеты. **(3 часа)**
13. Падение света и вещества на чёрную дыру. **(2 часа)**
14. Гравитационное излучение тесной двойной системы. **(2 часа)**

Самостоятельная работа студентов (76 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям	32
Подготовка к контрольным работам	16
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	10
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. — 7-е изд., испр. — Москва: Наука, 1988. — 509 с.: ил. — (Теоретическая физика, т. II).
2. Хриплович И.Б. Общая теория относительности: учебное пособие: [для магистрантов физ. фак. НГУ]. — Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак. — Новосибирск: Редакционно-издательский центр НГУ, 2000. — 117 с. : ил.

3. Горбунов Д.С., Рубаков В.А. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего Большого взрыва. — Москва: УРСС = URSS: Изд-во ЛКИ, 2008. — 543 с.
4. Горбунов Д.С., Рубаков В.А. Введение в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория. — Москва: УРСС = URSS: КРАСАНД, 2010. — 555 с.
5. Берков А.В., Кобзарев И.Ю. Теория тяготения Эйнштейна. Общие принципы и экспериментальные следствия. М: МИФИ, 1989.
6. Берков А.В., Кобзарев И.Ю. Приложения теории тяготения Эйнштейна к астрофизике и космологии. М: МИФИ, 1990.

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

1. Горбунов Д.С., Рубаков В.А. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего Большого взрыва. — Москва: УРСС = URSS: Изд-во ЛКИ, 2008. — 543 с.
2. Горбунов Д.С., Рубаков В.А. Введение в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория. — Москва: УРСС = URSS: КРАСАНД, 2010. — 555 с.
3. Берков А.В., Кобзарев И.Ю. Теория тяготения Эйнштейна. Общие принципы и экспериментальные следствия. М: МИФИ, 1989.
4. Берков А.В., Кобзарев И.Ю. Приложения теории тяготения Эйнштейна к астрофизике и космологии. М: МИФИ, 1990.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:
- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины «Общая теория относительности» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции, а также проведения коротких самостоятельных работ в начале каждого занятия с решением типовых задач, разобранных на предыдущем занятии. Студентам необходимо успешно выполнить две контрольные работы.

Промежуточная аттестация.

Освоение компетенции оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ОПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области физической кинетики в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ОПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда компетенция освоена не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Код компетенции	Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ОПК-1	**ОПК - 1.1.** Применяет фундаментальные и прикладные знания, новейшие достижения в области физико-математических и естественных наук для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности.	**Знать** фундаментальные идеи общей теории относительности, сделанные на их основе предсказания основных наблюдаемых эффектов в космологии и результаты современных наблюдений.	Проведение контрольных работ, решение задач, экзамен.
	ОПК - 1.2. Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности.	**Уметь** находить точные и приближенные решения уравнений Эйнштейна и описывать на их основе известные наблюдаемые явления. **Владеть** основами римановой геометрии и основными приближенными методами, используемыми в общей теории относительности.	Проведение контрольных работ, решение задач, экзамен.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Общая теория относительности».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
<u>Решение заданий:</u> – задание решено правильно, – работа оформлена аккуратно, четкие рисунки и чертежи, – осмысленность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий. «Сдать задачу» означает объяснение хода её решения и, при необходимости, ответы на дополнительные вопросы преподавателя, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы. В ответах на вопросы преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности.	*Отлично*

Экзамен: – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, отсутствие затруднений в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности.	
Решение заданий: – задание решено правильно, – работа оформлена аккуратно, четкие рисунки и чертежи, – осмысленность, логичность и аргументированность изложения материала, наличие затруднений в формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок. «Сдать задачу» означает объяснение хода её решения и, при необходимости, ответы на дополнительные вопросы преподавателя, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. Отвечает на дополнительные вопросы. В ответах на вопросы преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности. **Экзамен:** – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, наличие затруднений в объяснении отдельных процессов и явления, а также при формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок, – наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок.	*Хорошо*
Решение заданий: – задание решено правильно, - работа оформлена неаккуратно – неосознанность и неосновательность выбранных методов анализа, – нет осмысленности в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, – корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок. «Сдать задачу» означает объяснение хода её решения и, при необходимости, ответы на дополнительные вопросы преподавателя, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. При ответах на вопросы допускает ошибки **Экзамен:** – теоретический и фактический материал в слабой степени подкреплен ссылками на научную литературу и источники, – частичное понимание и неполное изложение причинно-следственных связей, – самостоятельность и осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, в объяснении процессов и явлений, а также затруднений при формулировке собственных суждений,	*Удовлетворительно*

– корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок, – наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы.	
Решение заданий: – задание решено неправильно, – компилятивное, неосмысленное, нелогичное и неаргументированное изложение материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, «Сдать задачу» означает объяснение хода её решения и, при необходимости, ответы на дополнительные вопросы преподавателя, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. На дополнительные вопросы не отвечает. **Экзамен:** – фрагментарное и недостаточное представление теоретического и фактического материала, не подкрепленное ссылками на научную литературу и источники, – непонимание причинно-следственных связей, – отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, – отсутствие ответов на дополнительные вопросы.	*Неудовлетворительно*

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Примеры задач практических занятий

1. К центру Галактики отправляется ракета с экипажем. Предполагается, что до середины пути она будет ускоряться, а затем замедляться. В сопутствующей системе отсчета абсолютная величина ускорения постоянна и равна g. Сколько времени потребуется на полет по часам на Земле и на ракете, если расстояние равно 30000 световых лет?
2. Вычислить в евклидовом трехмерном пространстве в сферических координатах метрику, символы Кристоффеля, тензоры Кривизны и Риччи, скалярную кривизну. Вычислить эти же величины на сфере.
3. Заменяя частные производные на ковариантные, записать уравнения Максвелла в произвольных криволинейных координатах.
4. Выразить пространственную метрику через четырехмерный метрический тензор пространства-времени.
5. Записать градиент, ротор, дивергенцию и оператор Лапласа в произвольных криволинейных координатах.
6. Выразить тензор Римана-Кристоффеля через скалярную кривизну и метрический тензор в двумерном пространстве и через тензор Риччи в трехмерном.
7. Найти круговые орбиты в метрике Шварцшильда.
8. Вычислить сдвиг перигелия планеты, вызванный вращением Солнца.
9. Вычислить угол отклонения луча света при прохождении его мимо вращающегося источника гравитационного поля.
10. Найти полную мощность гравитационного излучения двойной системы звезд равной массы, движущихся по круговым орбитам.
11. Найти гравитационное поле, создаваемое сферически симметричным источником, имеющим массу m и заряд q.

12. Фонарь, имеющий координату r в метрике Шварцшильда, светит под углом к радиусу. Найти зависимость от r критического угла θ, отделяющего лучи, уходящие на бесконечность, от лучей, поглощаемых черной дырой.

Примеры контрольных работ

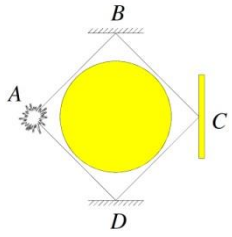
ЗАДАНИЕ №1

1. В точке $x^i = 0$ задана локально-геодезическая система координат. Показать, что преобразование $x^i = x'^i + \frac{1}{6}c^i_{jkl}x'^j x'^k x'^l$ оставляет систему координат локально-геодезической. Вычислить $\frac{\partial}{\partial x'^l}\Gamma'^i_{jk} - \frac{\partial}{\partial x^l}\Gamma^i_{jk}$ в точке $x^i = 0$.
2. Пусть P_1, P_2, P_3 – вершины геодезического треугольника в 2-мерном римановом пространстве с углами $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ в них. Вектор из точки P_1 параллельно переносится вдоль сторон треугольника снова в вершину P_1. Определить угол поворота вектора.
3. Ввести систему координат на торе (двумерной поверхности бублика в трехмерном пространстве). Вычислить все компоненты g_{ij}, Γ^i_{jk} и R_{ijkl}.
4. Пусть $A \equiv \det(A_{\mu\nu})$, где $A_{\mu\nu}$ – тензор второго ранга. Скаляр ли это? Вычислить ковариантную производную A_λ.

ЗАДАНИЕ №2

1. Как выглядит обычная оптическая линза, которая имитирует отклонение луча света гравитационным полем звезды? Как меняется толщина такой линзы с радиусом? В центре линзы следует поместить "черную маску" – диск, имитирующий поглощение света звездой конечного радиуса.
2. Найти сферически симметричное решение уравнений Эйнштейна с космологической постоянной. Оценить ограничения на величину этой постоянной, полагая, что даже для Плутона (радиус орбиты ~10^{15} см) законы Кеплера выполняются с точностью не хуже, чем 10^{-5}.
3. Найти первую неисчезающую поправку по v/cк сечению гравитационного захвата нерелятивистской частицы полем Шварцшильда.
4. Найти первую неисчезающую поправку по mc^2/E к сечению гравитационного захвата ультрарелятивистской частицы полем Шварцшильда.
5. Определить систематическое (вековое) изменение орбитального момента планеты, движущейся в поле центрального тела, связанное с вращением последнего.

