

**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 общей физики**



УТВЕРЖДАЮ  
 Декан ФФ, д.ф.-м.н  
 В.Е.Блинов  
 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**МЕХАНИКА И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ**

**Направление: 03.03.02 Физика**  
**Направленность (профиль): все профили**

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	Прием заданий			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	252	64	64		16	80	18	8			2
Всего 252 часов/ 7 зачетных единиц, из них: - контактная работа 154 часа											
Компетенции ОПК-2											

Ответственный за образовательную программу  
 д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	3
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 .....	10
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. .	10
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	11
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	11
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	11
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....	11

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

Цель освоения дисциплины «Механика и теория относительности» – дать представление об основных методах и подходах, а также базовых понятиях механики и теории относительности, научить решать широкий круг задач в рамках этих дисциплин, подготовить понятийную базу для освоения дальнейших курсов теоретической физики, сформировать общепрофессиональные навыки. Программа дисциплины нацелена на формирование обучающегося общепрофессиональной компетенции (ОПК):

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<b>ОПК-2.</b> Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.	<p><b>ОПК - 2.1.</b> Применяет теоретические основы и базовые знания для проведения научного исследования в выбранной области фундаментальной и/или экспериментальной физики.</p> <p><b>ОПК – 2.2.</b> Применяет современную приборную базу (в том числе сложное физическое оборудование) для организации научного исследования.</p> <p><b>ОПК – 2.3.</b> Применяет различные методы обработки и системы анализа экспериментальных данных.</p>	<p><b>Знать</b> фундаментальные основы нерелятивистской и релятивистской кинематики и динамики, а также разделы механики: колебания, волны, центральное поле, законы Кеплера, движение твердого тела, элементы гидродинамики идеальной жидкости, неинерциальные системы отсчета.</p> <p><b>Уметь</b> применять полученные знания для научного анализа ситуаций в профессиональной деятельности;</p> <p><b>Знать</b> элементы использования основных общефизических законов и методов физико-математического анализа для решения естественнонаучных задач.</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Механика и теория относительности» является базовой для дальнейшего освоения других, следующих за ней дисциплин общей и теоретической физики: «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Электродинамика и оптика», «Аналитическая механика», «Квантовая механика» и «Физика элементарных частиц», которые также являются базовой частью профессионального цикла. Уже в этой дисциплине раскрывается сущность магнитного поля и силы Лоренца. Аналитическая механика рассматривает механических явлений с помощью формализма Лагранжа-Гамильтона. Квантовая механика является расширением области применимости механики и теории относительности. Физика элементарных частиц во многом базируется на использовании релятивистской механики.

**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.**

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	Прием заданий			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	252	64	64		16	80	18	8			2
Всего 252 часов/ 7 зачетных единиц, из них: - контактная работа 154 часа											
Компетенции ОПК-2											

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, контрольные работы, домашние задания, консультации, самостоятельная работа студентов, экзамен.

Программой предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: домашние задания, контрольные работы, задания для самостоятельного решения;
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость дисциплины «Механика и теория относительности» составляет 7 зачетных единиц, в том числе:

- занятия лекционного типа – 64 часа,
- практические занятия – 64 часа,
- прием заданий – 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 80 часов;
- промежуточной аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации, экзамен) – 28 часов.

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 154 часа.

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

Дисциплина «Механика и теория относительности» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 1-м курсе физического факультета НГУ в 1 семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачётных единиц, 252 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Консультации перед Экзаменом (часов)	Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы			Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)		
				Лекции	Практические занятия	Прием заданий			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Введение.</b>									
1.	Физика – наука о природе, изучающая наиболее общие, фундаментальные законы природы. Механика классическая и квантовая, нерелятивистская и релятивистская, границы применимости. Пространство и время. Кинематика и динамика. Масштабы времён и расстояний в природе.	1	8	2	2		4		
<b>Нерелятивистская кинематика</b>									
2.	Радиус вектор, вектора скорости и ускорения. Операции с векторами, скалярное и векторное произведение векторов. Прямая задача кинематики, производная. Обратная задача кинематики, интеграл. Движение по окружности. Тангенциальное и нормальное ускорения.	1	8	2	2		4		
3.	Прямая задача кинематики в полярной системе координат. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности. Преобразования Галилея.	2	8	2	2		4		
<b>Релятивистская кинематика</b>									
4.	Максимальная скорость распространения сигналов. Постулаты Эйнштейна. Одновременность, синхронизация часов, измерение расстояний. Неизменность поперечных масштабов. Ход часов и замедление времени. Сокращение движущегося масштаба. Преобразования Лоренца.	2	8	2	2		4		

5.	Преобразование скоростей. Абберация. Эффект Доплера. Четырехмерный вектор события, интервал и собственное время, 4-вектор скорости.	3	8	2	2		4		
<b>Нерелятивистская динамика</b>									
6	Законы динамики Ньютона. Импульс. Закон сохранения импульса. Центр масс. Задача двух тел, приведенная масса. Сила как мера скорости изменения импульса. Принцип относительности и закон сохранения импульса. Аддитивность масс. Связь закона сохранения импульса с принцип относительности и однородность пространства. Реактивное движение.	3	8	2	2		4		
7	Работа, кинетическая энергия. Консервативные (потенциальные) силы, примеры сил. Закон сохранения энергии. Энергия тел, связанных кулоновской силой. Внутренняя энергия. О происхождении закона сохранения энергии. Изменение полной энергии под действием непотенциальных сил	4	8	2	2		4		
8	Поле. Электромагнитное взаимодействие. Теорема Гаусса. Электрические поля в простейших системах. Потенциал и потенциальная энергия заряженной сферы и шара. Энергия поля и его плотность. Классический радиус электрона. Гравитационное взаимодействие. Черные дыры.	4	8	2	2		4		
9	Распады, упругие и неупругие столкновения частиц. Системы единиц СГСЭ и СИ.	5	8	2	2		4		
<b>Релятивистская динамика.</b>									
10	Релятивистский импульс. Релятивистская энергия. Законы сохранения релятивистского импульса и энергии. Энергия связи и другие фундаментальные и практические следствия.	5	8	2	2		4		
11	4-вектор энергии-импульса. Преобразования Лоренца для энергии и импульса. Эффект Доплера и абберация как следствие преобразований Лоренца для энергии-импульса. Релятивистская сила как производная	6	8	2	2		4		

	релятивистского импульса по времени. Связь работы силы с изменением энергии. Преобразование силы. Связь силы и ускорения. Масса в релятивистской динамике.								
12	Релятивистская ракета, равноускоренная в собственной системе отсчета. Скорость, путь, собственное время, расход горючего.	6	8	2	2		4		
13.	Столкновения и распады частиц. Упругие столкновения. Распад частиц. Неупругие столкновения, пороги рождения частиц, встречные пучки.	7	6	2	2		2		
14.	Инвариантность заряда. Плотность заряда и плотность тока в разных системах отсчёта. Взаимодействие движущегося заряда с током. Магнитное поле и сила Лоренца как проявление релятивистских эффектов в кулоновском взаимодействии	7	6	2	2		2		
15	Движение в магнитном поле. Единицы измерения электрических и магнитных величин. Пример: мюонный коллайдер.	8	8	2	2		4		
16	Проведение потоковой контрольной. Разбор, обсуждение и решение задач.	8	12	2	0	8	2		
<b>Колебания и волны.</b>									
17	Одномерное движение в потенциальном поле. Фазовая плоскость. Период колебания. Малые, гармонические колебания.	8	8	2	2		4		
18	Затухающие колебания. Добротность. Вынужденные колебания. Резонанс.	9	6	2	2		2		
19	Потери энергии осциллятора при малом затухании. Работа сил при вынужденных колебаниях. Параметрический резонанс (на примере качелей). Адиабатический инвариант при медленном изменении параметров осциллятора.	9	8	2	2		4		
20	Упругие среды. Модуль Юнга, коэффициент Пуассона. Волны в среде (модель с шариками). Скорость продольных волн в упругой среде.	10	8	2	2		4		

	Волновое уравнение. Принцип суперпозиции.								
21	Поперечные волны в натянутой струне. Энергия в волне. Столкновение стержня со стенкой, столкновение двух стержней. Стоячие волны.	10	8	2	2		4		
<b>Центральное поле.</b>									
22	Движение в центральном поле. Задача двух тел, приведенная 8равса (повтор.). Момент импульса и его сохранение в центральном поле. Связь закона сохранения импульса с изотропностью пространства. Общее решение для движения в центральном поле, эффективный потенциал, финитные и инфинитные траектории. Период движения. Условие падения на центр, условие устойчивости круговых орбит.	11	8	2	2		4		
23.	Движение в кулоновском (гравитационном) поле, траектория, период. Законы Кеплера. Случай отталкивающего потенциала. Космические скорости. Полет на Марс и к Солнцу.	11	6	2	2		2		
24.	Средние потенциальные и кинетические энергии в связанных системах, теорема о вириале. Торможение спутника. Астрофизические следствия: связь излучения с температурой и размером системы, неустойчивость межгалактического газа. Влияние солнечной радиации на движение малых тел: давление света, эффект Пойнтинга-Робертсона. Модель расширяющейся Вселенной, критическая плотность.	12	8	2	2		4		
25.	Рассеяние частиц. Сечение рассеяния. Рассеяние на сфере. Резерфордовское рассеяние на малые углы.	12	6	2	2		2		
26	Формула Резерфорда. Учет массы частицы-мишени.	13	8	2	2		4		
<b>Движение твердого тела.</b>									
27.	Поступательное и вращательное движение твердого тела. Мгновенная ось вращения. Разложение движения на поступательное и вращательное. Кинетическая энергия и момент импульса твердого тела. Моменты инерции. Главные оси вращения и главные моменты инерции. Теорема	13	8	2	2		4		