ЗАДАНИЕ №3



1. Лучи света, выходящие из вершины квадрата A, движутся по путям ABC и ADC и интерферируют на экране, ортогональном диагонали AC в вершине C. В центре квадрата вращается тело с осью вращения, перпендикулярной плоскости квадрата. Оценить численно сдвиг интерференционной картины при изменении направления вращения, если тело – это Земля, а сторона квадрата равна ее диаметру.
2. Тонкая сферическая оболочка радиуса R вращается с угловой скоростью Ω. Ее полная масса M распределена равномерно. Найти метрику вне и внутри оболочки, считая ее отклонение от плоской малым. Найти угловую скорость ω увлечения инерциальных систем внутри оболочки.
3. Ультрарелятивистский электрон рассеивается внешним электромагнитным полем на большой угол. Найти мгновенную интенсивность гравитационного излучения. Основной меха-

низм гравитационного излучения в данном случае – резонансная перекачка электромагнитного синхротронного излучения в гравитационное. (Эта задача необязательная)

Список вопросов к экзамену по курсу «Общая теория относительности»

1. Выразить действие для гравитационного поля через свертки символов Кристоффеля.
2. Вычислить площадь горизонта Шварцшильда.
3. Вывод уравнений движения частицы из вариационного принципа.
4. Вычислить вторую ковариантную производную контравариантного вектора.
5. Ньютоновское приближение.
6. Симметрия тензора кривизны.
7. Параллельный перенос и символы Кристоффеля
8. Гравитационная линза.
9. Символы Кристоффеля и ковариантное дифференцирование.
10. Гравитацоное излучение двойной звезды.
11. Тензор кривизны.
12. Доказать третий закон Кеплера для круговых орбит в метрике Шварцшильда.
13. Уравнения Эйнштейна.
14. Круговые орбиты в поле Шварцшильда.
15. Линейное приближение к уравнениям Эйнштейна и закон Ньютона.
16. Тождества Бьянки.
17. Преобразование символов Кристоффеля при замене координат. Локально-геодезические координаты.
18. Микролинзирование.
19. Тензор энергии-импульса пылинки.
20. Вычислить вторую ковариантную производную от ковариантного вектора.
21. Электродинамика в искривленном пространстве.
22. Термодинамика чёрных дыр.
23. Вычислить левую часть уравнений Эйнштейна, варьируя действие для гравитационного поля.
24. Красное смещение в поле Шварцшильда.
25. Вывод тензора энергии-импульса пыли варьированием действия.
26. Отклонение света Солнцем.
27. Вывод метрики Шварцшильда из вариационного принципа.
28. Красное смещение в поле тяготения.
29. Прецессия перигелия Меркурия.
30. Выражение для тензора Римана в двумерном пространстве.
31. Задержка света при прохождении мимо Солнца.
32. Тензор Римана в трехмерном пространстве.
33. Усреднить спин-орбитальную плюс спин-спиновую прецессию для гироскопа на круговой орбите.
34. Вычислить свертку символов Кристоффеля и метрического тензора.
35. Поправка к функции Лагранжа частицы в гравитационном поле, вызванная вращением источника. Спин-спиновое взаимодействие.
36. Свободные гравитационные волны.
37. Искривление луча света вблизи вращающегося тела.
38. Плотность потока энергии в гравитационной волне.
39. Метрика, символы Кристоффеля и кривизна на сфере.
40. Гравитационное излучение двойной звезды.
41. Тождества Бьянки.
42. Резонансное взаимодействие электромагнитной и гравитационной волн.

43. Падение частиц на горизонт поля Шварцшильда.
44. Симметрия тензора Римана.
45. Координаты Леметра.
46. Выражение для тензора Римана в двумерном пространстве.
47. Замкнутая модель Вселенной. Космологическое расширение.
48. Отклонение света Солнцем.
49. Изотропная модель Вселенной и наблюдения. Возраст Вселенной.
50. Вывод уравнений движения частицы из вариационного принципа.
51. Максимально симметричные пространства.

Пример экзаменационного билета

1. Символы Кристоффеля и ковариантное дифференцирование.
2. Термодинамика чёрных дыр.
3. Вычислить смещение перигелия Меркурия.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям стандартов, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.