	Гюйгенса-Штейнера. Моменты инерции некоторых тел.								
28.	Уравнение движения твердого тела. Работа при вращении. Скатывание цилиндра с наклонной плоскости без проскальзывания. Физический маятник. Опертый симметричный волчок в поле тяжести. Гироскопы. Прецессия гироскопа под действием внешних сил. Гироскопические силы. Свободный гироскоп. Гирокомпас.	14	8	2	2		4		
29.	Элементы статики. Условие равновесия тел. Тело на наклонной плоскости. Неоднозначность статических задач. Два соединенных тела на наклонной плоскости. Лестница у стенки. Условие устойчивости. Элементы гидродинамики идеальной жидкости. Гидростатика. Стационарные течения. Закон Бернулли. Формула Торричелли. Гидравлический удар.	14	6	2	2		2		
<b>Неинерциальные системы отсчета, элементы общей теории относительности, кв. механики</b>									
30.	Силы инерции при ускоренном поступательном движении системы отсчета. Силы инерции во вращающейся системе отсчета, центробежная и кориолисова силы. Маятник Фуко и другие примеры. Приливы.	15	8	2	2		4		
31.	Гравитация, принцип эквивалентности, элементы общей теории относительности. Инертная и гравитационная масса, принцип эквивалентности. Опыт Этвеша. Падение фотона в гравитационном поле. Замедление времени в гравитационном поле. Область применимости классических законов движения в гравитационных полях.	15	6	2	2		2		
32.	Элементы квантовой механики. Современное представление о Вселенной. Физика элементарных частиц и космология. Темная материя и темная энергия.	16	8	2	2		4		
33.	Итоговая потоковая контрольная работа. Разбор, обсуждение и решение задач	16	14	0	2	8	4		
34.	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации	17	18						18
35.	Экзамен		10					8	2

	<b>Всего:</b>		<b>288</b>	<b>64</b>	<b>64</b>	<b>16</b>	<b>116</b>	<b>8</b>	<b>20</b>
--	---------------	--	------------	-----------	-----------	-----------	------------	----------	-----------

### Программа практических занятий дисциплины «Механика и теория относительности»

На практических занятиях решаются задачи по представленным ниже темам. Темы практических занятий и номера, рекомендуемых для рассмотрения на занятиях и для домашних заданий:

Нумерация по задачку Ахметов Т.Д., Болеста А.В., Еманов Ф.А., Руденко А.С., Тельнов В.И., Шошин А.А. (под ред. Тельнова В.И.), «Задачи по механике и теории относительности». Учеб. пособие. Новосибирский гос. ун-т. Новосибирск, 2016. – 168 с.

№ занятия	Тема семинара	№ задач
1-4	Нерелятивистская кинематика	1.1-1.40
5-8	Релятивистская кинематика	2.1-2.31
9-12	Нерелятивистская динамика	3.1-3.50
13-17	Релятивистская динамика.	4.1-4.57
18-21	Одномерное движение, колебания и волны	5.1-5.34
22-25	Центральное поле, рассеяние	6.1-6.36
26-30	Движение твердого тела, жидкости	7.1-7.40
31-32	Неинерциальные системы отсчета	8.1-8.15

### Самостоятельная работа студентов (98 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям, решение задач	70
Подготовка к контрольным работам	8
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	2
Подготовка к экзамену	18

### 5. Перечень учебной литературы

1. Тельнов В.И., Механика и теория относительности, Учебное пособие, НГУ, 2015 г. В НБ НГУ имеется цифровая копия издания <http://e-lib.nsu.ru/dsweb/Get/Resource-250/page001.pdf> ISBN 978-5-4437-0439-5 (87 экз.)
2. Ахметов Т.Д., Болеста А.В., Еманов Ф.А., Руденко А.С., Тельнов В.И., Шошин А.А. (под ред. Тельнова В.И.), «Задачи по механике и теории относительности». Учеб. пособие. Новосибирский гос. ун-т. Новосибирск, 2016. – 168 с. (98 экз.)
3. Матвеев А. Н. Механика и теория относительности. М.: Высшая школа. 1986. (165 экз)
4. Бельченко Ю.И., Гилев Е.А., Силагадзе З.К. Механика частиц и тел в задачах, М.-Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика". 2008 (52 экз)
5. Иродов И.Е. Механика: основные законы: учебное пособие для студентов физических специальностей высших учебных заведений / И.Е. Иродов 10-е изд. Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010 309 с.: ил. ; 22 см. (Технический университет, Общая физика) ISBN 978-5-9963-0063-1, (70 экз.)

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

Материал, представленный на сайте курса: <http://www.inp.nsk.su/~telnov/mech/>

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

### **7.1 Ресурсы сети Интернет**

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

### **7.2 Современные профессиональные базы данных**

Не используются.

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

### **8.1 Перечень программного обеспечения**

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.

### **8.2 Информационные справочные системы**

Не используются.

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

Для реализации дисциплины «Механика и теория относительности» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной 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.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы физических демонстраций по темам дисциплины.

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 успеваемости*

Текущий контроль успеваемости осуществляется на практических занятиях преподавателем при решении студентом задач, рекомендованных для практических занятий и домашних заданий, обсуждаются идеи и способы решения. В течение семестра проводятся контрольные работы и прием обязательных заданий по дисциплине. Одновременно с этим проводятся индивидуальные консультации обучающихся. Результаты текущего контроля служат основанием для выставления оценок в ведомость контрольной недели на факультете.

В течение семестра проводится прием выполненных обучающимся заданий/задач в отведенное время. Примеры заданий/задач приведены в п.10.3. Термин «сдать задание/задачу» означает объяснение хода ее решения и при необходимости ответы на дополнительные вопросы преподавателей.

### *Промежуточная аттестация.*

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене, который состоит из письменной и устной части. Необходимым условием получения положительной оценки на экзамене является решение и сдача 70% задач из заданий, выполняемых в течение семестра. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию: проводится итоговая письменная экзаменационная работа и экзамен в устной форме по билетам.

Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ОПК-2. Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Итоги промежуточной аттестации (экзамена) оцениваются по пятибалльной шкале:

Если перед началом экзамена у студента сдано менее 70% задач, то до ответа на вопросы экзамена ему даётся 30 минут на то, чтобы сдать оставшиеся задания. Если студенту не удаётся этого сделать за отведённое время, то он не приступает к ответу на устные вопросы, а получает оценку *«неудовлетворительно»*.

Для получения оценки *«отлично»* необходимо развёрнуто ответить на оба вопроса и получить на письменной части экзамена оценку не ниже «хорошо». Также надо ответить на дополнительные вопросы по всей дисциплине (продвинутый уровень освоения компетенций).

Для получения оценки *«хорошо»* нужно ответить на оба вопроса билета и получить на письменной части экзамена оценку не ниже «удовлетворительно». Допускается несколько несущественных ошибок. Необходимо также ответить на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины (базовый уровень освоения компетенций).

Для получения оценки *«удовлетворительно»* за ответы на вопросы, содержащиеся в билете, необходимо:

- ответить хотя бы на один вопрос в билете по теории. Необходимо также ответить на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для изученной дисциплины (пороговый уровень освоения компетенций).

Оценка *«неудовлетворительно»* ставится, когда уровень усвоения компетенций не сформирована.

### **Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины**

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
<b>ОПК - 2.1.</b> Применяет теоретические основы и базовые знания для проведения научного исследования в выбранной области фундаментальной и/или экспериментальной физики.	<b>Знать</b> фундаментальные основы нерелятивистской и релятивистской кинематики и динамики, а также разделы механики: колебания, волны, центральное поле, законы Кеплера, движение твердого тела, элементы гидродинамики идеальной жидкости, неинерциальные системы отсчета; <b>получить</b> представления об общей теории относительности, квантовой механике, строении материи и устройстве вселенной.	Решение задач, проведение контрольных работ, экзамен
<b>ОПК – 2.2.</b> Применяет современную приборную базу (в том числе сложное физическое оборудование) для организации научного исследования.	<b>Уметь</b> применять полученные знания для научного анализа ситуаций в профессиональной деятельности; приобрести навыки использования основных общефизических законов и методов физико-математического анализа для решения естественнонаучных задач.	Решение задач, проведение контрольных работ, экзамен.
<b>ОПК – 2.3.</b> Применяет различные методы обработки и системы анализа экспериментальных данных.	<b>Знать</b> элементы использования основных общефизических законов и методов физико-математического анализа для решения естественнонаучных задач.	Решение задач, проведение контрольных работ, экзамен.

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

Таблица 10.2

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
ОПК-2.1	Полнота знаний	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.

			негрубых ошибок.	отвечает на дополнительные вопросы.	
ОПК-2.2	Наличие умений	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
ОПК-2.3	Наличие знаний и умений	Уровень знаний ниже минимальны. Не умеет решать стандартные задачи и требования. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Уровень знаний ниже минимальны. Не умеет решать стандартные задачи и требования. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний.

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

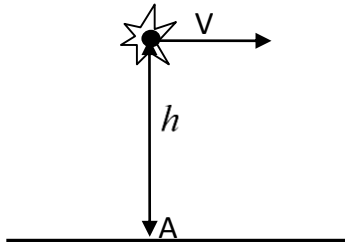
#### Контрольная работа №1

1. Тело с массой  $m$  и зарядом  $q$  налетает со скоростью  $V$  на покоящееся, незакрепленное тело с массой  $2m$  и таким же зарядом  $q$ . Найти минимальное расстояние между ними. (Примечание: задача нерелятивистская). (3 б.)

2. На пластину массы  $M$  и площади  $S$  налетают перпендикулярно и упруго отскакивают частицы с массой  $m$ , скоростью  $V$  и плотностью частиц в потоке  $n$ . Найти зависимость скорости пластины от времени, если она покоилась в начальный момент. (Примечание: задача нерелятивистская) (4 б.)

3. Мимо покоящегося стержня длины  $l_0$  пролетает такой же стержень с релятивистской скоростью. Чему равна его скорость, если время между совпадением «левых» и «правых» концов стержней равно  $\tau$ ? (4 б.)

4. Одиночный электрон пролетает с постоянной скоростью  $V$  участок длиной  $L$ , где он во внешнем поле излучает во все стороны. Какой длительности вспышки регистрирует детекторы, расположенные по и против направления движения электрона? (4 б.)

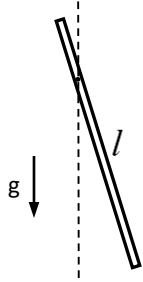


5. Над плоскостью пролетает релятивистский снаряд со скоростью  $V$  и взрывается на высоте  $h$  над точкой  $A$  (см. рисунок). Скорость разлета осколков в системе снаряда равна  $u_0$ . Через какое время осколки достигнут точки  $A$ ? (7 б.)

6. Пучок электронов с энергиями  $E_e$  сталкивается с летящими перпендикулярно пучку электронов (в лабораторной системе отсчета) фотонами. При какой минимальной энергии фотонов будут рождаться электрон-позитронные пары:  $\gamma e^- \rightarrow e^- e^+ e^-$ ?

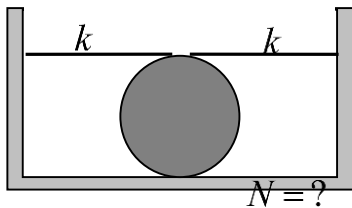
Масса электрона (позитрона) равна  $m$ . (6 баллов)

### Контрольная работа №2



1. Маятник представляет собой однородный тонкий стержень длины  $l$ , качающийся вокруг горизонтальной оси. На каком расстоянии от верхнего конца стержня должна проходить ось, чтобы период колебаний был минимальным? (4 б.)

2. Планета радиуса  $R$  и массы  $M$  пролетает с постоянной скоростью  $V$  через космическую среду с плотностью частиц в единице объема  $n$ . С учетом гравитационного притяжения найти число частиц, падающих на планету за единицу времени? (5 б.)



3. Однородный цилиндр массой  $m$  и радиуса  $R$  движется без проскальзывания по полу и прикреплен за верхнюю точку к стенкам двумя резинками (пружинками) с жесткостью  $k$  каждая (см. рисунок). Чему равен период малых колебаний? (6 б.)

4. Однородная палка веса  $P$  лежит на двух опорах вблизи концов (см. рисунок). Одну из опор убирают, найти давление на оставшуюся опору в первый момент. (4 б.)

5. Спутник вращался вокруг планеты по круговой орбите. После короткой работы двигателей его скорость вдоль первоначального направления возросла настолько, что расстояние до центра планеты в точке максимального удаления увеличилось на 1%. На сколько процентов изменился период обращения? (5 б.)

### Задание 1: Нерелятивистская и релятивистская кинематика

(сдать на 6 неделе обучения)

1. Скорость автомобиля от времени задается следующим выражением:

$$V = \begin{cases} V \left( 1 - \cos \frac{\pi t}{\tau} \right), & \text{при } 0 < t \leq \tau \\ 2V, & \text{при } \tau < t \leq \tau_1 \\ 2V \frac{\tau_2 - t}{\tau_2 - \tau_1}, & \text{при } \tau_1 < t \leq \tau_2 \end{cases}$$

Найти зависимость ускорения и пройденного пути от времени. Нарисовать синхронные графики ускорения, скорости и пройденного пути.

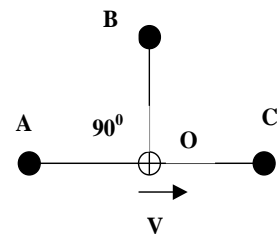
2. Лодку подтягивают к берегу с помощью веревки, стоя на высоком берегу. Веревку выбирают со скоростью  $v=1$  м/с. С какой скоростью движется лодка, когда угол между веревкой и горизонтом составляет  $\alpha = 60^\circ$ .

3. Дельфин для обнаружения рыбы излучает звуковой сигнал в течение времени  $\tau_0$ . Какой длительности отраженный сигнал он услышит, если скорость звука в воде  $c$ . Дельфин и рыба двигаются в одном направлении со скоростями  $v_1$  и  $v_2$ , соответственно.

4. На какую максимальную высоту  $h$  относительно поверхности земли поднимаются капли воды, срывающиеся с обода мокрого велосипедного колеса радиуса  $R$  при скорости велосипеда  $v$ .

5. Один из двух стержней покоится, а другой движется вдоль него со скоростью  $V$ . В какой системе отсчета длины стержней будут одинаковыми?

6. В точках А, В, С, находящихся на расстоянии  $R$  от центра О лабораторной системы отсчета одновременно происходят вспышки света. Через какое время (по своим часам) увидит вспышки наблюдатель, движущийся со скоростью  $V = 0.8c$  вдоль линии АС? В момент вспышек наблюдатель находился в точке О.

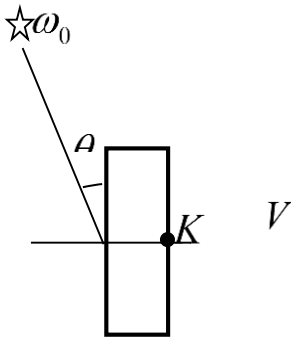


7. Два космических корабля, связанных эластичным тросом длины  $L$ , в системе отсчета Земли одновременно начинают движение с постоянным ускорением  $g$  и после некоторого времени одновременно выключают двигатели и продолжают движение с постоянной скоростью  $V$ . Найти максимальное значение  $V$ , для которого корабли останутся связанными, если трос выдерживает двукратное растяжение.

8. Прямоугольный стеклянный брусок длины  $L$  движется со скоростью  $V$  параллельно своей грани. Одна из сторон бруска, перпендикулярная к скорости, посеребрена. Сколько времени по часам неподвижных наблюдателей потребуется свету, летящему навстречу бруску, чтобы пройти сквозь брусок, отразиться от посеребренной грани и выйти из бруска? Какое время пройдет в лабораторной системе отсчета между входом света в брусок и его отражением от зеркальной грани? Скорость света в неподвижном бруске  $u$ .

9. Пенал длины  $L_{п}$ , открытый с одной стороны, налетает на карандаш длины  $L_{к}$ . За счет релятивистского сокращения длины пенал оказывается короче покоящегося карандаша, т.е. карандаш не может уместиться в пенале. В системе пенала все выглядит наоборот: летящий карандаш короче пенала и может уместиться в нем. Так, все-таки, помещается карандаш в пенал или нет? При каком соотношении длин пенала и карандаша наблюдатель, сидящий у открытого конца пенала, сможет спокойно закрыть крышку после того как мимо него пролетит конец карандаша? («Спокойно» в том смысле, что пенал к этому времени не разлетится вдребезги от удара карандаша о дно пенала. Считать, что сигнал распространяется по пеналу со скоростью света).



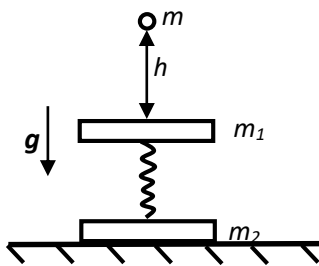


10. Космонавт, сидящий у иллюминатора на правой стороне покоящегося корабля (точка К), не может видеть звезду, расположенную в противоположной полусфере под углом  $\theta$  относительно стенки корабля и излучающую на средней частоте  $\omega_0$ . Куда должен двигаться корабль (налево или направо) и с какой минимальной скоростью, чтобы космонавт смог увидеть эту звезду? Какая будет при этом видимая частота излучения звезды?

11. Звезда, находящаяся на расстоянии  $R$  от Земли, сбрасывает оболочку, которая разлетается со скоростью  $V$  относительно звезды. Найти скорость увеличения видимого углового размера звезды  $d\theta/dt$ . Какая будет при этом видимая скорость разлета, если ее посчитать как  $u = R \frac{d\theta}{dt}$ ? Астрономы наблюдали подобное явление и нашли, что видимая скорость разлета больше скорости света, но быстро поняли, в чем дело. Попробуйте разобраться с этой задачей и вы.

## Задание 2: Нерелятивистская и релятивистская механика (сдать на 8 неделе обучения)

1. Под каким углом  $\alpha$  к склону горы (угол наклона горы  $\beta$ , высота  $h$ ) нужно тянуть веревку, чтобы тащить санки в гору с наименьшим усилием? Под каким углом  $\alpha$  нужно тянуть, чтобы работа по затаскиванию санок на горку была минимальна? Чему равна эта работа? Коэффициент трения равен  $k$ . Считать, что сила приложена к центру тяжести санок.
2. Ракета с начальной массой  $m_0$  поднимается вертикально вверх в однородном поле тяжести Земли (ускорение  $g$ ). Скорость газовой струи относительно ракеты равна  $u$ . Расход массы за единицу времени  $\mu = -dm/dt$  постоянен. Найти зависимость скорости ракеты от времени.
3. Шайба скатывается с вершины полусферического купола с начальной горизонтальной скоростью  $V_0$ . В какой точке купола шайба оторвется? Радиус купола  $R$ , ускорение свободного падения  $g$ .

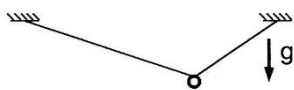


4. Две пластинки с массами  $m_1$  и  $m_2$  скреплены пружинкой с коэффициентом жесткости  $k$ . На верхнюю пластинку с высоты  $h$  падает пластилиновый шарик массы  $m$ . Найдите минимальную высоту, при которой нижняя пластина оторвется от стола.
5. Релятивистская частица с массой  $m$  и энергией  $E$  пролетает насквозь плоский конденсатор с разностью потенциалов  $U$ . Угол падения (относительно нормали)  $\alpha$ , найти угол  $\beta$  на выходе.
6. Найти энергию, переданную частицей массы  $m$  покоившейся частице массы  $M$  после упругого лобового столкновения: а) в общем случае; б) в нерелятивистском случае; в) в случае  $m \ll M$ . (случаи б) и в) получить предельным переходом).
7. Протоны, летящие через вселенную, могут сталкиваться с реликтовыми фотонами, имеющими энергию  $E_\gamma = 3 \cdot 10^{-4}$  эВ. Найти величину пороговой энергии протона для реакции  $p + \gamma \rightarrow \Delta^+$ , если масса  $\Delta^+$  резонанса равна  $M_\Delta = 1232$  МэВ, масса протона  $M_p$

=938 МэВ. (Именно за счет этого процесса поток космических лучей, долетающих до Земли, резко падает при энергии выше пороговой).

8. Под действием лазерного луча мощности  $N = 10$  МВт зеркало удерживается в поле тяжести. На сколько нужно увеличить мощность, чтобы это зеркало двигалось вверх с постоянной скоростью  $V = 100$  м/с.
9. Какой минимальный радиус должен иметь электрон-позитронный ускоритель со встречными пучками, чтобы на нем можно было наблюдать рождение  $Z$ -бозона с массой 90 ГэВ? Магнитное поле на дорожке ускорителя 1 Т. Какая должна быть энергия и радиус ускорителя для рождения  $Z$ -бозонов при столкновении позитронного пучка с мишенью из неподвижных электронов? Масса электрона и позитрона  $m_e = 0.511$  МэВ.
10. Нейтрино получают в распаде  $\pi \rightarrow \mu\nu$ . Найти энергетический спектр нейтрино в лабораторной системе отсчета, если энергия пионов  $E_0$ . Массы пионов и мюонов  $m_\pi$  и  $m_\mu$ , массу нейтрино считать нулевой. (Примечание: похожая задача, распад  $\pi_0 \rightarrow \gamma\gamma$ , была рассмотрена на лекции.)

**Задание 3 Колебания, центр. поле, движ. твердого тела, неинерц. системы**  
(сдать на 16 неделе обучения)

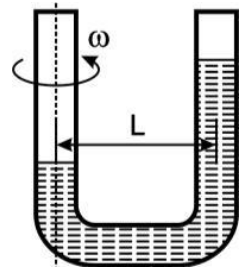


1. Бусинка надета на невесомую гладкую нить длиной  $L$ , концы которой закреплены на одинаковой высоте на расстоянии  $d$  друг от друга. Найти частоту малых колебаний бусинки вдоль нити.

2. Найти среднюю энергию, приобретенную осциллятором (масса  $m$ , собственная частота  $\omega_0$ ) за все время действия силы  $F = F_0 - F_0 e^{-t/\tau}$ . В начальный момент времени  $t = 0$  энергия осциллятора была равна нулю. Указание: искать частное решение неоднородного уравнения для силы  $F_0 e^{-t/\tau}$  в виде  $Ae^{-t/\tau}$ .
3. Частица движется без трения по поверхности чашки, описываемой в цилиндрической системе координат уравнением  $z = \alpha r^4$ . Поле тяжести направлено вдоль оси  $z$ . На высоте  $h$  скорость частицы была горизонтальной и равна  $V$ . Найти границы движения частицы.
4. Найти время падения массы  $m$  в центр поля  $U = -\alpha/r^6$  с расстояния  $R$ , если ее полная энергия равна нулю, а начальная скорость перпендикулярна направлению на центр. Нарисовать эффективный потенциал и фазовую траекторию для радиального движения частицы.
5. Две звезды с массами  $M_1$  и  $M_2$  движутся по окружностям вокруг общего центра масс. У звезды массы  $M_1$  в результате сферически-симметричного взрыва сбрасывается внешняя оболочка массы  $qM_1$ , которая, расширяясь, быстро уходит за пределы двойной системы. При каком значении  $q$  двойная система перестанет быть связанной гравитационными силами?
6. Найти моменты инерции однородной тонкостенной сферы, однородного кольца и однородного цилиндра.
7. Тонкая однородная палка стоит на гладком полу, прислоненная к гладкой стене, а затем начинает падать с нулевой начальной скоростью, упираясь в угол. Какой угол будет между палкой и стеной, когда нижний конец отделится от стены?

8. Тонкая пластинка, имеющая форму равностороннего треугольника, совершает колебания в поле тяжести вокруг горизонтальной оси, совпадающей с одной из ее сторон. Чему равен период малых колебаний?

9. Вертикальная U-образная трубка, заполненная водой, вращается вокруг одной из своих половин с угловой скоростью  $\omega$ . Расстояние между прямолинейными частями трубки  $L$ . Концы трубки открыты. Найти разность уровней воды в трубке.



### Пример экзаменационного билета

1. Релятивистская сила и ее преобразование. Релятивистское уравнение движения.
2. Прецессия закрепленного уравновешенного гироскопа под действием внешних сил. Гироскопические силы.

### Форма экзаменационного билета

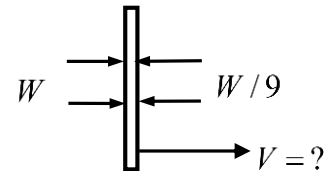
<p><b>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</b></p> <p><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p><b>Физический факультет</b></p>
<p><b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</b></p> <p>1 ..... 2 .....</p> <p>Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/ (подпись)</p> <p>« ____ » _____ 20 ____ г.</p>

### Экзаменационные вопросы по механике и теории относительности

1. Кинематика материальной точки.
2. Кинематика движения по окружности.
3. Тангенциальное и нормальное ускорение, радиус кривизны.
4. Скорость и ускорение в полярной системе координат.
5. Угловая скорость. Скорость и ускорение точек твердого тела при вращении вокруг неподвижной оси.
6. Инерциальные системы отсчета, принцип относительности, преобразование Галилея.
7. Постулаты специальной теории относительности.
8. Относительность одновременности.
9. Замедление хода движущихся часов, «парадокс» близнецов.

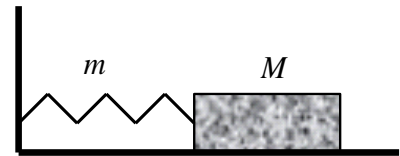
10. Изменение поперечных и продольных размеров, движущихся тел.
11. Преобразования Лоренца.
12. Преобразование скоростей.
13. 4-вектор события. Интервал. Собственное время.
14. Релятивистская инвариантность, 4 вектора и скаляры.
15. Абберрация.
16. Эффект Доплера (рел.)
17. Законы Ньютона.
18. Импульс. Закон сохранения импульса. Центр масс, уравнение движения ц.м.
19. Задача двух тел, сведение к задаче движения одного тела.
20. Реактивное движение (н.р.). Формула Циолковского.
21. Работа и кинетическая энергия (н.р.).
22. Потенциальное поле и потенциальная энергия.
23. Закон сохранения энергии в потенциальном поле.
24. Потенциальная энергия при электрическом и гравитационном взаимодействиях.
25. Распады и упругие столкновения в н.р. случае.
26. Релятивистский импульс и энергия и их преобразование.
27. 4-вектор энергии-импульса.
28. Законы сохранения энергии и импульса в релятивистской динамике.
29. Релятивистская сила и ее преобразование. Релят. уравнение движения.
30. Распад покоящейся частицы (рел.).
31. Комптоновское рассеяние назад.
32. Встречные пучки. Порог рождения частиц.
33. Сила Лоренца. Движение частицы в однородном магнитном поле.
34. Одномерное движение в потенциальном поле. Фазовая плоскость.
35. Малые гармонические колебания.
36. Затухающие колебания.
37. Вынужденные колебания, резонанс.
38. Скорость звука в упругой среде.
39. Закон сохранения момента импульса.
40. Закон всемирного тяготения, законы Кеплера.
41. 1-2-3-я космические скорости.
42. Сечение рассеяния. Рассеяние на неподвижной сфере.
43. Опыт Резерфорда.
44. Кинематика движения твердого тела. Мгновенная ось вращения.
45. Кинетическая энергия твердого тела.
46. Момент силы, импульса и инерции.
47. Динамика движения твердого тела.
48. Движение опёртого волчка в поле тяжести.
49. Прецессия закрепленного уравновешенного гироскопа под действием внешних сил.  
Гироскопические силы.
50. Условие равновесия твердого тела.
51. Неинерциальные системы отсчета.
52. Силы инерции.
53. Центробежная сила.
54. Сила Кориолиса.
55. Маятник Фуко.
56. Закон Бернулли. Формула Торичелли.
57. Инертная и гравитационная масса. Принцип эквивалентности.
58. Падение фотона в гравитационном поле. Замедление времени в гравитационном поле

1. На идеальное двухстороннее зеркало светят по нормали с противоположных сторон двумя лазерами, отличающимися по мощности в 9 раз. Чему равна установившаяся скорость зеркала? (6 б)



2. Частица с массой  $m$  распадается на лету на две частицы с массами  $m_1$  и  $m_2$  ( $m_1 < m_2$ ). При какой энергии частицы продукты распада будут лететь только в переднюю полусферу? (5 б)

3. Тело массы  $M$  скользит без трения по горизонтальной поверхности и прикреплено к стенке пружиной жесткостью  $k$  и массой  $m$ , равномерно распределенной по длине пружины. Найти период малых колебаний системы. (6 б)



4. Два тела с массами  $m_1$  и  $m_2$  соединены последовательно двумя пружинами жесткости  $k_1$  и  $k_2$ . Найти частоту малых колебаний. (4 б)



5. Тонкий обруч радиуса  $r$  скатывается без проскальзывания в яму, имеющую формы полусферы радиуса  $R$ , причем  $R \gg r$ . На какой глубине сила давления обруча на стенку станет равной его весу? (4 б)

6. Палка летит перпендикулярно своей оси со скоростью  $V$  и задевает концом другую такую же неподвижную палку. Удар упругий. Найти конечные поступательные и угловые скорости палок. (4 б)



7. Спутник на геостационарной орбите вышел из строя, и было решено утопить его в океане. Найти необходимое минимальное изменение скорости спутника. Ответ выразить через радиус геостационарной орбиты  $R_r$ , радиус Земли  $R_z$  и ускорение свободного падения на поверхности Земли  $g$ . (6 б)

8. Изучая систему из двух звезд, астрономы нашли скорости компаньонов  $V_1$  и  $V_2$  и период обращения  $T$ . Чему равны массы звезд  $m_1$  и  $m_2$ ? (6 б).

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

**Лист актуализации программы по дисциплине  
«Механика и теория относительности»  
Направление: 03.03.02 Физика  
Направленность (профиль): все профили**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного