

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горно-Алтайский государственный университет»  
(ФГБОУ ВО ГАГУ, ГАГУ, Горно-Алтайский государственный университет)

## Механика

### рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой	<b>кафедра математики, физики и информатики</b>		
Учебный план	03.03.02_2024_614.plx 03.03.02 Физика Цифровые технологии в альтернативной энергетике		
Квалификация	<b>бакалавр</b>		
Форма обучения	<b>очная</b>		
Общая трудоемкость	<b>6 ЗЕТ</b>		
Часов по учебному плану	216	Виды контроля в семестрах:	
в том числе:		экзамены 2	
аудиторные занятия	138		
самостоятельная работа	38,9		
часов на контроль	34,75		

#### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	2 (1.2)		Итого	
	19			
Неделя			УП	РП
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	62	62	62	62
Лабораторные	44	44	44	44
Практические	32	32	32	32
Консультации (для студента)	3,1	3,1	3,1	3,1
Контроль самостоятельной работы при проведении аттестации	0,25	0,25	0,25	0,25
Консультации перед экзаменом	1	1	1	1
Итого ауд.	138	138	138	138
Контактная работа	142,35	142,35	142,35	142,35
Сам. работа	38,9	38,9	38,9	38,9
Часы на контроль	34,75	34,75	34,75	34,75

Итого	216	216	216	216
-------	-----	-----	-----	-----

Программу составил(и):

*к.ф.-м.н., Профессор, Михайлов СергейПетрович*

Рабочая программа дисциплины

**Механика**

разработана в соответствии с ФГОС:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 03.03.02 Физика (приказ Минобрнауки России от 07.08.2020 г. № 891)

составлена на основании учебного плана:

03.03.02 Физика

утвержденного учёным советом вуза от 01.02.2024 протокол № 2.

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры

**кафедра математики, физики и информатики**

Протокол от 11.04.2024 протокол № 8

Зав. кафедрой И.о. Зав.каф. Богданова Р.А.

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2025-2026 учебном году на заседании кафедры **кафедра математики, физики и информатики**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2025 г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой И.о. Зав.каф. Богданова Р.А.

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2026-2027 учебном году на заседании кафедры **кафедра математики, физики и информатики**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2026 г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой И.о. Зав.каф. Богданова Р.А.

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2027-2028 учебном году на заседании кафедры **кафедра математики, физики и информатики**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2027 г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой И.о. Зав.каф. Богданова Р.А.

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2028-2029 учебном году на заседании кафедры **кафедра математики, физики и информатики**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2028 г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой И.о. Зав.каф. Богданова Р.А.

**1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

1.1	<i>Цели:</i> Сообщить студенту базовые знания, умения и навыки в области механики.
1.2	<i>Задачи:</i> Сообщить основные понятия, принципы и законы механики; закрепить умение грамотно использовать физическую лексику и понятийный аппарат, решать типовые учебные и усложнённые задачи механики; дать возможность приобрести базовые экспериментальные навыки в области механики.

**2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП**

Цикл (раздел) ООП:	
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>
2.1.1	Математика
2.1.2	Математический анализ
2.1.3	Информационные технологии
2.1.4	Основы физического эксперимента
2.1.5	Элементарная физика
2.1.6	Устройство и применение персонального компьютера
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>
2.2.1	Общая физика
2.2.2	Основы электротехники
2.2.3	Электричество и магнетизм
2.2.4	Молекулярная физика
2.2.5	Теоретическая механика. Механика сплошных сред
2.2.6	Электрические машины

**3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

<b>ОПК-1:</b> Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;
<b>ИД-1.ОПК-1:</b> Знает основные физические законы и математический аппарат, знаком с естественными науками в необходимом для профессиональной деятельности объеме
Знает основные законы механики и математический аппарат, знаком с естественными науками в необходимом для профессиональной деятельности объеме
<b>ИД-2.ОПК-1:</b> Способен решать типовые физические задачи на основе аппарата высшей математики
Способен решать типовые задачи механики на основе аппарата высшей математики
<b>ИД-3.ОПК-1:</b> Имеет представление об области применения физических законов и естественно-научных знаний в своей профессиональной деятельности
Имеет представление об области применения законов механики в своей профессиональной деятельности
<b>ОПК-2:</b> Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;
<b>ИД-1.ОПК-2:</b> Знает методику проведения физического эксперимента, способен проводить физические измерения и обрабатывать их результаты
Знает методику проведения физического эксперимента, способен проводить физические измерения и обрабатывать их результаты

**4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература	Инте ракт.	Примечание
	Раздел 1.						

1.1	См. файл "Раб_прогр_механика_2024.pdf" в приложении /Лек/	2	62	ИД-1.ОПК-1 ИД-2.ОПК-1 ИД-3.ОПК-1 ИД-1.ОПК-2	Л1.1 Л1.2Л2.1	0	
1.2	См. файл "Раб_прогр_механика_2024.pdf" в приложении /Лаб/	2	44	ИД-1.ОПК-1 ИД-2.ОПК-1 ИД-3.ОПК-1 ИД-1.ОПК-2	Л1.1 Л1.2Л2.1	0	
1.3	См. файл "Раб_прогр_механика_2024.pdf" в приложении /Пр/	2	32	ИД-1.ОПК-1 ИД-2.ОПК-1 ИД-3.ОПК-1 ИД-1.ОПК-2	Л1.1 Л1.2Л2.1	0	
1.4	См. файл "Раб_прогр_механика_2024.pdf" в приложении /Ср/	2	38,9	ИД-1.ОПК-1 ИД-2.ОПК-1 ИД-3.ОПК-1 ИД-1.ОПК-2	Л1.1 Л1.2Л2.1	0	
<b>Раздел 2. Промежуточная аттестация (экзамен)</b>							
2.1	Подготовка к экзамену /Экзамен/	2	34,75	ИД-1.ОПК-1 ИД-2.ОПК-1 ИД-3.ОПК-1 ИД-1.ОПК-2		0	
2.2	Контроль СР /КСРАтт/	2	0,25	ИД-1.ОПК-1 ИД-2.ОПК-1 ИД-3.ОПК-1 ИД-1.ОПК-2		0	
2.3	Контактная работа /КонсЭк/	2	1	ИД-1.ОПК-1 ИД-2.ОПК-1 ИД-3.ОПК-1 ИД-1.ОПК-2		0	
<b>Раздел 3. Консультации</b>							
3.1	Консультация по дисциплине /Конс/	2	3,1	ИД-1.ОПК-1 ИД-2.ОПК-1 ИД-3.ОПК-1 ИД-1.ОПК-2		0	

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 5.1. Пояснительная записка

1. Оценочные средства предназначены для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу учебной дисциплины «Элементарная физика»
2. Фонд оценочных средств включает контрольные материалы для проведения текущего контроля в формах, указанных в рабочей программе, и промежуточной аттестации в форме вопросов и заданий к экзамену.

### 5.2. Оценочные средства для текущего контроля

Оценочные средства для текущего контроля см. в приложении 1 (файл "ФОС\_механика\_2023\_для студентов.pdf")

### 5.3. Темы письменных работ (эссе, рефераты, курсовые работы и др.)

См. файл "ФОС\_механика\_2023\_для студентов.pdf" в приложении.

### 5.4. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Оценочные средства для промежуточной аттестации см в приложении 1 (файл "ФОС\_механика\_2023\_для студентов.pdf").

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Эл. адрес
Л1.1	Михайлов С.П., Кыров В.А.	Механика: учебное пособие для вузов	Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2016	<a href="http://elib.gasu.ru/index.php?option=com_abook&amp;view=book&amp;id=150:mekhanika&amp;catid=6:physics&amp;Itemid=164">http://elib.gasu.ru/index.php?option=com_abook&amp;view=book&amp;id=150:mekhanika&amp;catid=6:physics&amp;Itemid=164</a>
Л1.2	Михайлов С.П.	Курс физики. Т.1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика: учебное пособие	Горно-Алтайск: БИЦ ГАГУ, 2018	<a href="http://elib.gasu.ru/index.php?option=com_abook&amp;view=book&amp;id=2819:899&amp;catid=6:physics&amp;Itemid=164">http://elib.gasu.ru/index.php?option=com_abook&amp;view=book&amp;id=2819:899&amp;catid=6:physics&amp;Itemid=164</a>

#### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Эл. адрес
Л2.1	Михайлов С.П.	Задачник и методические указания по механике: учебно-методическое пособие	Горно-Алтайск: БИЦ ГАГУ, 2019	<a href="http://elib.gasu.ru/index.php?option=com_abook&amp;view=book&amp;id=2876:937&amp;catid=6:physics&amp;Itemid=164">http://elib.gasu.ru/index.php?option=com_abook&amp;view=book&amp;id=2876:937&amp;catid=6:physics&amp;Itemid=164</a>

### 6.3.1 Перечень программного обеспечения

6.3.1.1	Adobe Reader
6.3.1.2	Firefox
6.3.1.3	Foxit Reader
6.3.1.4	MS Office
6.3.1.5	MS WINDOWS
6.3.1.6	Яндекс.Браузер
6.3.1.7	Moodle
6.3.1.8	Kaspersky Endpoint Security для бизнеса СТАНДАРТНЫЙ
6.3.1.9	LibreOffice
6.3.1.10	NVDA
6.3.1.11	MS Windows
6.3.1.12	РЕД ОС

### 6.3.2 Перечень информационных справочных систем

6.3.2.1	База данных «Электронная библиотека Горно-Алтайского государственного университета»
6.3.2.2	Электронно-библиотечная система IPRbooks
6.3.2.3	Межвузовская электронная библиотека

## 7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

	ситуационное задание	
	проблемная лекция	

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Номер аудитории	Назначение	Основное оснащение
-----------------	------------	--------------------

102 Б1	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Ученическая доска, мультимедиапроектор, экран, компьютер. Рабочее место преподавателя, посадочные места обучающихся (по количеству обучающихся), кафедра
214 Б1	Кабинет методики преподавания физики. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Ученическая доска, мультимедиапроектор, компьютер, экран, посадочные места обучающихся (по количеству обучающихся), рабочее место преподавателя
211 Б1	Компьютерный класс. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Помещение для самостоятельной работы	Рабочее место преподавателя. Посадочные места обучающихся (по количеству обучающихся), компьютеры с доступом к Интернет

**9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

См. файл "Раб\_прогр\_механика\_2023.pdf" в приложении



**Министерство образования и науки РФ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Горно-Алтайский государственный университет» (ГАГУ)**

**Физико-математический и инженерно-технологический институт (ФМИТИ)**

**Кафедра математики, физики и информатики**

**С.П. Михайлов**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
«Общая физика, часть 1. Механика»**

Уровень основной образовательной программы **бакалавриат**  
Для направления подготовки 03.03.02 «Физика»  
Профиль подготовки «Альтернативная энергетика»  
2023-2024 учебный год

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» (утвержден 7 августа 2020 г. № 891) и учебного плана по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» (профиль «Альтернативная энергетика»), утвержденного Ученым советом ГАГУ 27.01.2022 г., протокол № 1

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры математики, физики и информатики 09.03.2023 г., протокол № 8.

Горно-Алтайск  
2023

### 1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины «Общая физика», раздел «Механика» – сообщить студенту базовые знания, умения и навыки в области механики.

Задачи дисциплины: сообщить основные понятия, принципы и законы механики; закрепить умение грамотно использовать физическую лексику и понятийный аппарат, решать типовые учебные и усложнённые задачи механики; дать возможность приобрести базовые экспериментальные навыки в области механики.

### 2. Место дисциплины в структуре ООП.

Дисциплина «Общая физика», раздел «Механика» изучается во втором семестре и относится к обязательной части дисциплин блока Б1 (Б1.О.04.01). При освоении раздела «Механика» студенты используют знания, умения и навыки, сформированные при изучении школьных предметов «Математика» и «Физика» курсов «Элементарная физика» и высшая математика (векторный анализ, дифференциальное и интегральное исчисления, дифференциальные уравнения в частных производных, линейная алгебра). Освоение дисциплины «Механика» является основой для изучения всех остальных дисциплин раздела «Общая физика», а в дальнейшем – теоретической физики, методики преподавания физики и пр.

### Междисциплинарные связи разделов дисциплины с последующими дисциплинами

№ п/п	Раздел дисциплины	Дисциплины, с которыми есть связь
	<b>Раздел 1. Основные понятия механики. Кинематика частицы и твёрдого тела</b> <b>Раздел 2. Основные понятия и законы динамики. Механика упругих тел, жидкостей и газов</b> <b>Раздел 3. Механические колебания и волны.</b> <b>Раздел 4. Элементы СТО и ОТО.</b>	Математика, элементарная физика, теоретическая физика; методика преподавания физики; решение физических задач, элементы метрологии и др.

### 3. Требования к результатам освоения дисциплины.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих индикаторов достижения:

- знает основные физические законы и математический аппарат, знаком с естественными науками в необходимом для профессиональной деятельности объеме (ИД-1. ОПК-1);
- способен решать типовые физические задачи на основе аппарата высшей математики (ИД-2.ОПК-1);
- имеет представление об области применимости физических законов и естественно-научных знаний в своей профессиональной деятельности (ИД-3. ОПК-1);
- знаком с методикой проведения физического эксперимента, способен проводить физические измерения и обрабатывать их результаты (ИД-1. ОПК-2).

В результате изучения дисциплины студент должен **знать**:

- основные понятия, принципы и законы курса механики с их математической формулировкой;

**уметь**:

- на базе математического аппарата решать типовые и усложнённые учебные задачи механики;
- применять экспериментальные навыки в области механики;
- грамотно использовать физическую лексику и понятийный аппарат;
- обрабатывать результаты экспериментов в области механики.

**владеть**:

- физической лексикой и понятийным аппаратом механики;
- базовыми измерительными приборами механики;
- навыками проведения экспериментов в области механики и обработки их результата

### 4. Объем, виды и особенности организации учебной работы.

#### 4.1. Объем и виды учебной работы.

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>138/3,8</b>
В том числе:	
Лекции	62/1,7
Практические занятия	32/0,9
Лабораторные работы (ЛР)	44/1,2
<b>Самостоятельная и интерактивная работа студентов (всего)</b>	<b>78/2,2</b>
В том числе:	
Подготовка к экзамену на практических занятиях	39/1,1
Подготовка к экзамену на лабораторных работах	39/1,1

Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	Экзамен
Общая трудоемкость	часы
	зачетные единицы
	216
	6

#### 4.2. Календарный план

Этот план в той или иной форме сообщается студентам (например, вывешивается в лаборатории механики или доступен в электронном варианте данной рабочей программы) и содержит информацию о распределении занятий по неделям, числе учебных часов, формах и времени контроля и пр. В 2018-2019 учебном году дисциплина изучается во 2 семестре 1 курса, заканчиваясь зачётом и экзаменом.

Общая трудоемкость дисциплины составляет **6 зачётных единиц (216 часов)**. Из них аудиторных часов 138 (3,8 зачётных единиц). Аудиторные часы делятся так: 62 часа лекций, 32 часа практических занятий и 44 часа лабораторных работ. Допуск к экзамену по итогам посещения лекций, выполнения практических занятий и лабораторных работ, экзамен по лекционному материалу и приобретённым практическим умениям и экспериментальным навыкам. На самостоятельную работу студентов СРС 78 часов (2,2 зачётных единицы), из них на подготовку к экзамену в ходе практических занятий и контрольных работ 39 часов (1,1 зачётных единицы), а в ходе лабораторных работ 39 часов (1,1 зачётных единицы)

Преподавателю, ведущему практические занятия, планируются часы ИРС (ИРС – индивидуальная работа преподавателя со студентами) на восстановление студентами пропущенных занятий. Если у студента нет пропусков и долгов, то не будет и часов ИРС, а вот при наличии таковых часы ИРС для данного студента обязательны. Более того, предусмотрены добавочные задачи для студентов, которые на ИРС быть должны, но отсутствуют. Предусмотрены также 2 контрольные работы: № 1 – по кинематике, основному закону и двум задачам динамики, № 2 – по законам сохранения и основным теоремам динамики.

Фактически на все занятия отводятся 18 недель 2 семестра, в среднем по 10 учебных часов в неделю. В течение почти всех 18 недель вычитываются лекции (в среднем 3 часа в неделю); идут лабораторные работы (3 часа в неделю) и проводятся практические занятия (2 часа в неделю). Ещё по 3 часа самостоятельной работы используются в течение почти всех этих 18 недель на подготовку к лабораторным работам, практическим занятиям и контрольным работам. Вот пример календарного плана дисциплины, с которым студенты знакомятся на первой лекции, в 2018-2019 учебном году.

#### ПРИМЕР КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНА ДИСЦИПЛИНЫ на 2018-2019 учебный год

	Февраль		Март				Апрель					Май			Июнь			
Неделя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Даты	11-16	18-23	25-2	4-9	11-16	18-23	25-30	1-6	8-13	15-20	22-27	28-4	6-11	13-18	20-25	27-1	3-8	10-15
Лек.	6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Л/р						4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
Практика		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
СРС	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	8
ИРС		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
К/р							№1						№2					

Число часов: лекционных 62, лабораторных работ 44, практических занятий 32, СРС 78, ИРС - 34. Темы контрольных работ: № 1 – кинематика, две задачи динамики, силы инерции, № 2 – законы сохранения и основные теоремы динамики. Лекции читает проф. Михайлов Сергей Петрович. Лабораторные работы и практические занятия ведёт ст. преп. Алмадакова Галина Васильевна. Ст. лаборант лаборатории механики – Мамашева Елена Петровна. Формы контроля: входной в виде теста в MOODLE; текущий в виде решения примеров и вопросов студентам в ходе лекций, письменных ответов на практических занятиях, контрольных и лабораторных работах; промежуточный - экзамен по лекционному материалу и приобретённым на занятиях умениям и навыкам.

#### 4.3. Выполнение лабораторных работ.

Каждое занятие в лаборатории идёт 4 часа; часть небольших работ может объединяться по 2 на одном занятии (тогда они нумеруются, например, 5а и 5б). Работы выполняются по подгруппам (хотя может быть и одна подгруппа), где студенты разбиваются на бригады (звенья) из 1-3 человек. Этого требуют как соображения техники безопасности, так и необходимость приобретения каждым студентом экспериментальных умений и навыков.

Лабораторные работы могут выполняться как фронтально (одна и та же работа выполняется параллельно всеми бригадами), так и в цикле (несколько работ в течении нескольких занятий последовательно проходит каждая бригада). Разбивку по бригадам и порядок прохождения работ в цикле определяет преподаватель на первом занятии (или до него). Особенности проведения работ в этом учебном году укажет преподаватель.

Недостаток цикловой организации очевиден: часть бригад может выполнять работы, лекции по которым ещё не начитаны. Вместе с тем, пропустившие занятие могут догнать бригаду, т.к. одни и те же работы стоят на столах несколько недель. Появляется соблазн сначала "погулять", а потом "поднажать".

**ВНИМАНИЕ!** Эта ситуация является стандартной ловушкой, из-за которой ежегодно несколько человек отчисляются с физмата! Дело в том, что объём работы в лаборатории велик, а число занятий ограничено (см. календарный план), причем по окончании цикла оборудование со столов убирается (например, чтобы выставить работы для другого курса). А не выполнены лабораторные работы - учебный план не выполнен, зачёта не будет и о сдаче экзамена и речи быть не может! Поэтому действуй так:

1. За **несколько** дней до занятий (не в последний день, т.к. это гарантирует неготовность!) нужно с помощью электронного варианта рабочей программы ознакомиться с описанием работы, которая будет выполняться, и подготовить первую часть отчёта. Сюда входят название и цель работы, оборудование, краткая запись формул теоретического введения, рисунки, схемы, таблицы, формулы погрешности в общем виде (если они нужны) и пр. Главная цель предварительного ознакомления - понять, как будут выполняться измерения, ознакомиться с приборами и правилами работы с ними. Подготовка первой части отчета и ознакомление с работой занимает около 0,5 часа. В самом начале занятия будет проверяться: наличие аккуратно оформленной первой части отчета; готовность сдать допуск к измерениям (вопросы к допуску для каждой лабораторной работы см. ниже).

**Студенты, или не имеющие первой части отчета, или не сдавшие допуск, к измерениям не допускаются.**

2. По ходу работы с бригадами студентов, выполняющих одну работу, проводится собеседование по теоретическому материалу (вопросы указаны ниже). Собеседование начинается с бригады, выполняющей работу с наименьшим номером (например, № 1). Пока эти студенты готовятся, все остальные сдают преподавателю и лаборанту допуск. Оценка за допуск тут же объявляется студентам и учитывается в дальнейшем. Сдавшие допуск приступают к измерениям.

Пройдя собеседование и допуск, студенты с работы № 1 начинают измерения, а с работы № 2 прерывают их и сдают теоретический материал. Затем сдают работы № 3, № 4 и т.д. **Студенты, не готовые к теоретическому собеседованию, к измерениям также не допускаются или с них снимаются.**

При подготовке к теоретическому собеседованию дома готовятся ответы на все вопросы данной работы, но отвечать каждый студент будет лишь часть их, указанную преподавателем. На подготовку к собеседованию выделяется до 2 часов из часов подготовки к экзамену, т.к. это репетиция экзамена! Пользоваться учебником или конспектом при собеседовании запрещено, и студенту нужна лишь чистая бумага.

Можно, однако, использовать сжатый **ПЛАН ОТВЕТА (дайджест)**, куда включаются промежуточные математические выкладки, схемы опытов, рисунки и т.п.: важнейшие формулы, понятия, опыты, эффекты и т.д., которые следует знать наизусть, указаны в планах ответов **БЕЗ РАСКРЫТИЯ СОДЕРЖАНИЯ**. Планы ответов собраны в рабочей программе; важнейшие формулы, понятия и т.д. и здесь выделены шрифтом и размером. Ответ строится в форме связного изложения теоретического материала с помощью планов ответов. В ходе ответа студенты обязаны внимательно слушать друг друга и преподавателя - учиться лучше на чужих ошибках! - но не подкапывать, т.к. оценка за собеседование ставится и в конце его объявляется каждому, существенно влияя на экзаменационную оценку (а в случае подсказки надо эту оценку делить на двоих!). Если один из студентов бригады не прошёл собеседование, то выполняющие с ним данную работу, ответив на свои вопросы, все же не будут, как правило, допущены до измерений, пока не помогут товарищу подготовиться и пройти собеседование. Это объясняется тем, что на экзамен будут выноситься **ВСЕ** вопросы к собеседованию, и любому студенту могут попасть как раз те вопросы, которые не были разобраны с преподавателем. На обстоятельное теоретическое собеседование, главная цель которого - дать возможность **КАЖДОМУ** студенту потренироваться в изложении материала при немедленной помощи преподавателя - требуется 30-40 минут на бригаду; бригад обычно четыре, так что за 4-х-часовое занятие каждый студент сможет без спешки ответить лишь раз. Повторные, на данном занятии, собеседования возможны после сдачи теории всеми остальными бригадами; это реально, если надо лишь досдать какую-то малую часть теоретического вопроса. Студенты, по **ЛЮБЫМ** причинам пропустившие занятие, не сдавшие теорию, не выполнившие измерения, не оформившие к концу данного занятия отчет - считаются задолжниками и должны восполнить отставание во время занятий **ЛЮБОЙ** подгруппы курса (если они есть!): **ВСЕ** пропущенные часы, как правило, должны быть восстановлены. Ясно, что пропуск значительного числа лабораторных часов ставит студента в очень сложную ситуацию. Теоретическое собеседование принимает только преподаватель, поэтому отрабатывающим задолженность следует отвечать вместе с бригадой, выполняющей данную работу. Всё, что относится к эксперименту - допуск, измерения, отчёт, отработку экзаменационных экспериментальных умений (см. ниже) контролирует, как правило, лаборант, и это можно сдать во время самоподготовки. Надо лишь убедиться, что факт сдачи и объявленная студенту оценка за эксперимент зафиксированы лаборантом и указана в тетради студента.

3. Как правило, за занятие студент должен сдать одну работу. Это вполне реально, если подготовка была добросовестной: несколько минут на предъявление первой части отчета и сдачу допуска, до 40 мин - на теоретическое собеседование, 2 часа - на измерение и 1 час на оформление и сдачу отчёта. Но если предварительно не были потрачены часы на подготовку первой части отчёта, сдачи допуска и, главное, теоретического собеседования - **ЗАДОЛЖЕННОСТЬ ГАРАНТИРОВАНА!** Сдав данный отчёт, следует готовиться к следующей работе (с № 1 - на № 2, и т.д.). Если выполнялась работа с наибольшим в цикле номером - перейти на наименьший (с № 5 - на № 1). По итогам работы в лаборатории на экзамен могут выноситься 3 оценки: за теоретические знания, показанные в ходе собеседований; за экспериментальные умения - оценка за допуск, экспериментальные умения и качество измерений; за добросовестность (оценка учитывает пропуски занятий без уважительных причин, качество подготовки к собеседованию и оформления отчета, своевременность сдачи и т.д.)

Если позволяет площадь лаборатории, то все работы могут выполняться в одном цикле. Если студентов немного (12-13 человек), то будет 1 подгруппа. Именно так проводились занятия в 2018-19 учебном году.

Итак, к каждому занятию в лаборатории нужно: а) заранее ознакомиться с описанием работы и подготовить первую часть отчета; б) подготовиться к сдаче допуска к измерениям; в) подготовиться к теоретическому собеседованию, проработав планы ответов, заучив важнейшие понятия, формулы и т.д.

Лабораторные работы закончены, если по каждой из них сдан допуск, выполнены измерения, оформлен и сдан отчет, пройдено теоретическое собеседование и показаны экспериментальные умения.

4. В лаборатории следует выполнять правила техники безопасности, с которыми подробно ознакомит преподаватель на вводном занятии под роспись каждого студента персонально в журнале. Безопасным для жизни в помещениях типа данной лаборатории является напряжение не выше 36 В переменного поля, а студентам приходится иметь дело (например, при подключении электрических приборов) и с напряжением сети 220 В, безусловно, **смертельно опасным**. Основные правила очень просты, **НАДО ЛИШЬ ИХ НЕ ЗАБЫВАТЬ**:

- а) Не включать электрические приборы без разрешения преподавателя или лаборанта.
- б) Не включать схему под напряжение без предварительной проверки преподавателем или лаборантом.
- в) Не производить переключение в схемах, находящихся под напряжением.
- г) Не прикасаться к неизолированным частям схемы (в том числе к корпусам выпрямителей, осциллографов, электронных секундомеров, генераторов и пр., выполненным из металла!).
- д) Не оставлять без наблюдения схему под напряжением, подавая его только на время измерений.
- е) Надёжно крепить перемещаемые грузы на стержнях крестовины, которая будет вращаться (работа с маятником Обербека), чтобы они не могли слететь при вращении.

Нарушение этих правил, не имевшее серьёзных последствий (поражение током людей), повлечет повторную сдачу правил техники безопасности, возмещение стоимости испорченных приборов и т.д.

По итогам работ на экзамен выносятся 3 оценки: за теоретические собеседования, за эксперимент (по итогам сдачи допусков и защиты отчётов по работам) и за добросовестность (своевременность и качество выполнения, пропуски занятий и т.д.). **ВНИМАНИЕ!** Лабораторные работы зачтены, если сданы **все** отчёты

#### 4.4. Выполнение практических занятий

Осмысленное решение задач невозможно без знания важнейших понятий, формул, законов и пр. данной темы. Поэтому перед каждым практическим занятием студенты должны переписать в классную тетрадь или на отдельные листы список таких понятий и формул (см. ниже) с расшифровкой каждого понятия, формулировками всех законов, смыслом каждого значка: не просто переписать слова "система отсчёта", а дать определение; не просто написать "закон сохранения импульса", а дать его формулировку; нужны не слова "положение центра масс", а формула для вычисления координат. Образец оформления первого списка понятий имеется в рабочей программе. На подготовку списков понятий и решение домашних задач выделяется около 1 часа СРС.

Большинство формул и понятий каждого списка будут важнейшими и в масштабах всего курса, т.е. должны быть заучены; при подготовке к практическому занятию, однако, такой цели-максимум можно не ставить, ограничившись свободной ориентировкой в собственных записях. Преподаватель в начале занятия проверяет наличие и качество раскрытия содержания списка у каждого студента, причём **НА ВСЕХ ЗАНЯТИЯХ** без исключения, начиная с первого. Это и понятно: отсутствие списка или формальная его переписка - гарантия неэффективной работы студента на занятии. Одновременно проверяется решение домашних задач, которые должны быть распределены по занятиям и аккуратно пронумерованы с **ПОЛНОЙ ЗАПИСЬЮ УСЛОВИЙ** каждой задачи в отдельную тетрадь для домашних работ. Жалеть время на переписку условий не следует: это не только делает студента независимым от задачников, которых в нужный момент - на контрольной, зачёте - не окажется под рукой, но и помогает в решении задач, заставляя заметить какую-нибудь важную "мелочь" типа отсутствия сил сопротивления или нулевой конечной скорости. Если при всем старании решить домашние задачи не удалось, **ДОЛЖЕН БЫТЬ ПРЕДЪЯВЛЕН ЧЕРНОВИК РЕШЕНИЙ**. Не имеющие без уважительной причины списка понятий и не приступавшие к решению домашних задач получают неудовлетворительную оценку и должны будут явиться на вызывную консультацию в часы ИРС. Разумеется, она открыта и для всех желающих.

Такие консультации проводятся регулярно с указанием времени в календарном плане. О **веской** причине предстоящей неявки студент-задолжник обязан заранее предупредить преподавателя; не оговоренная заранее неявка задолжника на вызывную консультацию влечёт **ОБЯЗАТЕЛЬНОЕ ДОБАВОЧНОЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ** – добавочные задачи (см. домашние задания), проработку списка понятий и пр. Ясно, что при повторяющихся неявках на вызывные консультации студент ставит себя в очень сложное положение.

Если занятие было по **ЛЮБЫМ** причинам пропущено, следует, переписав у товарищей классные задачи и **РАЗОБРАВШИСЬ В НИХ**, подготовить список понятий, решить домашние задачи и явиться на ближайшую консультацию, где преподаватель проверит качество работы. Если причина пропуска уважительна с документальным подтверждением, список надо лишь **показать**, а вот если нет - **сдать**, предварительно заучив.

Внимание! Пропуск (по любой причине!) большого числа занятий, а тем более неявка на вызывные консультации означает, что преподавателю придётся затратить на работу с Вами значительное время: просмотреть по каждой теме переписанные классные задачи, проверить или принять списки понятий, проверить решение домашних и дополнительных задач. Если это происходит в середине семестра, то всё может окончиться благополучно - тут уж дело за Вашей добросовестностью и способностями. Но к концу семестра не поможет и добросовестность просто потому, что Вам не хватит времени: в первую очередь на консультациях, зачёте и пр. преподаватель будет работать со студентами без задолженности или с меньшей задолженностью. Как только за-

кончились занятия, преподаватель **НЕ ОБЯЗАН** с Вами работать; с ним надо договариваться о каждой встрече, что зависит не только от Вашей готовности, но и его желания, мнения о Вас, занятости и пр. **ИЗ-ЗА ПРОПУСКА БОЛЬШОГО ЧИСЛА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ТАКЖЕ НЕСКОЛЬКО СТУДЕНТОВ ЕЖЕГОДНО ОТЧИСЛЯЮТСЯ С ФИЗМАТА.**

Замечу, что на контрольных работах эффективно можно использовать только **СВОИ** списки понятий, классные и домашние тетради с задачами. Задачи контрольных подбираются однотипными с решавшимися дома и в аудитории, так что некачественной проработкой своих записей или их неполнотой нерадивый накажет сам себя.

**Внимание!** Из многолетнего опыта успешного решения учебных задач мною извлечены лишь 3 универсальных совета для тех, кто также хотел бы научиться решать учебные задачи.

а) **ЗНАЙ ТЕОРИЮ И, ГЛАВНОЕ, ФОРМУЛЫ** (или хотя бы знай, где эти формулы найти). Если в задаче идёт речь о токе, напряжении и сопротивлении, а ты не знаешь закона Ома - дело безнадежно, т.к. ты даже не знаешь, где и что искать. Но если и знаешь, нужна оптимальная стратегия решения. Поэтому

б) **РЕШАЙ С КОНЦА.** Это значит: внимательно прочитай условия, сделав их полную физическую запись (не упуская ни одной "мелочи" типа нулевой скорости в конце или начале движения, постоянства ускорения, правильных обозначений для всех величин, записи числовых значений в одной системе и пр.), определи, что надо найти - и с учетом условий задачи **ПОДБЕРИ ФОРМУЛУ, КУДА ВХОДИТ ИСКАЯМАЯ ВЕЛИЧИНА.** Правильно поставленный вопрос - половина решения. В простых задачах нужна одна формула, в более сложных - ряд связанных. Выбор этих формул - дело творческое, требующее не только знаний, но и опыта. Поэтому

в) **РЕШИ МНОГО ЗАДАЧ.** Если ты в своей жизни решил всего 2 физические задачи, то не однотипную 3-ю скорее всего не решишь; если 2002, то 2003-ю скорее всего решишь. Лучше решать самому - хорошо запоминается, способствует самоуважению и усвоению теоретического материала; но годится решение преподавателя, товарища, из книжки - лишь бы решение **ЗАПОМНИЛОСЬ.** При решении олимпиадных задач очень часто нужно знать какой-то специальный прием, сразу увидеть, на какую теорему или закон данная задача.

К сожалению, эти советы непригодны при решении задач научных (не говоря уже о житейских): здесь чаще всего неизвестно не только как решать, но и что искать, каковы исходные данные, полны они, недостаточны или избыточны...

По итогам практических занятий на экзамен выносятся 2 оценки: за умение решать задачи (по итогам контрольных и решению домашних задач) и за добросовестность (своевременность и качество работы со списками, пропуска занятия и т.д.). **ВНИМАНИЕ!** Практические занятия зачтены, если: а) есть полные списки понятий по всем темам, б) решены все домашние задачи, в) восстановлены все пропущенные занятия и сданы задолженности, г) зачтены все контрольные работы.

#### 4.5. Изучение теоретического материала.

Практические умения и экспериментальные навыки могут быть получены только на прочной базе знаний, приобретенных при изучении теоретического материала. Но в основе знаний обязательно лежит процесс **ЗАПОМИНАНИЯ, ЗАУЧИВАНИЯ.** Действительно, любая область человеческих знаний - математика, физика, педагогика, медицина - опирается на определённый набор понятий ("производная - это...", "педагогика - это...", "электрический ток - это..."), фактов и явлений ("Волга впадает в Каспийское море", "одноименные заряды отталкиваются", "первым признаком заболевания дизентерией является..."), законов, теорем и закономерностей ("заряд в замкнутой системе сохраняется", "квадрат гипотенузы равен сумме квадратов катетов", "приём аспирина способствует снижению температуры больного"), использует собственные графические и символичные средства (чертежи, карты, формулы, схемы); и всё это надо заучить, запомнить, узнать желающему изучить данную науку. Не надо путать зубрёжку и заучивание: в первом случае смысл запоминаемого неизвестен, как в детской считалке "Эне, бене, раба...", так что заучивание теоремы Пифагора не будет зубрёжкой, если осмыслены и заучены понятия "прямоугольный треугольник", "катет", "гипотенуза", "квадрат", "сумма". Вопрос о понимании, осмысливании материала достаточно сложен, чтобы на нём здесь останавливаться; важно, что проработка, осмысливание, понимание нового опирается на уже заученное, усвоенное знание. Не изучавшему английский язык фраза "Ай спик рашн" так же непонятна, как не изучавшему физику - "Ток насыщения пропорционален температуре катода". Очень часто студент заявляет, что он со школы **НЕ ПОНИМАЕТ** физику, а на деле оказывается, что он её **НЕ ЗНАЕТ**; не помнит (или помнит примерно), что такое катод, температура, ток; не заучил, какими буквами обозначаются эти величины и как эти буквы пишутся и читаются. В формуле  $F = ma$  не требуется что-то **ПОНИМАТЬ**; надо **ЗНАТЬ**, что это второй закон Ньютона (а преподавателю помнить, что правильное ударение - на первом слоге, а не последнем); что  $F$  читается как "эф" и обозначает в данной формуле силу (в других формулах эта же буква может обозначать уже постоянную Фарадея, лучистый поток, свободную энергию системы и т.д. - букв в физике давно не хватает, в ходу русский, латинский, греческий алфавиты - до иероглифов еще дело не дошло, а вот всякие штрихи, звездочки, индексы при буквах используются); что сила - это...; что измеряется сила в ньютонах, которые можно сокращенно обозначать буквой  $N$ , а  $1 N$  - это... И если в данный момент студент **НЕ ПОМНИТ**, что такое масса или в чём измеряется ускорение, то причём здесь понимание? **ФИЗИКУ НАДО УЧИТЬ НАИЗУСТЬ**, как иностранный язык: по десять понятий, формул, обозначений каждый день, по несколько раз, пока не запомнишь - и через год-два **РЕГУЛЯРНЫХ ЗАНЯТИЙ** заговоришь. **УЧЕБА ПО НАСТОЯЩЕМУ - ЭТО ТЯЖЁЛЫЙ ТРУД**, и ничего не добьются те, кто мечтает "понимать" физику без ежедневного труда по её **ИЗУЧЕНИЮ.** Корень учения горек, но плоды его (пока хотя бы в виде заслуженной пятерки на экзамене) сладки.

"Но это сколько же надо заучивать, у нас не одна физика!" - скажут иные студенты. Доля истины здесь есть (если забыть, что большинство понятий, законов, формул в курсе общей физики вуза изучалось 5 лет всеми без исключения в школе), поэтому в вузах и существуют преподаватели: они в соответствии с программами отбирают материал и организуют изучение, выделяя важнейшее, помогая и контролируя. Опытный преподаватель знает, что **ВАЖНЕЙШИХ** понятий, формул, явлений, законов, опытов, схем, графиков, констант за семестр сообщается студентам сотни две-три, и заучить их по силам даже тому, кто ничего не помнит (невероятный случай!) со школы - было бы желание. Рецепт прост: запиши это важнейшее несколько раз (моторная память самая прочная - кто научился ездить на велосипеде, ездит всю жизнь); проговори вслух и послушай товарища (используй слуховую память), подчеркни красной пастой, обведи рамочкой и внимательно рассмотри (зрительная память самая ёмкая - говорят же, что лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать). Для облегчения студенческого труда всё важнейшее, что требует заучивания наизусть, собрано в разделе 10 рабочей программы и выделено **КРУПНЫМ ШРИФТОМ**.

Однако будущему учителю мало знать предмет, надо ещё уметь его излагать, объяснять другим. В общем-то это искусство, которым овладевают всю жизнь, сплав знаний и **ОПЫТА** человека (недаром со временем учителю начинают платить больше). Но в основе лежит, на мой взгляд, приобретаемое при изучении и в ходе работы умение видеть и излагать свой предмет как **СИСТЕМУ** знаний, а не набор отдельных заученных фактов. Для этого надо **ПОМНИТЬ** не только сами факты, но и связи между ними, их последовательность во времени, степень важности и сложности для восприятия, использование в дальнейшем курсе, необходимость свободного владения, силу эмоционального воздействия и т.д. и т.п. Время на изложение материала, как и время ответа школьника или студента, всегда ограничено; значит, надо помнить и распределение времени с учётом возможных вопросов, да ещё и уметь на ходу перестраиваться в случае каких-то непредвиденных обстоятельств (погас свет; сломался прибор; не получилась демонстрация, на которую опиралось изложение нового материала, и пр.). Каждый из нас помнит со времен школы молодых учителей или практикантов, которые непонятно объясняют, постоянно заглядывая в тетрадку, а то и читая по ней; которые тихо и невнятно говорят и мелко пишут на доске; у которых постоянно не хватает времени и урок заканчивается фразой "Остальное посмотрите дома сами по учебнику". Всё это еще придётся испытать на себе почти каждому студенту в ходе педпрактики; а пока ни слова не говорилось об умении владеть собой в присутствии на уроке проверяющего, видеть по реакции класса степень заинтересованности и понимания, не говорилось об искусстве интересно преподнести самый "сухой" материал и о проблеме проблем - умении поддержать дисциплину на уроке. **УМЕНИЕ - ЭТО ЗНАНИЕ В ДЕЙСТВИИ**. Значит, если хочешь уметь излагать материал, нужно постоянно пробовать это делать, использовать любую возможность: для самого себя, вслух или на бумаге; для товарищей на вечере, собрании, в комнате общежития, перед уроком; для преподавателя на практических занятиях, в ходе теоретического собеседования, на коллоквиуме или экзамене. Можно продолжить аналогию с изучением иностранного языка: мало запомнить, как пишутся, читаются и произносятся слова; нужно ещё знать правила этого языка и обязательно в нём практиковаться, используя любую возможность. Лишь тогда будут понятны вопросы преподавателя и в ответ не выговорятся исковерканные фразы "Заряд порождается изменением магнитного поля", "Камень летит вверх из-за силы инерции" или "Ёмкость проводника определяется его зарядом".

Кстати, аналогия с иностранным языком имеет и прямой смысл: в физике множество понятий обозначается словами иностранных языков, в основном латинского и греческого. Масса, инерция, конденсатор, индукция, трансформатор, поляризация, интерференция, энтропия и др. - нам их приходится заучивать, а итальянцу или англичанину они знакомы с детства как слова родного языка. То же с обозначениями: все без исключения физические величины имеют меру, эталон для сравнения, единицу измерения (в этом заслуга многих поколений физиков; а может ли медицина **ИЗМЕРИТЬ** тяжесть болезни, педагогика - степень мастерства учителя, а психология - силу эмоций?), требуя какой-то буквы для описания количества каждой такой величины. Эти буквы заимствованы в основном из латыни - языка международного общения учёных в пору становления физики как науки. Нам приходится заучивать, что F - обозначение силы, v - скорости, a - ускорения и т.д.; для американца же или итальянца это просто первые буквы соответствующих слов родного языка. Физикам ещё ничего, а как-во медикам или биологам - заучивать названия всех болезней, костей, мышц, лекарств, растений, насекомых на латыни? Вот где зубрёжка!

Итак, важным компонентом искусства педагога является, кроме отличного владения фактическим материалом, умение отобрать данные для конкретного занятия, расположить всё в нужной последовательности, выделить важнейшее, распределить время и пр. Всё это необходимо сделать до занятия и, в идеале, запомнить, что начнётся урок с опроса Петрова и Иванова, затем Сидоров решает домашнюю задачу, и на пятнадцатой минуте изложение темы "Явление электромагнитной индукции" надо начать не с повторения некоторых опытов Фарадея, а с просьбы представить себе жизнь без электроэнергии. На практике так не получается - слишком многое надо запоминать, поэтому все педагоги пишут **ПЛАНЫ ЗАНЯТИЙ**, где отобранный материал расположен в должной последовательности и примерно распределён по времени, где выделены формулы и понятия для записи обучаемыми, где сделаны какие-то важные для учителя пометки. Студентам на практике и начинающим учителям **ЗАПРЕЩЕНО** вести уроки, не имея предварительно составленных планов, т.к. их наличие - всё же гарантия, хотя и неполная, подготовки к занятию. План не только организует самого учителя, разгружает его память, позволяет накапливать материал и через год не начинать подготовку к занятию с нуля, но и служит мощной психологической поддержкой в ходе изложения новой темы; если что-то забыл, напутал, не сходится ответ в задаче - можно заглянуть в план. Правда, для начинающих здесь кроется опасность чрезмерной привя-

занности к плану, боязнь оторваться от него; а самые неумелые или ленивые просто-напросто **ЧИТАЮТ** записи вслух (речь не идет, конечно, о какой-то нужной цитате или отрывке произведения). Кроме того, подготовка качественного плана - отбор и запись материала, запоминание всего важного, прорешивание задач, подготовка эксперимента - требует поначалу большого времени, так что первые два-три года работы очень трудны, даже если забыть проблемы неумения поддержать дисциплину, вести классное руководство, говорить с родителями, быть точным и обязательным, проблемы вхождения в коллектив, бытовые, семейные и пр. и пр. Ведь планы-то нужны к каждому уроку! Ясно, что умению составлять такие планы также надо тщательно учить в вузе.

Поэтому в курсе механики изучение теоретического материала строится на базе **ПЛАНОВ ОТВЕТОВ (ДАЙДЖЕСТОВ)**, куда в сжатом виде входит материал лекций в нужной последовательности, причем важнейшие понятия, формулы, явления и пр., которые следует заучить наизусть, лишь упоминаются, а вот весь вспомогательный материал (математические выкладки, схемы, рисунки) приводится более подробно. Дайджесты собраны в отдельном разделе рабочей программы. От студента требуется **ПОДГОТОВИТЬСЯ К ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПРИ ОТВЕТЕ**; переписать план ответа на отдельный листок желательно (включается память!), но не обязательно. Подготовка означает не только заучивание всего, что надо заучить, но и готовность развернуть дайджест в виде подробного и полного ответа, раскрыть математические связи в промежуточных выкладках, указать смысл каждого значка, буквы, рисунка, верно назвать все буквы и т.д. План ответа - не догма, а руководство к действию. Да, следование плану навязывает студенту определённую логику ответа, за которой стоят искусство и опыт преподавателя. Но можно подготовить свой план, следовать своей логике или логике учебника - лишь бы план включал весь материал дайджеста. Дайджест - узаконенная подсказка, где материал целой лекции занимает полстраницы, так что свободное владение дайджестом - уже хороший признак. Дайджест ограничивает и требования преподавателя: за рамки плана ответа его вопросы выходить не должны.

Часть материала нужно изучить самостоятельно, что предполагает подготовку своего плана ответа. **ВНИМАНИЕ!** Это должен быть **ПЛАН, А НЕ ТЕКСТ** ответа, который просто зачитывается. **Чтение заготовленного дома текста совершенно недопустимо!** Такая форма работы с учебником возможна при первой проработке материала для себя, но изложение его оценивающему ответ преподавателю требует гораздо более плотной свёртки информации в памяти.

Составление и проработка планов ответа не только готовят студента к будущей профессиональной деятельности, но и разгружают его память за счёт вспомогательного материала, промежуточных математических выкладок и пр., концентрируя внимание на основном. Дайджесты определяют тот объём ответа, которого ожидает преподаватель, причём он вправе требовать глубокого усвоения всего материала дайджеста (в том числе и вывода физических формул, т.к. запоминать вывод не надо). Разумеется, студент может использовать любой дополнительный к дайджесту материал.

Ясно, что неполный или некачественно проработанный план ответа гарантирует снижение оценки. Это следует из тех простых соображений, что каждый дайджест включает материал примерно одной лекции, т.е. на подготовку и проработку его надо затратить 2-3 часа - труд немалый и непростой, требующий использования всех видов памяти, изучения конспекта лекций и учебников, дополнительной литературы. И если этих часов интенсивной работы не было, дайджест принесёт мало пользы. Качество подготовки, т.е. умение свободно и правильно говорить на **ФИЗИЧЕСКОМ ЯЗЫКЕ**, будет проверяться в ходе теоретического собеседования в лаборатории, на коллоквиумах (если они будут проводиться) и на экзамене.

Фактический материал для части дайджестов не удастся найти в учебниках по той простой причине, что он туда ещё не успел попасть. Это также одна из проблем преподавания, особенно острая из-за быстрого развития современной науки: часть знаний постоянно приходится обновлять и пополнять. Представителям естественных дисциплин - физикам, химикам, биологам - в сравнении с преподавателями общественных и гуманитарных дисциплин приходится работать гораздо меньше, т.к. основная часть их теоретического багажа не устареет никогда: пока существует наша Вселенная, в ней будут верны законы Ньютона, периодическая система Менделеева, уравнения Максвелла и законы наследственности. Помочь в обновлении знаний призваны новости науки и техники в сети Интернет, научно-популярные журналы "Наука и жизнь", "Техника - молодёжи", "Знание-сила" и другие, оперативно публикующие информацию о новейших достижениях науки и техники. К сожалению, практика показывает, что многие наши студенты и не подозревают о существовании таких журналов, не говоря уже о регулярном их чтении. Они ещё не знают, что достаточно преподавателю несколько раз ответить на вопросы любознательных учеников о рентгеновских лазерах, проблеме высокотемпературной сверхпроводимости, проекте межзвёздного автомата или возможности путешествия во времени с помощью туннелей в пространстве - и с мечтой об авторитете придётся надолго, если не навсегда, проститься.

Итак, при изучении теоретического материала действуй так.

а) Серьёзно настройся на **ЗАУЧИВАНИЕ** важнейшего материала, выделенного в разделе 11 данной рабочей программы. Используй все виды памяти, не забывай главного: повторение - мать учения, а регулярную работу (по 10 понятий и формул **КАЖДЫЙ** день) не заменит никакой штурм перед экзаменом.

б) Учись говорить на **ПРАВИЛЬНОМ** физическом языке. Заучи, какими буквами обозначаются физические величины в курсе, как эти буквы пишутся и читаются. Правильно произноси фамилии ученых. Не забывай единицы всех величин, значения ряда констант. Часть таких сведений собрана в разделе 7 методического пособия [1] в списке 6.2 дополнительной литературы. Там же собраны сведения из математики, незнание которых наиболее часто подводит студентов - значения тригонометрических функций, формулы и теоремы геометрии, операции с векторами, простейшие производные, интегралы и т.п.



в) Учись **ГОВОРИТЬ** на физическом и математическом языке, излагать материал. Основное оружие учителя - слово. А много ли приходится школьнику говорить на уроках? По подсчетам В. Ф. Шаталова - в лучшем случае 2 минуты в день. И вот этот "молчаливый" школьник поступает на физмат. Здесь возможностей может быть еще меньше - лекции, практические и лабораторные занятия могут быть организованы так (хотя это, на мой взгляд, неверно), что за семестр студент вообще ни разу не побеседует с преподавателем. А как такой педагог будет работать в школе или вузе? Поэтому постоянно читай литературу и конспекты лекций (много читающие люди не помнят правил родного языка, но правильно говорят и пишут); внимательно слушай речь преподавателей, стараясь не пропустить ни единого занятия; слушай ответы товарищей и запоминай их ошибки - но самое главное, используй любую возможность потренироваться в изложении материала на ИРС, консультации, практическом занятии, в лаборатории, на коллоквиуме, для соседа по общежитию и т.д и т.п.

г) Работай **РЕГУЛЯРНО**. Перед новой лекцией просмотрите материал предыдущей; сразу выясни все непонятное на консультации, в учебнике или у товарищей. Не оставляй подготовку планов ответа и проработку самостоятельного материала, особенно по научно-популярной тематике, на потом: одного дня перед экзаменом всегда не хватает, а проработка таких тем требует длительных поисков в сети Интернет и библиотеках.

По уставу ГАГУ, студент **обязан** посещать все виды занятий. Поэтому пропуск лекций недопустим, и **все** пропущенные лекции должны быть восстановлены. Если причина уважительна (подтвержденная документами болезнь, освобождение от занятий деканатом и т.п.), то лекции всё равно должны быть восстановлены, просто не будет снижения общей оценки за добросовестность. Если студент не восстановил хотя бы половину лекции, пропущенной даже по уважительной причине – он не выполнил учебный план и на экзамен не допускается.

#### 4.6. Обработка экспериментальных и практических умений.

Преподаватель информатики и физики, в отличие от математика или историка, должен не только умело излагать теоретический материал, но и владеть навыками экспериментатора. Собрать сеть класса, подключить принтер, устранить простейшую неисправность, пользоваться осциллографом и другими измерительными приборами - всё это надо уметь. Тем более это справедливо для будущего физика-экспериментатора. И главная проблема для выпускника (и особенно выпускницы) - незнание и боязнь приборов, неумение работать руками. Выход один - приобретать экспериментальные навыки, регулярно работая с приборами, причем именно своими руками, а не глядя со стороны. **ВПРИГЛЯДКУ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ НАВЫКИ НЕ ПРИОБРЕТЁШЬ**. Попробуй-ка научиться вождению автомобиля с пассажирского сидения!

Поэтому студентам не только демонстрируется лекционный физический эксперимент, но и даётся возможность поработать в лаборатории. При добросовестной самоподготовке - первая часть отчёта и вопросы к допуску готовы, теоретическое собеседование сдано с первого раза - на эксперимент остаётся до трёх часов в неделю. Этого вполне достаточно для тщательного проведения измерений, которые сравнительно просты, освоения оборудования (оно сознательно взято, в значительной части, учебного типа) и отработки наиболее важных экспериментальных навыков. Эти навыки будут контролироваться не только при сдаче лабораторных работ, но и на экзамене. Необходимые для приобретения навыков знания и умения также указаны в рабочей программе. На их основе студент составляет **СВОЁ** описание опытов, которое можно взять на экзамен.

Практические умения - это набор заданий качественного плана (иногда вместе с опытом или расчётом) по темам курса, которые традиционно вызывают затруднения у студентов. Их проработка будет осуществляться на лекциях, лабораторных и практических занятиях, а также самостоятельно. Свои записи к этим заданиям также можно принести на экзамен.

#### 4.7. Порядок сдачи экзамена.

Экзамен включает 2 части: собеседование по теоретическому материалу; проверку экспериментально-практических умений и навыков. Вначале у **каждого** студента проверяется наличие планов ответов и записей ко второй части. При их отсутствии **студент может быть не допущен к экзамену**. Проверяется также, соответствуют ли планы ответов по сжатости предлагаемым ниже дайджестам: **тексты ответов, конспекты лекций, учебники и т.п. запрещены**, а всё, что требовалось заучить, должно быть в памяти, а не на бумаге.

Если у студента не восстановлены пропущенные лекции, не выполнены какие-то лабораторные работы, есть задолженности по практическим занятиям, не сданы контрольные работы - он не выполнил учебный план и на экзамен не допускается. Если задолженность невелика (не восстановлены 1-2 лекции и пр.), то можно договориться ликвидировать её на консультации перед экзаменом или даже в начале экзамена, пока готовятся первые студенты. Но этого времени очень мало...

Затем студент получает билет или номер соответствующих теоретического вопроса и экспериментального или практического умения и готовится с помощью планов ответа, записей, оборудования лаборатории. Первая, теоретическая часть ответа должна строиться в форме изложения, беседы, а не чтения подготовленного текста, поэтому заново переписывать план ответа нет необходимости. Если в теоретическом вопросе есть самостоятельная часть, должен быть предьявлен заготовленный план ответа

На экзамене проверяются: полнота раскрытия теоретического вопроса и свобода владения основными физическими понятиями; качество подготовки вопросов для самостоятельного изучения; качество владения экспериментальными и практическими умениями и навыками. Экзамен не сдан, если любая из трех оценок неудовлетворительна. Кроме того, итоговая оценка в зачётке учитывает оценки по итогам работы в семестре: за теоретические собеседования при сдаче лабораторных работ; за эксперимент в лаборатории; за решение задач. Второй билет даваться, как правило, не будет.

#### 4.8. Матрица соответствия формируемых компетенций и разделов дисциплины

№ п/п	Номер раздела	Индикаторы достижения				Сумма индикаторов
		ИД-1. .ОПК-1	ИД-2. .ОПК-1	ИД-3. .ОПК-1	ИД-1. .ОПК-2	
1	1	+	+	+	+	4
2	2	+	+	+	+	4
3	3	+	+	+	+	4
4	4	+	+	+	+	4

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Содержание разделов дисциплины.

#### Часть 1. Основные понятия механики. Кинематика частицы и твёрдого тела

Физика. Механика. Классическая и квантовая механики. Нерелятивистская (классическая) и релятивистская механики. Механика Ньютона. Свойства пространства и времени в механике Ньютона. Основные абстрактные понятия механики: частица, упругое и твёрдое тело (ТТ), сплошная среда, механическая система (МС). Кинематика, статика и динамика. Система отсчёта. Описание положения частицы в координатной, векторной и естественной форме; связь этих форм. Кинематика. Траектория. Уравнения движения, перемещение, скорость и ускорение частицы в координатной, векторной и естественной форме; связь этих форм. Частные случаи движения частицы. Движение брошенного тела. Относительность движения. Абсолютное, переносное, относительное движение. Теоремы сложения скоростей и ускорений. Поступательное движение и вращение ТТ вокруг неподвижной оси. Вращение ТТ вокруг неподвижной точки. Углы Эйлера; формула Эйлера. Произвольное движение ТТ; теорема Шаля. Число степеней свободы.

#### Часть 2. Основные понятия и законы динамики. Механика упругих тел, жидкостей и газов

Динамика. Инертность тел. Инертная и гравитационная масса. Принцип эквивалентности масс. Инертная масса. Импульс частицы. Сила. Три закона Ньютона. Принцип суперпозиции и равнодействующая сил. Инерциальная (ИСО) и неинерциальная (НСО) система отсчёта. Принцип относительности Галилея; преобразования Галилея. Две задачи и принцип причинности классической механики. Интегралы движения. Силы в механике и фундаментальные взаимодействия: силы гравитации, упругости и трения. Момент силы (вращающий момент). Движение в силовых полях. Движение в НСО. Силы инерции; их проявления на Земле.

Теорема об изменении импульса частицы. Импульс МС. Теорема об изменении импульса МС. Центр масс МС. Теорема о движении центра масс. Закон сохранения импульса МС, его связь с 3-м законом Ньютона. Момент импульса частицы и МС. Теорема об изменении момента импульса МС и закон его сохранения. Момент инерции и момент импульса ТТ. Теорема Штейнера. Основной закон динамики для ТТ, вращающегося вокруг неподвижной оси. Уравнение движения твёрдого тела вокруг полюса. Гироскопы; их свойства. Гироскопический эффект и гироскопические силы.

Механическая работа и кинетическая энергия. Мощность. Кинетическая энергия частицы, МС и ТТ; теорема Кёнига. Теорема об изменении кинетической энергии частицы, МС и ТТ. Потенциальная энергия; консервативные и диссипативные силы. Потенциальная энергия упругого и гравитационного взаимодействий. Консервативная МС. Полная механическая энергия (ПМЭ). Теорема об изменении и закон сохранения ПМЭ. Энергия; закон сохранения энергии.

Условия равновесия ТТ в статике; виды равновесия. Виды деформаций упругих тел; нормальные и тангенциальные напряжения. Модуль Юнга и модуль сдвига. Пределы пропорциональности, упругости, текучести и прочности: упругие и остаточные деформации. Гидро- и аэростатика. Давление в жидкости и газе. Закон Паскаля. Сжимаемость жидкостей и газов. Закон Архимеда. Плавание тел. Механические свойства газов. Кинематика жидкости и газа. Уравнение неразрывности струи. Динамика жидкости и газов. Уравнение Бернулли и следствия из него. Применение уравнения Бернулли. Динамика реальной жидкости и газа. Вязкость жидкости. Ламинарное и турбулентное течения. Движение тел в жидкости и газе.

#### Часть 3. Механические колебания и волны.

Основные понятия теории колебаний. Механические колебания. Свободные колебания линейного гармонического осциллятора в отсутствие трения. Энергия колебания. Вынужденные колебания линейного гармонического осциллятора в отсутствие трения. Резонанс. Свободные и вынужденные колебания с учётом вязкого трения при малых колебаниях. Сложение гармонических колебаний одинакового направления; биения. Сложение перпендикулярных гармонических колебаний; фигуры Лиссажу.

Волна. Механическая волна. Энергия волны; плотность потока энергии (вектор Умова) и импульса. Уравнения плоской и сферической волн. Элементы акустики. Затухание волн; закон Бугера. Дисперсия волн. Интерференция волн; когерентные источники, максимумы и минимумы интерференционной картины. Стоячие волны. Дифракция волн; принцип Гюйгенса; принцип Ферма. Эффект Доплера. Ударные волны.

#### Часть 4. Элементы СТО и ОТО.

Преобразования Галилея. Постулаты Эйнштейна; частный принцип относительности. Преобразования Лоренца, их кинематические следствия. Релятивистская динамика. Импульс и энергия частицы; связь энергии и массы. Принцип эквивалентности систем отсчёта. Основные идеи общей теории относительности (ОТО).

### 5.2. Примерная тематика лекций (31 лекция по 2 часа)

#### Часть 1. Основные понятия механики. Кинематика частицы и твёрдого тела

1. Физика. Механика. Классическая (механика Ньютона), релятивистская и квантовая механики. Свойства пространства и времени в механике Ньютона. Основные понятия механики: частица, упругое и пластичное твёрдое тело (ТТ), сплошная среда, механическая система (МС). Кинематика, статика и динамика. Система отсчёта. Описание положения частицы в координатной, векторной и естественной форме; связь этих форм.

2. Кинематика. Траектория. Уравнения движения, перемещение, скорость и ускорение частицы в координатной, векторной и естественной форме; связь этих форм.

3. Частные случаи движения частицы. Движение брошенного тела.

4. Относительность движения. Абсолютное, переносное, относительное движение. Теорема сложения скоростей и ускорений.

5. Теорема сложения ускорений. Переносное ускорение и его составляющие. Ускорение Кориолиса

6. Поступательное движение и вращение ТТ вокруг неподвижной оси.

7. Вращение ТТ вокруг неподвижной точки. Углы Эйлера; формула Эйлера. Произвольное движение ТТ; теорема Шаля. Число степеней свободы.

### **Часть 2. Основные понятия и законы динамики. Механика упругих тел, жидкостей и газов.**

8. Динамика. Инертная масса. Импульс частицы. Сила. Равнодействующая сил. Три закона Ньютона. Инерциальная (ИСО) и неинерциальная (НСО) система отсчёта. Принцип относительности Галилея.

9. Две задачи механики и примеры их решения. Принцип причинности классической механики.

10. Силы в механике Ньютона: силы гравитации, тяжести и веса.

11. Силы упругости и трения. Виды деформаций упругих тел; нормальные и тангенциальные напряжения. Модуль Юнга и модуль сдвига. Пределы пропорциональности, упругости, текучести и прочности: упругие и остаточные деформации. Момент силы (вращающий момент).

12. Движение в НСО. Силы инерции; их проявления на Земле.

13. Теорема об изменении импульса частицы. Импульс МС. Теорема об изменении импульса МС. Центр масс МС. Теорема о движении центра масс. Закон сохранения импульса МС, его связь с 3-м законом Ньютона.

14. Момент импульса частицы и МС. Теорема об изменении момента импульса МС и закон его сохранения. Момент инерции и момент импульса ТТ. Теорема Штейнера. Основной закон динамики для ТТ, вращающегося вокруг неподвижной оси.

15. Движение свободного ТТ; свободные оси вращения. Гироскопы; их свойства. Гироскопический эффект и гироскопические силы.

16. Механическая работа и кинетическая энергия. Мощность. Кинетическая энергия частицы, МС и ТТ; теорема Кёнига. Теорема об изменении кинетической энергии частицы, МС и ТТ.

17. Потенциальная энергия; консервативные и диссипативные силы. Потенциальная энергия упругого и гравитационного взаимодействий. Консервативная МС. Полная механическая энергия (ПМЭ). Теорема об изменении и закон сохранения ПМЭ. Энергия; закон сохранения энергии.

18. Условия равновесия ТТ в статике; виды равновесия. Виды деформаций упругих тел; нормальные и тангенциальные напряжения. Модуль Юнга и модуль сдвига. Пределы пропорциональности, упругости, текучести и прочности: упругие и остаточные деформации.

19. Гидро- и аэростатика. Давление в жидкости и газе. Закон Паскаля. Сжимаемость жидкостей и газов. Закон Архимеда. Плавание тел. Механические свойства газов.

20. Уравнение неразрывности струи. Динамика жидкости и газов. Уравнение Бернулли и следствия из него. Применение уравнения Бернулли; формула Торричелли.

21. Динамика реальной жидкости и газа. Вязкость жидкости. Ламинарное и турбулентное течения. Движение тел в жидкости и газе.

### **Часть 3. Механические колебания и волны.**

22. Основные понятия теории колебаний: механические периодические и аperiodические колебания; свободные, вынужденные и автоколебания. Свободные колебания линейного гармонического осциллятора в отсутствие трения на примере пружинного маятника. Энергия колебания.

23. Математический и физический маятники; формула Гюйгенса. Вынужденные колебания линейного гармонического осциллятора в отсутствие трения. Резонанс. Свободные и вынужденные колебания с учётом вязкого трения при малых колебаниях.

24. Сложение гармонических колебаний одинакового направления; биения. Сложение перпендикулярных гармонических колебаний; фигуры Лиссажу.

25. Волна. Механическая волна. Продольные и поперечные волны; волновой фронт. Энергия волны; плотность потока энергии (вектор Умова). Уравнения плоской и сферической волн в пространстве.

26. Элементы акустики. Затухание волн; закон Бугера.

27. Дисперсия волн. Интерференция волн; когерентные источники, максимумы и минимумы интерференционной картины. Стоячие волны.

28. Дифракция волн; принцип Гюйгенса; принцип Ферма. Эффект Доплера. Ударные волны.

### **Часть 4. Элементы СТО и ОТО.**

29. Преобразования Галилея. Постулаты Эйнштейна; частный принцип относительности. Преобразования Лоренца, их кинематические следствия.

30. Релятивистская динамика. Импульс и энергия частицы; связь энергии и массы.

31. Принцип эквивалентности систем отсчёта. Основные идеи общей теории относительности (ОТО).

### 5.3. Тематика практических занятий и задания для самостоятельной работы к ним (16 занятий по 2 часа).

Каждое занятие занимает 2 часа и требует самостоятельной работы в объёме около 2 часов (в том числе из часов подготовки к экзамену). Это время тратится на письменное раскрытие в тетради списков понятий, используемых на занятии, и письменное решение домашнего задания. Перед контрольной работой следует проработать списки понятий, решение аудиторных и домашних заданий по всем темам контрольной работы.

Для задолжников по практическим занятиям (спискам понятий или решению домашних заданий), которые без уважительной причины не являются в часы ИРС, где быть должны, будут предлагаться добавочные задачи.

#### Рекомендуемые пособия.

1. Фирганг Е.В. Руководство к решению задач по курсу общей физики.
2. Беликов Б.С. Решение задач по физике.
3. Балаш В.А. Задачи по физике и методы их решения.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ЗАДАЧНИКИ

М. - Мещерский И.В. Сборник задач по теоретической механике. Издание 36-е, стереотипное. М., "Наука", 1986. И. - Иродов И.Е. Задачи по общей физике. М., "Наука", 1979.

#### Часть 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МЕХАНИКИ. КИНЕМАТИКА ЧАСТИЦЫ И ТВЁРДОГО ТЕЛА

##### Занятие 1. Кинематика частицы и поступательного движения твёрдого тела (ТТ).

Механика. Материальная точка (частица); твёрдое тело (ТТ). Система отсчёта. Кинематика. Траектория. Прямое, криволинейное, круговое, плоское и криволинейное движения частицы. Векторный, координатный и естественный способы описания положения частицы в пространстве. Уравнения её движения в этих трёх формах.

Векторы перемещения, мгновенной скорости и ускорения. Перемещение, скорость и ускорение в координатной форме. Начало, модуль и направление векторов перемещения, мгновенной скорости и ускорения; их смысл. Связь векторной и координатной форм.

Перемещение в естественной форме. Скорость в естественной форме; направление вектора скорости; свойства и смысл введения вектора единичной тангенты  $\vec{t}^0$ . Мгновенное ускорение в естественной форме; свойства и смысл введения вектора единичной нормали  $\vec{n}^0$ ; нормальная и тангенциальная составляющие вектора ускорения, их направление, смысл. Полное (мгновенное) ускорение; его направление, модуль.

Равномерное, равнопеременное и произвольное движения. Начальные условия. Путь и скорость при равномерном и равнопеременном движениях. Поступательное движение ТТ.

##### Домашнее задание 1.

1. (М.10.4-4). Даны уравнения движения точки  $x = 5\cos 5t^2$ ,  $y = 5\sin 5t^2$ . Найти уравнение траектории и закон движения по ней, отсчитывая расстояние от начального положения.

*Ответ:*  $x^2 + y^2 = 25$ ;  $s = 25t^2$ .

2. Точка движется так, что  $x = 4\sin(\pi t/2)$ ,  $y = 3\sin(\pi t/2)$ , где  $x, y$  - в метрах,  $t$  - в секундах. Найти величину и направление скорости точки при  $t = 0, 1$  и  $2$  с.

*Ответ:*  $v_0 = 5\pi/2$  м/с,  $\cos(v_0^i) = 0.8$ ,  $\cos(v_0^j) = 0.6$ ;  $v_1 = 0$ ;  $v_2 = 5\pi/2$  м/с,  $\cos(v_2^i) = -0.8$ ,  $\cos(v_2^j) = 0.6$ .

3. (М.12.7). Поезд, имея начальную скорость 54 км/час, прошёл с постоянным тангенциальным ускорением за 30 с расстояние 600 м по закруглению пути радиусом 1 км. Найти скорость и ускорение поезда на 30-й секунде.

*Ответ:* скорость 25 м/с, ускорение около 0,7 м/с<sup>2</sup>.

4. (М.12.11). Точка движется по дуге окружности радиусом  $R = 20$  см. Закон её движения по траектории  $s = 20\sin \pi t$  ( $s$  - в сантиметрах,  $t$  - в секундах). Найти величину и направление скорости, тангенциальное, нормальное и полное ускорения для  $t = 5$  с. Построить графики скорости и ускорений  $w_n$  и  $w_t$  за 1 оборот.

*Ответ:* скорость 20π см/с и направлена обратно направлению отсчёта дуги  $s$ ;  $w_t = 0$ ;  $w_n = w = 20\pi^2$  см/с<sup>2</sup>.

5. (М.12.13). Точка движется с соответствием с уравнениями  $x = 10\cos(2\pi t/5)$ ,  $y = 10\sin(2\pi t/5)$ , где  $x, y$  - в сантиметрах,  $t$  - в секундах. Найти траекторию точки, величину и направление её скорости и ускорения.

*Ответ:* окружность радиуса 10 см; скорость  $v = 4\pi$  см/с направлена касательно к траектории против часовой стрелки; ускорение  $w = 1.6\pi^2$  см/с<sup>2</sup> направлено к центру круга.

##### Добавочные задачи.

1. (М.10.19). Уравнения движения точки имеют вид  $x = 2a\cos^2(kt/2)$ ,  $y = a \sin kt$ , где  $a$  и  $k$  - положительные постоянные. Найти траекторию и закон движения по ней, отсчитывая расстояние от начального положения.

*Ответ:*  $(x - a)^2 + y^2 = a^2$ ,  $s = akt$ .

2. Найти ускорение и радиус кривизны траектории в момент  $t = 1$  с, если точка движется в соответствии с уравнениями  $x = 4\sin(\pi t/2)$ ,  $y = 3\sin(\pi t/2)$ . Здесь  $x, y$  - в метрах,  $t$  - в секундах.

*Ответ:*  $w = 1,25\pi^2$  м/с<sup>2</sup>, радиус кривизны бесконечен.

##### Занятие 2. Кинематика кругового движения частицы и вращения ТТ вокруг неподвижной оси и точки.

Круговое движение частицы. Вращение ТТ вокруг неподвижной оси и точки (полюса). Полярные и аксиальные (осевые) векторы; правило буравчика для аксиальных векторов. Элементарный угол поворота  $d\varphi$ , угловая скорость  $\omega$  и ускорение  $\epsilon$ . Равномерное и равнопеременное вращение. Частота, период и скорость равномерного вращения; их связь друг с другом и с угловой скоростью. Формула Эйлера; правило буравчика для векторного произведения. Таблица аналогий формул кинематики поступательного и вращательного движений ТТ.

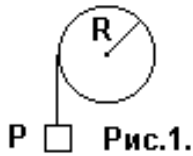
##### Домашнее задание 2.

1 (М.13.4). Маховик начинает крутиться равноускоренно и в первые 2 мин делает 3000 оборотов. Найти угловое ускорение. *Ответ:*  $\pi \text{ с}^{-2}$ .

2. (М.13.6). Маховик начинает крутиться равноускоренно и через 10 мин делает 120 об/мин. Сколько оборотов сделал маховик к этому моменту? *Ответ:* 600.

3. (М.13.15). Маховик радиусом 2 м начинает раскручиваться равноускоренно, и через 10 с точки на его ободе имеют скорость 100 м/с. Найти скорость, нормальное и тангенциальное ускорение точек обода для  $t = 15 \text{ с}$ .

*Ответ:*  $v = 150 \text{ м/с}$ ,  $w_n = 11250 \text{ м/с}^2$ ,  $w_t = 10 \text{ м/с}^2$ .



4. (М.13.18). Вал радиусом  $R = 10 \text{ см}$  приводит во вращение груз  $P$ , подвешенный к намотанной на вал нерастяжимой нити (см. рис.1). Груз движется по закону  $x=100t^2$ , где  $x$  - расстояние груза от точки схода нити с вала ( $x$  - сантиметры,  $t$  - секунды). Найти угловую скорость  $\omega$  и ускорение  $\epsilon$  вала, а также полное ускорение  $w$  точек поверхности вала в момент  $t$ .

*Ответ:*  $\omega = 20t \text{ с}^{-1}$ ,  $\epsilon = 20 \text{ с}^{-2}$ ,  $w = 200(1+400t^2)^{1/2} \text{ см/с}^2$ .

5. Твёрдое тело вращается вокруг неподвижной точки, с которой совмещено начало декартовых координат.

Вектор угловой скорости можно записать как  $\vec{\omega} = 15\mathbf{k}$ . Найти скорость точки тела с координатами (1,2,3).

*Ответ:*  $v=15(5)^{1/2} \text{ м/с}$ ,  $\cos(v \wedge i) = -2/(5)^{1/2}$ ,  $\cos(v \wedge j) = 1/(5)^{1/2}$ ,  $\cos(v \wedge k) = 0$ .

#### Добавочные задачи.

1. (М.13.2). При запуске паровой турбины угол поворота пропорционален кубу времени, и в момент  $t = 3 \text{ с}$  турбина делает 810 об/мин. Найти уравнение вращения турбины. *Ответ:*  $\varphi = \pi t^3 \text{ рад}$ .

2. (М.13.8). После выключения мотора пропеллер самолёта, делавший 1200 об/мин, крутится равнозамедленно и до остановки делает 80 оборотов. Какое время прошло до остановки? *Ответ:* 8 с.

#### Занятие 3. Сложное движение точки.

Задача о сложении движений. Абсолютное, переносное и относительное движения. Теорема сложения скоростей. Теорема сложения ускорений. Переносное и кориолисово ускорения; их модуль и направление.

#### Домашнее задание 3.

1. (М.21.5). Горизонтальная стрела поворотного крана вращается вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . Найти абсолютную траекторию тележки, движущейся по стреле с постоянной скоростью  $v_0$ , если в начальный момент тележка находилась на оси вращения.

*Ответ:* архимедова спираль  $r = v_0 \varphi / \omega$ , где  $r$  - расстояние тележки от оси,  $\varphi$  - угол поворота вокруг оси.

2. (М.22.9). Пассажир движущейся со скоростью  $v_0 = 72 \text{ км/час}$  по горизонтальному шоссе машины видит на боковом стекле следы капель дождя наклонёнными под углом  $40^\circ$  к вертикали. Найти абсолютную скорость капель отвесно падающего дождя. *Ответ:*  $v = v_0 \text{tg}40^\circ = 23,8 \text{ м/с}$ .

3. (М.23.28). Прямоугольник ABCD (длина сторон  $DA = CB = a \text{ см}$ ) вращается вокруг стороны CD с постоянной угловой скоростью  $\omega = \pi/2 \text{ с}^{-1}$ . Вдоль стороны AB движется точка M по закону  $s = a \sin(\pi t/2)$ . Найти величину абсолютного ускорения  $w_0$  точки M в момент  $t = 1 \text{ с}$ . *Ответ:*  $w = a\pi^2(2)^{1/2}/4 \text{ см/с}^2$ .

4. (М.23.45). Точка движется со скоростью 2 м/с по ободу диска диаметром 4 м. Диск вращается в обратную сторону, имея в данный момент угловую скорость  $2 \text{ с}^{-1}$  и угловое ускорение  $4 \text{ с}^{-2}$ . Найти абсолютное ускорение  $w_0$  точки в этот момент. *Ответ:*  $w_0 = 8,24 \text{ м/с}^2$ , составляя угол  $76^\circ$  с радиусом.

5. Найти кориолисово ускорение  $w_k$  тепловоза, движущегося на экваторе со скоростью 20 м/с на восток.

*Ответ:*  $w_k = 0,029 \text{ м/с}^2$ ; направлено к центру Земли.

#### Добавочные задачи.

1. (М.22.6). Когда корабль шёл со скоростью  $a$  узлов (1 узел - это морская миля в час, или 1852 метра в час) на юго-восток, то флюгер на мачте показывает ветер с востока, а при уменьшении хода до  $a/2$  - ветер с северо-востока. Найти скорость и направление ветра.

*Ответ:* ветер с севера имеет скорость  $0,5a(2)^{1/2}$  узлов.

2. (М.23.34). Вдоль полупрямой OA, вращающейся в плоскости XY вокруг начала координат O против часовой стрелки с постоянной угловой скоростью  $\omega$ , движется точка M. Точка M совпала с точкой O, когда полупрямая OA совпала с осью X. Найти: абсолютные траекторию и ускорение точки M; её скорость  $v_r$  относительно полупрямой OA, если абсолютная скорость  $v$  точки M постоянна по модулю.

*Ответ:* абсолютная траектория - круг  $r = v \sin \varphi / \omega$  ( $\varphi$  - угол между осью X и полупрямой OA) в полярных координатах и  $x^2 + (y - v/2\omega)^2 = (v/2\omega)^2$  в декартовых координатах; абсолютное ускорение  $w_0 = 2v\omega$ ; относительная скорость  $v_r = v \cos \omega t$ .

## Часть 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ДИНАМИКИ.

### МЕХАНИКА УПРУГИХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ.

#### Занятие 4. Основной закон механики. Две задачи динамики

Динамика. Инертность тел. Инертная и гравитационная масса. Принцип эквивалентности масс. Инертная масса. Импульс частицы. Сила. Три закона Ньютона. Принцип суперпозиции и равнодействующая сил. Инерциальная система отсчёта. Разные формы векторной и координатной записи основного закона динамики. Две задачи динамики.

Закон всемирного тяготения; границы применения. Сила тяжести. Отличие сил тяжести и гравитационной. Закон Гука; границы применения. Виды трения. Сила трения покоя; угол трения. Сила сухого трения скольжения; её зависимость от скорости. Закон Амантона-Кулона. Сила трения качения. Сила вязкого трения для разных скоростей движения тела. Формула Стокса.

#### Домашнее задание 4

- (М.26.1). В шахте опускается равноускоренно лифт массой 280 кг. За первые 10 с он прошёл 35 м. Найти натяжение каната, на котором висит лифт. *Ответ:* примерно 2550 Н.
- (М.26.10). Автомобиль массой 1 т проходит со скоростью 10 м/с верхнюю точку выпуклого моста радиусом кривизны 50 м. Найти силу, с которой автомобиль здесь давит на мост. *Ответ:* 7800 Н.
- (М.26.16). Движение частицы массой 200 г описывается уравнениями  $x = 3 \cos 2\pi t$ ,  $y = 4 \sin \pi t$ , где  $x$  и  $y$  - в см, а  $t$  - в с. Найти проекции действующей силы как функции её координат.  
*Ответ:*  $F_x = -0,08x$  Н;  $F_y = -0,02y$  Н.
- (М.27.13). Самолёт летит горизонтально. Сопротивление воздуха пропорционально квадрату скорости и при скорости 1 м/с равно 0,5 Н. Сила тяги 30 кН постоянна и составляет угол  $10^\circ$  со скоростью. Найти наибольшую скорость самолёта. *Ответ:* около 250 м/с.
- (М.27.17). Тело массой 2 кг, брошенное вертикально вверх с начальной скоростью 20 м/с, испытывает при скорости  $v$  сопротивление воздуха (в Ньютонах)  $0,4v$ . Через какое время тело достигнет наивысшей точки?  
*Ответ:* около 1,7 с.

#### Добавочные задачи

- (М.26.9). Груз массой 100 г, подвешенный на нити длиной 30 см в неподвижной точке О, описывает окружность в горизонтальной плоскости, причём нить движется по конической поверхности и составляет с вертикалью угол  $60^\circ$ . Найти скорость груза  $v$  и силу натяжения нити Т. *Ответ:*  $v = 2,1$  м/с,  $T = 2$  Н.
- (М.26.11). При равноускоренном подъёме лифта пружинные весы показывают вес груза 51 Н, а при равномерном подъёме -50 Н. Каково ускорение лифта? Принять  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. *Ответ:* 0,2 м/с<sup>2</sup>.

#### Занятие 5. Силы инерции.

Неинерциальная система отсчета (НСО). Основной закон движения частицы в НСО. Переносная и кориолисова силы инерции.

#### Домашнее задание 5

- (М.33.4). Поезд массой 2000 т со скоростью 15 м/с идёт на север. Найти: а) силу бокового давления поезда на рельсы на северной широте  $60^\circ$ ; б) ту же силу, когда поезд идёт на юг.  
*Ответ:* а) около 3780 Н на правый (восточный) рельс; б) так же на правый (западный) рельс.
- (М.33.5). Груз с высоты 500 м падает на северной широте  $60^\circ$  на Землю. На сколько при падении отклонится груз и куда за счёт вращения Земли? Сопротивление воздуха мало. *Ответ:* на 12 см на восток.
- (М.33.10). Горизонтальная трубка длиной  $L$  вращается вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . Внутри трубки на расстоянии  $x_0$  от оси закреплён груз. С какой скоростью он вылетит из трубки после освобождения? Трение мало. *Ответ:*  $v = \omega(L^2 - x_0^2)^{1/2}$ .
- (М.33.11). В предыдущей задаче найти время движения груза внутри трубки Т.  
*Ответ:*  $T = \{\ln[L + (L^2 - x_0^2)^{1/2}/x_0]\}/\omega$ .
- (М.33.17). Артиллерийский снаряд движется по настильной траектории, близкой к горизонтальной прямой, со скоростью  $v = 900$  м/с, и должен поразить цель на расстоянии  $l = 18$  км. На сколько и куда отклонится снаряд из-за вращения Земли, если пушка находится на северной широте  $\varphi = 60^\circ$ ? Сопротивление воздуха мало.  
*Ответ:* вправо (если смотреть сверху перпендикулярно скорости) на  $S = \omega^2 \sin \varphi / v = 22,7$  м независимо от направления стрельбы, где  $\omega$  - угловая скорость суточного вращения Земли.

#### Добавочные задачи

- (М.33.13). Кольцо движется по гладкому горизонтальному стержню АВ длиной  $l$  м, вращающемуся с постоянной угловой скоростью (1 оборот в секунду) вокруг вертикальной оси, проходящей через конец А; в начальный момент кольцо покоилось на расстоянии 60 см от конца А. Через какое время кольцо слетит?  
*Ответ:*  $t = \ln 3 / (2\pi) = 0,175$  с.
- (М.33.15). Определить, как меняется ускорение силы тяжести в зависимости от географической широты места  $\varphi$  из-за вращения Земли вокруг своей оси. Радиус Земли  $R = 6370$  км, ускорение силы тяжести на полюсах  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>. *Ответ:*  $g_1 = g[1 - (\omega^2 R \cos^2 \varphi) / g] = 9,81[1 - (\cos^2 \varphi) / 289]$ .

**В часы ИРС контрольная работа № 1. Темы:** Кинематика частицы и твёрдого тела. Основной закон механики. Две задачи динамики. Силы инерции.

Контрольная работа будет проводиться в часы самостоятельной работы. Перед контрольной работой повторить списки понятий № 1- № 5, просмотреть решение аудиторных и домашних задач по указанным темам.

#### Занятие 6. Теоремы об изменении импульса частицы и МС. Теорема о движении центра масс МС.

##### Закон сохранения импульса МС.

Импульс частицы; второй закон Ньютона в импульсной форме. Теорема об изменении импульса частицы в интегральной форме. Импульс силы. Форма записи теоремы для постоянных сил и движения по прямой.

Импульс системы частиц (механической системы). Центр масс; его положение (векторная, координатная формы). Главный вектор внешних сил; отличие его от равнодействующей. Теорема об изменении импульса системы (дифференциальная, интегральная формы). Теорема о движении центра масс. Закон сохранения импульса.

#### Домашнее задание 6.

1. (М.28.2). По наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол  $30^\circ$ , начал спускаться покоившийся груз. За какое время от пройдёт путь 39,2 м, если коэффициент трения 0,2? *Ответ:* 5 с.
2. (М.28.6). При скорости 20 м/с автомобиль тормозится за 6 с. Каков коэффициент трения? *Ответ:* 0,34.
3. (М.28.7). Пуля массой 20 г вылетает из ствола винтовки со скоростью 650 м/с, пробегая ствол за 0,95 мс. Найти среднее давление пороховых газов для площади сечения ствола  $150 \text{ мм}^2$  *Ответ:*  $91,2 \text{ Н/мм}^2$ .
4. (М.35.18). По горизонтальной покоившейся платформе длиной 6 м и массой 2700 кг рабочие переместили тяжёлую отливку с левого конца платформы в правый. Общая масса отливки и рабочих 1800 кг. Куда и на сколько сместится платформа? Трение платформы о рельсы мало. *Ответ:* налево на 2,4 м.
5. (М.36.8). Граната массой 12 кг, летевшая со скоростью 15 м/с, разорвалась в воздухе на 2 части. Скорость осколка массой 8 кг выросла в направлении движения до 25 м/с. Найти величину и направление скорости второго осколка. *Ответ:* 5 м/с; обратно скорости первого осколка.

#### Добавочные задачи

1. (М.28.1). При торможении поезда на прямом горизонтальном участке пути развивается сила сопротивления в 0,1 веса поезда. Найти время торможения и тормозной путь, если начальная скорость поезда 20 м/с. *Ответ:* 20,4 с; 204 м.
2. (М.36.12). Найти горизонтальную составляющую силы давления воды в изгибе (под углом  $90^\circ$ ) трубы вертикального водостока диаметром 300 мм. Вода заполняет всё сечение и течёт в изгибе со скоростью 2 м/с. *Ответ:* 284 Н.

#### Занятие 7. Работа силы. Мощность. Теоремы об изменении механической энергии. Закон сохранения полной механической энергии

Элементарная работа. Работа на конечном перемещении; для случая постоянных сил и движения по прямой. Мощность; её связь со скоростью.

Кинетическая энергия материальной точки и системы частиц. Теорема об изменении кинетической энергии.

Потенциальная энергия. Консервативные и диссипативные силы; их примеры, признаки консервативности силы. Потенциальная энергия упругого и гравитационного взаимодействий. Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия вблизи поверхности Земли.

Замкнутая (изолированная) механическая система. Полная механическая энергия (ПМЭ). Закон сохранения ПМЭ. Теорема об изменении ПМЭ.

#### Домашнее задание 7

1. (М.29.2). Найти наименьшую работу подъёма тела массой 2 т на 5 м по наклонной плоскости, составляющей угол  $30^\circ$  с горизонтом. Коэффициент трения 0,5. *Ответ:* 183 кДж.
2. (М.30.5). Снаряд массой 24 кг вылетает из ствола орудия длиной 2 м со скоростью 500 м/с. Найти среднюю силу давления пороховых газов на снаряд. *Ответ:* 1500 кН.
3. (М.30.7). Перед торможением у станции поезд шёл со скоростью 10 м/с под уклон с углом  $\alpha = 0,008$  рад (можно принять  $\sin \alpha = \alpha$ ). Сила сопротивления составляет 0,1 веса поезда. Найти тормозной путь и время торможения. *Ответ:* 55,3 м, 11,8 с.
4. (М.30.10). Железнодорожная платформа массой 6 т испытывает силу сопротивления в 0,0025 её веса. На горизонтальном прямолинейном участке пути рабочий начал толкать покоившуюся платформу с постоянной силой 250 Н, и через 20 м перестал толкать. Найти максимальную скорость платформы и полный её путь до остановки. *Ответ:* 0,82 м/с, 34 м.
5. (М.30.28). Шахтный лифт массой 6 т движется вниз со скоростью  $v_0 = 12$  м/с. Какую среднюю силу трения должен обеспечить тормозной парашют в случае обрыва троса, чтобы остановить лифт на пути  $S = 10$  м? *Ответ:*  $F = m[g + (v_0^2/2s)] = 102 \text{ кН}$ .

#### Добавочные задачи

1. (М.30.4). По наклонной плоскости, составляющей угол  $30^\circ$  с горизонтом, начинает спускаться груз. Коэффициент трения 0,1. Найти скорость груза через 2 м от начала пути. *Ответ:* 4,02 м/с.
2. (М.30.13). Поезд массой 500 т имел начальную скорость 15 м/с. Какой путь он пройдёт после выключения двигателя, если сила сопротивления может быть выражена формулой  $F = (7650 + 500v)$ , где  $v$  взято в м/с,  $F$  - в Н. *Ответ:* 4,5 км.

#### Занятие 8. Смешанные задачи на энергию и импульс

Повторить списки понятий к занятиям 6 и 7.

#### Домашнее задание 8.

1. (М.31.5). Тяжёлая отливка массой 20 кг закреплена на лёгком жёстком стержне, который может практически без трения вращаться в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси. Покоившаяся отливка начинает падать из верхнего положения. Найти максимальную силу давления на ось. *Ответ:* 980 Н.

2. (М.31.7). Парашютист массы 70 кг прыгнул из самолёта и, пролетев 100 м, раскрыл парашют. Найти силу натяжения строп крепления парашюта, если за 5 с после раскрытия парашюта скорость упала до 4,3 м/с. Считать силу сопротивления воздуха парашюту постоянной, а человеку без парашюта - малой. *Ответ:* 1246 Н.

3. (М.31.8). За 500 м до станции, стоящей на пригорке высотой 2 м, машинист поезда массой 1000 т, идущего со скоростью 12 м/с, начал торможение. Сила трения постоянна и равна 20 кН. Какой должна быть постоянная сила торможения, чтобы поезд остановился у станции? *Ответ:* 84,8 кН.

4. (М.31.22). Камню, находящемуся на вершине гладкого полусферического купола радиуса R, сообщили горизонтальную скорость  $v_0$ . В какой точке камень покинет купол? При какой скорости  $v_{\text{оmax}}$  камень покинет купол в вершине? *Ответ:*  $\varphi = \arccos(2/3 + v_0^2/3gR)$ , где  $\varphi$  - угол между радиусами, проведёнными из центра полусферы в вершину и точку отрыва камня;  $v_{\text{оmax}} > (gR)^{1/2}$ .

5. (М.31.31). Шарик на нити описывает окружность в горизонтальной плоскости, образуя конический маятник. Найти высоту конуса, если шарик делает 20 об/мин. *Ответ:* 2,25 м.

#### Добавочные задачи

1. (М.31.6). Каков угол с вертикалью вращающегося стержня в задаче 31.5, когда давление на ось равно нулю? *Ответ:*  $\varphi = \arccos(2/3)$ .

2. (М.31.9). Отливку в задаче 31.5 отклонили от вертикали на угол  $\varphi_0$  и сообщили начальную скорость  $v_0$  вверх перпендикулярно стержню длиной l в вертикальной плоскости. Найти усилие N в стержне как функцию угла  $\varphi$  отклонения стержня от вертикали.

*Ответ:*  $N = 3mg\cos\varphi - 2mg\cos\varphi_0 + mv_0^2/l$ . Стержень растянут, если  $N > 0$ , и сжат, если  $N < 0$ .

#### Занятие 9. Теорема об изменении момента импульса. Закон сохранения момента импульса

Пара сил. Момент (вращающий момент) пары сил. Момент силы относительно оси; плечо силы. Вектор момента силы; его модуль и направление. Главный момент сил.

Момент инерции частицы, механической системы и АТТ относительно оси. Теорема Штейнера. Момент инерции кольца и диска относительно оси симметрии, стержня относительно 3 осей.

Момент импульса (вращательный, механический момент) частицы, механической системы и АТТ относительно оси. Теорема об изменении момента импульса (дифференциальная и интегральная формы). Закон сохранения момента импульса. Основной закон динамики вращения АТТ вокруг неподвижной оси. Закон сохранения момента импульса в этом случае. Работа внешних сил при повороте АТТ вокруг неподвижной оси

Таблица формул динамики поступательного и вращательного (вокруг неподвижной оси) движений точки, системы точек и АТТ.

#### Домашнее задание 9.

1. (М.37.1). Однородный круглый диск радиусом 30 см и массой 50 кг катится без скольжения по горизонтальной поверхности, делая вокруг своей оси 60 об/мин. Найти момент импульса диска: 1) относительно его оси; 2) мгновенной оси вращения. *Ответ:* 14,1 кг·м<sup>2</sup>/с; 42,3 кг·м<sup>2</sup>/с.

2. (М.37.5). Для определения момента трения в цапфах на вал насадили маховик с моментом инерции относительно оси 1125 кг·м<sup>2</sup> и раскрутили до 240 об/мин; затем за счёт трения вал остановился через 10 мин. Найти средний момент трения. *Ответ:* 47,1 Н·м

3. (М.37.6). Для торможения маховиков применяют магнитный тормоз в виде 2-х полюсов электромагнита; его тормозящий момент  $M_1 = kv$  пропорционален скорости обода маховика (k - постоянный коэффициент). Кроме того, трение создаёт постоянный момент  $M_2$ . Через какое время остановится маховик диаметром D с моментом инерции относительно оси вращения I при начальной угловой скорости  $\omega_0$ ?

*Ответ:*  $T = [2I \cdot \ln(1 + kD\omega_0/2M_2)]/kD$ .

4. (М.37.48). Найти зависимость от времени угловой скорости покоившегося ведомого колеса (автомобиля) массой M и радиусом r, приведённого в движение горизонтальной силой, приложенной в его центре, и катящегося со скольжением горизонтально. Момент инерции колеса относительно его оси  $I_C$ , коэффициент трения качения  $f_k$ , коэффициент трения скольжения f. *Ответ:*  $\omega = Mg(rf - f_k)t/I_C$ .

5. (М.37.55). Стоящего на скамье Жуковского с вытянутыми в стороны руками человека раскрутили до 15 об/мин; момент инерции его и скамьи относительно оси вращения 0,8 кг·м<sup>2</sup>. Какой станет скорость вращения, если человек прижал руки к туловищу и снизил момент инерции системы до 0,12 кг·м<sup>2</sup>? *Ответ:* 100 об/мин.

#### Добавочные задачи

1. (М.37.51). Через блок, массу которого можно считать распределённой по ободу, перекинут канат. Левую его часть держит человек, а к правой привязан груз равной человеку массы. Что произойдёт с грузом, если человек начнёт подниматься по канату со скоростью v относительно каната? Масса блока в 4 раза меньше массы человека, трением в оси можно пренебречь. *Ответ:* груз будет подниматься со скоростью  $4v/9$ .

2. (М.37.52). Круглая горизонтальная платформа в виде диска радиусом R массой  $M_2$  может без трения вращаться вокруг вертикальной оси, проходящей через её центр. По платформе на неизменном расстоянии r от оси с постоянной относительной скоростью u идёт человек массой  $M_1$ . Найти угловую скорость платформы, если исходно платформа и человек покоились. *Ответ:*  $\omega = 2M_1ru/(M_2R^2 + 2M_1r^2)$ .

**В часы ИРС контрольная работа № 2 . Темы:** силы инерции; закон сохранения и теорема об изменении импульса; теорема о движении центра масс; работа силы; мощность; теоремы об изменении механической энергии; закон сохранения полной механической энергии; смешанные задачи на энергию и импульс; теорема об



изменении момента импульса; закон сохранения момента импульса. Контрольная работа будет проводиться в часы самостоятельной работы.

Перед контрольной работой повторить списки понятий № 6- № 9, просмотреть решение аудиторных и домашних задач по указанным темам.

### Занятие 10. Регулярная прецессия гироскопа. Гироскопические силы.

Гироскоп (волчок). Свободный гироскоп; примеры таких гироскопов. Гироскопический эффект и его объяснение на базе теоремы Резаля. Регулярная прецессия гироскопа; её примерное уравнение. Гироскоп с одной степенью свободы; примеры таких гироскопов и гироскопические силы.

#### Домашнее задание 10.

1. Волчок массой  $m = 0,5$  кг, ось которого наклонена под углом  $\alpha = 30^\circ$  к вертикали, прецессирует под действием силы тяжести. Момент инерции волчка относительно его оси симметрии  $I = 2$  г·м<sup>2</sup>, угловая скорость вращения вокруг этой оси  $\omega = 350$  рад/с и направлена к точке О закрепления оси волчка. Расстояние между центром масс волчка и точкой О составляет  $l = 10$  см. Найти угловую скорость прецессии  $\omega_n$  и её направление. Влияет ли на прецессию величина  $\alpha$ ? *Ответ:*  $\omega_n = m \cdot g \cdot l / (I \cdot \omega) \approx 0,7$  рад/с независимо от  $\alpha$ ; при взгляде сверху прецессия происходит по часовой стрелке.

2. (И.1.284). На полу лифта, поднимающегося с постоянным ускорением  $a = 2$  м/с<sup>2</sup>, стоит гироскоп в виде диска радиусом  $R = 5$  см на конце горизонтального стержня длиной  $l = 10$  см. Другой конец стержня закреплён в шарнире. Пренебрегая трением и массой стержня, найти собственную угловую скорость  $\omega$  диска, если прецессия происходит со скоростью  $n = 0,5$  об/с. *Ответ:*  $\omega = (g + a) \cdot l / (\pi \cdot n \cdot R^2) \approx 300$  рад/с.

3. (И.1.287). Цилиндрический диск гироскопа массой  $m = 15$  кг радиусом  $R = 5$  см делает  $\omega = 330$  рад/с. Расстояние между подшипниками, где закреплена ось диска, составляет  $l = 15$  см. Гироскоп заставляют колебаться гармонически с периодом  $T = 1$  с и амплитудой  $\alpha_m = 20^\circ$  вокруг горизонтальной оси. Найти максимальную величину гироскопических сил в подшипниках. *Ответ:*  $F_{\max} = (\pi \cdot m \cdot R^2 \cdot \omega \cdot \alpha_m) / (l \cdot T) = 90$  Н.

4. (И.1.288). Корабль движется со скоростью  $v = 36$  км/час по дуге окружности  $R = 200$  м: ось коленчатого вала с маховиком, делающего  $n = 300$  об/мин, расположена вдоль корабля, а момент инерции вращающихся частей относительно оси вращения  $I = 3800$  кг·м<sup>2</sup>. Найти момент  $M$  гироскопических сил в подшипниках

*Ответ:*  $M = (2\pi \cdot n \cdot I \cdot v) / R = 6$  кН·м.

5. Переднее колесо тяжёлого мотоцикла можно считать тонким обручем массой  $m = 16$  кг и радиусом  $R = 0,5$  м. С какой силой должны действовать руки на концы руля шириной  $l = 1$  м, чтобы на скорости  $v = 108$  км/час повернуть колесо на угол  $\alpha = 30^\circ$  за  $t = 1$  с? *Ответ:*  $F = (m \cdot R \cdot v \cdot \alpha) / (l \cdot t) = 40\pi \approx 126$  Н.

#### Добавочные задачи

1. Тонкий диск радиусом  $R = 5$  см насажен посередине лёгкой спицы длиной  $l = 10$  см, совпадающей с осью симметрии диска, и ему сообщена угловая скорость  $\omega = 100$  рад/с. Один конец спицы заострён и упирается в горизонтальную поверхность, причём при взгляде с другого конца спицы вращение происходит против часовой стрелки. Найти угловую скорость прецессии  $\omega_n$  и её направление. Угол спицы с вертикалью не равен нулю.

*Ответ:*  $\omega_n = g \cdot l / (R^2 \cdot \omega) \approx 4$  рад/с; при взгляде сверху прецессия происходит против часовой стрелки.

2. Турбину самолёта можно считать цилиндром массой  $m = 500$  кг и радиусом  $R = 0,5$  м, делающим  $n = 12\,000$  об/мин. Самолёт за  $t = 5$  с переходит от горизонтального полёта к вертикальному пикированию. Найти гироскопические силы в подшипниках на концах турбины при её длине  $l = 6$  м. *Ответ:*  $F \approx 12,5$  кН.

### Занятие 11. Статика. Механика упругих тел, жидкостей и газов.

Статика. Условия и уравнения равновесия ТТ в статике.

Виды деформаций упругих тел. Нормальные и тангенциальные напряжения. Абсолютное и относительное одностороннее удлинение (сжатие). Закон Гука для одностороннего растяжения и сжатия; модуль Юнга и его связь с коэффициентом упругости тела. Коэффициент Пуассона. Закон Гука для малого сдвига; модуль сдвига. Пределы пропорциональности, упругости, текучести и прочности: упругие и остаточные деформации.

Гидро- и аэростатика. Давление в жидкости и газе; закон Паскаля. Закон Архимеда. Плавание тел. Механические свойства жидкостей и газов; сжимаемость жидкостей и газов.

Уравнение Бернулли. Формула Торричелли. Формула Пуазейля. Кинематическая и динамическая вязкость жидкости и газа. Ламинарное и турбулентное течения; число Рейнольдса. Движение тел в жидкости и газе; лобовое сопротивление и подъёмная сила. Формула Стокса. Лобовое сопротивление при турбулентном обтекании.

#### Домашнее задание 11.

1. Однородная лёгкая горизонтальная балка длиной  $l = 6$  м на конце А закреплена шарниром, а на конце В опирается на каток, где трением качения можно пренебречь. В середине балки под углом  $\alpha = 45^\circ$  к ней приложена сила  $F = 20$  кН, действующая влево и вниз в вертикальной плоскости. Найти силы реакции в опорах.

*Ответ:*  $F_{xA} \approx 14,14$  кН вправо;  $F_{yA} \approx 7,07$  кН вверх;  $F_{yB} \approx 7,07$  кН вверх.

2. (И.1.292). Горизонтальный медный стержень длиной  $l = 1$  м вращают вокруг вертикальной оси, проходящей через его середину. Найти максимальную частоту вращения  $\nu$ , при которой стержень ещё не порвётся. Для меди плотность  $\rho = 8900$  кг/м<sup>3</sup>, предел прочности на разрыв  $\sigma_b = 0,3$  ГПа. *Ответ:*  $\nu = (2\sigma_b/\rho)^{1/2}/(l \cdot \pi) = 80$  Гц.

3. Катер имеет объём деталей корпуса, который по средней плотности можно считать алюминиевым,  $V = 0,5$  м<sup>3</sup>. Его нужно поднять с глубины  $h = 500$  м с каменистого дна озера без присасывания к илу. Какую минималь-

ную площадь сечения  $S$  должен иметь для этого стальной трос? Для стали плотность  $\rho_{ст} = 7800 \text{ кг/м}^3$ , предел прочности на разрыв  $\sigma_b = 0,6 \text{ ГПа}$ , плотность алюминия  $\rho_{ал} = 2700 \text{ кг/м}^3$ , плотность воды  $\rho_в = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

*Ответ:*  $S = (\rho_{ал} - \rho_в) \cdot V \cdot g / [\sigma_b - (\rho_{ст} - \rho_в) \cdot h \cdot g] = 15 \text{ мм}^2$ .

4. Полный бак для горючего имеет площадь  $S_B = 1 \text{ м}^2$  и высоту  $h = 0,5 \text{ м}$  при толщине стенок  $d = 2 \text{ мм}$ . В дне сделали маленькое круглое отверстие площадью  $S = 2 \text{ мм}^2$ . Найти начальную скорость  $v_0$  вытекания горючего для случая идеальной жидкости без вязкости и реальной жидкости  $\langle v \rangle$  с динамической вязкостью  $\eta = 0,032 \text{ Па}\cdot\text{с}$  и плотностью  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ , а также время вытекания  $t_{ид}$  и  $\langle t \rangle$  без учёта изменения скорости вытекания. Что даст учёт изменения скорости вытекания? *Ответ:*  $v_0 = (2 \cdot h \cdot g)^{0,5} = 3,16 \text{ м/с}$ ;  $\langle v \rangle = \rho \cdot h \cdot g \cdot S / (8\pi \cdot \eta \cdot d) = 0,05 \text{ м/с}$ ;  $t_{ид} = S_B \cdot h / (v_0 \cdot S) = 80 \text{ 000 с} \approx 22 \text{ часа}$ ;  $\langle t \rangle \approx 1390 \text{ час} \approx 58 \text{ суток}$ . Учёт изменения скорости увеличит время.

5. Грузовик с площадью поперечного сечения  $S = 3,75 \text{ м}^2$  движется горизонтально равномерно со скоростью  $v = 72 \text{ км/час}$ . Считая обтекание турбулентным с коэффициентом лобового сопротивления  $C_x = 0,6$ , найти мощность  $P$ , расходуемую на движение. Плотность воздуха  $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$ . *Ответ:*  $P = C_x \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 = 23,4 \text{ кВт}$ .

#### Добавочные задачи

1. (И.1.293). Тонкое свинцовое горизонтальное кольцо радиусом  $R = 25 \text{ см}$  вращают вокруг вертикальной оси, проходящей через центр кольца перпендикулярно его плоскости. Найти максимальную частоту вращения  $\nu$ , при которой кольцо ещё не порвётся, если для свинца плотность  $\rho = 11300 \text{ кг/м}^3$ , предел прочности на разрыв  $\sigma_b = 15 \text{ МПа}$ . *Ответ:*  $\nu = (\sigma_b / \rho)^{1/2} / (2\pi \cdot R) = 23 \text{ Гц}$ .

2. Какие силы  $F$  надо приложить к концам стальной проволоки длиной  $l = 4 \text{ м}$  и площадью сечения  $S = 0,5 \text{ мм}^2$ , чтобы растянуть её на  $\Delta l = 2 \text{ мм}$ ? Модуль Юнга стали  $E = 200 \text{ ГПа}$ . *Ответ:*  $F = \Delta l \cdot E \cdot S / l = 50 \text{ Н}$ .

### Часть 3. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ.

#### Занятие 12. Свободные и вынужденные колебания.

Колебание. Периодическое и свободное колебание. Дифференциальное уравнение свободных колебаний линейного гармонического осциллятора в отсутствие трения. Его решение (уравнение гармонического колебания) и основные характеристики: амплитуда, фаза, начальная фаза, круговая частота, мгновенное значение смещения. Связь частоты, круговой частоты и периода. Энергия гармонического колебания.

Вынужденные колебания. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний линейного гармонического осциллятора без трения; его решение. Характеристики колебания. Резонанс; резонансная кривая. Особенности резонанса без трения.

Дифференциальное уравнение свободных колебаний линейного гармонического осциллятора при наличии вязкого трения; его решения. Коэффициент сопротивления (вязкого трения). Условие возможности колебаний; характеристики колебания. Коэффициент затухания, декремент затухания, логарифмический декремент затухания, время затухания, добротность.

Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний линейного гармонического осциллятора при наличии вязкого трения при малых скоростях, его решение, характеристики колебания. Особенности резонанса при наличии трения; вид резонансных кривых.

#### Домашнее задание 12.

1. Для шарика массой  $10 \text{ г}$  на пружине с коэффициентом жёсткости  $4 \text{ Н/м}$  найти амплитуду вынужденных колебаний под действием гармонически меняющейся внешней силы амплитудой  $0,1 \text{ Н}$  и частотой  $1,57 \text{ Гц}$ . Трение можно считать малым. *Ответ:* примерно  $3,3 \text{ см}$ .

2. Для тех же, что в задаче 1, механической системы и вынуждающей силы найти резонансную частоту и амплитуду вынужденных колебаний с учётом вязкого трения, коэффициент сопротивления которого  $0,1 \text{ кг/с}$ .

*Ответ:* примерно  $3 \text{ Гц}$  и  $3,2 \text{ см}$ .

3. (И.4.3). Частица совершает гармонические колебания с круговой частотой  $\omega = 4 \text{ рад/с}$  вдоль оси  $x$  около положения равновесия  $x = 0$ . В некоторый момент координата частицы  $x_0 = 25 \text{ см}$  и её скорость  $v_{x0} = 100 \text{ см/с}$ . Найти координату  $x$  и скорость  $v_x$  частицы через  $t = 2,4 \text{ с}$  после этого момента.

*Ответ:*  $x = A \cos(\omega t + \alpha) = -29 \text{ см}$ ,  $v_x = -81 \text{ см/с}$ , где амплитуда  $A = [x_0^2 + (v_{x0}/\omega)^2]^{1/2}$ , начальная фаза  $\alpha = \arctg[-v_{x0}/(\omega x_0)]$ .

4. (И.4.18). Найти период малых вертикальных колебаний шарика массой  $m = 40 \text{ г}$ , укрепленного на середине горизонтально натянутой постоянной силой  $F = 10 \text{ Н}$  струны длиной  $l = 1 \text{ м}$ . *Ответ:*  $T = \pi(m/F)^{1/2} = 0,2 \text{ с}$ .

5. (И.4.40). Тело массой  $m$  висело на высоте  $h$  над чашкой пружинных весов с коэффициентом жёсткости пружины  $k$ , а затем упало, прилипло к чашке и начало совершать гармонические колебания в вертикальном направлении. Найти амплитуду и энергию колебаний. Массы пружины и чашки малы.

*Ответ:*  $a = (mg/k)[1 + (2hk/mg)]^{1/2}$ ,  $E = mgh + m^2 g^2 / 2k$ .

#### Добавочные задачи

1. (И.4.4). Найти круговую частоту и амплитуду гармонических колебаний частицы, если на расстояниях  $x_1$  и  $x_2$  от положения равновесия её скорость равна соответственно  $v_1$  и  $v_2$ .

*Ответ:*  $\omega = [(v_1^2 - v_2^2)/(x_2^2 - x_1^2)]^{1/2}$ ,  $a = [(v_1^2 x_2^2 - v_2^2 x_1^2)/(x_2^2 - x_1^2)]^{1/2}$

2. Найти амплитуду колебаний в задаче 5 (И.4.40), если масса чашки равна  $M$ .

*Ответ:*  $a = (mg/k)\{1 + [2hk/(m+M)g]\}^{1/2}$

#### Занятие 13. Упругие волны. Эффект Доплера.

Волна. Упругая волна. Продольная и поперечная волна. Волновой фронт, его формы. Плоская гармоническая волна в среде без поглощения энергии; её уравнение. Волновая поверхность. Длина волны; фазовая скорость;

волновое число; их связь. Средняя (по времени) объёмная плотность энергии упругой волны. Плотность потока энергии упругой волны (вектор Умова). Уравнение сферической гармонической волны в среде без поглощения энергии. Закон Бугера. Скорость продольной волны в среде плотностью  $\rho$  с модулем Юнга  $E$ . Скорость поперечной волны в среде плотностью  $\rho$  с модулем сдвига  $G$ . Линейная и нелинейная среда. Уравнения плоской и сферической гармонической волны в линейной среде с поглощением. Стоячая гармоническая волна; её уравнение, положение узлов и пучностей. Продольный эффект Доплера; его формула.

#### Домашнее задание 13.

1. Длина бегущей плоской звуковой волны в воздухе  $\lambda = 1$  м при частоте источника  $\nu = 340$  Гц и амплитуде колебаний  $A = 0,2$  мм. Найти: а) скорость волны  $v$ ; б) амплитуду  $v_m$  колебаний скорости частиц среды; в) записать уравнение волны. *Ответ:* а)  $v = \lambda \cdot \nu = 340$  м/с; б)  $v_m = A \cdot \omega = A \cdot 2\pi \cdot \nu = 0,4$  м/с; в)  $\xi = 2 \cdot 10^{-4} \cos(680 \cdot \pi \cdot t - 2\pi x)$ .

2. (И.4.155). Уравнение бегущей плоской звуковой волны в воздухе (скорость волны  $v = 340$  м/с) имеет вид  $\xi = 60 \cos(1800t - 5,3x)$ , где  $\xi$  - в микрометрах,  $t$  - в секундах,  $x$  - в метрах. Найти: а) отношение амплитуды  $A$  смещения частиц среды к длине волны  $\lambda$ ; б) амплитуду  $v_m$  скорости колебаний частиц среды и её отношение к скорости волны; в) амплитуду колебаний относительной деформации среды и её связь с амплитудой колебаний скорости частиц среды. *Ответ:* а)  $A/\lambda = 5,1 \cdot 10^{-5}$ ; б)  $v_m = 11$  см/с;  $v_m/v = 3,2 \cdot 10^{-4}$ ; в)  $(\partial \xi / \partial x)_m = 3,2 \cdot 10^{-4}$ ;  $(\partial \xi / \partial t)_m = v \cdot (\partial \xi / \partial x)_m = 3,2 \cdot 10^{-4} \cdot 340 = 0,11$  м/с.

3. Найти расстояние  $d$  между ближайшими узлами стоячей звуковой волны в воздухе при частоте колебаний 440 Гц. Скорость волны в воздухе  $v_b = 340$  м/с. *Ответ:*  $d \approx 39$  см.

4. Длина продольной упругой волны в стали  $\lambda_c = 0,55$  м. Плотность стали  $7800$  кг/м<sup>3</sup>, модуль Юнга  $200$  ГПа. Какова частота  $\nu$  источника? Какой станет длина волны  $\lambda_m$  в меди, где плотность  $8900$  кг/м<sup>3</sup>, а модуль Юнга  $130$  ГПа? *Ответ:*  $\nu \approx 9,2$  кГц,  $\lambda_m \approx 0,42$  м

5. Дрон летит горизонтально со скоростью  $v = 10$  м/с на неподвижную вертикальную стенку и шлёт ультразвуковой пучок с частотой  $\nu_0 = 30$  кГц. Найти разность частот  $\Delta \nu$  посланного и полученного после отражения сигнала, если скорость волны в воздухе  $v_b = 340$  м/с. *Ответ:*  $\Delta \nu = 2v \cdot \nu_0 / (v_b - v) \approx 1,82$  кГц.

#### Добавочные задачи

1. (И.4.169). Для измерения скорости звука в воздухе методом акустического резонанса используют трубу с перемещаемым поршнем и мембраной (заглушкой) на одном из концов трубы. Найти скорость звука, если расстояние между соседними положениями поршня, при которых наблюдается резонанс на частоте  $\nu = 2000$  Гц, составляет  $l = 8,5$  см. *Ответ:*  $v = 2l \cdot \nu = 340$  м/с.

2. Некоторая точка среды в гармонической волне колеблется как  $\xi = 0,05 \cos 2 \cdot \pi \cdot t$ . Записать уравнения движения точек среды на том же луче, отстоящих от данной на 15 и 30 см, если скорость волны 0,6 м/с. *Ответ:*  $\xi = 0,05 \sin 2 \cdot \pi \cdot t$  и  $\xi = -0,05 \cos 2 \cdot \pi \cdot t$

### Часть 4. Элементы СТО и ОТО.

#### Занятие 14. Элементы релятивистской кинематики

Преобразования Галилея и Лоренца. Формулы релятивистского изменения длин и промежутков времени; теорема сложения скоростей. Релятивистский интервал.

#### Домашнее задание 14

1. (И.1.342). Найти собственную длину стержня, если в лабораторной системе отсчёта его скорость  $v = c/2$ , длина  $l = 1$  м и угол между стержнем и направлением его движения  $\theta = 45^\circ$ .

*Ответ:*  $l_0 = l \sqrt{(1 - \beta^2 \sin^2 \theta) / (1 - \beta^2)} = 1,08$  м, где  $\beta = v/c$ .

2. (И.1.344). С какой скоростью двигались в К-системе отсчёта часы, если за время  $t = 5$  с (по часам, неподвижным в К-системе) они отстали от неподвижных часов на  $\Delta t = 0,1$  с?

*Ответ:*  $v = c \sqrt{(2 - \Delta t/t) / (\Delta t/t)} = 0,6 \cdot 10^8$  м/с.

3. (И.1.346). Собственное время жизни нестабильной частицы  $\Delta t_0 = 10$  нс. Найти путь этой частицы до распада в К-системе, где время её жизни  $\Delta t = 10$  нс.

*Ответ:*  $s = c \Delta t \sqrt{(1 - (\Delta t_0 / \Delta t)^2)} = 5$  м.

4. (И.1.359). Две частицы движутся навстречу друг другу со скоростями  $v_1 = 0,5c$  и  $v_2 = 0,75c$  относительно К-системы. Найти скорости: а) сближения частиц в К-системе; б) относительную.

*Ответ:* а)  $v = v_1 + v_2 = 1,25c$ ; б)  $v = (v_1 + v_2) / (1 + v_1 \cdot v_2 / c^2) = 0,91c$ .

5. (И.1.360). Два стержня равной собственной длины  $l_0$  движутся в продольном направлении навстречу друг другу параллельно общей оси с одинаковой скоростью  $v$  относительно К-системы. Найти длину каждого стержня в системе отсчёта, связанной с другим стержнем. *Ответ:*  $l = l_0 (1 - \beta^2) / (1 + \beta^2)$ , где  $\beta = v/c$ .

#### Добавочные задачи

1. (И.1.347). В К-системе мю-мезон со скоростью  $v = 0,99c$  пролетел от места рождения до точки распада расстояние  $l = 3$  км. Найти: а) собственное время его жизни; б) путь мю-мезона в К-системе с "его точки зрения".

*Ответ:* а)  $\Delta t_0 = (l/v) \sqrt{1 - (v/c)^2} = 1,4$  мкс; б)  $l' = l \sqrt{1 - (v/c)^2} = 0,42$  км

2. (И.1.361). Две быстрые частицы движутся в К-системе под прямым углом друг к другу со скоростями  $v_1$  и  $v_2$ . Найти скорости: а) сближения частиц в К-системе; б) относительную.

*Ответ:* а)  $v = (v_1^2 + v_2^2)^{1/2}$ ; б)  $v = [v_1^2 + v_2^2 - (v_1 \cdot v_2 / c)^2]^{1/2}$ .

#### Занятие 15. Элементы релятивистской динамики

Релятивистские масса и импульс. Основной закон динамики для релятивистской частицы. Полная и кинетическая энергии такой частицы; связь её импульса и полной энергии.

#### Домашнее задание 15

1. (И.1.371). При какой скорости релятивистский импульс частицы в  $k = 2$  раза больше её ньютоновского импульса?

Ответ:  $v = (c/k)(k^2 - 1)^{1/2} = 2,6 \cdot 10^8$  м/с.

2. (И.1.372). Найти работу разгона тела с массой покоя  $m_0$  от 0,6с до 0,8с и сравнить с классическим результатом.

Ответ:  $A = 0,42m_0c^2$  вместо  $0,14m_0c^2$ .

3. (И.1.373). При какой скорости кинетическая энергия частицы равна её энергии покоя?

Ответ:  $v = c(3)^{1/2}/2 = 2,6 \cdot 10^8$  м/с.

4. (И.1.376). Пучок релятивистских частиц с кинетической энергией  $T$  падает на поглощающую мишень. Сила тока в пучке  $I$ , заряд и масса покоя частиц равны  $e$  и  $m_0$ . Найти силу давления пучка на мишень и выделяющуюся в ней мощность.

Ответ:  $F = (I/ec)[T(T + 2m_0c^2)]^{1/2}$ ,  $P = TI/e$ .

5. (И.1.378). Частица с массой покоя  $m_0$  в момент  $t = 0$  начинает разгоняться постоянной силой  $F$ . Найти зависимость от времени скорости частицы и пройденного пути.

Ответ:  $v = Fct/(m_0^2c^2 + F^2t^2)^{1/2}$ ,  $S = [(m_0c^2/F)^2 + t^2c^2]^{1/2} - m_0c^2/F$ .

#### Добавочные задачи

1. (И.1.368). Во сколько раз релятивистская масса частицы со скоростью, меньшей  $c$  на 0,01%, больше её массы покоя? Ответ:  $m/m_0 \approx 1/[2(1 - v/c)]^{1/2} \approx 70$ .

2. (И.1.380). Из основного уравнения релятивистской динамики, найти: а) в каких случаях ускорение частицы совпадает по направлению с действующей на неё силой; б) коэффициенты пропорциональности между силой  $F$  и ускорением  $w$  для случаев, когда сила перпендикулярна и параллельна скорости. Ответ: а) когда сила перпендикулярна и параллельна скорости; б)  $F_{\perp} = m_0w/(1 - \beta^2)^{1/2}$ ,  $F_{\parallel} = m_0w/(1 - \beta^2)^{3/2}$ , где  $\beta = v/c$ .

**Занятие 16. Резервное. Его содержание определит ведущий преподаватель в зависимости от ситуации в семестре (наличия задолжников, попадания занятий на праздники и т.д.).**

#### 5.4. ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СПИСКА ПОНЯТИЙ № 1 ПО МЕХАНИКЕ.

(КРУПНЫМ ШРИФТОМ выделены понятия и формулы для заучивания, а жирным наклонным подчёркнутым шрифтом - векторы)

##### Занятие 1. Кинематика точки и поступательного движения твёрдого тела (ТТ).

МЕХАНИКА - раздел физики, изучающий механическое движение, т.е. перемещение тел в пространстве с течением времени. МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА (ЧАСТИЦА) - массивное тело, размерами которого в данной задаче можно пренебречь. ТВЁРДОЕ ТЕЛО (ТТ) - тело, расстояние между любыми двумя точками которого остаётся неизменным при любых воздействиях на тело (размеры и форма которого неизменны при любых воздействиях на тело). СИСТЕМА ОТСЧЁТА включает произвольно выбранное тело отсчёта, связанную с ним систему координат и часы. КИНЕМАТИКА - раздел механики, описывающий движение само по себе, не изучая его причины. ТРАЕКТОРИЯ - кривая, которую частица описывает в пространстве. ДВИЖЕНИЯ: ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ - движение частицы по прямой; КРУГОВОЕ - по окружности; ПЛОСКОЕ - по плоской кривой; КРИВОЛИНЕЙНОЕ - по произвольной кривой. ТРИ СПОСОБА ОПИСАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ В ПРОСТРАНСТВЕ - векторный, координатный и естественный. ВЕКТОРНЫЙ - положение задаёт радиус-вектор  $\underline{r}$ , проведённый из начала системы отсчёта в текущее положение частицы; КООРДИНАТНЫЙ - положение частицы в системе отсчёта задают декартовы, например, координаты  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ ; ЕСТЕСТВЕННЫЙ - используется для фиксированной траектории; положение задаёт расстояние  $s$  от какой-то условной начальной точки  $O$  траектории до текущего положения частицы, причём должно быть указано и направление положительного отсчёта  $s$ .

УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ: В ВЕКТОРНОЙ ФОРМЕ  $\underline{r} = \underline{r}(t)$ ; В КООРДИНАТНОЙ ФОРМЕ (В ДЕКАРТОВЫХ КООРДИНАТАХ)  $x = x(t)$ ,  $y = y(t)$ ,  $z = z(t)$ ; В ЕСТЕСТВЕННОЙ ФОРМЕ  $s = s(t)$ .

ВЕКТОРА: ПЕРЕМЕЩЕНИЯ  $\Delta \underline{r} = \underline{r}_2 - \underline{r}_1$ , где  $\underline{r}_2$  - конечное, а  $\underline{r}_1$  - начальное положение частицы; МГНОВЕННОЙ СКОРОСТИ (СКОРОСТИ)  $\underline{v} = d\underline{r}/dt$ , где  $dt$  - бесконечно малый отрезок (интервал) времени, а  $d\underline{r}$  - перемещение за это время; УСКОРЕНИЯ  $\underline{w} = d\underline{v}/dt = d^2\underline{r}/dt^2$ . В КООРДИНАТНОЙ ФОРМЕ: ПЕРЕМЕЩЕНИЕ  $\Delta x = x_2 - x_1$ ,  $\Delta y = y_2 - y_1$ ,  $\Delta z = z_2 - z_1$ ; СКОРОСТЬ  $v_x = dx/dt$ ,  $v_y = dy/dt$ ,  $v_z = dz/dt$ ; УСКОРЕНИЕ  $w_x = dv_x/dt$ ,  $w_y = dv_y/dt$ ,  $w_z = dv_z/dt$ . МОДУЛЬ И НАПРАВЛЕНИЕ: ВЕКТОР ПЕРЕМЕЩЕНИЯ направлен из начального (точка 1) в конечное (точка 2) положение частицы, а по модулю равен длине этого отрезка); ПО МОДУЛЮ СКОРОСТЬ  $v = |\underline{v}| = |d\underline{r}/dt|$  и НАПРАВЛЕНА по касательной к траектории, вдоль вектора  $d\underline{r}$ . ВЕЛИЧИНА ВЕКТОРА УСКОРЕНИЯ  $w = |d\underline{v}/dt| = |d^2\underline{r}/dt^2|$ ; НАПРАВЛЕНИЕ относительно траектории произвольно (но всегда в сторону вогнутости траектории - см. ниже полное ускорение). СМЫСЛ: ПЕРЕМЕЩЕНИЕ показывает, куда и на сколько переместилась частица; СКОРОСТЬ - перемещение за единицу времени (при условии, что скорость не менялась всё это время); УСКОРЕНИЕ - изменение вектора скорости за единицу времени (при условии, что ускорение не менялось всё это время).

СВЯЗЬ ВЕКТОРНОЙ И КООРДИНАТНОЙ ФОРМ: а) вектор перемещения  $\Delta \underline{r} = \Delta x \cdot \underline{i} + \Delta y \cdot \underline{j} + \Delta z \cdot \underline{k}$ ; по модулю  $|\Delta \underline{r}| \equiv \Delta r = (\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)^{1/2}$ ; направление задаём через направляющие косинусы -  $\cos(\Delta \underline{r} \wedge \underline{i}) = \Delta x / \Delta r$ ,  $\cos(\Delta \underline{r} \wedge \underline{j}) = \Delta y / \Delta r$ ,  $\cos(\Delta \underline{r} \wedge \underline{k}) = \Delta z / \Delta r$ . б) Вектор скорости  $\underline{v} = v_x \cdot \underline{i} + v_y \cdot \underline{j} + v_z \cdot \underline{k}$ ; по модулю  $|\underline{v}| \equiv v = (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)^{1/2}$ ;  $\cos(\underline{v} \wedge \underline{i}) = v_x / v$ ,  $\cos(\underline{v} \wedge \underline{j}) = v_y / v$ ,  $\cos(\underline{v} \wedge \underline{k}) = v_z / v$ . в) Вектор ускорения  $\underline{w} = w_x \cdot \underline{i} + w_y \cdot \underline{j} + w_z \cdot \underline{k}$ , по модулю  $|\underline{w}| \equiv w = (w_x^2 + w_y^2 + w_z^2)^{1/2}$ ;  $\cos(\underline{w} \wedge \underline{i}) = w_x / w$ ,  $\cos(\underline{w} \wedge \underline{j}) = w_y / w$ ,  $\cos(\underline{w} \wedge \underline{k}) = w_z / w$ .

$= w_z/w$ .

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ В ЕСТЕСТВЕННОЙ ФОРМЕ:  $\Delta s = s_2 - s_1$ , где  $s_2$  конечное, а  $s_1$  - начальное положение частицы на траектории. СКОРОСТЬ В ЕСТЕСТВЕННОЙ ФОРМЕ  $\underline{v} = (ds/dt) \cdot \underline{t}^\circ = v_t \underline{t}^\circ$ , где ВЕКТОР  $\underline{t}^\circ$  - единичный касательный к траектории вектор, направленный в сторону положительного отсчёта  $s$  (единичная тангента);  $v_t$  - проекция вектора скорости на направление единичной тангенты. НАПРАВЛЕНИЕ ВЕКТОРА СКОРОСТИ - по касательной к траектории в сторону движения.

УСКОРЕНИЕ В ЕСТЕСТВЕННОЙ ФОРМЕ  $\underline{w} = d\underline{v}/dt = (dv_t/dt) \cdot \underline{t}^\circ + (v^2/R) \cdot \underline{n}^\circ = (d^2s/dt^2) \cdot \underline{t}^\circ + (v^2/R) \cdot \underline{n}^\circ = \underline{w}_t + \underline{w}_n$ , где ВЕКТОР  $\underline{n}^\circ$  - единичный вектор внутренней (в сторону центра кривизны траектории в данной точке) нормали, а  $R$  - РАДИУС КРИВИЗНЫ ТРАЕКТОРИИ В ДАННОЙ ТОЧКЕ.

НОРМАЛЬНАЯ  $\underline{w}_n = (v^2/R) \cdot \underline{n}^\circ$  И ТАНГЕНЦИАЛЬНАЯ  $\underline{w}_t = (dv_t/dt) \cdot \underline{t}^\circ = (d^2s/dt^2) \cdot \underline{t}^\circ$  СОСТАВЛЯЮЩИЕ ВЕКТОРА УСКОРЕНИЯ. ИХ СМЫСЛ: тангенциальное ускорение показывает изменение величины, а нормальное - изменение направления вектора скорости за единицу времени. НАПРАВЛЕНИЕ: тангенциальное ускорение направлено по касательной к траектории (в сторону движения при росте модуля скорости и противоположно - при уменьшении модуля скорости); нормальное - нормально к траектории в сторону центра её кривизны. (в сторону вогнутости). ПОЛНОЕ УСКОРЕНИЕ  $\underline{w} = \underline{w}_t + \underline{w}_n$ ; НАПРАВЛЕНИЕ в сторону вогнутости траектории, причём  $\cos(\underline{w} \wedge \underline{w}_n) = w_n/w$ ; ПО МОДУЛЮ  $w = (w_t^2 + w_n^2)^{1/2}$ . РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ - движение с постоянной по величине скоростью; РАВНОПЕРЕМЕННОЕ - движение с постоянным по величине тангенциальным ускорением  $w_t = \text{const} = a$ , причём движение РАВНОУСКОРЕННОЕ при росте модуля скорости и РАВНОЗАМЕДЛЕННОЕ при его уменьшении; ПРОИЗВОЛЬНОЕ - движение с произвольно меняющимся по величине и направлению ускорением.

НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ – положение и скорость частицы в начальный момент времени.

СКОРОСТЬ И ПУТЬ ПРИ РАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ ПО ТРАЕКТОРИИ В ОДНУ СТОРОНУ:  $\underline{v} = \underline{v}_0 = \text{const}$ ;  $\underline{S} = \underline{S}_0 + \underline{v}_0 \cdot t$ .

СКОРОСТЬ ПРИ РАВНОПЕРЕМЕННОМ ДВИЖЕНИИ ПО ТРАЕКТОРИИ В ОДНУ СТОРОНУ:  $\underline{v} = \underline{v}_0 \pm a \cdot t$ , где знак «+» отвечает равноускоренному, а «-» – равнозамедленному движению. ПУТЬ ПРИ РАВНОПЕРЕМЕННОМ ДВИЖЕНИИ ПО ТРАЕКТОРИИ В ОДНУ СТОРОНУ:  $\underline{S} = \underline{S}_0 + \underline{v}_0 \cdot t \pm a \cdot t^2/2$ , СВЯЗЬ ПУТИ И СКОРОСТЕЙ ПРИ РАВНОПЕРЕМЕННОМ ДВИЖЕНИИ ПО ТРАЕКТОРИИ В ОДНУ СТОРОНУ:

$$v^2 - v_0^2 = \pm 2 \cdot a \cdot S.$$

ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТВЁРДОГО ТЕЛА - движение, при котором любой отрезок в теле движется параллельно самому себе (т.е. скорости и ускорения всех точек ТТ в любой момент времени одинаковы).

## 5.5. Тематика лабораторных работ и задания для самостоятельной работы к ним (11 занятий по 4 часа).

Каждое занятие занимает 4 часа и требует самостоятельной работы в объёме около 4 часов. Время самостоятельной работы тратится на подготовку (письменное раскрытие в тетради) первой части отчёта по работе, подготовку к сдаче допуска и к теоретическому собеседованию, в том числе по самостоятельно изучаемым темам.

### Работа № 1 (вводная). ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

На занятии изучаются порядок работы в лаборатории, правила техники безопасности, измеряются различные физические величины (длина, время и пр.). Перед занятием НУЖНО ПОВТОРИТЬ МАТЕРИАЛ УЧЕБНОЙ ПРАКТИКИ ПО ФИЗИЧЕСКИМ ИЗМЕРЕНИЯМ, ПРОЙДЕННОЙ НА 1 КУРСЕ: прямые и косвенные измерения; измерительные приборы (предел измерения, цена деления, погрешность измерения); три вида и два типа погрешностей измерений; расчёт погрешности прямых и косвенных измерений.

#### ВОПРОСЫ К ДОПУСКУ.

1. Прямые и косвенные измерения. Предел измерения, цена деления, приборная погрешность измерения.
2. Три вида и два типа погрешностей измерений.
3. Расчёт погрешности прямых измерений. Стандартное отклонение среднего. Коэффициенты Стьюдента.
4. Расчёт погрешности косвенных измерений.

#### ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.

1. Расчёт полной погрешности прямых измерений.
2. Расчёт полной погрешности косвенных измерений.

### Работа № 2. ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ РАВНОУСКОРЕННОГО ДВИЖЕНИЯ

#### ВОПРОСЫ К ДОПУСКУ.

1. Цель работы и порядок измерений в каждом упражнении.
2. Расчёт полной погрешности ускорения свободного падения.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

1. Физика. Механика. Механика Ньютона. Свойства пространства и времени в механике Ньютона (классической механике). Основные абстрактные понятия механики: частица, твёрдое тело (ТТ), система отсчёта. Описание положения частицы в координатной и векторной форме; связь этих форм
2. Кинематика. Траектория. Уравнения движения, перемещение, скорость и ускорение частицы в координатной и векторной форме; связь этих форм.
3. Описание движения в естественной форме. Равномерное, равнопеременное и произвольное движения.

### *ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. По заданным уравнениям движения точки в координатной или естественной форме определить все возможные параметры её движения.

#### **Работа № 3. ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА, БРОШЕННОГО ПОД УГЛОМ К ГОРИЗОНТУ** *ВОПРОСЫ К ДОПУСКУ.*

1. Цель работы и порядок измерений в каждом упражнении.  
*ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Движение брошенного тела.  
*ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. Для брошенного под углом к горизонту тела найти все указанные преподавателем параметры движения,

#### **Работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ** *ВОПРОСЫ К ДОПУСКУ.*

1. Цель работы и порядок измерений в каждом упражнении.  
*ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Кинематика. Траектория. Уравнения движения, перемещение, скорость и ускорение частицы в координатной и векторной форме; связь этих форм.

2. Описание движения в естественной форме. Равномерное, равнопеременное и произвольное движения.

3. Описание поступательного движения и вращения ТТ вокруг неподвижной оси.

#### *ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. По заданным уравнениям движения точки в координатной или естественной форме определить все возможные кинематические параметры её движения.

2. Определить характер движения ТТ и кинематически описать движение одной из его точек.

#### **Работа № 5. ПРОВЕРКА 2-го ЗАКОНА НЬЮТОНА**

##### *ВОПРОСЫ К ДОПУСКУ.*

1. Цель работы и порядок измерений в каждом упражнении.

##### *ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Динамика. Инертность тела. Инертная масса. Импульс частицы. Сила. Инерциальная и неинерциальная система отсчёта. Три закона Ньютона; формы записи второго закона. Равнодействующая сил.

#### *ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. Решить основную задачу механики для частицы, движущейся без сопротивления воздуха вблизи Земли.

2. Указать силы в 3-м законе Ньютона для тел, падающих на Землю; лежащих на Земле.

#### **Работа № 6. ИЗУЧЕНИЕ СИЛЫ СУХОГО ТРЕНИЯ.**

##### *ВОПРОСЫ К ДОПУСКУ.*

1. Цель работы и порядок измерений в каждом упражнении.

##### *ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Силы трения в механике. Угол трения.

#### *ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. В опыте оценить коэффициент сухого трения скольжения.

#### **Работа № 7. ИЗУЧЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА**

##### *ВОПРОСЫ К ДОПУСКУ.*

1. Какие величины вам необходимо определить?

2. По каким формулам их будете рассчитывать?

3. Какие величины, для этого будете измерять и каким способом?

##### *ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Силы упругости и деформация упругих тел в механике. Виды деформаций упругих тел; нормальные и тангенциальные напряжения. Модуль Юнга и модуль сдвига. Пределы пропорциональности, упругости, текучести и прочности: упругие и остаточные деформации.

#### *ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. В опыте оценить коэффициент упругости тела и другие упругие характеристики, которые можно найти.

#### **Работа № 8. ПРОВЕРКА ОСНОВНОГО ЗАКОНА ДИНАМИКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАЯТНИКА ОБЕРБЕКА**

##### *ВОПРОСЫ К ДОПУСКУ.*

1. Цель работы и порядок измерений в каждом упражнении.

##### *ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Момент силы (вращающий момент). Основной закон динамики вращения ТТ вокруг неподвижной оси. Момент инерции ТТ; его вычисление.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.

1. Найти момент силы и применить основной закон динамики вращения ТТ вокруг неподвижной оси.

#### **Работа № 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПУЛИ С ПОМОЩЬЮ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА. ВОПРОСЫ К ДОПУСКУ.**

1. Цель работы и порядок измерений в каждом упражнении.

##### *ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Теорема об изменении импульса частицы. Система частиц (механическая система МС). Импульс МС. Теорема об изменении импульса МС.

2. Потенциальная энергия упругого и гравитационного взаимодействия. Общие свойства потенциальной энергии. Консервативные и диссипативные силы. Консервативная МС. Полная механическая энергия (ПМЭ). Теоремы об изменении ПМЭ; закон сохранения ПМЭ. Другие виды энергии; закон сохранения энергии.

##### *ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. Применить теорему об изменении импульса частицы.
2. Применить закон сохранения ПМЭ.

#### **Работа № 10. ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКОВ.**

##### *ВОПРОСЫ К ДОПУСКУ.*

1. Цель работы и порядок измерений в каждом упражнении.

##### *ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Основные понятия теории колебаний. Механические идеальные, затухающие и вынужденные колебания. Пружинный маятник; его энергия. Математический и физический маятники.

##### *ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. По уравнению гармонического колебания построить его график.
2. По графику гармонического колебания записать его уравнение.

#### **Работа № 11. ИЗУЧЕНИЕ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРУЖИННЫХ МАЯТНИКОВ.**

##### *ВОПРОСЫ К ДОПУСКУ.*

1. Цель работы и порядок измерений в каждом упражнении.

##### *ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Вынужденные колебания линейного гармонического осциллятора в отсутствие трения. Резонанс. Свободные и вынужденные колебания с учётом вязкого трения при малых колебаниях.

##### *ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. Для предложенных преподавателем груза известной массы и пружины оценить коэффициент жёсткости пружины и период свободных колебаний при малом трении. Выбрав способ возбуждения и разумную амплитуду колебаний, записать уравнение свободных колебаний.

#### **5.6. Матрица соответствия компетенций и видов занятий дисциплины**

Наименование вида занятий практики	Всего часов	Индикаторы деятельности				Сумма индикаторов
		ИД-1. .ОПК-1	ИД-2. .ОПК-1	ИД-3. .ОПК-1	ИД-1. .ОПК-2	
1. Лекции	54	+	+	+	+	4
2. Лабораторные работы	48	+	+	+	+	4
3. Практические занятия	36	+	+	+	+	4
4. СРС	78	+	+	+	+	4
Итого часов	216					

### **6. Рекомендуемая литература**

#### **6.1. Основная литература.**

1. Михайлов Сергей Петрович, Кыров Владимир Александрович. Механика: учебное пособие./ С. П. Михайлов, 2016, РИО ГАГУ. - 269 с.
2. Михайлов Сергей Петрович. Курс физики, т.1.: Механика. Молекулярная физика и термодинамика. РИО ГАГУ, 2018 г. – 388 с. (электронное издание)
3. Михайлов Сергей Петрович, Кыров Владимир Александрович. Теоретическая механика: учебное пособие./ С. П. Михайлов, 2017, РИО ГАГУ. - 379 с.

#### **6.2. Дополнительная литература.**

1. Михайлов, Сергей Петрович. «Задачник и методические указания по механике»: учебно-методическое пособие/ С. П. Михайлов, 2019, РИО ГАГУ. - 119 с.
2. Трофимова, Таисия Ивановна. Курс физики: учебное пособие для вузов / Т. И. Трофимова, 2003, Высшая

### Электронные ресурсы

1. Михайлов С.П. Рабочая программа дисциплины «Общая физика, ч.1. Механика» [Электронный ресурс] /С.П. Михайлов, 2020. - 52 с. Режимы доступа:

а) Локальная сеть ФМФ, диск TEACHER\МИХАЙЛОВ\Раб\_прог\_механика\_2020.pdf

### 7. Материально-техническое обеспечение учебного процесса.

Для лекций используется лекционная физическая аудитория с препаратурской для подготовки демонстрационного эксперимента и мультимедиа проектором. Для практических занятий нужна типовая учебная аудитория на 1 группу с доской и мелом, фонды библиотеки и точки доступа в локальную сеть ГАГУ и сеть Интернет. Для лабораторных работ используется специализированная лаборатория механики с набором оборудования.

### 8. Образовательные технологии

1. Все 28 лекций являются активными (проблемными): для каждой подобраны демонстрационные эксперименты, эпи-, диа- и мультимедийные демонстрации или примеры применения изучаемых физических величин и формул, требующие участия студентов в диалоге с преподавателем и тренирующие отработку практических умений, умения анализировать и делать заключения.

2. Содержание лекций сжато по авторской технологии в планы ответов (дайджесты), на основе которых должен строиться ответ студента на экзамене; важнейшие понятия и формулы здесь лишь указываются без раскрытия содержания, а вот промежуточные выкладки приводятся полностью. Дайджест выделяет главное, даёт объём ответа на теоретический вопрос и его последовательность, психологически поддерживает студента.

3. Перед практическими занятиями, по авторской технологии, студенты самостоятельно готовят приведённые в рабочей программе списки понятий и формул, которые будут применяться.

4. Во всех лабораторных работах выделены используемые теоретические знания, требующие подготовки по дайджестам, и отрабатываемые экспериментальные умения; всё это приведено в рабочей программе.

5. Во всех лабораторных работах выделены задания для исследования – все работы являются исследовательскими.

6. На экзамен выносятся проверка не только теоретических знаний, но и экспериментально-практических умений. Отработка этих умений выполняется при рассмотрении примеров на лекциях, а также в ходе выполнения практических занятий и лабораторных работ.

### 9. Вопросы и задания к экзамену.

Экзамен включает теоретический вопрос и экспериментально-практическое задание. При ответе на теоретический вопрос студент использует дайджесты, где должен показать знание основных понятий, принципов и законов механики. При выполнении экспериментально-практического задания студент должен показать умение решать типовые учебные задачи, грамотно использовать физическую лексику и понятийный аппарат, навыки работы с оборудованием лаборатории.

### 9.1. Теоретические вопросы.

1. Физика. Механика. Механика Ньютона. Свойства пространства и времени в механике Ньютона (классической механике). Основные абстрактные понятия механики: частица, система частиц (механическая система), твёрдое тело (ТТ), упругое и пластичное тело, сплошная среда. Система отсчёта. Описание положения частицы в координатной и векторной форме; связь этих форм

2. Кинематика. Траектория. Уравнения движения, перемещение, скорость и ускорение частицы в координатной и векторной форме; связь этих форм.

3. Описание движения в естественной форме. Равномерное, равнопеременное и произвольное движения.

4. Движение брошенного тела.

5. Описание поступательного движения и вращения ТТ вокруг неподвижной оси.

6. Формулы кинематики вращения ТТ вокруг неподвижной оси. Таблица формул кинематики. Вращение ТТ вокруг неподвижной точки. Произвольное движение ТТ.

7. Относительность движения. Абсолютное, переносное, относительное движение. Теорема сложения скоростей в случае поступательного и произвольного переносного движения. Теорема сложения ускорений.

8. Динамика. Инертность тела. Инертная масса. Импульс частицы. Сила. Инерциальная и неинерциальная система отсчёта. Три закона Ньютона; формы записи второго закона. Равнодействующая сил.

9. Принцип относительности Галилея. Две задачи динамики. Примеры решения прямой и обратной задачи.

10. Движение в НСО. Силы инерции; их проявления на Земле.

11. Силы всемирного тяготения и тяжести. Теории далеко- и близкодействия. Вес.

12. Силы упругости и деформация упругих тел в механике. Гидро- и аэростатика. Давление в жидкости и газе. Закон Паскаля. Сжимаемость жидкостей и газов. Закон Архимеда. Плавание тел.

13. Силы трения в механике. Угол трения.

14. Теорема об изменении импульса частицы. Система частиц (механическая система МС). Импульс МС. Теорема об изменении импульса МС.

15. Центр масс МС. Теорема о движении центра масс. Закон сохранения импульса.

16. Момент силы (вращающий момент). Момент импульса частицы и МС. Теорема об изменении и закон сохранения момента импульса МС.

17. Основной закон динамики вращения ТТ вокруг неподвижной оси. Момент инерции ТТ; его вычисление. Момент импульса ТТ. Теорема об изменении и закон сохранения момента импульса ТТ.



18. Движение свободного ТТ; свободные оси вращения. Гироскоп с полюсом и его свойства. Гироскопический эффект и гироскопические силы.

19. Механическая работа и мощность. Кинетическая энергия частицы; теорема об её изменении. Кинетическая энергия МС и ТТ; теорема Кёнига. Теоремы об изменении кинетической энергии МС и ТТ.

20. Потенциальная энергия упругого и гравитационного взаимодействия. Общие свойства потенциальной энергии. Консервативные и диссипативные силы. Консервативная МС. Полная механическая энергия (ПМЭ). Закон сохранения и теоремы об изменении ПМЭ. Другие виды энергии; закон сохранения энергии.

21. Связь консервативных сил и потенциальной энергии. Виды равновесия МС; описание возможности движения по виду потенциальной энергии. Условия равновесия ТТ в статике; главная задача статики.

22. Динамика идеальных жидкостей и несжимаемых газов. Уравнение неразрывности струи. Уравнение Бернулли и следствия из него. Формула Торричелли.

23. Динамика реальной жидкости и газа. Вязкость жидкости. Ламинарное и турбулентное течения. Движение тел в жидкости и газе.

24. Основные понятия теории колебаний. Механические идеальные, затухающие и вынужденные колебания. Пружинный маятник; его энергия. Математический и физический маятники.

25. Сложение гармонических колебаний одинакового направления; биения. Сложение перпендикулярных гармонических колебаний; фигуры Лиссажу.

26. Свободные колебания с учётом вязкого трения при малых колебаниях. Их характеристики.

27. Вынужденные колебания с учётом вязкого трения при малых колебаниях. Резонанс.

28. Волна. Упругая (механическая) волна. Продольные и поперечные волны; волновой фронт. Энергия волны; плотность потока энергии (вектор Умова). Уравнения плоской и сферической гармонической незатухающей волны. Элементы акустики.

29. Затухание волн; закон Бугера. Уравнения плоской и сферической затухающей волны. Дисперсия волн. Интерференция волн; стоячие волны.

30. Дифракция волн; принцип Гюйгенса; принцип Ферма. Эффект Доплера. Ударные волны.

31. Преобразования Галилея. Постулаты Эйнштейна; частный принцип относительности. Преобразования Лоренца, их кинематические следствия.

32. Релятивистская динамика. Импульс и энергия частицы; связь энергии и массы.

33. Принцип эквивалентности систем отсчёта. Основные идеи общей теории относительности (ОТО).

## 9.2. Экспериментально-практические задания

1. По координатам начала и конца вектора, заданными преподавателем (это подразумевается ниже везде, где условия не указаны явно), найти длину и направление вектора, а также его проекции на координатные оси. Сложить несколько векторов; разложить вектор на составляющие; найти проекции вектора.

2. По заданным уравнениям движения точки в координатной или естественной форме определить все возможные кинематические параметры её движения.

3. Для брошенного под углом к горизонту тела найти все указанные преподавателем параметры движения,

4. Определить характер движения ТТ и кинематически описать движение одной из его точек.

5. Указав абсолютное, переносное и относительное движения, применить теорему сложения скоростей.

6. Указав абсолютное, переносное и относительное движения, применить теорему сложения ускорений.

7. Найти скорость относительно Солнца тела на поверхности Земли.

8. Найти ускорение относительно Солнца тела на поверхности Земли.

9. Найти силы инерции.

10. Решить основную задачу механики для частицы, движущейся без учёта сопротивления воздуха вблизи Земли.

11. Указать силы в 3-м законе Ньютона для тел, падающих на Землю; лежащих на Земле; покоящихся на наклонной плоскости за счёт трения.

12. Решить обратную задачу механики.

13. В опыте найти коэффициент упругости тела и другие его упругие характеристики, которые можно найти.

14. В опыте оценить коэффициент сухого трения скольжения.

15. На столе лежал груз массой 1 кг. К нему приложили 3 горизонтальные неизменные силы, направление и величина которых (на виде сверху) указаны на рисунке. Куда и на сколько сместится груз через 2 с действия сил, если коэффициент трения груза о стол 0,4?

16. Применить теорему об изменении импульса.

17. Найти положение центра масс МС или ТТ.

18. Найти положение центра масс ТТ и применить теорему о его движении.

19. Применить закон сохранения импульса МС.

20. Найти момент силы и применить основной закон динамики вращения ТТ вокруг неподвижной оси.

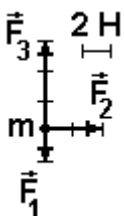
21. Найти момент инерции и момент импульса ТТ.

22. Применить теорему об изменении момента импульса ТТ.

23. Применить закон сохранения момента импульса ТТ с частями, которые могут изменять положение и затем вновь застыть.

24. Применить теорему об изменении кинетической энергии частицы.

25. Применить теорему об изменении кинетической энергии или ПМЭ для ТТ.



26. Применить закон сохранения ПМЭ.
27. Для прямого центрального удара шаров найти скорости после удара.
28. Решить главную задачу статики.
29. По уравнению гармонического колебания построить его график или по графику гармонического колебания записать его уравнение.
30. Для предложенных преподавателем груза известной массы и пружины оценить коэффициент жёсткости пружины и период свободных колебаний при малом трении. Выбрав способ возбуждения и разумную амплитуду колебаний, записать уравнение свободных колебаний.
31. Большой жёсткий лист в воздухе гармонически колеблется в направлении, нормальном его плоскости с амплитудой  $A = 1$  см и частотой  $\nu = 20$  Гц. Найти длину волны; учитывая поглощение звука, оценить амплитуду колебаний в 1 м от листа и записать уравнение упругой волны в воздухе. Скорость звука в воздухе 330 м/с; коэффициент поглощения принять равным  $0,1 \text{ м}^{-1}$ .
32. Применить формулы кинематики СТО.
33. Применить формулы динамики СТО.

## 10. Лабораторный практикум по механике

(составлен доцентом Е.Е. Южаниновой и проф. С.П. Михайловым)

### Лабораторная работа № 1 (вводная). ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

#### Задача 1. (Экспериментальная)

**Попробуйте, имея газету (лист бумаги) и секундомер, показать, что средняя скорость движущегося в воздухе тела тем больше, чем меньше площадь его поперечного сечения.**

#### Методические советы:

Студенты делятся на две группы, задание даётся каждой группе. Одной группе даётся лист бумаги, другой – газетный лист. Эксперимент каждая группа продумывает самостоятельно. Для этого даётся время. Путём обсуждений и экспериментов, студенты приходят к правильному выполнению опыта.

Следующий этап предоставление результата. Каждая группа должна выступить с отчётом о проделанной работе. Здесь имеется «подводный камень», так как преподаватель не даёт указаний, как оформить эксперимент. Если студенты догадываются сами - это будет хорошо.

Если не догадываются необходимо подвести их в беседе о результатах к проблеме наглядности. Т.е. надо составить таблицу

Размер листа	1	1/2	1/4	1/8 ....
Время падения				

В ходе беседы их так же надо подвести к ещё одному способу исследования – графическому.

После этого студенты должны оформить себе в тетради данную задачу по всем правилам – с составлением таблицы, построением графика и записью вывода. Каждая группа график и таблицу выносит на доску, после чего необходимо обсудить, где результаты были более наглядными. (с газетой измерений будет больше и результаты нагляднее).

Далее группам выдаётся вторая задача.

#### **Задача 2. Время реакции человека**

**Имея линейку измерить время реакции человека.**

В задаче интегрируются темы: свободное падение тел (физика), рефлекс (биология), статистическая обработка данных (математика). Необходимое оборудование: несколько линеек.

Исследование опирается на известный и очень простой способ измерения времени реакции человека. В опыте участвуют двое, условно «испытуемый» и «экспериментатор». Первый прижимает к стене длинную линейку, второй держит ладонь в сантиметре-двух напротив определенной, скажем нулевой, метки на линейке. В какой-то момент времени «экспериментатор» отпускает линейку, а «испытуемый» должен как можно быстрее остановить ее падение, прижимая линейку к стене ладонью или пальцем. Расстояние, которое успела пролететь линейка, по существу и есть (хотя пока в сантиметрах) время реакции «испытуемого». Чтобы вычислить эту величину в секундах, надо воспользоваться известной формулой для высоты свободного падения тела  $h=gt^2/2$ . Желательно подвести студентов к этой формуле, или дать готовую.

После обсуждения задачи и инструкции о проведении эксперимента, группам даётся задание измерить время реакции каждого члена группы. Преподаватель записывает результаты на доске. Цель – выявить человека с самой плохой реакцией. На этом этапе возникает вопрос достоверности полученных величин. Преподаватель, например, может спросить: «Все ли из тех, у кого измеряли время реакции, согласны с тем, что у них именно такой результат?» Как правило, те, у кого обнаружилась «плохая» реакция (большое значение времени), отвечают отрицательно и предлагают провести повторные измерения. Если такого предложения от студентов не поступит, преподаватель предлагает сам, но с одним замечанием, что измерения надо провести 5-10 раз. И найти среднее значение. На ком-то из недовольных проводится серия измерений (например, 10 измерений в серии), и при этом, в принципе, может быть получено 10 различных значений. (При этом участвует вся группа). Становится ясно, что нет смысла говорить, что какое-то одно из них истинно? Как следствие, вводится понятие случайной величины, и преподаватель описывает простейший способ статистической обработки данных.

Итогом работы на этом этапе должно стать обнаружение того, что для получения более или менее достоверной величины времени реакции необходимо многократное повторение измерений, а результатом серии измерений является не точное число, а некий интервал доверительности полученных величин. Если мы провели  $n$  измерений, то можем определить среднее значение измеряемой величины. Для оценки истинности данных эксперимента следует рассмотреть возможные причины ошибок и степень их влияния на измеряемую величину. Далее преподаватель рассказывает о погрешностях, статистической обработке данных и т.п. Формулы студенты должны записать себе в тетради.

### Статистическая обработка результатов эксперимента. Физические измерения

В данной работе рассматривается классификация погрешностей экспериментов, а также простейшие методы математической обработки результатов наблюдений.

**Физическая величина** – характеристика особенности физического объекта или явления, которая отображает его свойство, состояние или происходящий в нем процесс. Физические величины имеют количественное и качественное содержание.

**Измерение** – экспериментальное определение количественного значения физической величины с помощью специально предназначенных для этого технических средств. Измерение включает в себя наблюдение и математические операции для определения результата измерений.

Измерения подразделяются на прямые и косвенные.

**Прямое измерение** – это измерение, при котором искомое значение физической величины является показанием какого-либо прибора, например: длина – на шкале линейки, температура – на термометре, напряжение – на вольтметре и т.п.

**Косвенное измерение** – это измерение, при котором искомое значение получают вычислением на основании ее зависимостей от величин, измеряемых прямо, т.е. по формулам (ускорение, энергия и т.п.)

Количественно измерения подразделяются на одно- и многократные.

К **однократным** отнесем измерения, не только проводимые один раз, но и те значения физических величин, которые мы сами задаем в экспериментах, например, высоту, с которой опускаем груз, массу этого груза и т.п.

При **многократных** измерениях эксперименты повторяются несколько раз при одинаковых исходных состояниях (независимые наблюдения).

### Погрешность измерений

Результат измерений любой физической величины не может быть абсолютно точен, обязательно имеется некоторая погрешность. При оценке результатов физического эксперимента это обстоятельство имеет решающее значение. Например, для некоторой величины теория предсказывает значение 5,54, а в эксперименте получено 5,6. Можно ли отсюда сделать вывод о верности теории?

Все зависит от точности теоретического предсказания и точности экспериментального результата.

Принято различать **приборные** погрешности, обусловленные точностью измерительного прибора и его настройки, и погрешности **случайные**, вызванные неконтролируемыми внешними воздействиями, может быть, даже воздействием самого прибора. Например, при измерении некоторого размера штангенциркулем возможна деформация измеряемого объекта самим штангенциркулем: под его "губки" может попасть посторонний микроскопический предмет, возникнуть перекося и т.д. Причиной появления погрешности может быть и несовершенство принятой модели. Так, мы считаем объект измерения телом вращения, а в действительности его сечение может иметь форму эллипса. При этом в зависимости от конкретных условий эксперимента погрешность может быть в одном случае отнесена к приборным, а в другом - считаться вызванной внешними воздействиями, точной границы при таком разделении погрешностей нет.

Приборные погрешности в свою очередь могут быть случайными по величине и знаку или закономерными. Если погрешность закономерна, ее называют систематической и в принципе ее можно учесть в виде некоторой поправки к результату измерений.

Третий тип погрешностей, с которыми приходится иметь дело - грубые погрешности или промахи. Под грубой погрешностью измерения понимается погрешность, существенно превышающая ожидаемую при данных условиях. Она может быть сделана вследствие неправильного применения прибора, неверной записи показаний прибора, ошибочно прочитанного отсчета, неучета множителя шкалы и т.п.

По форме представления различают погрешность абсолютную и относительную. Смысл этих терминов очевиден. Например, если результат измерения некоторого промежутка времени записан так:

$$x = x_{\text{изм}} \pm \Delta x, \quad (1)$$

то в этом случае величина  $\Delta x$  представляет собой **абсолютную** погрешность; обозначается она, как и измеряемая величина, но со знаком  $\Delta$ . **Относительные погрешности** определяются по формуле

$$\varepsilon = (\Delta x / x_{\text{сп}}) \cdot 100\% \quad (2)$$

и измеряются в процентах.

**Статистическая (случайная) погрешность** вызвана тем, что при достаточной точности прибора при повторном проведении измерения невозможно получить тот же самый результат из-за действия случайных факторов, влияющих на саму измеряемую величину. Например, даже длина предмета при измерениях с точностью до 0.01 мкм будет меняться из-за температурных колебаний и вибрации (предмет то увеличивает свои размеры, то сжимается под их действием). В результате при повторном проведении измерений величины  $x$  будет получен целый набор различных значений  $x_i$ ,  $i=1,2,\dots,n$  - номер измерения ( $n$  — количество измерений). Естественно, возникает вопрос – какое из них истинное? В качестве оценки такого истинного значения принято среднее значение

$$X_{CP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

Однако, ясно, что с увеличением количества измерений среднее значение может меняться, пока не придет к некоторому пределу, значение которого можно принять за истинное. На практике у нас нет возможности (и необходимости) в проведении столь большого количества измерений, поэтому обычно определяется статистическая погрешность измерения

$$\Delta X_{stat} = \frac{t(n, \gamma)}{\sqrt{n}} S_n \quad (4)$$

$$S_n = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2} \quad (5)$$

где  $S_n$  – стандартное отклонение от среднего или среднеквадратичное отклонение, а  $t(n, \gamma)$  – коэффициент Стьюдента, зависящий от количества измерений  $n$  и надежности  $\gamma$ . Смысл статистической погрешности состоит в том, что истинное значение находится в интервале от  $X_{cp} - \Delta X_{stat}$  до  $X_{cp} + \Delta X_{stat}$  с вероятностью  $\gamma$ :

$$X_{cp} - \Delta X_{stat} \leq X_{ист} \leq X_{cp} + \Delta X_{stat}$$

Иногда эту формулу записывают чуть по-другому с тем же результатом

$$\Delta X_{stat} = t(n, \gamma) S_n \quad (4a)$$

$$S_n = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2} \quad (5a)$$

Коэффициент Стьюдента для разных значений надежности и количества измерений можно взять из таблицы.

**Значения коэффициента Стьюдента при различных уровнях надежности и количестве измерений**

Число измерений $n$	Надежность $\gamma$			
	50%	90%	95%	99%
2	1	6,31	12,7	63,7
3	0,82	2,92	4,30	9,92
4	0,76	2,35	3,18	5,84
5	0,74	2,13	2,78	4,60
10	0,70	1,81	2,23	3,17

Суммарная погрешность, определяемая как приборной, так и статистической (случайной) погрешностью, рассчитывается по формуле:

$$\Delta X = \sqrt{\Delta X_{stat}^2 + \Delta x_{приб}^2} \quad (6)$$

**Упражнение 1. Определение погрешности прямого многократного измерения времени.**

Примером прямых многократных измерений может служить массив измерений времени лабораторным секундомером. Поскольку цена деления секундомера  $0,01$  с, а реакция человека составляет десятые доли секунды, то при попытках остановить секундомер точно на заданном значении мы получим набор случайно распределенных около этого значения результатов.

**Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений:**

1. Ознакомиться с работой секундомера и подключить его к сети.
2. В качестве тренировки попытаться несколько раз установить на секундомере значение 1,00 с или какое-либо другое, указанное преподавателем.
3. Прodelать серию измерений (5 – 7 раз) с целью установления на секундомере указанного значения времени.
4. Записать результаты измерений в табл. 1
5. Вычислить среднее значение по формуле (3)
6. Найти погрешности отдельных измерений:  $X_{cp} - x_i$
7. Вычислить квадраты погрешностей отдельных измерений
8. Определить среднеквадратичную погрешность среднего по формуле (5).
9. Для данного числа измерений и доверительной вероятности найти в табл. значение коэффициента Стьюдента  $t(n, \gamma)$  для 95%.
10. Вычислить статистическую погрешность по формуле (4)
11. Записать значение систематической погрешности (погрешности прибора)  $\Delta X_{приб}$ .
12. Вычислить полную погрешность измерений по формуле (6)

13. Оценить относительную погрешность  $\epsilon$  по формуле (2)

Таблица 1

№	X	X <sub>ср</sub>	$\Delta X_i$	$\Delta X_i^2$	S <sub>n</sub>	t(n,γ)	X <sub>стат</sub>	$\Delta X_{\text{приб}}$	$\Delta X$	$\epsilon$
1										
2										
3										
4										
5										

**Упражнение 2. Измерение времени падения шарика с высоты 1 м**

№	1	2	3	4	5	6	7	t <sub>ср</sub>
t <sub>i</sub>								
$\Delta t_i$								

1. Найти среднее арифметическое значение измеряемой величины t, причем оно должно содержать столько значащих цифр, сколько их в измеряемой величине (в нашем примере - три);
2. Для каждого измерения найти модуль разности среднего значения и измеренной величины t<sub>i</sub> и занести в таблицу;
3. Найти среднее арифметическое значение погрешности t<sub>i</sub> ;
4. Сравнить значение с приборной погрешностью прибора.
5. Записать результат измерений, используя формулу (1)

**Упражнение 3. Рассчитать среднее значение периода колебаний математического маятника и его погрешность по результатам измерений.**

Провести измерения и записать результат

1. Записать результаты измерений в табл. 1
2. Вычислить среднее значение по формуле (3)
3. Найти погрешности отдельных измерений: X<sub>ср</sub> - X<sub>i</sub>
4. Вычислить квадраты погрешностей отдельных измерений
5. Определить среднеквадратичную погрешность среднего по формуле (5).
6. Для данного числа измерений и указанной преподавателем доверительной вероятности (не ниже 95%) найти в табл. значение коэффициента Стьюдента t(n,γ).
7. Вычислить статистическую погрешность по формуле (4)
8. Записать значение систематической погрешности (погрешности прибора)  $\Delta X_{\text{приб}}$  .
9. Вычислить полную погрешность измерений по формуле (6)

Таблица 3 Результаты измерений периода колебаний математического маятника

№	T	N	T	T <sub>ср</sub>	$\Delta T_i$	$\Delta T_i^2$	S <sub>n</sub>	t(n,γ)	T <sub>стат</sub>	$\Delta T_{\text{приб}}$	$\Delta T$	E
1												
2												
3												
4												
5												

**Лабораторная работа № 2. ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ РАВНОУСКОРЕННОГО ДВИЖЕНИЯ**

**Часть 1. Изучение законов равноускоренного движения на установке с тележкой**

**Краткая теория и метод исследования**

Если рассмотреть движение тела на предложенной установке, то можно утверждать следующее: движение тележки по слегка наклоненной рельсе является равноускоренным без начальной скорости. Следовательно, это движение можно описать законом

$$S = at^2 / 2$$

Для проверки этого закона можно использовать следующий метод: так как движение равноускоренное, то при любых S, ускорение будет неизменным, т.е.  $2S_1 / t_1^2 = 2S_2 / t_2^2 = \dots = \text{const}$ . Если это так, значит закон справедлив. Таким образом, задача эксперимента состоит в измерении t для соответствующих S и сравнение полученных результатов.

**Измерения и обработка результатов:**

1. Ознакомьтесь с установкой; определите каким способом будете фиксировать путь, каким прибором его измерять; каким прибором будете фиксировать время?
2. Подготовить таблицу для занесения результатов.
3. Проведите 1-2 пробных эксперимента и подготовьте установку к работе.

4. Проведите не менее 5 измерений для одного расстояния и все результаты занесите в таблицу.
  5. Произведите необходимые расчеты.
  6. Повторите измерения ещё для двух других расстояний
  7. По формуле  $a_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$  найдите среднее значение для каждого случая
  8. Все результаты занесите в таблицу 1.
  9. Исследуйте полученные результаты и сформулируйте вывод.
- Таблица 1.

№ измер.	S м	t с	t <sup>2</sup> с <sup>2</sup>	$\frac{2S}{t^2}$ (a <sub>i</sub> )	Среднее $\frac{2S}{t^2}$ (a <sub>cp</sub> )
1					
...					
5					
1					
...					
5					
1					
...					
5					

## Часть 2. Определение ускорения свободного падения с помощью машины Атвуда

### Краткая теория и метод исследования

Закон равноускоренного движения без начальной скорости можно использовать для практических целей, например, для определения ускорения свободного падения.

Для этого можно использовать экспериментальную установку, называемую машиной Атвуда. Падение шарика является равноускоренным, так как силу тяжести для небольшой высоты можно считать постоянной, а силу сопротивления для малого тела незначительной. Таким образом, из формулы

$$h = gt^2/2 \quad (1)$$

можно найти g

$$g = 2h/t^2. \quad (2)$$

Для получения более точного результата необходимо провести не менее 5 измерений.

### Измерения и обработка результатов

1. Познакомьтесь с установкой. Ответьте на вопросы :
  1. Каким образом будет закрепляться шарик?
  2. Как будете измерять высоту?
  3. Каким образом будете измерять время?
2. Проведите 1-2 опыта, чтобы освоить установку.
3. Меняя h измерьте соответствующее им t и занесите в таблицу.
4. Вычислите значения g и занесите их в таблицу.

№ измерен.	h м	T с	t <sup>2</sup> с <sup>2</sup>	g м/с <sup>2</sup>	Δg <sub>i</sub> м/с <sup>2</sup>	g <sub>ист</sub> м/с
1	h 1					
2						
3						
4						
5						
1	h 2					
2						
3						
4						
5						
1	h 3					
2						
3						
4						
5						

5. Определите погрешности измерения. Поскольку g измеряется косвенным путем, то максимальную абсолютную приборную погрешность в данном опыте ищем по формуле

$$\Delta g_{\text{нр}} = |(\partial g / \partial h)| \cdot \Delta h + |(\partial g / \partial t)| \cdot \Delta t = 2 \cdot \Delta h / t^2 + 4 \cdot h \cdot \Delta t / t^3, \quad (3)$$

где  $\Delta h$  и  $\Delta t$  – абсолютные приборные погрешности измерения  $h$  и  $t$ .

Абсолютную случайную погрешность данного опыта ищем как

$$\Delta g_i = g_{\text{ср}} - g_i, \quad (4)$$

где

$$g_{\text{ср}} = (g_1 + g_2 + \dots + g_n) / n. \quad (5)$$

Тогда максимальная абсолютная случайная погрешность

$$\Delta g_{\text{сл}} = \sum_{i=1}^n |\Delta g_i| / n. \quad (6)$$

Полная максимальная абсолютная погрешность

$$\Delta g = [(\Delta g_{\text{нр}})^2 + (\Delta g_{\text{сл}})^2]^{1/2}. \quad (7)$$

Окончательно

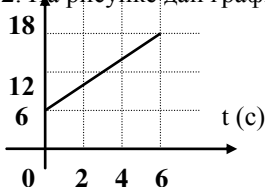
$$g_{\text{ист}} = g_{\text{ср}} \pm \Delta g. \quad (8)$$

**Ответьте письменно на вопросы теста и покажите ответы преподавателю:**

**01.** Модуль ускорения материальной точки, движущейся вдоль оси  $x$  согласно уравнению  $X = 2 + 3t - 6t^2$  (м) равен

- 1)  $6 \text{ м/с}^2$     2)  $3 \text{ м/с}^2$     3)  $-6 \text{ м/с}^2$     4)  $12 \text{ м/с}^2$     5)  $-3 \text{ м/с}^2$

**02.** На рисунке дан график зависимости координаты  $x$  автомобиля от времени. Какова скорость автомобиля?



**Ответы:**

- 2 м/с    2) -0,5 м/с    3) 0,5 м/с    4) 2 м/с

**03.** Если равнодействующая всех сил, действующих на равноускоренно движущееся тело, в некоторый момент времени стала равна нулю, то с этого времени тело

- 1) будет двигаться с неизменным ускорением  
2) будет двигаться равнозамедленно  
3) будет двигаться с постоянной скоростью  
4) практически мгновенно остановится  
5) может двигаться произвольным образом

**04.** Ускорение  $a$  тела, брошенного вертикально вверх, с учётом сопротивления воздуха

- 1)  $a > g$     2)  $a = g$     3)  $a < g$     4)  $a > g$  на участке подъёма,  $a < g$  на участке спуска    5)  $a < g$  на участке подъёма,  $a > g$  на участке спуска.

**05.** Как движется тело, если сумма всех действующих на него сил равна нулю?

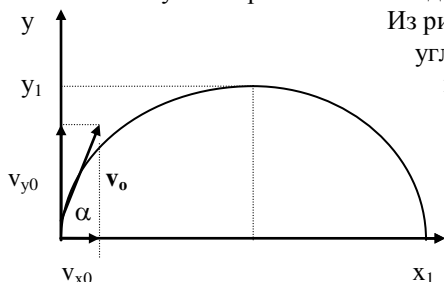
- 1) Скорость тела равна нулю.  
2) Скорость тела возрастает.  
3) Скорость тела убывает.  
4) Скорость тела постоянна, но не равна нулю.  
5) Скорость тела может быть любой, но обязательно неизменной во времени.

### Лабораторная работа № 3.

#### ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА, БРОШЕННОГО ПОД УГЛОМ К ГОРИЗОНТУ

##### Краткая теория и метод исследования

Частным случаем криволинейного движения является движение тела, брошенного под углом к горизонту.



Из рисунка мы видим, что движение тела, брошенного со скоростью  $v_0$  под углом  $\alpha$  к горизонту, будет характеризоваться максимальной высотой подъема над горизонтом  $h_{\text{max}} = y_1$ , дальностью полета  $S = x_1$  и полным временем полёта  $t$ . Дальность полета определяется начальной горизонтальной составляющей скорости  $v_{x0}$  и полным временем полёта  $t$ :

$$S = v_{x0} \cdot t$$

Высота подъема тела  $h_{\text{max}}$  определяется начальной вертикальной составляющей скорости  $v_{y0}$  и временем подъёма  $t_n$ , где  $t_n = t/2$ :

$$h_{\text{max}} = v_{y0} t_n - g t_n^2 / 2$$

На основе формул тригонометрии

$$v_{x0} = v_0 \cdot \cos \alpha.$$

(1)

$$v_0 = (v_{x0}^2 + v_{y0}^2)^{1/2}, \quad \text{откуда} \quad v_{y0} = v_0 \cdot \sin \alpha. \quad (2)$$

$$S = v_0 \cdot t \cdot \cos \alpha. \quad (3)$$

$$h_{\max} = (v_0 \cdot \sin \alpha) t/2 - gt^2/8. \quad (4)$$

Горизонтальная составляющая скорости  $v_{x0} = \text{const}$ , так как в этом направлении не существует сил, изменяющих скорость. Вертикальная составляющая скорости  $v_y$  меняется по закону равнопеременного движения в результате действия силы тяжести, т.е. при подъёме

$$v_y = v_{y0} - gt. \quad (5)$$

Для верхней точки  $v_y = 0$ ,  $t_n = t/2$  - время движения вверх. Учитывая равенства (2) и (5) будем иметь  $v_0 \sin \alpha - gt/2 = 0$ , отсюда

$$t = (2v_0 \cdot \sin \alpha) / g. \quad (6)$$

Подставив это значение в формулу (4), будем иметь

$$h_{\max} = v_0^2 \sin^2 \alpha / 2g, \quad (7),$$

а в формуле (3)

$$S = 2v_0 \sin \alpha v_0 \cos \alpha / g = v_0^2 \sin 2\alpha / g. \quad (8)$$

В данной работе будут поставлены несколько задач:

1. Проверить зависимость дальности полета от угла броска  $S = f(\alpha)$ .
2. Определить начальную скорость броска  $v_0$ .
3. Проверить формулу (7) и определить максимальную высоту подъема тела.

### Измерения и обработка результатов

Выполните в тетради рисунок, данный в описании, и запишите в тетрадь все формулы. Изучите предложенную вам установку и ответьте на вопросы:

1. Как будете менять угол выстрела?
2. Как будете измерять дальность полета шарика?
3. Проведите 1-2 экспериментальных выстрела для проверки исправности установки.

### **Упр.1. Проверка зависимости дальности полета тела от угла броска**

Разработайте сами ход эксперимента, вид таблицы 1, построение графика и сделайте вывод по результатам вашей работы.

### **Упр. 2. Определение начальной скорости движения тела при броске под углом к горизонту**

1. Внимательно изучите имеющиеся у вас 8 формул.
2. Учитывая первый эксперимент, выберите формулу для расчета начальной скорости на основе экспериментальных данных
3. Сделайте измерения для 3-х различных углов (не менее 5-ти опытов для каждого угла).
4. Заполните таблицу 2

Таблица 2

№ измер.	$\alpha$	S ( м )	$v_0$ ( м/ с )	$v_{cp}$ ( м/ с )
1 ... 5	$\alpha_1$			$v_{cp1}$
1 ... 5	$\alpha_2$			$v_{cp2}$
1 ... 5	$\alpha_3$			$v_{cp3}$

$$v_{cp} = (v_1 + v_2 \dots + v_5) / 5$$

### **Упр. 3. Проверка формулы $h_{\max} = (v_0^2 \sin \alpha) / 2g$**

Для проверки правильности формулы рассчитайте высоту подъема шарика при угле  $\alpha = 45^\circ$ . С помощью штатива и листочка бумаги убедитесь, что ваш расчет верен. Вычисления запишите в тетрадь.

По формуле (7) рассчитайте высоту подъема шарика при вертикальной стрельбе, т.е.  $\alpha = 90^\circ$ , и опять проверьте свой результат экспериментально. Результаты запишите.

**Решите письменно в тетради задачу и при защите покажите преподавателю ответ.**

Для брошенного с земли под углом  $\alpha$  к горизонту с начальной скоростью  $v_0$  тела найти, без учёта сопротивления воздуха значение скорости, нормального, тангенциального и полного ускорений, а также радиуса кривизны траектории для её произвольной точки на известной высоте  $h$  от земли.

## **Лабораторная работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**



(исследовательская работа)

**Упражнение 1. Измерение средней скорости тела при прямолинейном равноускоренном движении**

1. Соберите установку из желоба и штатива. На нижний конец желоба положите металлический цилиндр, а на верхний – шарик, придерживая его рукой.
2. Отпуская шарик, измерьте время движения его по желобу.
3. Измерьте модуль перемещения шарика относительно желоба.
4. Вычислите величину (модуль) средней скорости шарика относительно желоба.
5. Результаты измерений оформите в таблицу.
6. Зависит ли средняя скорость шарика от длины пути?

S	t	v	$v_{cp}$
$S_1 =$		1 ... 5	
$S_2 =$		1 ... 5	
$S_3 =$		1 ... 5	

**Упражнение 2. Проверка зависимости величины средней скорости от угла наклона**

1. Проведите измерения средней скорости при двух разных углах наклона  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .
2. Результаты измерений оформите в таблицу.

S	$\alpha$	t	$v_{cp}$
		1	
		2	
		3	
		1	
		2	
		3	

3. Сформулируйте вывод.

**Упражнение 3. Измерение начальной скорости при прямолинейном равнозамедленном движении**

1. Толкните шарик вверх по желобу и измерьте время его подъёма.
2. Измерьте модуль перемещения шарика относительно желоба.
3. По полученным данным вычислите величину начальной скорости движения шарика относительно желоба.

Подсказка: используйте формулы  $v = v_0 - at$ ,  $s = v_0 t - at^2/2$

4. Проведите обработку измерений и результаты занесите в таблицу.

S	t	$v_{cp}$
	1	
	2	
	3	
	1	
	2	
	3	

**Упражнение 4. Измерение величины угловой и линейной скоростей тела при равномерном движении частицы по окружности**

1. Поднимите шарик за конец нити над линейкой и приведите его в равномерное движение по окружности так, чтобы он при вращении каждый раз проходил через нулевое, и, например, десятое деление шкалы. Для получения устойчивого движения шарика используйте штатив.
2. Измерьте время, например, 30 полных оборотов.
3. Зная время движения, число оборотов и радиус вращения, вычислите величины угловой и линейной скоростей шарика относительно стола.
4. Результаты измерений и вычислений запишите в тетрадь.
5. Ответьте на вопросы:
  - а) изменится ли время одного оборота шарика, если сделать, например, не 30, а 60 оборотов? Когда результат будет более точным?
  - б) изменится ли время одного оборота шарика, если его радиус вращения уменьшить в 2 раза?
  - в) Как изменятся угловая и линейная скорости шарика, если его радиус вращения увеличится в 2 раза?

**Упражнение 5. Измерение модуля центростремительного ускорения тела при равномерном движении по окружности**

1. Выполните задания 1 и 2 из упражнения 4.
2. Зная время движения, число оборотов и радиус вращения, вычислите модуль центростремительного ускорения шарика.
3. Результаты измерений и вычислений запишите в тетрадь.
4. Ответьте письменно на вопросы:
  - а) Как изменится модуль центростремительного ускорения шарика при росте числа его оборотов в 2 раза?
  - б) Как изменится модуль центростремительного ускорения шарика при росте радиуса вращения в 2 раза?

Таблица к упражнениям 4 и 5.

N	R	t	V	$\omega$	$a_{цс}$
$N_1$	$R_1$				
$N_2$					
N	$R_2$				
	$R_3$				

$$R_2 = R_1 / 2 \quad R_3 = 2 R_1$$

**Письменно ответьте в тетради на 6 вопросов и при защите покажите ответ преподавателю.**

1. Какие из приведённых зависимостей описывают равномерное движение?
  - 1)  $S = 2t + 3$
  - 2)  $S = 5t^2$
  - 3)  $S = 3t$
  - 4)  $v = 4 - t$
  - 5)  $v = 7$
2. Какие из приведённых зависимостей описывают равнопеременное движение?
  - 1)  $v = 3 + 2t$
  - 2)  $S = 3 + 2t$
  - 3)  $S = 3t^2$
  - 4)  $S = 3t - t^2$
  - 5)  $S = 2 - 3t + 4t^2$
3. Уравнение скорости движущегося тела -  $v = 5 + 4t$ . Каково соответствующее уравнение пути?
4. Три тела брошены так: первое - вниз без начальной скорости, второе вниз с начальной скоростью, третье вверх. Что можно сказать об ускорениях этих тел? Сопротивление воздуха не учитывать.
5. Тяжёлый предмет подвешен на верёвке к воздушному шару, равномерно поднимающемуся с некоторой скоростью. Каково будет движение предмета, если верёвку перерезать? Сопротивлением воздуха пренебречь.
6. Тело, брошенное вертикально вверх, упало обратно. Начертите графики пути, координаты, скорости и ускорения в зависимости от времени. Сопротивление воздуха не учитывать. Направление вверх считать положительным

**Лабораторная работа № 5. Проверка II закона Ньютона**  
**Краткая теория и метод исследования**

В динамике основным законом движения является II закон Ньютона, который говорит о том, что ускорение, сообщаемое телу силой  $F$ , прямо пропорционально значению этой силы, обратно пропорционально массе тела  $m$  и направлено так же, как сила

$$\vec{a} = \vec{F} / m$$

Для проверки этого закона можно применить установку, используемую в лабораторной работе № 2 (вспомните метод определения ускорения). Чтобы проверить зависимость ускорения от силы, необходимо менять действующую силу (при постоянной массе), измеряя каждый раз проходящие телом пути и соответствующие промежутки времени. Для проверки зависимости ускорения от массы тела будем менять массу тележки (при постоянной силе) и производить те же измерения, что и в первом случае.

Чтобы уменьшить влияние на результаты трения качения, следует чуть приподнять один край рельсы так, чтобы тележка ещё не катилась самопроизвольно, но при толчке двигалась равномерно.

**Измерения и обработка результатов**

**Упр.1. Проверка зависимости ускорения от действующей на тело силы**

- I. Соберите установку как для лаб. раб. № 2.
- II. Прделайте 1-2 опыта и добейтесь равномерного движения тележки путём наклона рельсы.
- III. Изменяя силу, действующую на тележку (при постоянных массе и пути), измерьте время движения. Для каждой силы нужно провести не менее трех измерений.
- IV. Все измерения и вычисления занесите в таблицу:

№ из-мер.	F Н	S м	t с	$t^2$ с <sup>2</sup>	a м\с <sup>2</sup>	$a_{ср}$ м\с <sup>2</sup>
1	$F_1 =$					$a_{ср1} =$
2						
3						

1	$F_2=$					$a_{cp2}=$
2						
3						
1	$F_3=$					$a_{cp3}=$
2						
3						

$$a_{cp} = (a_1 + a_2 + a_3) / 3$$

V. Постройте график зависимости  $a_{cp} = a_{cp}(F)$ , по виду графика определите вид полученной зависимости, сформулируйте вывод.

### Упр. 2. Проверка зависимости ускорения от массы тела

VI. Изменяя массу тележки (при постоянной силе и пути), измерьте время её движения. Для каждого значения массы проведите не менее трех измерений.

VII. Все измерения и вычисления занесите в таблицу.

№ изме- рен.	m кг	S м	t с	$t^2$ с <sup>2</sup>	a м/с <sup>2</sup>	$a_{cp}$ м/с <sup>2</sup>
1	$m_1=$					$a_{cp1}=$
2						
3						
1	$m_2=$					$a_{cp2}=$
2						
3						
1	$m_3=$					$a_{cp3}=$
2						
3						

VIII. Постройте график зависимости  $a_{cp} = a(m)$

По графику определите вид полученной зависимости и сформулируйте вывод.

## Лабораторная работа № 6 Изучение силы сухого трения

**Оборудование:** брусок деревянный, набор плоскостей – дерево, стекло, бумага, динамометр лабораторный, набор грузов, линейка.

**Ход работы:** Все измерения производить не менее 5 раз, для выводов брать средние значения.

### Упражнение 1. Сравнение силы трения покоя, силы трения скольжения и силы трения качения

а) Установите на бруске два груза и измерьте максимальную силу сухого трения покоя бруска по деревянной поверхности.

б) Измерьте силу сухого трения скольжения бруска с грузами по деревянной поверхности. Движение при этом ДОЛЖНО БЫТЬ РАВНОМЕРНЫМ.

в) Измерьте силу сухого трения качения бруска по деревянной поверхности. Для этого положите брусок с двумя грузами на две круглые авторучки перемещайте брусок равномерно с помощью динамометра.

г) Запишите все результаты в тетрадь. На основе этих результатов сформулируйте вывод о соотношении измеренных сил.

### Упражнение 2. Изучение зависимости силы трения скольжения от рода трущихся поверхностей

а) С помощью установки предыдущего опыта, меняя поверхности соприкосновения с бруском (стекло, бумага, крашеное дерево), выявите, зависит ли сила трения скольжения от рода соприкасающихся поверхностей. Сформулируйте вывод. Как влияет обработка поверхностей на силу трения? Все измерения запишите в тетрадь.

### Упражнение 3. Проверка закона Амантона–Кулона

а) Выясните, как зависит сила трения скольжения от силы нормального давления.

б) Сделайте то же самое для максимальной силы трения покоя.

в) Постройте на одном графике зависимости максимальной силы трения покоя и силы трения скольжения от силы нормального давления.

г) На основе графиков сформулируйте вывод и запишите его в тетрадь.

### Упражнение 4. Определение коэффициента трения скольжения

а) С помощью закона Амантона-Кулона определите коэффициент трения скольжения для различных поверхностей. Результаты запишите в тетрадь.

б) Проверьте, влияет ли сила нормального давления на коэффициент трения скольжения.

### Упражнение 5. Зависимость силы трения от скорости движения тела

а) Проверьте, зависит ли сила трения скольжения от скорости движения тела, (скорость в каждом случае должна быть постоянной).

б) Эксперимент проведите для разных сил нормального давления.

### Упражнение 6. Зависимость силы трения скольжения от площади соприкасающихся поверхностей

- а) Проверьте, влияет ли площадь соприкасающихся поверхностей на величину силы трения. Для этого брусок помещают неокрашенной стороной на деревянную плоскость. Вначале опыт проводят для одной площади, затем для другой, также не окрашенной. Опыт проводят не менее трёх раз.
- б) На основе измерений сформулируйте вывод и запишите его в тетрадь.

**Упражнение 7. Экспериментальные и качественные задачи.** Ответы при защите показать преподавателю.

#### № 1. "Измерение модуля начальной скорости и времени торможения тела, под действием силы трения".

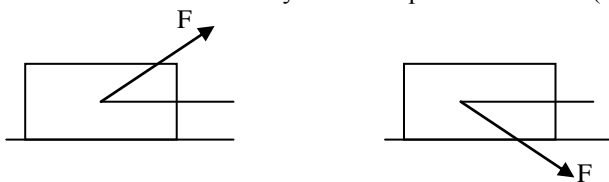
- а) Положите брусок на стол и замерьте его начальное положение.
- б) Толкните слегка брусок рукой и замерьте его новое положение на столе.
- в) Измерьте тормозной путь бруска относительно стола.
- г) Определите массу бруска с помощью динамометра.
- д) Измерьте модуль силы трения скольжения бруска по столу
- е) Зная массу  $m$ , тормозной путь  $S$ , модуль силы трения  $F_{\text{тр}}$ , вычислите модуль начальной скорости и время торможения. Результаты вычислений оформите в тетради, как решение задачи.

#### № 2. "Определение коэффициента трения".

(Республиканская олимпиада, экспериментальный тур, 9 класс)

Имея пружину, бумагу в клетку и кубик, определить коэффициент трения кубика о поверхность стола.

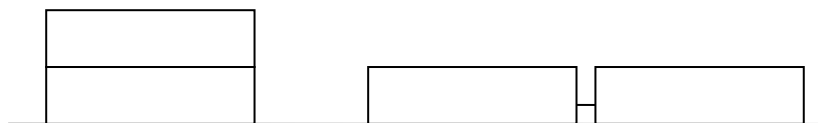
#### № 3. В каком случае сила трения больше? (смотри рисунки)



Ответ обоснуйте и сделайте чертёж.

#### № 4. Одинаковыми ли будут силы трения для двух предложенных случаев?

Ответ проверить на опыте и дать его обоснование.



№ 5. На столе лежат стопкой 10 одинаковых книг. Что легче: сдвинуть пять верхних, или вытянуть из стопки четвертую сверху книгу? Ответ обоснуйте.

### Лабораторная работа № 7. ИЗУЧЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА (исследовательская работа)

#### Теоретические сведения

Все твердые тела способны под действием внешних сил деформироваться, т.е. изменять свою форму и объем.

Тела, в которых после прекращения действия внешних сил деформация полностью исчезает, называются абсолютно упругими, а деформация упругой. В реальных телах могут возникнуть остаточные деформации.

Внутренние силы, возникающие при деформации упругих и неупругих тел, существенно различаются между собой. В упругих телах они определяются величиной и видом деформации. Существует несколько различных видов упругих деформаций: одностороннее растяжение и сжатие, всестороннее растяжение и сжатие, изгиб, сдвиг и кручение. Изгиб фактически является односторонним растяжением одних слоёв тела и односторонним сжатием других при неизменной длине нейтрального слоя в центре изгибаемого тела; аналогично кручение является частным случаем сдвига

При любой деформации в теле возникают упругие силы сопротивления. Гук в 1675 г. обнаружил, что величина и направление сил упругости определенным образом зависят как от вида деформации, так и от ее величины.

Исследуем подробнее деформацию одностороннего растяжения полосы из упругого материала типа жёсткой резины.

#### Характеристики деформации одностороннего растяжения:

Количественной характеристикой деформации служит относительное удлинение (относительная деформация)

$$\varepsilon = \Delta L / L. \quad (1)$$

Характеристикой внешних и уравновешивающих их упругих сил  $F$ , действующих при одностороннем растяжении по нормали к площади  $S$  деформируемого тела, служит нормальное напряжение

$$\sigma_{\text{упр}} = F/S. \quad (2)$$

Характеристикой упругих свойств данного материала является коэффициент упругости  $\alpha$

$$\alpha = (\Delta L \cdot S) / (L \cdot F). \quad (3)$$

Величина, обратная коэффициенту упругости

$$E = 1/\alpha, \quad (4)$$

называется **модулем Юнга**.

Из формул (1) и (3) тогда следует связь

$$F = E \cdot S \cdot \Delta L / L. \quad (5)$$

Используя закон Гука

$$F = k \cdot \Delta L, \quad (6)$$

можно определить коэффициент  $k$  упругости данного тела

$$k = E \cdot S / L. \quad (7)$$

Из формул (5) и (2) следует связь упругого напряжения  $\sigma_{\text{упр}}$ , возникающего в теле, с относительной деформацией:

$$\sigma_{\text{упр}} = E \cdot \epsilon. \quad (8)$$

Опыт показывает также, что деформация продольного растяжения сопровождается уменьшением поперечного размера образца.

Изменение поперечных размеров тела при его растяжении (или сжатии) характеризуется относительным поперечным сжатием  $\epsilon_{\text{п}}$

$$\epsilon_{\text{п}} = \Delta d / d. \quad (9)$$

Опыт показал, что для всех тел из одного и того же материала отношение коэффициента поперечного сжатия  $\epsilon_{\text{п}}$  к относительной продольной деформации  $\epsilon$  есть величина постоянная

$$\epsilon_{\text{п}} / \epsilon = \mu, \quad (10),$$

где  $\mu$  - коэффициент Пуассона.

### Выполнение работы

1. По лекциям и учебникам изучите материал, касающийся темы данной работы.
2. Выпишите в тетрадь формулы (1)-(10) теоретического введения.
3. Найдите, какие величины обозначаются буквами  $L$ ,  $\Delta L$ ,  $S$ ,  $F$ ,  $d$ ,  $\Delta d$  и сделайте соответствующие пояснения в тетради.
4. Выясните, в каких единицах они измеряются.
5. Продумайте, как их можно измерить.
7. Начертите в тетради таблицу 1. Продумайте: что будет являться внешней силой  $F$  и чему она будет равна.
8. Заполните таблицу для трёх значений внешней силы.
9. Оцените погрешность полученных данных
10. Постройте график связи упругого напряжения и относительного растяжения -  $\sigma_{\text{упр}}(\epsilon)$ . Все необходимые действия продумайте самостоятельно.

Таблица 1

№ п/п	Внешняя сила $F$ , Н	Относит. удлинение $\epsilon$	Коэффициент упруг. $\alpha$	Модуль Юнга $E$	Коэффициент упр. $k$	Упругое напряж. $\sigma_{\text{упр}}$	Относит. поперечное сжатие $\epsilon_{\text{п}}$	Коэффициент Пуассона $\mu$
1								
2								
3								
ср.								

### Лабораторная работа № 8

#### Проверка основного закона динамики вращательного движения с помощью маятника Обербека

##### Краткая теория и метод исследования

В основе динамики вращения твердых тел вокруг неподвижной оси лежит закон, подобный II закону Ньютона при поступательном движении твердых тел:

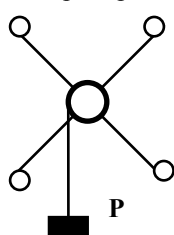
$$M = I \cdot \epsilon,$$

где  $M$  - момент действующей силы,  $\epsilon$  - угловое ускорение тела,  $I$  - момент инерции тела относительно этой оси.

Следовательно, как и в механике поступательного движения, угловое ускорение, приобретаемое телом, прямо пропорционально моменту действующей силы и обратно пропорционально моменту инерции самого тела:

$$\epsilon = M / I$$

Для проверки этого закона будем использовать установку, называемую «маятником Обербека» (опишите этот прибор в тетради после выполнения работы).



Если к шнуру подвесить груз  $P$  массой  $m_p$ , то при его движении вниз силой, вращающей маятник, будет сила упругости шнура. По II закону Ньютона

$$F_{\text{упр.}} = F_{\text{тяж.}} - m_p a$$

Тогда момент вращающей силы будет определяться как

$$M = F_{\text{упр.}} \cdot r = m_p (g - a) r,$$

где  $r$  - радиус шкива. Угловое ускорение маятника  $\epsilon$  связано с линейным  $a$  формулой

$$\epsilon = a / r.$$

Но линейное ускорение точек на шкиве будет равно ускорению падения груза, которое можно найти по формуле из лабораторной работы №2:

$$a = 2h / t^2.$$

### Упр. 1. Проверка зависимости углового ускорения от величины момента вращающей силы

Чтобы проверить зависимость углового ускорения  $\epsilon$  от  $M$ , необходимо определить время падения  $t$  с высоты  $h$  при соответствующей массе груза  $m_p$ .

#### Измерения и обработка результатов

1. Познакомьтесь с экспериментальной установкой.
2. Прodelайте 1-2 опыта, чтобы убедиться в нормальной работе установки.
3. Меняя массу груза  $m_p$ , измерьте время падения его с высоты  $h$ . (для каждой массы произвести не менее трех измерений.)
4. Все результаты занесите в таблицу.

№ измер.	$m_p$ кг	$M$ н м	$h$ м	$T$ с	$t^2$ с <sup>2</sup>	$a$ м/с <sup>2</sup>	$\epsilon$ рад/с <sup>2</sup>	$\epsilon_{cp}$
1 2 3	$m_1=$							$\epsilon_1=$
1 2 3	$m_2=$							$\epsilon_2=$
1 2 3	$m_3=$							$\epsilon_3=$

$$\epsilon_{cp} = (\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3) / 3$$

5. Постройте график зависимости  $\epsilon_{cp} = \epsilon(M)$ , по графику определите вид зависимости, сформулируйте вывод..

### Упр. 2. Проверка зависимости углового ускорения от момента инерции тела.

Для проверки зависимости  $\epsilon$  от момента инерции  $I$  будем менять момент инерции, оставляя неизменной силу упругости со стороны груза  $P$ . Для изменения момента инерции маятника будем использовать добавочные перемещаемые грузики, закрепляя их на каком-то расстоянии от оси вращения

Момент инерции маятника Обербека без грузов  $I_0$  можно определить как суммарный момент инерции двух одинаковых стержней, ось вращения каждого из которых проходит через их центр:

$$I_0 = 2m_c l^2 / 12,$$

где  $m_c$  - масса стержней,  $l$  - полная длина каждого стержня. При этом считается, что цилиндрическая втулка, в которой крепятся стержни, заметного вклада в момент инерции не даёт ввиду сравнительно малого радиуса; более точные измерения должны учитывать и момент инерции втулки.

Если на стержни надеть добавочные грузы  $m_{гр}$  на равном расстоянии  $R$  от оси вращения, то момент инерции маятника станет

$$I = I_0 + 4I_{гр}$$

Если грузы принять за материальные точки, то  $I_{гр} = m_{гр}R^2$ , где  $m_{гр}$ - масса одного груза, тогда

$$I = I_0 + 4m_{гр}R^2$$

Меняя  $R$  можно менять момент инерции маятника  $I$ .

#### Измерения и обработка результатов

1. Рассчитайте момент инерции маятника  $I_0$ , проведя все необходимые измерения.
2. Приведите маятник во вращение с помощью груза  $P$ , измерьте  $h$  и  $t$  в этом случае.
3. Измерьте массу одного груза  $m_{гр}$ .
4. Наденьте грузы на стержни, хорошо закрепив их винтами на равном расстоянии  $R$  от оси вращения.
5. Приведите маятник во вращение с помощью того же груза  $P$ , измерьте  $h$  и  $t$  в этом случае.
6. Измените расстояние  $R$  (например, в 2 раза) и снова произведите все необходимые измерения для неизменной массы груза  $m_{гр}$ .
7. Заполните таблицу

№ измер	$m_{гр}$ кг	$I_0$ кг м <sup>2</sup>	$R$ м	$I$ кг м <sup>2</sup>	$h$ м	$t$ с	$t^2$ с <sup>2</sup>	$a$ м/с <sup>2</sup>	$\epsilon$ рад/с <sup>2</sup>	$\epsilon_{cp}$
1 2 3										$\epsilon_1$
1 2 3										$\epsilon_2$



1							
2							
3							
4							
5							
Среднее значение	x	x					

Здесь  $I_{cp} = (I_1 + I_2 + I_3 + I_4)/4$ ,  $\Delta V_i = V_{cp} - V_i$ ,  $\Delta V_{cp} = \sum |\Delta V_i|/n$ . Видно, что при этом определяется только максимальная случайная погрешность без учёта приборной погрешности и указания достоверности результатов.

**Письменно ответить в тетради и при защите показать преподавателю ответы на такие вопросы:**

1. Можно ли в данном случае считать, что кинетическая энергия пули полностью переходит в кинетическую энергию маятника?
2. Рассмотреть все переходы энергии от момента выстрела до подъема маятника на высоту  $h$ .
3. На каком из этапов можно использовать закон сохранения полной механической энергии?
4. Какой закон сохранения можно применять шире – импульса или полной механической энергии?

### Лабораторная работа № 10. ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКОВ.

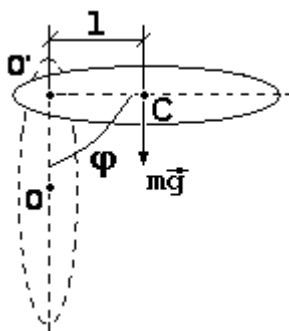
Приборы и принадлежности: физический и математический маятники, секундомер, измерительная линейка.

Теория метода и описание установки.

**Физический маятник** – это способное колебаться твёрдое тело. Как показывает опыт, для этого необходимо, чтобы точка подвеса  $O'$  (см. рисунок) не совпадала с центром масс  $C$  тела. На практике (в механических часах с маятником, например) вновь происходит плоское вращение твёрдого тела вокруг неподвижной оси, проходящей в точке подвеса  $O'$  перпендикулярно плоскости колебаний, а не вращение вокруг неподвижной точки  $O'$  – шаровой шарнир (шарнир Гука) здесь не применяется. Как и для математического маятника, возбудить колебания можно двумя способами: отклонить тело вбок в направлении, допускаемом осью вращения, и отпустить без начального толчка, или сообщить телу, центр масс  $C$  которого находится в положении устойчивого равновесия  $O$ , толчком начальную скорость вбок в направлении, допускаемом осью вращения.

Для описания движения маятника вновь используем основное уравнение динамики вращения ТТ вокруг неподвижной оси  $I \cdot \epsilon = M$ , где вращающий момент  $M$  относительно оси вращения даёт только сила тяжести  $m \cdot g$  с переменным плечом  $l \cdot \sin \varphi$ . Здесь  $l$  – расстояние между точкой подвеса  $O'$  и центром масс  $C$ , а  $I$  – момент инерции тела относительно оси вращения. С учётом разных знаков проекций вращающего момента и угла отклонения на ось вращения в скалярном виде уравнение вращения примет вид

$$I \cdot d^2\varphi/dt^2 = - m \cdot g \cdot l \cdot \sin \varphi$$



Ограничимся малыми углами отклонения, где  $\sin \varphi \approx \varphi$ , и введём константу  $\omega_0^2 = m \cdot g \cdot l / I$ .

(1) Получили дифференциальное уравнение линейного гармонического осциллятора  $d^2\varphi/dt^2 + \omega_0^2 \cdot \varphi \approx 0$ ,

т.е. малые плоские колебания в идеальном случае отсутствия трения будут гармоническими с периодом

$$T = 2\pi [I/(m \cdot g \cdot l)]^{1/2}. \quad (2)$$

Именно использование физического маятника позволило Гюйгенсу в середине 17 века создать первые достаточно точные механические часы; точность их хода (например, при переезде в местность с другим значением ускорения свободного падения) регулируется с помощью небольшого грузика, перемещаемого по резьбе ближе или дальше от оси вращения.

#### Упражнение 1. Определение момента инерции физического маятника

Если физический маятник представляет собой круглый однородный стержень, то зная ускорение силы тяжести и измерив период колебания, можно определить его момент инерции. Действительно, для однородного стержня центр тяжести находится на равных расстояниях от его концов, т.е.  $I = L/2$ , где  $L$  - длина стержня. Тогда из (2)

$$I = \frac{T^2 mgL}{8\pi^2}, \quad (3)$$

если точка подвеса  $O'$  находится вблизи одного из концов стержня. Полученное значение можно сравнить с расчётным  $I = mL^2/3$  для тонкого стержня относительно оси, проходящей через его конец.

Если это не так, то используем формулу

$$I = \frac{T^2 mgl}{4\pi^2}. \quad (3a)$$

Для допуска к работе ответьте на вопросы:

1. Какие величины необходимо измерить, что бы вычислить момент инерции данного маятника?
2. Каким способом будете определять период колебания маятника?



- Какова должна быть примерно амплитуда колебания?
- Подготовьте таблицу:

№	t, с	n	T, с	$\Delta T$	d, м	$\Delta d$	I, кг·м <sup>2</sup>	$\Delta I$	$I = I_{cp} \pm \Delta I_{cp}$
1		10							
2		10							
3		10							
...									
10		10							
Ср.									

### Упражнение 2. Определение ускорения свободного падения с помощью математического маятника.

В тех случаях, когда можно считать, что вся масса тела сосредоточена в одной точке (центр тяжести), маятник называется математическим. Математическим можно считать шарик, подвешенный на длинной нерастяжимой нити, если длина нити значительно больше диаметра шарика. В этом случае расстояние  $l$  можно считать равным длине нити  $L$ . Учитывая, что момент инерции шарика относительно точки  $O'$  подвеса  $J = mL^2$ , получим формулу Гюйгенса для периода малых колебаний математического маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (4)$$

Использование этой формулы позволяет вычислять ускорение свободного падения с помощью математического маятника. Из формулы (4) получите формулу для расчёта ускорения свободного падения.

Ответьте на вопросы:

- Какие величины будете измерять?
- Каким способом будете определять период колебания маятника?
- Какова должна быть примерно амплитуда колебания?
- Подготовьте таблицу:

№	t, с	n	T, с	L, м	$\Delta L$ , м	g, м/с <sup>2</sup>	$\Delta g$ , м/с <sup>2</sup>	$g_{уст} = (\bar{g} \pm \Delta g)$
1		10						
2		10						
3		10						
...								
10		10						
Ср.								

Письменно ответьте в тетради и при защите покажите преподавателю ответы на следующие вопросы.

- Зависит ли период колебания физического маятника от его массы?
- Что такое приведённая длина физического маятника?
- Как изменится период колебаний математического маятника, если его перенести в воду или вязкое масло?
- Как изменится период колебаний маятника с железным шариком, если под ним поместить магнит?
- Два одинаковых полых шарика заполнены один водой, другой песком и подвешены на нитях одинаковой длины. Шарик отклонили на одинаковые углы. Будут ли у них одинаковыми периоды колебаний? Одинаково ли долго будут они колебаться в сосуде, из которого откачан воздух? Одинаково ли долго будут они колебаться в воде? Ответы обоснуйте.
- Как будет меняться ход часов с металлическим маятником при наступлении летних жарких дней по сравнению с холодными зимними днями, если часы установлены не в утеплённом помещении? Ответ обоснуйте.
- Изменится ли период колебаний качелей, если вместо одного человека на качели сядут двое?

## Изучение свободных колебаний пружинных маятников

### Краткая теория и метод исследования

Одним из примеров колебательных систем является пружинный маятник, колебания которого можно отнести к классу собственных затухающих колебаний. Любая колебательная система характеризуется амплитудой, периодом, частотой. В свою очередь, эти величины связаны с параметрами самой системы. В данном случае, такими параметрами являются коэффициент жесткости пружины  $k$  и масса груза  $m$ .

Чтобы выяснить зависимость величин описывающих движение системы от параметров маятника, необходимо в первую очередь определить эти параметры.

#### Упр. 1. Определение коэффициента жесткости пружины статическим методом.

Для определения  $k$  воспользуемся законом Гука для пружины  $F_{\text{упр}} = -k \Delta x$  ( выясните по лекциям физический смысл каждой величины и запишите в тетрадь ). С другой стороны согласно первому закону Ньютона, если маятник находится в покое, то равнодействующая всех сил, действующих на пружину равна нулю, т.е.  $F_{\text{упр}} + P = 0$ . Учитывая эти два равенства, выведите сами формулу для определения коэффициента жесткости  $k$ .

1. В тетради после названия упражнения выполните рисунок маятника, изобразив силы, действующие на пружину.
2. Выведите рабочую формулу. Определите коэффициенты жёсткости для трех пружин, пронумеруйте их.
3. Заполните таблицу 1, произведя нужные измерения.
4. Для допуска к работе ответьте на вопросы:
  1. Какие величины будете измерять?
  2. Какие величины будете менять?
  3. Какими приборами будете пользоваться?
  4. Как будете определять  $P$ ?

Таблица 1.

№	P Н	$\Delta x$ м	$k_1$ Н/м	P Н	$\Delta x$ м	$k_2$ Н/м	P Н	$\Delta x$ м	$k_3$ Н/м
1									
2									
3									
ср.	x	x		x	X		x	x	

#### Упр. 2. Определение зависимости периода собственных колебаний пружинного маятника от массы груза

Для проверки этой зависимости необходимо произвести измерения не менее чем для 5 различных масс. Для измерения периода можно воспользоваться формулой:  $T = t/10$ , где  $t$  - время 10 колебаний.

Ответьте на вопрос почему нельзя определить  $T$  по одному колебанию?

1. Прочитайте ещё раз название упражнения и ответьте на вопросы
  1. Какую зависимость будете проверять?
  2. Какая величина является зависимой?
  3. От какой величины она зависит?
  4. Какую величину будете менять?
  5. Какую величину будете находить?
  6. Какие величины будете измерять?
  7. Какими приборами будете пользоваться?
2. Выполнив все измерения и вычисления, заполните таблицу 2.
3. Постройте график зависимости  $T(m)$  и  $T^2(m)$

Таблица 2.

№	k Н/м	M кг	t с	n	$T_{\text{ср}}$ с	$T_{\text{ср}}^2$ с <sup>2</sup>
1		$m_1$	1	1		
			2	2		
			3	3		
2		$m_2$	1	1		
			2	2		
			3	3		
3		$m_3$	1	1		
			2	2		
			3	3		

4	m <sub>4</sub>	1	1		
		2	2		
		3	3		
5	m <sub>5</sub>	1	1		
		2	2		
		3	3		

4. Сформулируйте вывод из найденной зависимости.

### Упр. 3. Определение зависимости периода собственных колебаний пружинного маятника от коэффициента жесткости пружины

Для проверки этой зависимости вам понадобятся все три пружины из первого упражнения.

1. Ответьте на вопросы на такие вопросы
  - А) Какую зависимость будем проверять?
  - Б) Какая величина является зависимой?
  - В) От какой величины она зависит?
  - Г) Что будем измерять?
  - Д) Какую величину будем оставлять постоянной?
  - Е) Какую величину будем менять?
2. Выполните все измерения.
3. Заполните таблицу 2.

Таблица 2.

№	k Н/ м	m кг	t с	n	T <sub>ср</sub> <sup>2</sup> с <sup>2</sup>	k <sub>дин</sub> Н/ м				
1	k <sub>1ст</sub>		1	1		k <sub>дин 1</sub>				
			2	2						
			3	3						
2	k <sub>2ст</sub>		1	1				k <sub>дин 2</sub>		
			2	2						
			3	3						
3	k <sub>3ст</sub>		1	1						k <sub>дин 3</sub>
			2	2						
			3	3						

### Упр. 4 Определение логарифмического декремента затухания пружинного маятника и коэффициента вязкого трения α.

Собственные колебания всегда являются затухающими, т.е. амплитуда колебаний со временем убывает. Для характеристики быстроты убывания амплитуды используют логарифмического декремента затухания  $\theta$ , который определяют по формуле

$$\theta = (T/t) \ln A_0/A_t$$

(выясните по лекциям физический смысл всех величин).

В воздухе затухание происходит очень медленно, поэтому будем использовать более плотную среду - воду.

**Рекомендация:** чтобы погрешность измерений была меньше, необходимо, чтобы амплитуда уменьшилась на достаточно большую величину. Измеряйте время, за которое амплитуда уменьшится в 10 раз, т.е.  $A_t = 0,1A_0$ . Массу цилиндрического груза возьмите 200 г.

1. Определите период T колебаний маятника в воде.
2. Определите время t уменьшения амплитуды в 10 раз.

Проделайте измерения для двух разных начальных амплитуд (50 мм и 30 мм).

Логарифмический декремент затухания связан со свойствами среды и маятника формулой  $\theta = \alpha T/2m$ , где  $\alpha$  - коэффициент вязкого трения для данного груза в данной среде.

Из приведенной выше формулы выразите  $\alpha$  и по данным опытов найдите его значение. Сравните это значение с расчётным по формуле Стокса для движения шарика равного с цилиндрическим грузиком радиуса в воде. Для воды взять коэффициент динамической вязкости  $\eta = 0,105$  мПа·с.

Все результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 3..

Таблица 3.

№	A <sub>0</sub>	A <sub>t</sub>	t	n	T	T <sub>ср</sub>	θ	θ <sub>ср</sub>	г
1	50 мм	5мм	1.						
			2.						
			3.						
			4.						
			5.						
2	30 мм	3мм	1.						

			2.						
			3.						
			4.						
			5.						

$$T_{cp} = (T_1 + \dots + T_5)/5, \quad \theta_{cp} = (\theta_1 + \theta_2)/2.$$

## 11. ПЛАНЫ ОТВЕТОВ НА ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ, МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЗАУЧИВАНИЯ И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Внимание! Материал для заучивания выделен в плане ответа (дайджесте) **КРУПНЫМ ШРИФТОМ**. Изучаемый самостоятельно материал есть не в каждом вопросе, а лишь в тех, где после плана ответа есть слово «Самостоятельно». Вектора в тексте выделены стрелкой над буквой. Рекомендуемые пособия:

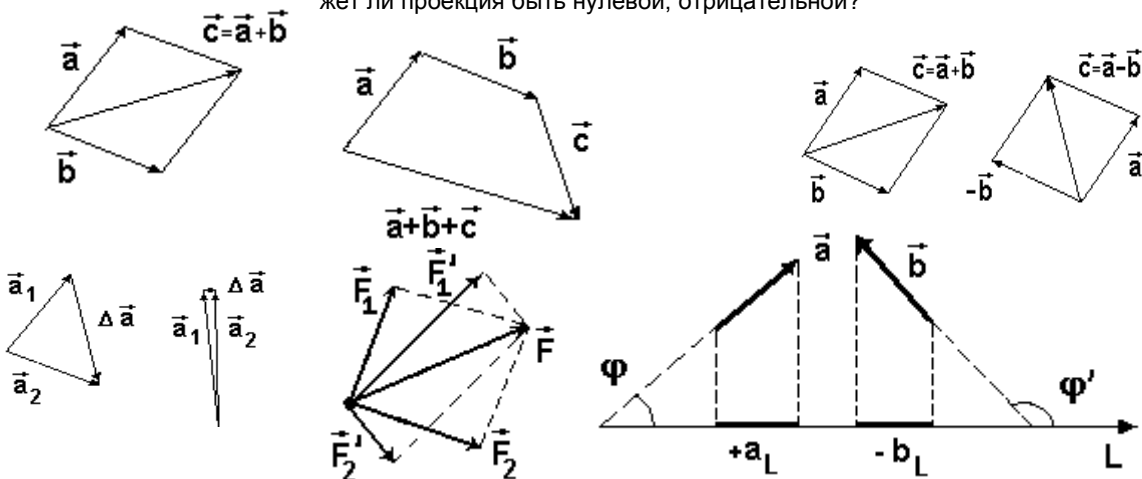
1. Михайлов С.П., Кыров В.А. **Механика**. РИО ГАГУ, 2016 г.
2. Михайлов С.П. и др. **Элементарная физика**, ч.1 и 2. РИО ГАГУ, 2008 г.
3. Михайлов С.П., Кыров В.А. **Теоретическая механика**. РИО ГАГУ, 2017 г.
4. Трофимова Т.И. **Курс физики**.
5. Михайлов С.П. **Физика**, т.1. **Механика, молекулярная физика и термодинамика**. РИО ГАГУ, 2018 г.  
\*\*\*\*\*

**1. Физика. Механика. Механика Ньютона. Свойства пространства и времени в механике Ньютона (классической механике). Основные абстрактные понятия механики: частица, система частиц (механическая система), твёрдое тело (ТТ), упругое и пластичное тело, сплошная среда. Система отсчёта. Описание положения частицы в координатной и векторной форме; связь этих форм.**

ФИЗИКА. МЕХАНИКА. МАКРО- и МИКРОТЕЛА. НАИБОЛЬШАЯ СКОРОСТЬ В ПРИРОДЕ. МЕХАНИКА НЬЮТОНА (КЛАССИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА); другие виды механик. СВОЙСТВА ПРОСТРАНСТВА В МЕХАНИКЕ НЬЮТОНА: ТРЁХМЕРНОСТЬ, ОДНОРОДНОСТЬ, ИЗОТРОПНОСТЬ, НЕПРЕРЫВНОСТЬ, БЕЗГРАНИЧНОСТЬ. СВОЙСТВА ВРЕМЕНИ У НЬЮТОНА: ОДНОМЕРНОСТЬ И ЗНАК, ОДНОРОДНОСТЬ, НЕПРЕРЫВНОСТЬ, БЕЗГРАНИЧНОСТЬ. МОМЕНТ И ОТРЕЗОК (ИНТЕРВАЛ) ВРЕМЕНИ.

МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА (ЧАСТИЦА). СИСТЕМА ЧАСТИЦ (МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МС). ТВЁРДОЕ ТЕЛО (ТТ). ДЕФОРМАЦИЯ. УПРУГОЕ И ПЛАСТИЧНОЕ ТЕЛО, СПЛОШНАЯ СРЕДА. СИСТЕМА ОТСЧЁТА. ДЕКАРТОВЫ КООРДИНАТЫ, ОРТЫ  $\vec{i}$ ,  $\vec{j}$ ,  $\vec{k}$  и РАДИУС-ВЕКТОР  $\vec{r}$  ЧАСТИЦЫ; ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАДИУС-ВЕКТОРА ЧЕРЕЗ ДЕКАРТОВЫ КООРДИНАТЫ ЕГО КОНЦА. ПРОЕКЦИЯ ПРОИЗВОЛЬНОГО ВЕКТОРА НА ДЕКАРТОВЫ ОСИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОЛЬНОГО ВЕКТОРА ЧЕРЕЗ ДЕКАРТОВЫ КООРДИНАТЫ ЕГО НАЧАЛА И КОНЦА.

ПОЛЯРНЫЕ (обычные) и АКСИАЛЬНЫЕ (ОСЕВЫЕ) ВЕКТОРЫ. ПРАВИЛА СЛОЖЕНИЯ И ВЫЧИТАНИЯ ВЕКТОРОВ. РАЗЛОЖЕНИЕ ВЕКТОРА НА ДВА СОСТАВЛЯЮЩИХ ВЕКТОРА. Сколько может быть пар составляющих? ПРОЕКЦИЯ ВЕКТОРА НА ОСЬ. В чём отличие проекции от составляющей? Может ли проекция быть нулевой; отрицательной?

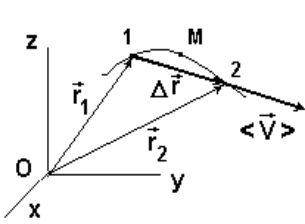


**2. Кинематика. Траектория. Уравнения движения, перемещение, скорость и ускорение частицы в координатной и векторной форме; связь этих форм.**

КИНЕМАТИКА. ТРАЕКТОРИЯ; 4 ВИДА ДВИЖЕНИЯ. УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ В КООРДИНАТНОЙ И ВЕКТОРНОЙ ФОРМЕ. ИЗМЕНЕНИЕ ВЕКТОРА. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЧАСТИЦЫ В КООРДИНАТНОЙ И ВЕКТОРНОЙ ФОРМЕ; СВЯЗЬ ЭТИХ ФОРМ. ВЕКТОР СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ.

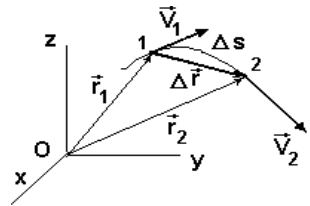
ДИФФЕРЕНЦИАЛ ВЕЛИЧИНЫ; ДВА ЕГО СМЫСЛА. ПРОИЗВОДНАЯ ПРОСТОЙ ФУНКЦИИ; ЕЁ СМЫСЛ. ВЕК-

**ТОР СКОРОСТИ (МГНОВЕННОЙ СКОРОСТИ)**



$$\bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \langle \bar{v} \rangle = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\Delta \vec{r} / \Delta t) = d\vec{r} / dt \equiv \dot{\vec{r}}$$

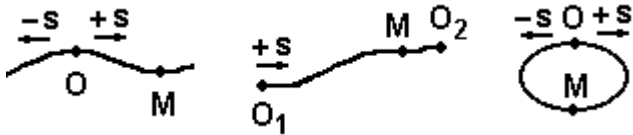
ЕГО СМЫСЛ, НАПРАВЛЕНИЕ ПО ОТНОШЕНИЮ К ТРАЕКТОРИИ. ПОЛЯРНЫЙ ЭТО ВЕКТОР ИЛИ АКСИАЛЬНЫЙ? СКОРОСТЬ В КООРДИНАТНОЙ ФОРМЕ; СВЯЗЬ ВЕКТОРНОЙ И КООРДИНАТНОЙ ФОРМ.



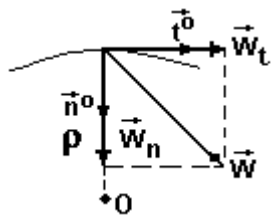
ВЕКТОР УСКОРЕНИЯ: ЕГО СМЫСЛ, НАПРАВЛЕНИЕ ПО ОТНОШЕНИЮ К ТРАЕКТОРИИ, МОДУЛЬ УСКОРЕНИЯ В КООРДИНАТНОЙ ФОРМЕ; СВЯЗЬ ВЕКТОРНОЙ И КООРДИНАТНОЙ ФОРМ.

ЕДИНИЦЫ ВРЕМЕНИ, РАССТОЯНИЯ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, СКОРОСТИ И УСКОРЕНИЯ. Внимание! Нужно заучить единицы ВСЕХ физических величин, хотя упоминаться это больше не будет.

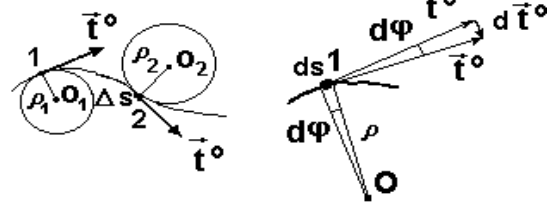
**3. Описание движения в естественной форме. Равномерное, равнопеременное и произвольное движения.**



ПОЛОЖЕНИЕ ЧАСТИЦЫ, УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ, ПЕРЕМЕЩЕНИЕ, СКОРОСТЬ В ЕСТЕСТВЕННОЙ ФОРМЕ. НАПРАВЛЕНИЕ И ВЕЛИЧИНА ВЕКТОРА СКОРОСТИ; СМЫСЛ ВЕКТОРА  $\dot{\vec{r}}^0$ . УСКОРЕНИЕ В ЕСТЕСТВЕННОЙ ФОРМЕ; СМЫСЛ ВЕКТОРА  $\ddot{\vec{r}}^0$ ; НОРМАЛЬНАЯ  $\ddot{w}_n$  И ТАНГЕНЦИАЛЬНАЯ  $\ddot{w}_t$  СОСТАВЛЯЮЩИЕ ВЕКТОРА УСКОРЕНИЯ, ИХ СМЫСЛ И НАПРАВЛЕНИЕ.



ПОЛНОЕ УСКОРЕНИЕ  $\ddot{w}$ ; ЕГО НАПРАВЛЕНИЕ, МОДУЛЬ. РАВНОМЕРНОЕ, РАВНОПЕРЕМЕННОЕ И ПРОИЗВОЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЯ. Вычисление пути равномерного движения: из  $v = ds/dt = \text{const} = v_0 \Rightarrow ds = v_0 dt$ , откуда после интегрирования  $\Rightarrow s = ?$  НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ. Вычисление скорости равнопеременного движения: из  $w_t = dv/dt = \text{const} = \pm a \Rightarrow dv = a dt$ , откуда после интегрирования  $v = ?$  Вычисление пути равнопеременного движения: из  $v = ?$  с учётом  $v = ds/dt \Rightarrow ds = v_0 dt \pm a t dt$ , откуда после интегрирования  $\Rightarrow s = ?$

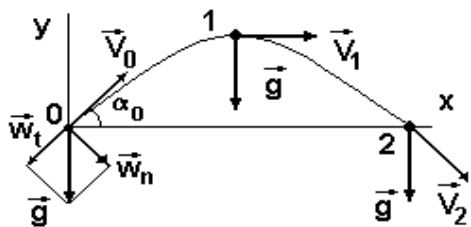


Если выразить время из формулы скорости и подставить в формулу пути, то  $v^2 - v_0^2 = ?$ . ГРАФИКИ ПУТИ И СКОРОСТИ РАВНОМЕРНОГО И РАВНОПЕРЕМЕННОГО ДВИЖЕНИЯ.

**Самостоятельно.** Доказать, что: а) при движении по окружности радиуса R со скоростью  $V = \text{const}$  модуль нормального ускорения  $w_n = V^2/R$ ; б) для равнопеременного движения  $v^2 - v_0^2 = \pm 2sa$ .

**4. Движение брошенного тела.**

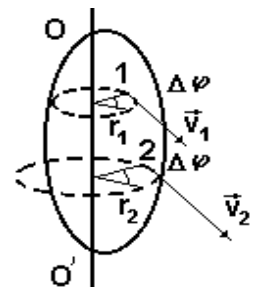
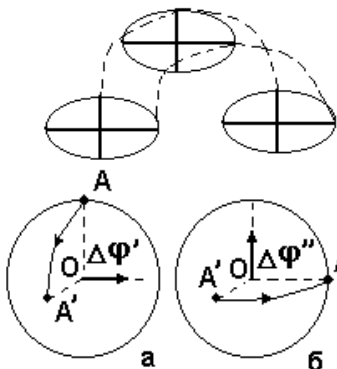
Путь по горизонтали (дальность броска) и высота подъёма тела, брошенного с поверхности земли с начальной скоростью  $V_0$  под углом  $\alpha_0$  к горизонту (без учёта сопротивления воздуха). Время такого движения. Условия максимальной высоты подъёма и максимальной дальности броска; их значения. Вычисление скорости, нормального, тангенциального и полного ускорений, а также радиуса кривизны траектории в какой-то её произвольной точке.



**Самостоятельно:** для брошенного с поверхности земли под углом  $\alpha_0$  к горизонту с начальной скоростью  $V_0$  тела найти, без учёта сопротивления воздуха значение скорости, нормального, тангенциального и полного ускорений, а также радиуса кривизны траектории для её произвольной точки 3 на известной высоте  $h_3$  от земли.

**5. Описание поступательного движения и вращения ТТ вокруг неподвижной оси.**

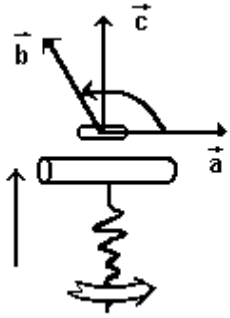
ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТТ. ВРАЩЕНИЕ ТТ ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ. Движение частицы по окружности с УГЛОВЫЕ И ЛИНЕЙНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И СКОРОСТИ; ИХ СВЯЗЬ. Является ли конечный угол поворота вектором? А малый угол? ВЕКТОР УГЛОВОЙ СКОРОСТИ  $\vec{\omega} = d\vec{\varphi} / dt \equiv \dot{\vec{\varphi}}$ ; ЕГО СМЫСЛ, НАПРАВЛЕНИЕ (ПРАВИЛО БУРАВЧИКА). СВЯЗЬ СКОРОСТИ И НОРМАЛЬНОГО УСКОРЕНИЯ С УГЛОВОЙ СКОРОСТЬЮ. ВЕКТОР УГЛОВОГО УСКОРЕНИЯ  $\vec{\varepsilon} = d\vec{\omega} / dt \equiv \dot{\vec{\omega}} = d^2\vec{\varphi} / dt^2 \equiv \ddot{\vec{\varphi}}$ ; ЕГО СМЫСЛ, НАПРАВЛЕНИЕ, СВЯЗЬ С ТАНГЕНЦИАЛЬНЫМ УСКОРЕНИЕМ.



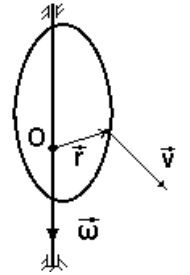
РАВНОМЕРНОЕ ВРАЩЕНИЕ ЧАСТИЦЫ И ТТ; ЧАСТОТА  $\nu$ , ЦИКЛИЧЕСКАЯ (КРУГОВАЯ) ЧАСТОТА  $\omega$  И ПЕРИОД ВРАЩЕНИЯ  $T$ . СКОРОСТИ И УСКОРЕНИЯ ТОЧЕК ТТ ПРИ ТАКОМ ДВИЖЕНИИ. ЧИСЛО СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ ДВИЖУЩЕГОСЯ ТЕЛА.

**Самостоятельно:** доказать одинаковость скоростей и ускорений всех точек движущегося поступательно ТТ.

**6. Формулы кинематики вращения ТТ вокруг неподвижной оси. Таблица формул кинематики. Вращение ТТ вокруг неподвижной точки. Произвольное движение ТТ.**



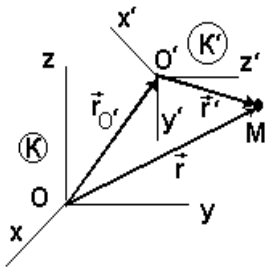
ВЫЧИСЛЕНИЕ УГЛА ПОВОРОТА И УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ПРИ РАВНОМЕРНОМ И РАВНОПЕРЕМЕННОМ ВРАЩЕНИИ. ТАБЛИЦА ФОРМУЛ КИНЕМАТИКИ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТТ



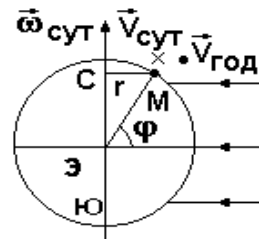
Как реализовать вращение ТТ вокруг неподвижной точки? Углы Эйлера; уравнения вращения ТТ вокруг неподвижной точки. СКАЛЯРНОЕ  $c = \vec{a} \cdot \vec{b}$  И ВЕКТОРНОЕ  $\vec{c} = [\vec{a}, \vec{b}]$  ПРОИЗВЕДЕНИЯ ВЕКТОРОВ; ИХ СВОЙСТВА. ПРАВИЛО БУРАВЧИКА ДЛЯ ВЕКТОРНОГО ПРОИЗВЕДЕНИЯ. ФОРМУЛА ЭЙЛЕРА в векторной и координатной форме.

ТЕОРЕМА ШАЛЯ. Описание произвольного движения ТТ

**7. Относительность движения. Абсолютное, переносное, относительное движение. Теорема сложения скоростей в случае поступательного и произвольного переносного движения. Теорема сложения ускорений.**



ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ. АБСОЛЮТНОЕ, ПЕРЕНОСНОЕ, ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ. Сложение скоростей: из  $\vec{r} = \vec{r}_O + \vec{r}' \Rightarrow d\vec{r}/dt = d\vec{r}_O/dt + d\vec{r}'/dt$  В СЛУЧАЕ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ПЕРЕНОСНОГО ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ОТСЧЁТА  $K'$  отсюда следует (почему?)  $\vec{v}_{абс} = ?$  В случае вращения  $K'$  для неподвижной частицы  $M$  по формуле Эйлера  $d\vec{r}'/dt = [\vec{\omega}_{пер}, \vec{r}']$ . Если частица  $M$  ещё и движется относительно системы  $K'$ , то  $d\vec{r}'/dt = ?$  ТЕОРЕМА СЛОЖЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОЛЬНОГО ПЕРЕНОСНОГО ДВИЖЕНИЯ.

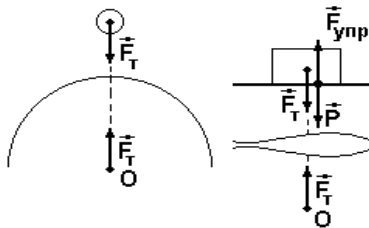


Определение абсолютных скоростей неподвижных и движущихся по Земле тел относительно Солнца с учётом годового и суточного вращения Земли.

Из общей теоремы  $\vec{v}_{абс} = \vec{v}_{O'} + [\vec{\omega}_{пер}, \vec{r}'] + \vec{v}_{отн}$  после взятия производной по времени от обеих частей равенства получим  $\vec{w}_{абс} = \vec{w}_{O'} + d([\vec{\omega}_{пер}, \vec{r}'])/dt + d\vec{v}_{отн}/dt$ . Здесь в общем случае (почему?)  $d\vec{r}'/dt = [\vec{\omega}_{пер}, \vec{r}'] + \vec{v}_{отн}$ . Аналогично производная  $d\vec{v}_{отн}/dt$  даст в общем случае (почему?) два слагаемых:  $d\vec{v}_{отн}/dt = [\vec{\omega}_{пер}, \vec{v}_{отн}] + \vec{w}_{отн}$ . Значит, в общем случае  $\vec{w}_{абс} = \vec{w}_{O'} + [\vec{\epsilon}_{пер}, \vec{r}'] + [\vec{\omega}_{пер}, [\vec{\omega}_{пер}, \vec{r}']] + 2[\vec{\omega}_{пер}, \vec{v}_{отн}] + \vec{w}_{отн}$ . Первые три слагаемых дают (почему?) переносное ускорение  $\vec{w}_{пер}$ . УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КАЖДОГО СЛАГАЕМОГО, ИХ ВЕЛИЧИНА И НАПРАВЛЕНИЕ. Почему член  $[\vec{\epsilon}_{пер}, \vec{r}']$  зовут переносным тангенциальным, а член  $[\vec{\omega}_{пер}, [\vec{\omega}_{пер}, \vec{r}']]$  - переносным нормальным ускорением. Как зовут член  $2[\vec{\omega}_{пер}, \vec{v}_{отн}]$ ; УСЛОВИЯ ЕГО ВОЗНИКНОВЕНИЯ, ВЕЛИЧИНА И НАПРАВЛЕНИЕ. ОБЩАЯ ТЕОРЕМА СЛОЖЕНИЯ УСКОРЕНИЙ  $\vec{w}_{абс} = ?$

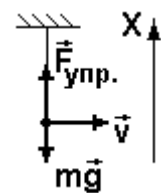
Определение абсолютных ускорений неподвижных и движущихся по Земле тел относительно Солнца с учётом годового и суточного вращения Земли.

**8. Динамика. Инертность тел. Инертная масса. Импульс частицы. Сила. Инерциальная и неинерциальная система отсчёта. Три закона Ньютона; формы записи 2-го закона. Равнодействующая сил.**



ДИНАМИКА. ИНЕРТНОСТЬ ТЕЛ. ИНЕРТНАЯ МАССА. ИМПУЛЬС ЧАСТИЦЫ. СИЛА. ПЕРВЫЙ ЗАКОН НЬЮТОНА. ИНЕРЦИАЛЬНАЯ (ИСО) И НЕИНЕРЦИАЛЬНАЯ (НСО) СИСТЕМА ОТСЧЁТА. ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКАЯ И 2 ГЕОЦЕНТРИЧЕСКИХ СИСТЕМЫ ОТСЧЁТА. Примеры их применения. ФОРМЫ ЗАПИСИ 2-го ЗАКОНА; УСЛОВИЯ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ (ГРАНИЦЫ ПРИМЕНИМОСТИ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ). РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИЛ. ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА; ОСОБЕННОСТИ СИЛ В 3-М ЗАКОНЕ. ЕДИНИЦЫ СИЛЫ, МАССЫ, ИМПУЛЬСА.

**9. Принцип относительности Галилея. Две задачи динамики. Примеры решения прямой и обратной задачи.**



ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГАЛИЛЕЯ. ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ДИНАМИКИ; ПУТЬ ИХ РЕШЕНИЯ. Какую задачу решить легче и почему? НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ. АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ 2-го ЗАКОНА НЬЮТОНА.

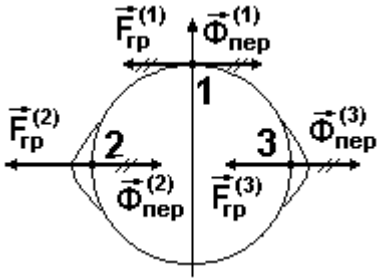
Примеры решения прямой и обратной задачи. 1. Записать систему уравнений движения частицы вблизи Земли без учёта сопротивления воздуха. 2. Найти силу натяжения вертикальной нити длиной  $l$  в момент сообщения горизонтальной скорости  $V$  исходно неподвижному грузу массой  $m$ , висевшему на этой нити. 3) Частица массой 100 г движется в соответствии с уравнениями  $x = 5 \sin 5t$ ,  $y = 5 \cos 5t$ , где  $x$  и  $y$  - в метрах, время - в секундах. Найти уравнение траектории; для момента  $t = 0, 1\pi \text{ с} \approx 0,31 \text{ с}$  найти величину и направление действующей на частицу силы.

**Самостоятельно.** Доказать, что: а) во всех ИСО ускорение частицы одинаково; б) во всех ИСО при не слишком больших скоростях второй закон Ньютона проявляется одинаково.

**10. Движение в НСО. Силы инерции; их проявления на Земле.**

Из 2-го закона Ньютона  $m \cdot \vec{w}_{абс} = \vec{F}$ , верного в ИСО  $K$ , с учётом теоремы сложения ускорений  $\vec{w}_{абс} = ?$  получаем аналог 2-го закона  $m \cdot \vec{w}_{отн} = ?$  для НСО  $K'$ . ПЕРЕНОСНАЯ  $\vec{\Phi}_{пер}$  И КОРИОЛИСОВА  $\vec{\Phi}_{кор}$  СИЛЫ ИНЕРЦИИ; ТРИ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПЕРВОЙ СИЛЫ, ВЕЛИЧИНА И НАПРАВЛЕНИЕ СИЛ ИНЕРЦИИ. Есть ли силы инерции в ИСО  $K$ ; реальны или фиктивны они в НСО  $K'$ ? В чём три особенности сил инерции; какое их свойство

аналогично силам гравитации? В какой системе отсчёта, в К или К', проще решать главную задачу механики? Когда вынужденно приходится решать обязательно в К'?

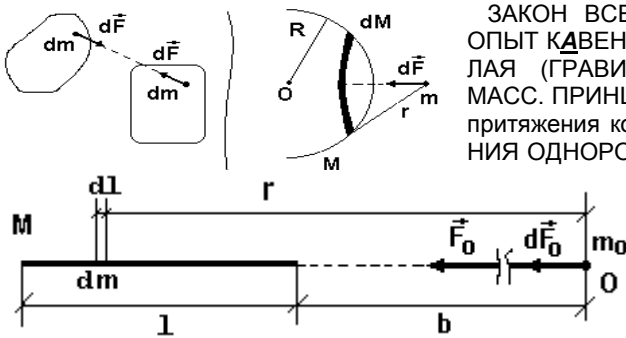


ПРОЯВЛЕНИЯ СИЛ ИНЕРЦИИ НА ЗЕМЛЕ: суточное или годовое её движение является главной причиной?

1. В чём проявляется центробежная составляющая переносной силы инерции, где она максимальна и как направлена? 2. Проявления кориолисовой силы инерции: закон Бэра для рек северного и южного полушария, закон Бейс-Бало в метеорологии. Расчёт величины и направления бокового смещения силой инерции снаряда из орудия при настильной стрельбе вблизи северного полюса на дальность 14 км при скорости полёта 700 м/с; аналогичный расчёт для полёта гиперзвуковой ракеты на расстояние 1400 км при скорости 7 км/с. Можно ли артиллеристам и ракетчикам на больших дальностях стрельбы не учитывать силы инерции? 3. Почему составляющая переносной силы инерции

$\vec{\Phi}_{пер} = -m \cdot \vec{W}_0$  сама по себе почти не влияет на движение тел вблизи Земли (аналогично притяжению Солнца или Луны)? Объяснение возникновения лунных приливов 2 раза в сутки. Почему солнечные приливы слабее лунных? Как создать искусственную силу тяжести в космическом корабле? Почему это пока не используют?

**11. Силы всемирного тяготения и тяжести. Теории далеко- и близкодействия. Вес.**

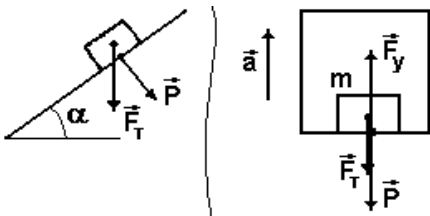


ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ; ГРАНИЦЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ. ОПЫТ КЭВЕНДИША; СМЫСЛ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПОСТОЯННОЙ. ТЯЖЁЛАЯ (ГРАВИТАЦИОННАЯ) МАССА; ПРИНЦИП ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ МАСС. ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦИИ СИЛ. ДВЕ ФОРМЫ ЕГО ЗАПИСИ: для притяжения конечного числа частиц и притяжения тел. СИЛА ПРИТЯЖЕНИЯ ОДНОРОДНЫХ ТВЁРДЫХ ШАРОВ. Объяснить расчёт силы притяжения

частицы массой  $m_0$ , находящейся на оси тонкого однородного стержня массой M и длиной l на удалении b от конца стержня: для частиц dm и  $m_0$  модуль силы их взаимодействия  $dF_0 = ?$  Почему  $dm = M \cdot dl/l$ ? Как направлены все силы  $dF_0$ ? Значит, полная сила  $F_0 = [G \cdot M \cdot m_0 / l] \int_b^{b+l} dr/r^2 =$

$[G \cdot M \cdot m_0 / l] [(1/b) - (1/(b+l))] = G \cdot M \cdot m_0 / [b \cdot (b+l)]$ . Для  $b \gg l$   $F_0 = ?$  Как найти силу  $F_0$ , если стержень неоднородный? Если стержень однородный, но точку O сместить с оси стержня? Где примерно в стержне будет находиться точка приложения равнодействующей сил притяжения к частице?

ТЕОРИЯ ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ (Ньютон, Кулон); почему закон всемирного тяготения отражает именно эту теорию? Как решён вопрос о механизме поиска телами друг друга в пространстве? Почему пришлось отказаться?



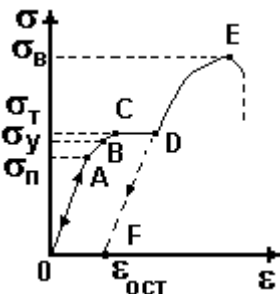
ТЕОРИЯ БЛИЗКОДЕЙСТВИЯ (Фарадей, Максвелл). Как решён вопрос о механизме поиска телами друг друга в пространстве? Чем определяются названия теорий? ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ; ЕГО СВОЙСТВА. ВЕКТОР НАПРЯЖЁННОСТИ КАК СИЛОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА; что он покажет? Величина напряжённости поля точечной массы. ВЕЛИЧИНА И НАПРАВЛЕНИЕ НАПРЯЖЁННОСТИ ВБЛИЗИ ЗЕМЛИ. СИЛА ТЯЖЕСТИ. ОТЛИЧИЕ СИЛ ТЯЖЕСТИ И ГРАВИТАЦИИ. УНИКАЛЬНОЕ ОБЩЕЕ СВОЙСТВО ЭТИХ СИЛ (опыты Галилея) И ЕГО ОБЪЯСНЕНИЕ.

**ОДНОРОДНОЕ ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ.**

ВЕС ТЕЛА. ВЕС ДЛЯ НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ; СИЛА НОРМАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ. СВЯЗЬ ВЕСА С УСКОРЕНИЕМ ОПОРЫ: для движения на рисунке 2-й закон даёт (почему?)  $+ma = +F_y - mg$ , откуда сила упругости  $F_y = m(g+a)$ . Тогда вес  $P = ?$  ПЕРЕГРУЗКА. А если ускорение направлено вниз? НЕВЕСОМОСТЬ.

**12. Силы упругости и деформация упругих тел в механике. Гидро- и аэростатика. Давление в жидкости и газе. Закон Паскаля. Сжимаемость жидкостей и газов. Закон Архимеда. Плавание тел.**

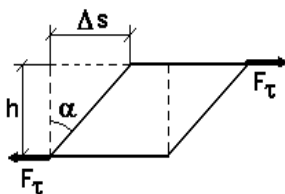
УПРУГАЯ И ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ДЕФОРМАЦИЙ: ОДНОСТОРОННЕЕ РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ, ИЗГИБ КАК ЧАСТНЫЙ СЛУЧАЙ ТАКОГО РАСТЯЖЕНИЯ И СЖАТИЯ; СДВИГ, КРУЧЕНИЕ КАК ВИД СДВИГА.



Описание одностороннего растяжения (сжатия): АБСОЛЮТНОЕ И ОТНОСИТЕЛЬНОЕ УДЛИНЕНИЕ. ЗАКОН ГУКА; ГРАНИЦЫ ЕГО ПРИМЕНИМОСТИ. КОЭФФИЦИЕНТ ЖЁСТКОСТИ (УПРУГОСТИ) ТЕЛА. НОРМАЛЬНОЕ УПРУГОЕ (МЕХАНИЧЕСКОЕ) НАПРЯЖЕНИЕ  $\sigma$ ; ЕГО ЕДИНИЦА. ЗАКОН ГУКА ДЛЯ МАТЕРИАЛА; СМЫСЛ МОДУЛЯ ЮНГА. ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ПОПЕРЕЧНОЕ СЖАТИЕ; КОЭФФИЦИЕНТ ПУАССОНА.

Вид экспериментальной связи относительного удлинения  $\epsilon$  и упругого напряжения: ПРЕДЕЛ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ  $\sigma_n$ , УПРУГОСТИ  $\sigma_y$ , ТЕКУЩЕСТИ  $\sigma_t$ , ПРОЧНОСТИ (ВРЕМЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ)  $\sigma_b$ . ОСТАТОЧНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ  $\epsilon_{ост}$ .

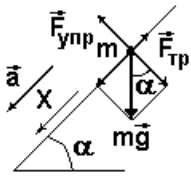
Описание сдвига: ТАНГЕНЦИАЛЬНОЕ МЕХАНИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ  $\tau$ ; АБСОЛЮТНЫЙ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ СДВИГ. ЗАКОН ГУКА ДЛЯ МАЛОГО СДВИГА; МОДУЛЬ СДВИГА, ЕГО СМЫСЛ. Сверхпрочные материалы: «усы» и композитные материалы; графен и его аналоги. ПРИРОДА СИЛ УПРУГОСТИ.



ГИДРО- И АЭРОСТАТИКА. Каким деформациям сопротивляются жидкости и газы, а каким нет? Объяснить, как направлены силы упругости на границе замкнутого объёма произвольной формы, выделенного внутри неподвижной всесторонне сжатой жидкости. Что изменится для газа в замкнутом сосуде произвольной формы? ДАВЛЕНИЕ p

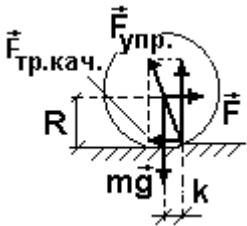
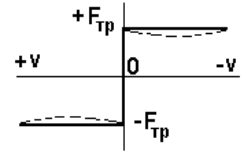
как аналог нормального напряжения  $\sigma$  – скаляр или вектор? ЗАКОН ПАСКАЛЯ: величина и направление сил давления в разных точках неподвижной всесторонне сжатой жидкости (газа в сосуде).

Случай одностороннего сжатия среды постоянными силами тяжести: для вертикального прямого цилиндра высотой  $h$  и площадью оснований  $S$ , выделенного в неподвижной жидкости плотностью  $\rho$ , разность давлений на нижнем и верхнем основании  $\Delta p = ?$  ПРИЧИНА АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ; почему оно быстро падает с высотой, хотя  $g \approx \text{const}$ . Зависимость давления воды от глубины. ЗАКОН и СИЛА АРХИМЕДА:  $F_A = ?$  УСЛОВИЕ ПЛАВАНИЯ ТЕЛ. Показать для однородного плавающего цилиндра точки приложения равнодействующих сил тяжести  $O$  и сил Архимеда  $O'$ . Является ли равновесие устойчивым при волнении? Как это исправляют?



**13. Силы трения в механике. Угол трения.**

ВИДЫ ТРЕНИЯ. ОСОБЕННОСТИ СИЛЫ СУХОГО ТРЕНИЯ ПОКОЯ; ЗАКОН АМАНТОНА-КУЛОНА. СИЛА СУХОГО ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ; ЕЁ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ СКОРОСТИ. УГОЛ ТРЕНИЯ: для неподвижности тела, находящегося на наклонной плоскости, нужно (почему?), чтобы  $mg \cdot \sin \alpha = f \cdot mg \cdot \cos \alpha$ , откуда  $\text{tg } \alpha = ?$  ПРИРОДА СИЛ СУХОГО ТРЕНИЯ; РОЛЬ СМАЗКИ. Аномально низкое трение.



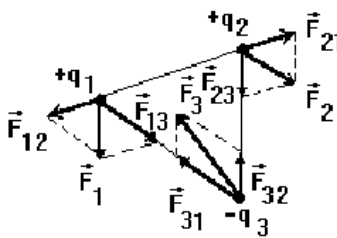
СИЛА ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ. Чем объяснить равномерное качение круглого тела под действием постоянной силы? ПАРА СИЛ; МОМЕНТ ПАРЫ СИЛ. Почему силы недостаточно для описания действия на твёрдое тело пары сил. Какие пары сил действуют на катящееся тело? СМЫСЛ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ. ПРИРОДА СИЛ ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ. Как снизить это трение?

СИЛА ВЯЗКОГО ТРЕНИЯ ДЛЯ МАЛЫХ И БОЛЬШИХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА. ФОРМУЛА СТОКСА. Какую скорость следует считать малой? От чего это зависит? ПРИРОДА СИЛ ВЯЗКОГО ТРЕНИЯ.

Самостоятельно: природа сил вязкого трения при малых и больших скоростях.

**14. Теорема об изменении импульса частицы. Система частиц (механическая система МС). Импульс МС. Теорема об изменении импульса МС.**

ТЕОРЕМА ОБ ИЗМЕНЕНИИ ИМПУЛЬСА ЧАСТИЦЫ В ИНТЕГРАЛЬНОЙ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ВЕКТОРНОЙ И КООРДИНАТНОЙ ФОРМЕ. ЗАПИСЬ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ТЕОРЕМЫ ДЛЯ СЛУЧАЯ ПОСТОЯННЫХ СИЛ И ДВИЖЕНИЯ ПО ПРЯМОЙ. ВЕКТОР ИМПУЛЬСА СИЛЫ.



ВНУТРЕННИЕ И ВНЕШНИЕ СИЛЫ В СИСТЕМЕ ЧАСТИЦ (МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ МС). ИМПУЛЬС МС  $\vec{P} = ?$ . Получение векторной дифференциальной теоремы об изменении импульса МС: при сложении всех  $n$  уравнений движения МС вида

$$d\vec{p}_i/dt = \vec{F}_i^{(e)} + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n \vec{F}_{ij}, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \text{ и замены слева знака производной по време-$$

ни со знаком суммы местами, слева получим  $d/dt(\sum_{i=1}^n \vec{p}_i)$ , а справа -  $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i^{(e)}$  и  $\sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n \sum_{i=1}^n \vec{F}_{ij}$ . С учётом 3-го закона

Ньютона  $\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \vec{F}_{ij} = ?$  ГЛАВНЫЙ ВЕКТОР ВНЕШНИХ СИЛ  $\vec{K} = ?$ ; в чём его отличие от равнодействующей? ВЕК-

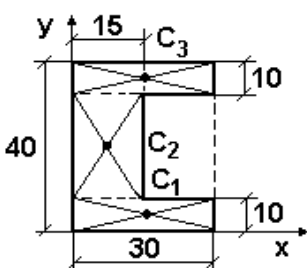
ТОРНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ФОРМА ТЕОРЕМЫ ОБ ИЗМЕНЕНИИ ИМПУЛЬСА МС; ИНТЕГРАЛЬНАЯ ВЕКТОРНАЯ И КООРДИНАТНАЯ ФОРМА ЗАПИСИ ЭТОЙ ТЕОРЕМЫ. Какую информацию теорема получить позволит и какую мы теряем? Могут ли внутренние силы изменить импульс МС?

**15. Центр масс МС. Теорема о движении центра масс. Закон сохранения импульса.**

Описание движения частиц МС в неподвижной системе отсчёта  $K$  в виде суммы двух движений: за счёт поступательного переносного движения системы отсчёта  $K'$  (начинающейся в произвольной точке  $O'$  МС) в  $K$  и за счёт относительного движения частиц МС относительно  $K'$ . Тогда из теоремы сложения скоростей  $\vec{v}_{abc} = \vec{v}_{пер} + \vec{v}_{отн}$

$$\Rightarrow \vec{P} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i' + \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_{o'} \Rightarrow \vec{P} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i' + M \vec{v}_{o'}, \text{ где } M = ? \text{ Если выбрать начальную точку } O' \text{ так,}$$

чтобы  $\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i' = ?$ , то  $\vec{P} = ?$  ЦЕНТР МАСС МС. Вычисление его положения: из  $M \vec{v}_c = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i \Rightarrow d/dt(M \vec{r}_c) =$



$$d/dt(\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i) \Rightarrow \vec{r}_c = ? \text{ КООРДИНАТНАЯ ФОРМА ЗАПИСИ ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧКИ С.}$$

Необходимость выделения элементов массы  $dm$  для ТТ и элементов объёма  $dV = dm/\rho$  для однородных ТТ плотностью  $\rho$ . Тогда  $\vec{r}_c = ?$  ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС ОДНОРОДНЫХ ТЕЛ, ОБЛАДАЮЩИХ СИММЕТРИЕЙ, на примере балки длиной 6 м, форма и размеры сечения которой даны на рисунке. Как действу-

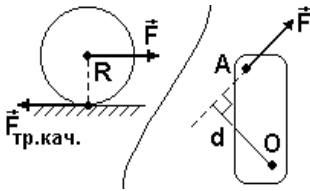


ют для несимметричных тел? В чём смысл процедуры вывешивания в 3 точках, не лежащих на одной прямой, для неоднородных ТТ? Зачем бывает очень важно знать положение центра масс?

**ТЕОРЕМА О ДВИЖЕНИИ ЦЕНТРА МАСС.** Как должна двигаться связанная с МС система К', чтобы эта теорема выполнялась? ЕЁ СЛЕДСТВИЯ: 1) Как должна действовать внешняя сила, чтобы покоившееся ТТ начало двигаться поступательно? 2) Могут ли ВНУТРЕННИЕ силы изменить движение центра масс, например, человека, тонущего в болоте?

**ЗАМКНУТАЯ (ИЗОЛИРОВАННАЯ) МС. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА. РЕАКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ КАК ЕГО СЛЕДСТВИЕ. АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА.**

**16. Момент силы (вращающий момент). Момент импульса частицы и МС. Теорема об изменении и закон сохранения момента импульса МС.**



**ПАРА СИЛ.** Необходимость введения новой механической величины для описания действия пары сил. **ВЕКТОР МОМЕНТА СИЛЫ (ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА) ОТНОСИТЕЛЬНО ОСИ, ЕГО МОДУЛЬ, НАПРАВЛЕНИЕ. ПЛЕЧО СИЛЫ. СЛОЖЕНИЕ МОМЕНТОВ СИЛ. РАВНОВЕСИЕ ТТ С НЕПОДВИЖНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ. РЫЧАГ.**

Ограничения теоремы о движении центра масс и необходимость введения в динамику новой характеристики частиц МС, учитывающей их движение вокруг центра масс. **ВЕКТОР  $\vec{L}$  МОМЕНТА ИМПУЛЬСА ЧАСТИЦЫ ОТНОСИТЕЛЬНО ТОЧКИ, ЕГО**

**МОДУЛЬ, НАПРАВЛЕНИЕ. ВЕКТОР  $\vec{L}$  МОМЕНТА ИМПУЛЬСА МС.**

**ВЕКТОР МОМЕНТА СИЛЫ (ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА) ОТНОСИТЕЛЬНО ТОЧКИ. МОМЕНТ СИЛЫ ОТНОСИТЕЛЬНО ОСИ КАК ЕГО ЧАСТНЫЙ СЛУЧАЙ.**

Получение векторной дифференциальной теоремы об изменении момента импульса МС. Шаг 1: при векторном

умножении на радиус-векторы частиц  $\vec{r}_i$  обеих частей системы уравнений движения  $d\vec{p}_i/dt = \vec{F}_i^{(e)} + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n \vec{F}_{ij}$ , (i =

1,2,...n) слева получим  $d[\vec{r}_i, \vec{p}_i]/dt = [d\vec{r}_i/dt, \vec{p}_i] + [\vec{r}_i, d\vec{p}_i/dt]$ . Но  $[d\vec{r}_i/dt, \vec{p}_i] = ?$ , т.к.? Значит, слева  $[\vec{r}_i, d\vec{p}_i/dt] =$

$d[\vec{r}_i, \vec{p}_i]/dt = d\vec{L}_i/dt$ . Шаг 2: справа  $[\vec{r}_i, \vec{F}_i^{(e)}] + [\vec{r}_i, \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n \vec{F}_{ij}] = \vec{M}_i^{(e)} + \vec{M}_i^{(i)}$ . Шаг 3: суммируем уравнения, поменяв

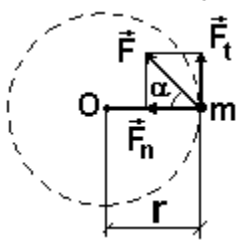
слева знаки суммы и производной местами. Получим слева  $d\vec{L}/dt$ ; справа  $\sum_{i=1}^n \vec{M}_i^{(i)} = 0$  (почему?), а  $\sum_{i=1}^n \vec{M}_i^{(e)}$

даст **ГЛАВНЫЙ МОМЕНТ ВНЕШНИХ СИЛ  $\vec{N}$** . Отсюда **ТЕОРЕМА ОБ ИЗМЕНЕНИИ МОМЕНТА ИМПУЛЬСА МС** в дифференциальной форме? Относительно какой точки получено равенство? **ИНТЕГРАЛЬНАЯ И.КООРДИНАТНАЯ ФОРМА ЗАПИСИ ЭТОЙ ТЕОРЕМЫ; ВЕКТОР ИМПУЛЬСА МОМЕНТА ВНЕШНИХ СИЛ**

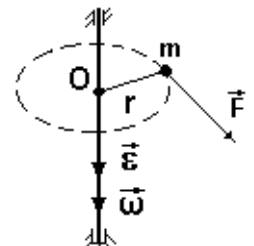
**ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МОМЕНТА ИМПУЛЬСА МС:** если  $\vec{N} = 0$ , то? Проявления этого закона в особенностях движения планет Солнечной системы: создаёт ли сила притяжения к Солнцу момент силы относительно его центра масс? Поэтому орбиты «родных» 8 планет? Так ли это для Плутона? Значит? Закон сохранения секторной скорости планет  $v_{s\perp} = r \cdot \dot{\varphi} = \text{const}$  (ВТОРОЙ ЗАКОН КЕПЛЕРА) как следствие закона сохранения момента импульса. В январе Земля ближе к Солнцу, чем в июле; как это сказывается на длительности и температуре зимы и лета в северном и южном полушариях? Получение ТРЕТЬЕГО ЗАКОНА КЕПЛЕРА: для близкой к окружности орбиты  $m \cdot v^2/R = G \cdot m \cdot M_c/R^2$ , где  $M_c$  – масса Солнца. Отсюда  $v^2 = G \cdot M_c/R$ . Но  $v = 2\pi \cdot R/T$ . Отсюда отношение  $T^2/R^3 = 4\pi^2/(G \cdot M_c) = \text{const}$  для всех планет. Что изменится для спутников Земли или другой планеты?

**ТАБЛИЦА АНАЛОГИЙ ФОРМУЛ ДИНАМИКИ ДЛЯ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ МС**

**17. Основной закон динамики вращения ТТ вокруг неподвижной оси. Момент инерции ТТ; его вычисление. Момент импульса ТТ. Теорема об изменении и закон сохранения момента импульса ТТ.**



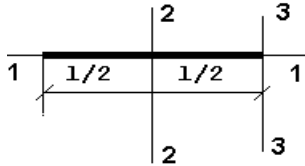
Задача о вращении вокруг неподвижной вертикальной оси частицы массой m по окружности постоянного радиуса r под действием постоянной силы  $F_t$ , направленной по касательной к окружности: по 2-му закону Ньютона  $m w_t = F_t \Rightarrow (w_t = \varepsilon \cdot r) \Rightarrow m \cdot \varepsilon \cdot r = F_t$ . Если умножить обе части равенства на r, получим  $\Rightarrow ?$  Что такое  $F \cdot r$ ? **МОМЕНТ ИНЕРЦИИ ЧАСТИЦЫ ОТНОСИТЕЛЬНО ОСИ. ОСНОВНОЙ ЗАКОН ДИНАМИКИ ВРАЩЕНИЯ ТАКОГО ТТ ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ. АНАЛОГИЯ ЭТОГО ЗАКОНА И 2-ГО ЗАКОНА НЬЮТОНА. СМЫСЛ И ЕДИНИЦА МОМЕНТА ИНЕРЦИИ.** Что изменится, если сила F меняет модуль и



направление? Почему нужно учитывать лишь составляющую  $F_t$  силы в плоскости, нормальной оси вращения?

**ВЫЧИСЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ТТ ИЗ НЕСКОЛЬКИХ ЧАСТИЦ; СПЛОШНОГО ОДНОРОДНОГО И НЕОДНОРОДНОГО ТТ.** Вычисление момента инерции тонкого однородного кольца массой m и радиусом R относительно его оси симметрии:  $dI = dm \cdot R^2 \Rightarrow I = \int dI = ?$ . Для тонкого однородного цилиндрического диска массой m, толщиной b и радиусом R относительно его оси симметрии: с учётом симметрии задачи выделим элемент массы dm в виде тонкого кольца радиусом r и шириной dr, для которого  $dI = ?$  Почему от интеграла по массе придётся перейти к интегралу по объёму? Тогда при плотности  $\rho = \text{const}$  масса кольца

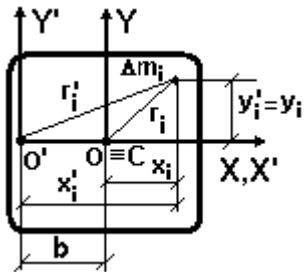
$dm = 2\pi \cdot \rho \cdot r \cdot dr \cdot b$  и  $dI = ?$  Отсюда  $I = \rho \int_0^R r^2 dV = 2\pi \cdot \rho \cdot b \int_0^R r^3 dr = \pi \cdot \rho \cdot b \cdot R^4 / 4$ . Здесь  $m = \pi \cdot \rho \cdot b \cdot R^2$ , т.е.  $I = ?$  Для цилиндра?



Для однородного тонкого стержня длиной  $l$  и массой  $m$  относительно его оси 1-1 момент инерции  $I_1 \rightarrow ?$  Вычисление момента инерции стержня  $I_2$  относительно оси 2-2, проходящей через середину стержня нормально его длине:  $dI = dm \cdot r^2$

$\Rightarrow (dm = \rho \cdot S \cdot dl) \Rightarrow dI = r^2 \cdot \rho \cdot S \cdot dl \equiv r^2 \cdot \rho \cdot S \cdot dr$ . Тогда  $I_2 = \int dI = 2\rho \cdot S \int_0^{l/2} r^2 \cdot dr = \rho \cdot S \cdot l^3 / 12 \Rightarrow (m = \rho \cdot S \cdot l) \Rightarrow I_2 = m \cdot l^2 / 12$ .

Момент инерции стержня относительно оси 3-3:  $I_3 = \rho \cdot S \int_0^l r^2 \cdot dr = \rho \cdot S \cdot l^3 / 3 \Rightarrow (m = \rho \cdot S \cdot l) \Rightarrow I_3 = m \cdot l^2 / 3$ . Проявление разницы  $I_1, I_2$  и  $I_3$  в опыте с вращением в руках копья. ТЕОРЕМА ШТЕЙНЕРА.



Из основного закона динамики вращения ТТ вокруг неподвижной оси  $I \cdot \varepsilon = \square M \Rightarrow (\varepsilon = \square d\omega / dt) \Rightarrow d(I\omega) / dt = \square M$ . ВЕКТОР МОМЕНТА ИМПУЛЬСА ТТ; ЕГО СМЫСЛ, НАПРАВЛЕНИЕ. ТЕОРЕМА ОБ ИЗМЕНЕНИИ

МОМЕНТА ИМПУЛЬСА ТТ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ И ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФОРМЕ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МОМЕНТА ИМПУЛЬСА ТТ; АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ ЗАКОНА. Проявления закона при вращении фигуристов и акробатов; при падении кошки с высоты; для человека на скамье Жуковского и вертолётов. ОБЪЯСНЕНИЕ ПРИЧИНЫ СМЕНЫ ВРЕМЁН ГОДА НА ЗЕМЛЕ ВДАЛИ ОТ ЭКВАТОРА.

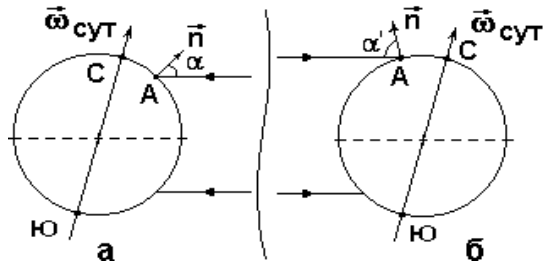
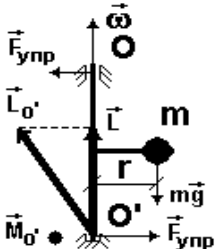


ТАБЛИЦА АНАЛОГИЙ ФОРМУЛ ДИНАМИКИ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО (ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ) ДВИЖЕНИЯ ТТ.

**Самостоятельно:** доказать теорему Штейнера.

**18. Движение свободного ТТ; свободные оси вращения. Гироскопы; их свойства. Гироскопический эффект и гироскопические силы.**

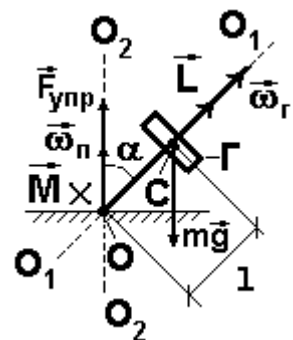
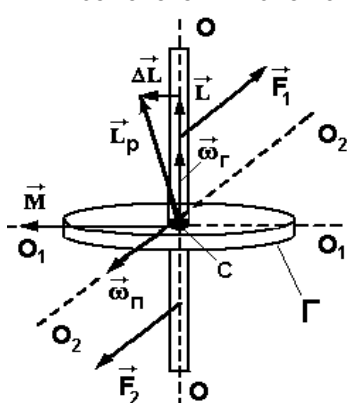
Произвольно движущееся незакреплённое ТТ имеет ? степеней свободы, т.е. для решения главной задачи необходимо использовать ? уравнений в координатной форме. КАКИЕ ЭТО УРАВНЕНИЯ? На примере простейшей модели ТТ в виде шарика массой  $m$ , прикреплённого к оси вращения лёгким жёстким стержнем длиной  $l$ , объяснить, почему ТТ произвольной формы при вращении вокруг произвольной оси кувыркается? Как исключить кувыркание, не закрепляя оси вращения? СВОБОДНАЯ ОСЬ ВРАЩЕНИЯ ТТ. ГЛАВНЫЕ ЦЕНТРАЛЬНЫЕ ОСИ ИНЕРЦИИ ТТ; сколько их, как направлены в симметричных и несимметричных ТТ, чем замечательны? Показать главные центральные оси инерции для цилиндра, шара и прямоугольного параллелепипеда. Объяснить, почему только главные центральные оси могут быть свободными. В опыте с движением пишущей ручки или длинного цилиндра показать, что устойчивое вращение легко получить только вокруг главной центральной оси, относительно которой момент инерции ТТ максимален. А если вокруг главной центральной оси момент инерции минимален?



Особенности равномерного вращения несимметричного ТТ вокруг неподвижной оси: что известно про величину и направление векторов осевого момента импульса  $\vec{L}$  и угловой скорости  $\vec{\omega}$ ? Значит, относительно оси суммарный момент всех сил =? А вектор момента импульса  $\vec{L}_{O'} = [\vec{r}, m\vec{v}]$  относительно точки  $O'$ ? Объяснить, почему он сейчас направлен как на рисунке, и как будет двигаться дальше. С учётом постоянства величины и направления вектора  $\vec{L}$  величина и угол с осью вращения для вектора  $\vec{L}_{O'}$  должны быть? Но изменение направления вектора  $\vec{L}_{O'}$  возможно только за счёт вращающего момента  $\vec{M}_{O'}$ . Объяснить, какими силами он создан, почему сейчас направлен как на рисунке, и как будет двигаться дальше. Объяснение такого движения с помощью ТЕОРЕМЫ РЕЗАЛЯ  $\vec{v}_k = d\vec{L}_{O'} / dt = \vec{M}_{O'}$  для скорости движения конца вектора  $\vec{L}_{O'}$  как следствия теоремы об изменении момента импульса ТТ.

Особенности равномерного вращения несимметричного ТТ вокруг неподвижной оси: что известно про величину и направление векторов осевого момента импульса  $\vec{L}$  и угловой скорости  $\vec{\omega}$ ? Значит, относительно оси суммарный момент всех сил =? А вектор момента импульса  $\vec{L}_{O'} = [\vec{r}, m\vec{v}]$  относительно точки  $O'$ ? Объяснить, почему он сейчас направлен как на рисунке, и как будет двигаться дальше. С учётом постоянства величины и направления вектора  $\vec{L}$  величина и угол с осью вращения для вектора  $\vec{L}_{O'}$  должны быть? Но изменение направления вектора  $\vec{L}_{O'}$  возможно только за счёт вращающего момента  $\vec{M}_{O'}$ . Объяснить, какими силами он создан, почему сейчас направлен как на рисунке, и как будет двигаться дальше. Объяснение такого движения с помощью ТЕОРЕМЫ РЕЗАЛЯ  $\vec{v}_k = d\vec{L}_{O'} / dt = \vec{M}_{O'}$  для скорости движения конца вектора  $\vec{L}_{O'}$  как следствия теоремы об изменении момента импульса ТТ.

ГИРОСКОП (ВОЛЧОК). РОТОР. СВОБОДНЫЙ УРАВНОВЕШЕННЫЙ ГИРОСКОП (гироскоп с 3 степенями свободы); как крепят ротор в опыте? ЕГО ГЛАВНОЕ СВОЙСТВО. Где это проявляется и как используется? ГИРОСКОПИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ КАК ВТОРОЕ СВОЙСТВО; его объяснение с помощью теоремы Резаля. РЕГУЛЯРНАЯ ПРЕЦЕССИЯ ГИРОСКОПА; до каких пор она идёт? Получение основного уравнения регулярной прецессии в приближении  $\Delta L \ll L$ : скорость конца вектора  $\vec{L}$  из теоремы Резаля  $\vec{v}_k = d\vec{L} / dt = \vec{M}$ ; та же скорость по формуле Эйлера  $\vec{v}_k = [\vec{\omega}_n, \vec{L}]$ , где  $\vec{\omega}_n$  — угловая скорость прецессии. Отсюда  $[\vec{\omega}_n, \vec{L}] = \vec{M}$ , а с учётом  $\vec{L} = I_\Gamma \cdot \vec{\omega}_\Gamma$  имеем  $I_\Gamma \cdot [\vec{\omega}_n, \vec{\omega}_\Gamma] = \vec{M}$ , где  $I_\Gamma$  и  $\vec{\omega}_\Gamma$



– момент инерции и угловая скорость гироскопа (ротора) относительно его собственной оси вращения, Объяснение регулярной прецессии юлы с закреплённым концом: куда сейчас направлен вращающий момент пары сил тяжести и упругости; чему он равен; получить формулу  $\omega_{\Pi} = m \cdot g \cdot l / (I_{\Gamma} \cdot \omega_{\Gamma}) = m \cdot g \cdot l / L$ . Описывает ли это уравнение явление НУТАЦИИ гироскопа?

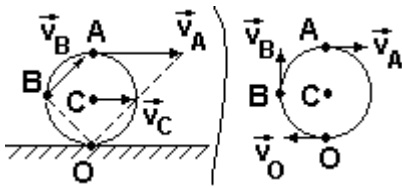
Свойства гироскопа с двумя степенями свободы. Почему гирокомпас на кораблях используют, а на самолётах нет? Что такое гирогоризонт на самолётах?

Свойства гироскопа с одной степенью свободы. Где это используют и как это проявляется на практике? Гироскопические силы.

**19. Механическая работа и мощность. Кинетическая энергия частицы; теорема об её изменении. Кинетическая энергия МС и ТТ; теорема Кёнига. Теоремы об изменении кинетической энергии МС и ТТ.**

Если умножить обе части 2-го закона  $m(d\vec{v}/dt) = \vec{F}$  скалярно на вектор малого перемещения по траектории  $d\vec{S}$ , то слева  $m \cdot d\vec{v} \cdot (d\vec{S}/dt) = m \cdot d\vec{v} \cdot \vec{v} = d(0,5 \cdot m \vec{v}^2) \Rightarrow (\vec{v}^2 \equiv \vec{v} \cdot \vec{v} = v^2) \Rightarrow d(0,5 \cdot m v^2) = dT$ . Справа скаляр  $\vec{F} \cdot d\vec{S} = dA$ . ЭЛЕМЕНТАРНАЯ РАБОТА СИЛЫ И КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ («действие движущегося») Т ЧАСТИЦЫ. Что они характеризуют? РАБОТА НА КОНЕЧНОМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ; какое действие силы она характеризует?. Почему работу силы найти легче импульса силы, а кинетическую энергию частицы легче её импульса? ТЕОРЕМА ОБ ИЗМЕНЕНИИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЧАСТИЦЫ. В чём её плюсы и минусы, с точки зрения главной задачи механики, перед теоремой об изменении импульса частицы? КАКУЮ ГЛАВНУЮ ИНФОРМАЦИЮ О ЧАСТИЦЕ МЫ ПОЛУЧАЕМ, ЗНАЯ КИНЕТИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ Т?

МОЩНОСТЬ; ЕЁ СВЯЗЬ СО СКОРОСТЬЮ. При каком условии под действием постоянной силы тело движется равномерно? Что это значит для скоростных машин и самолётов? Почему при подъёме автомобиля на крутую гору приходится переходить на пониженную скорость? СИСТЕМНЫЕ И НЕСИСТЕМНЫЕ ЕДИНИЦЫ РАБОТЫ (1 кВт·час) И МОЩНОСТИ (1 л.с.). Что такое 1 Дж; много ли это? МОЩНОСТЬ СРЕДНЕГО ЧЕЛОВЕКА; долго ли он может ей развивать? А лошадь?



КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ СИСТЕМЫ ЧАСТИЦ И ТТ: рассмотрение абсолютного движения частиц МС относительно неподвижной системы отсчёта К в виде суммы двух движений: переносного поступательного движения системы отсчёта К', движущейся вместе с МС, и относительного движения частиц МС в К', начало которой связано с центром масс С: в силу теоремы сложения скоростей  $\vec{v}_i = \vec{v}_i' + \vec{v}_c$ . Получение теоремы Кёнига: из  $v_i^2 = (v_i')^2 + 2\vec{v}_i' \cdot \vec{v}_c + v_c^2$

$$\Rightarrow T = 0,5 \sum_{i=1}^n m_i v_i^2 = 0,5 \sum_{i=1}^n m_i (v_i')^2 + \vec{v}_c \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i' + 0,5 v_c^2 \sum_{i=1}^n m_i \Rightarrow (\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i' = ?)$$

$\Rightarrow T = T' + 0,5 M v_c^2$ . Что такое T'? Задача о качении обруча массой М со скоростью v: Что такое v? Где проходит ось вращения (мгновенная ось); неподвижна ли она? Почему скорость  $v_A = 2v_C$ ? Как найти  $v_B$  по модулю и направлению? Что даёт переход в систему К', связанную с центром масс обруча С? Какова полная кинетическая энергия обруча? КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ ТТ, ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ: с учётом таблицы аналогий формул динамики поступательного и вращательного движения твёрдого тела  $T = ?$  Как движется ТТ, если его кинетическая энергия совпала с кинетической энергией центра масс?

Если для частиц МС умножить обе части каждого уравнения  $m_i d\vec{v}_i/dt = \vec{F}_i^{(e)} + \vec{F}_i^{(i)}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) скалярно на  $d\vec{S}_i$ , просуммировать уравнения и поменять знаки дифференциала и суммы местами, то получим (объяснить, как!)  $dT = dA^{(e)} + dA^{(i)}$  Что такое  $dA^{(e)}$  и  $dA^{(i)}$ ? Значит, на конечном перемещении ТЕОРЕМА ОБ ИЗМЕНЕНИИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ МС примет вид:  $\Delta T \equiv T_2 - T_1 = ?$  В чём её отличие от теоремы об изменении импульса МС? Для ТТ  $A^{(i)} = 0$  (почему?), т.е. ТЕОРЕМА ОБ ИЗМЕНЕНИИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ТТ имеет вид:  $\Delta T = ?$

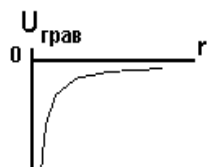
**Самостоятельно:** найти полную кинетическую энергию катящегося твёрдого диска (или цилиндра).

**20. Потенциальная энергия упругого и гравитационного взаимодействия. Общие свойства потенциальной энергии. Консервативные и диссипативные силы. Консервативная МС. Полная механическая энергия (ПМЭ). Закон сохранения и теоремы об изменении ПМЭ. Другие виды энергии; закон сохранения энергии.**

Меняется ли кинетическая энергия груза, закреплённого на конце прямой спиральной пружины, при очень медленном растяжении пружины вдоль её оси внешней силой? Оказывает ли внешняя сила разгоняющее действие? На малом перемещении  $dx$  работа внешней силы  $dA = F_x dx = F \cdot dx = + k \cdot x \cdot dx$ ; где  $k$  – ? На полном перемещении  $\Delta x$  работа внешней силы  $A = \int k \cdot x \cdot dx = ?$  Какое действие силы она характеризует? РАБОТА СИЛЫ УПРУГОСТИ  $A_{упр}$ ; ОТ ЧЕГО ОНА ЗАВИСИТ? Важно ли направление внешней силы? Изменится ли результат при сжатии пружины? ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ («возможность действия») УПРУГОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ. На что расходуется работа внешней силы и силы упругости при растяжении (сжатии) пружины? А при освобождении растянутой (сжатой) пружины? СВЯЗЬ РАБОТЫ СИЛЫ УПРУГОСТИ И ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ УПРУГОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ. Зависит ли результат от траектории перемещения груза? Какой будет работа  $A_{упр}$  при перемещении груза по замкнутой траектории?

Меняется ли кинетическая энергия груза при очень медленном вертикальном подъёме внешней силой вблизи Земли? На малом перемещении  $dx$  работа внешней силы  $dA = F_x dx = F \cdot dx = + m \cdot g \cdot dx$ ; где  $g$  – ? На полном перемещении  $\Delta x = h$  работа внешней силы  $A = ?$  А РАБОТА СИЛЫ ТЯЖЕСТИ? ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ РАБОТА  $A_{тяж}$  СИЛЫ ТЯЖЕСТИ? Важно ли знать направление внешней силы? Изменится ли результат при медленном вертикальном опускании тела? ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВБЛИЗИ ЗЕМЛИ. КАЛИБРОВОЧНАЯ ИНВАРИАНТНОСТЬ. Почему она незаметна для силы упругости? Зависит ли  $A_{тяж}$  от траектории движения груза? Какой будет работа  $A_{тяж}$  при перемещении груза по замкнутой траектории?

Для двух точечных масс  $m_1$  и  $m_2$ , находившихся на исходном расстоянии  $r_1$  друг от друга,



сила тяготения  $F_{\text{грав}} = ?$  Если внешняя сила медленно переместит массу  $m$  вдоль прямой, соединяющей массы до расстояние до  $r_2$ , то на малом перемещении  $dr$  элементарная работа силы тяготения, мешающей перемещению,  $dA_{\text{грав}} = -F \cdot dr = ?$

При этом потенциальная энергия гравитационного взаимодействия возрастёт на  $dU_{\text{грав}} = ?$  Значит, на конечном перемещении от  $r_1$  до  $r_2$  работа  $A_{\text{грав}} = ?$  Как эта работа связана с изменением  $\Delta U_{\text{грав}}$  потенциальной энергии? Значит, на расстоянии  $r_1$  потенциальная энергия  $U_{\text{грав}1} = ?$  **ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ ЧАСТИЦ НА ПРОИЗВОЛЬНОМ РАССТОЯНИИ.** Есть ли в этой формуле безусловный ноль отсчёта потенциальной энергии? СМЫСЛ ЗНАКА «-». Каким был бы график, если бы существовало отталкивание масс (антигравитация)? Для какого взаимодействия вне рамок механики это отталкивание реализуется?

**ЧЕТЫРЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВА ЛЮБОЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ:** 1) При каком условии появляется? 2) От чего зависит? 3) В чём суть калибровочной инвариантности? 4) Какую главную информацию о теле или МС мы получаем, зная их потенциальную энергию? **ОБЩЕЕ СВОЙСТВО ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ И КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.**

**КОНСЕРВАТИВНЫЕ («сохраняющие») И ДИССИПАТИВНЫЕ («рассеивающие») СИЛЫ. ПРИЗНАКИ КОНСЕРВАТИВНОСТИ СИЛЫ.** Сколько диссипативных сил в классической механике? А вне механики они есть?

**КОНСЕРВАТИВНАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА.** На что тратится работа внешней силы при быстром вертикальном подъёме груза вблизи Земли? **ПОЛНАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ (ПМЭ) ЧАСТИЦЫ. СКОЛЬКО ВИДОВ ЭНЕРГИИ ЕСТЬ В МЕХАНИКЕ? ИХ ВАЖНЕЙШЕЕ ОБЩЕЕ СВОЙСТВО.**

**ТЕОРЕМЫ ОБ ИЗМЕНЕНИИ ПМЭ ЧАСТИЦЫ, КОНСЕРВАТИВНОЙ И НЕКОНСЕРВАТИВНОЙ МС, ТТ.**

**ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ПМЭ. АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ПМЭ.** Что сохраняют или рассеивают консервативные и диссипативные силы?

**ЗАДАЧА О ПРЯМОМ ЦЕНТРАЛЬНОМ УПРУГОМ УДАРЕ ШАРОВ.** Почему в общем случае решения задачи недостаточно закона сохранения импульса? Какую форму примет закон сохранения ПМЭ? Оценить конечные скорости шаров в частном случае удара движущегося шара по неподвижному: 1) если движущийся лёгкий шар налетает на очень тяжёлый (или на стенку); 2) если массы шаров одинаковы; 3) если более тяжёлый шар налетает на более лёгкий. **ЗАДАЧА О ПРЯМОМ ЦЕНТРАЛЬНОМ АБСОЛЮТНО НЕУПРУГОМ УДАРЕ ШАРОВ.** Что изменится, если упругий удар не прямой? Не центральный?

**ДРУГИЕ ВИДЫ ЭНЕРГИИ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ.** Какой закон сохранения является более общим – для энергии или для ПМЭ?

**21. Связь консервативных сил и потенциальной энергии. Виды равновесия МС; описание возможности движения по виду потенциальной энергии. Условия равновесия ТТ в статике; главная задача статики.**

**СИЛОВОЕ ПОЛЕ  $\vec{F} = \vec{F}(\vec{r})$ .** Для консервативной силы  $dA = \vec{F} \cdot d\vec{r}$  с учётом  $dU = -dA \Rightarrow \vec{F} = -dU/d\vec{r}$ . Что фактически означает невозможная операция деления скаляра  $dU$  на вектор  $d\vec{r}$ ? В итоге в координатной форме  $\vec{F} = ?$  Что означает знак «-»? Почему в координатной форме используют знаки « $\partial$ » частных, а не полных « $d$ » производных? Как в математике называют операцию  $\text{grad } a = [(\partial a/\partial x) \cdot \vec{i} + (\partial a/\partial y) \cdot \vec{j} + (\partial a/\partial z) \cdot \vec{k}]$ . Как направлен и что показывает вектор  $\text{grad } a$ ? Почему физики ввели векторный оператор «набла»  $\vec{\nabla} = (\partial/\partial x) \cdot \vec{i} + (\partial/\partial y) \cdot \vec{j} + (\partial/\partial z) \cdot \vec{k}$ ?

С его помощью связь консервативных сил и потенциальной энергии принимает корректный вид  $\vec{F} = ?$

Как из дифференциального уравнения  $\vec{F} = -dU/d\vec{r}$  найти потенциальную энергию  $U$  по известной функции  $\vec{F} = \vec{F}(\vec{r})$ ? Какие полученные ранее важные свойства потенциальной энергии при этом подтверждаются?

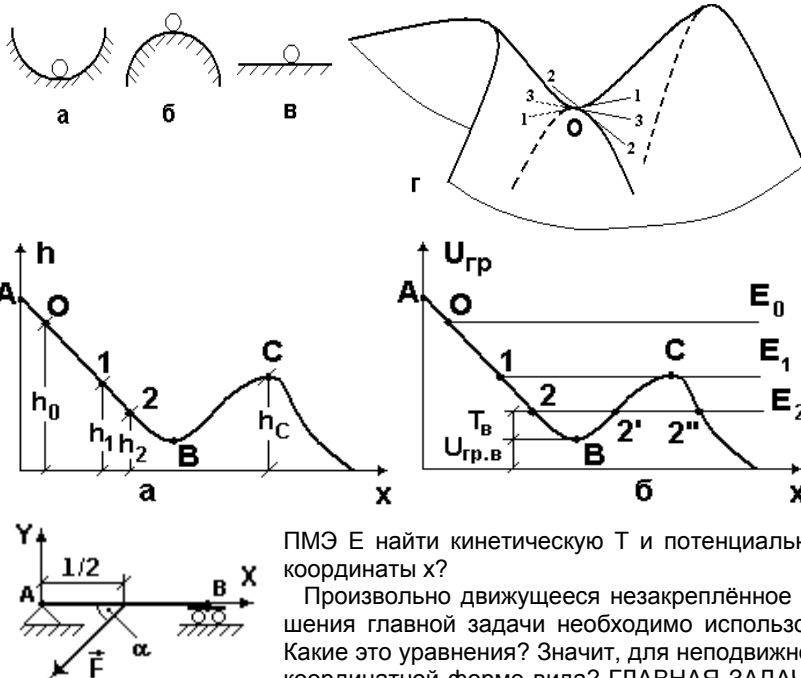
Объяснить, почему для замкнутых консервативных МС равновесной будет только такая конфигурация частиц, при которой потенциальная энергия имеет минимум. Чему равна действующая на частицы МС равнодействующая внутренних сил  $\vec{F}$  в положениях равновесия? **ЧЕТЫРЕ ВИДА РАВНОВЕСИЯ** при малых внешних воздействиях на МС.

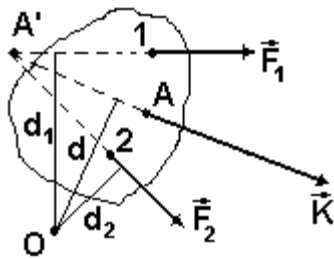
Объяснить пример возможного движения шарика по склону с малым трением: что показывают графики; где взято начало отсчёта  $h$  и  $U_{\text{гр}}$ ? Почему при движении из точки 1 шарик остановится в точке С? Может ли при движении из точки 2 шарик попасть в точку 2'' без внешнего воздействия? **ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЯМА; ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ БАРЬЕР.** Как на правом графике для известной начальной

ПМЭ  $E$  найти кинетическую  $T$  и потенциальную энергию  $U_{\text{гр}}$  шарика для произвольной координаты  $x$ ?

Произвольно движущееся незакреплённое ТТ имеет ? степеней свободы, т.е. для решения главной задачи необходимо использовать ? уравнений в координатной форме. Какие это уравнения? Значит, для неподвижности ТТ должны выполняться ? уравнений в координатной форме вида? **ГЛАВНАЯ ЗАДАЧА СТАТИКИ ДЛЯ ТТ** и пример её решения

для балки АВ. на рисунке.





Объяснить, почему главный вектор внешних сил  $\vec{K}$  и главный момент внешних сил  $\vec{N}$  для ТТ не меняются при переносе сил вдоль линий их действия. Значит, начало осей координат при решении главной задачи статики можно выбирать?

Для ТТ массой  $m$  равнодействующая сил тяжести  $\vec{F}_T = m \cdot \vec{g} = \sum_{i=1}^n \Delta m_i \cdot \vec{g}$  -

сумма малых сил, действующих на элементы ТТ. Тогда суммарный вращающий момент всех этих малых сил тяжести относительно произвольной точки  $O$  тела

найдётся как  $\vec{M}_T = \sum_{i=1}^n [\vec{r}_i, (\Delta m_i \cdot \vec{g})]$ , где  $\vec{r}_i$ ?

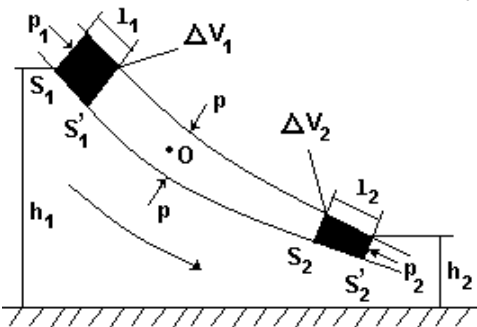
Перенеся скаляр  $\Delta m_i$  из второго сомножителя в первый и вынеся постоянный вектор  $\vec{g}$  за знак суммы, имеем  $\vec{M}_T = [\sum_{i=1}^n (\Delta m_i \cdot \vec{r}_i), \vec{g}]$ ,

где  $\sum_{i=1}^n (\Delta m_i \cdot \vec{r}_i) = m \cdot \vec{r}_C$ . Здесь  $\vec{r}_C$ ? Значит  $\vec{M}_T = [m \cdot \vec{r}_C, \vec{g}] = [\vec{r}_C, m \cdot \vec{g}] = [\vec{r}_C, \vec{F}_T]$ . Что это значит? Тогда отно-

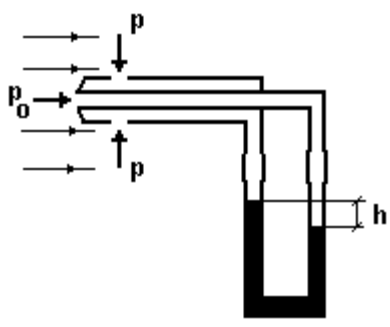
сительно центра масс  $C$  получим  $\vec{M}_T = ?$  ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ. Где он размещается в однородных и неоднородных телах? Всегда ли это так?

**22. Динамика идеальных жидкостей и несжимаемых газов. Теорема о неразрывности струи. Уравнение Бернулли и следствия из него. Формула Торричелли.**

Различие механических свойств жидкости и газа: собственный объём; сжимаемость; вязкость (внутреннее трение). При каких скоростях движения газа можно считать его сжимаемость малой? Чем пренебрегают в модели ИДЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ? Есть ли такие жидкости? Что дают два этих условия при описании движений частиц внутри больших объёмов жидкости и газа? Описание движения частиц по Лапласу и Эйлеру; какой подход применяют шире? ПОЛЕ ВЕКТОРОВ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ в подходе Эйлера. ЛИНИЯ ТОКА как предшественник силовых линий электрического и магнитного полей. ГУСТОТА ЛИНИЙ; что она характеризует? СТАЦИОНАРНОЕ (УСТАНОВИВШЕЕСЯ) ТЕЧЕНИЕ; с чем здесь совпадают линии тока? ТРУБКА ТОКА; могут ли частицы пересекать её стенки? МАССОВЫЙ  $Q_m$  и ОБЪЁМНЫЙ  $Q_v$  РАСХОД. ТЕОРЕМА О НЕРАЗРЫВНОСТИ СТРУИ для стационарного течения в трубке тока как частный случай (при каком условии?) теоремы о сохранении

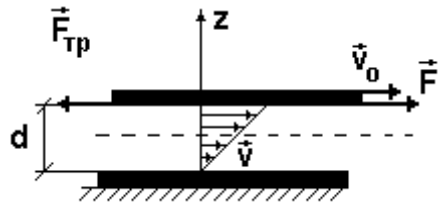


массового расхода. Значит, для такого течения при сужении трубки тока? Это возможно только при условии? Полученные выводы количественные или качественные? Получение уравнения Бернулли для узкой трубки тока: за отрезок времени  $\Delta t$  объём жидкости между сечениями  $S_1$  и  $S_2$  перейдёт в новое положение, ограниченное сечениями  $S_1$  и  $S_2$ , причём объём  $\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V$  (почему?) и мал. Будет ли меняться скорость и ПМЭ частиц в произвольной точке  $O$ ? Что известно о величине и направлении давлений  $p$  на стенке трубки тока вблизи точки  $O$ ? Тогда изменение ПМЭ всей переместившейся жидкости, равное изменению ПМЭ малого объёма  $\Delta V$  при плотности жидкости  $\rho$  будет  $\Delta E = (0,5 \cdot \rho \cdot \Delta V \cdot v_2^2 + \rho \cdot \Delta V \cdot h_2 \cdot g) - (0,5 \cdot \rho \cdot \Delta V \cdot v_1^2 + \rho \cdot \Delta V \cdot h_1 \cdot g)$ . Для идеальной жидкости (почему?) работа сил давления равна  $A = p_1 \cdot S_1 \cdot l_1 - p_2 \cdot S_2 \cdot l_2 =$



$p_1 \cdot \Delta V_1 - p_2 \cdot \Delta V_2$ . Почему не учитывается давление  $p$ ? Тогда УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ для любых точек трубки тока? Из какой теоремы оно получено? Что называют статическим, гравитационным и динамическим давлением? Всегда ли они есть? Следствия из уравнения: 1. Если  $v = \text{const}$  для всех точек жидкости, то? Где встречается такое же распределение давления? 2. Если линия тока горизонтальна, то? 3. Для идеальной жидкости, вытекающей через узкое отверстие из широкого сосуда с учётом равенства давлений и малой скорости понижения уровня жидкости из уравнения Бернулли (как выглядит трубка тока?) следует ФОРМУЛА ТОРРИЧЕЛЛИ  $v = ?$  4. Как работает и что измеряет трубка Пито-Прандтля? На какую величину отличаются полное давление  $p_0$  и статическое давление  $p$ ? Значит,  $p_0 \cdot g \cdot h = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2$ , где  $\rho$  и  $\rho_0$  - ? Отсюда  $v = ?$  При каких условиях работает прибор?

**23. Динамика реальной жидкости и газа. Вязкость жидкости. Ламинарное и турбулентное течения. Движение тел в жидкости и газе.**

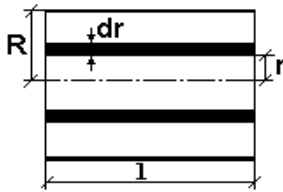


Чему мешают силы внутреннего трения (вязкости) и как они направлены? Что в опытах доказывает их существование?

Для одинаковых параллельных тонких пластин площадью  $S$ , находящихся в жидкости на малом расстоянии  $d$ , движение верхней с постоянной скоростью  $v_0$  относительно неподвижной нижней потребует? Отсюда в опыте  $F_{тр} = \eta \cdot S \cdot v_0 / d$ , где  $\eta$  НАЗЫВАЕТСЯ? Для малых  $d$  скорость вдоль оси  $z$  растёт линейно по закону  $v(z) = (v_0/d) \cdot z$ , где величину гради-

ента скорости ( $v_0/d$ ) в направлении оси  $z$  в общем случае записывается как  $|dv/dz|$ . Значит, в общем случае  $F_{тр} = ?$  При каком условии верна эта формула?

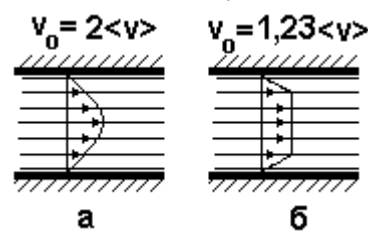
**ЛАМИНАРНОЕ (СЛОИСТОЕ) и ТУРБУЛЕНТНОЕ (ВИХРЕВОЕ) ТЕЧЕНИЕ.** Эмпирический безразмерный **КРИТЕРИЙ РЕЙНОЛЬДСА** (число «ре»)  $Re = \rho \cdot \langle v \rangle \cdot d / \eta$ , где  $\langle v \rangle$  и  $d$  - ? Является ли он точным? Если  $Re < 1000$ , то ? Если  $Re > 2300$ , то? **КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ**  $\nu = \eta / \rho$ ; запись  $Re$  с её помощью. Как знание  $Re$  помогает строить новые суда и гидротехнические сооружения?



При ламинарном течении в капилляре длиной  $l$  и диаметром  $R$  на тонкий слой жидкости толщиной  $dr$  изнутри действует сила вязкого трения  $F_{тр} = \eta \cdot 2\pi \cdot r \cdot l \cdot |dv/dr|$ , компенсируемая разницей давлений  $\Delta p \cdot \pi \cdot r^2$  на концах капилляра. Отсюда дифференциальную связь  $dv = -\Delta p \cdot r \cdot dr / (2\eta \cdot l)$ ; каков смысл знака «-»? После интегрирования  $v = -\Delta p \cdot r^2 / (4\eta \cdot l) + C$ . Но при  $r = R$  скорость  $v = 0$ , т.е.  $C = \Delta p \cdot R^2 / (4\eta \cdot l)$ . Окончательно  $v = \Delta p \cdot (R^2 - r^2) / (4\eta \cdot l)$ , где максимальная скорость в центре  $v_0 = \Delta p \cdot R^2 / (4\eta \cdot l)$ , т.е. вдоль

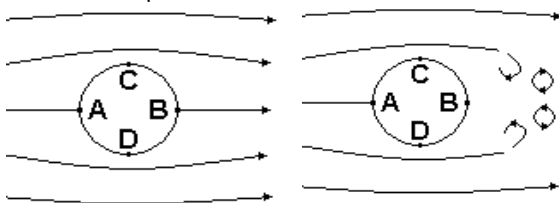
любого радиуса скорость меняется по параболе  $V = V_0 \cdot [1 - (r^2 / R^2)]$ . Получение **формулы Пуазейля** для объёмного расхода жидкости в таком капилляре: через тонкое кольцо внутренним радиусом  $r$  и толщиной  $dr$  за 1 секунду протекает объём  $dQ_v =$

$2\pi \cdot r \cdot dr \cdot v$ . Отсюда  $Q_v = \int_0^R dQ_v = \int_0^R \Delta p / (4\eta \cdot l) \cdot (R^2 - r^2) \cdot 2\pi \cdot r \cdot dr = \Delta p \cdot \pi \cdot R^4 / (8\eta \cdot l)$ . Как устроен и что измеряет вискозиметр?

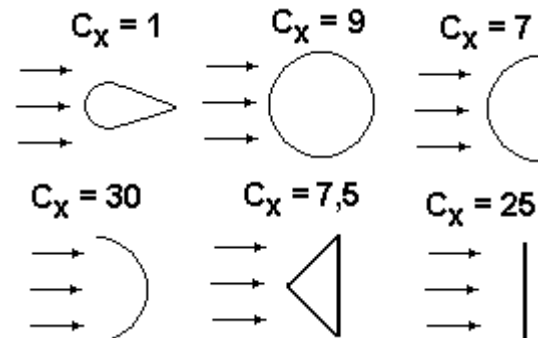


Расчёт средней скорости  $\langle v \rangle = Q_v / (\pi \cdot R^2) = \Delta p \cdot R^2 / (8\eta \cdot l) = v_0 / 2$  при ламинарном течении по капилляру. Сохранится ли параболическое изменение скорости вдоль радиуса капилляра при турбулентном течении?

Что в опыте доказывает существование сил сопротивления движению ТТ в жидкостях и газах? От каких основных факторов зависит характер движения? Как удобнее выполнять опыты; какие тут есть трудности и каковы пути их решения? Компоненты сил, действующих на ТТ, обтекаемое потоком газа со скоростью  $v$ : как направлены и всегда ли возникают лобовое сопротивление  $R_x$ , подъёмная сила  $R_y$  и боковая сила  $R_z$ ? **ПАРАДОКС д'АЛАМБЕРА**; что доказывает симметрия линий тока? Что показывает опыт



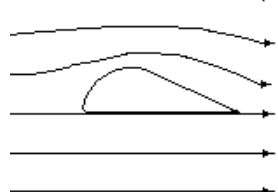
с добавлением в жидкость краски для реального обтекания? **ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ.** Где и почему возникают **СИЛЫ ВЯЗКОГО ТРЕНИЯ** и **СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ**? От чего зависят их величины; какая составляющая основная при малых и больших  $Re$ ? Влияние размеров и формы тела на **СОПРОТИВЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ**: в опыте  $R_x = C_x \cdot \rho_{ж} \cdot v^2 \cdot S$ . Как определяют безразмерный коэффициент  $C_x$ ?; что такое **СОПРОТИВЛЕНИЕ ФОРМЫ**? Указать вклад размеров и формы для разных тел на рисунке, если площадь  $S$  тела, для которого взято  $C_x = 1$ , в 4 раза меньше остальных.



Определение динамической вязкости жидкости  $\eta$  из формулы Стокса; для равномерного падения шарика радиусом  $R$  из материала плотностью  $\rho$  в жидкости плотностью  $\rho_{ж}$  сумма (?) сил  $4 \cdot \pi \cdot \rho \cdot g \cdot R^3 / 3 = 4 \cdot \pi \cdot \rho_{ж} \cdot g \cdot R^3 / 3 + 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R \cdot v$ . Отсюда  $\eta = ?$  Что измеряют в опыте для вычисления  $\eta$ ?

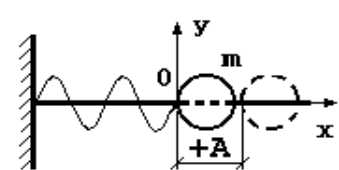
**СКАЛЯР ЦИРКУЛЯЦИИ ПРОИЗВОЛЬНОГО ВЕКТОРА  $\vec{a}$  ПО ЗАМКНУТОМУ КОНТУРУ ДЛИНОЙ  $L$ :  $\Gamma_a = ?$  В каких случаях  $\Gamma_a = 0$ ? ПРИЗНАК КОНСЕРВАТИВНОСТИ КАКОГО-ТО СИЛОВОГО ПОЛЯ; доказать на примере поля сил тяжести вблизи Земли. ЦИРКУЛЯЦИЯ ВЕКТОРА СКО-**

**РОСТИ  $\Gamma_v = ?$  Объяснение** на базе уравнения Бернулли возникновения подъёмной силы для профиля, предложенного Жуковским. Величина силы (на 1 м длины тела в направлении оси  $Z$ ) по формуле Жуковского  $R_y = \Gamma_v \cdot \rho_{ж} \cdot v$ ; на практике  $R_y = C_y \cdot \rho_{ж} \cdot v^2 \cdot S$ , где безразмерный коэффициент  $C_y$  определяют? **КАЧЕСТВО ПРОФИЛЯ**; чем профиль Жуковского лучше полуцилиндрического? Каким берут профиль тянущего винта?

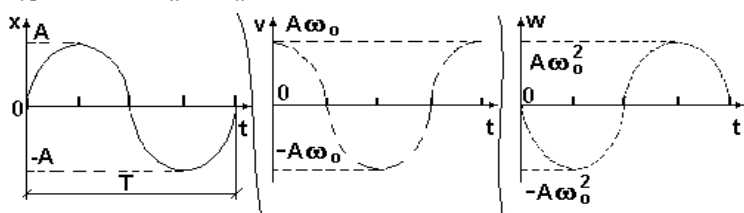


**ЭФФЕКТ МАГНУСА**; его объяснение и проявления.

**24. Основные понятия теории колебаний. Механические идеальные, затухающие и вынужденные колебания. Пружинный маятник; его энергия. Математический и физический маятники.**



**КОЛЕБАНИЯ; МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ. ПЕРИОД; ПЕРИОДИЧЕСКИЕ и АПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ. ПОЛОЖЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО, НЕУСТОЙЧИВОГО и БЕЗРАЗЛИЧНОГО РАВНОВЕСИЯ ТЕЛА. СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ; СОБСТВЕННАЯ ЧАСТОТА. ЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ. ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ; РЕЗОНАНС. АВТОКОЛЕБАНИЯ. ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ и ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ, их примеры. Примеры систем с автоколебаниями.**



**ПРУЖИННЫЙ МАЯТНИК.** Из 2-го закона  $m \ddot{x} = F_x \Rightarrow m \ddot{x} = -kx$ ; после введения констан-

ты  $\omega_0^2 = k/m \Rightarrow$  ДИФУРАВНЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ ЛИНЕЙНОГО ГАРМОНИЧЕСКОГО ОСЦИЛЛЯТОРА: ЕГО РЕШЕНИЕ. Как проверить, что это действительно решение? Есть ли другие решения? Какие? УРАВНЕНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО («красивого») КОЛЕБАНИЯ в тригонометрической форме; МГНОВЕННОЕ СМЕЩЕНИЕ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ, АМПЛИТУДА  $A$ , ФАЗА  $\Phi$ , НАЧАЛЬНАЯ ФАЗА  $\phi_0$ , ЦИКЛИЧЕСКАЯ ЧАСТОТА  $\omega_0$ . Что в уравнении является функцией и аргументом? Какие величины зависят от начальных условий и почему их две? Какие величины зависят от пружины и груза? ПЕРИОД ИДЕАЛЬНЫХ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРУЖИННОГО МАЯТНИКА. УРАВНЕНИЯ СКОРОСТИ И УСКОРЕНИЯ ПРУЖИННОГО МАЯТНИКА. Графики смещения, скорости и ускорения; МАКСИМАЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА СКОРОСТИ И УСКОРЕНИЯ.

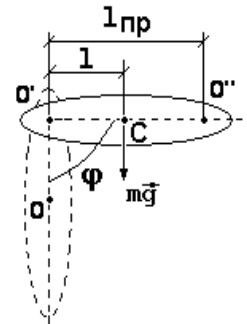
МЕТОД ФУРЬЕ КАК ПРИЧИНА ВАЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ИМЕННО ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ. В каком случае используют конечный ряд Фурье, а в каком интеграл Фурье? Что такое СПЕКТР произвольного процесса?



Связь равномерного вращения радиус-вектора длиной  $A$  с постоянной угловой скоростью  $\omega$  вокруг оси  $Z$  с уравнениями гармонических колебаний в тригонометрической форме. Каков смысл  $\omega$  и  $\Phi$  в уравнении гармонических колебаний?

Кинетическая энергия груза  $T = mv^2/2 = ?$  Потенциальная энергия пружины  $U = kx^2/2 = ?$  Из  $E = T + U$  с учётом  $k = \omega_p^2 m$  для ПМЭ ИДЕАЛЬНОГО ПРУЖИННОГО МАЯТНИКА имеем  $E = ?$  Меняется ли ПМЭ со временем? Какие параметры колебания и как сильно влияют на ПМЭ?

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МАЯТНИК. Меняются ли длина подвеса  $l$  и плоскость колебаний? Как в опыте возбудить колебания груза на нити? Получение дифуравнения идеальных колебаний: из основного закона динамики вращения ТТ вокруг неподвижной

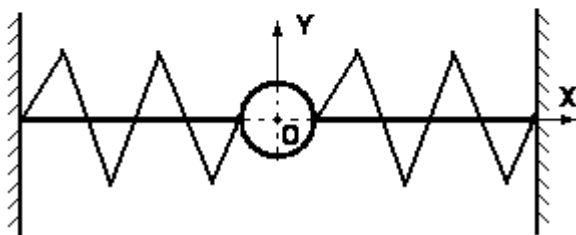
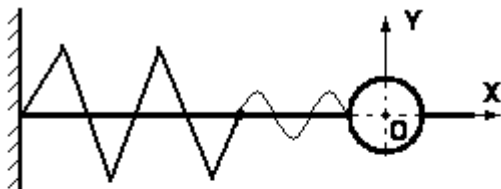


оси  $I_\varepsilon = M \Rightarrow (M = mg \cdot d = -mg \cdot l \cdot \sin \phi; \square I = ml^2)$ . с учётом введения константы  $\omega_0^2 = g/m \Rightarrow$  Что изменится для малых колебаний? ДИФУРАВНЕНИЕ МАЛЫХ ИДЕАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА; ЕГО РЕШЕНИЕ в тригонометрической форме. МГНОВЕННОЕ СМЕЩЕНИЕ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ, АМПЛИТУДА, ФАЗА, НАЧАЛЬНАЯ ФАЗА, ЦИКЛИЧЕСКАЯ ЧАСТОТА. ФОРМУЛА ГЮЙГЕНСА. ГРАФИКИ МГНОВЕННОГО СМЕЩЕНИЯ, УГЛОВОЙ СКОРОСТИ, УГЛОВОГО УСКОРЕНИЯ.

ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИК. Получение дифуравнения идеальных колебаний: из  $I_\varepsilon = M \Rightarrow (M = mg \cdot d = -mg \cdot l \cdot \sin \phi)$  при введении константы  $\omega_0^2 = mg \cdot l / I \Rightarrow$  ДИФУРАВНЕНИЕ ИДЕАЛЬНЫХ МАЛЫХ КОЛЕБАНИЙ; ЕГО РЕШЕНИЕ. ПЕРИОД КОЛЕБАНИЯ. ПРИВЕДЁННАЯ ДЛИНА  $l_{пр}$  ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА. ЦЕНТР КАЧАНИЙ  $O''$  Чем замечателен центр качаний?

**Самостоятельно.** Доказать, что: 1) приведённая длина  $l_{пр}$  всегда больше расстояния  $l$  между точкой подвеса  $O'$  и центром масс  $C$ . 2) Перемещение точки подвеса в центр качаний  $O''$  не изменит период колебаний.

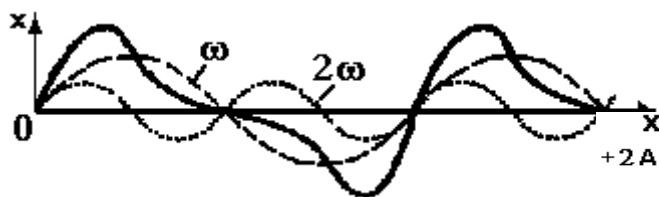
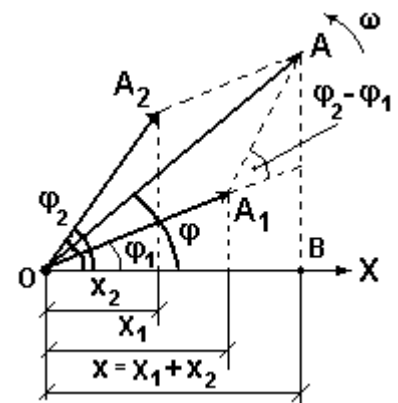
**25. Сложение гармонических колебаний одинакового направления; биения. Сложение перпендикулярных гармонических колебаний; фигуры Лиссажу.**



$A_2^2 + 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos(\phi_2 - \phi_1)$ ; начальная фаза  $\phi$  имеет  $\text{tg } \phi = AB/OB = (A_1 \cdot \sin \phi_1 + A_2 \cdot \sin \phi_2) / (A_1 \cdot \cos \phi_1 + A_2 \cdot \cos \phi_2)$ . УСЛОВИЯ МАКСИМУМА И МИНИМУМА СУММАРНОГО КОЛЕБАНИЯ. Будет ли результат меняться со временем? КОГЕРЕНТНОСТЬ ГАРМОНИЧЕСКИХ КО-

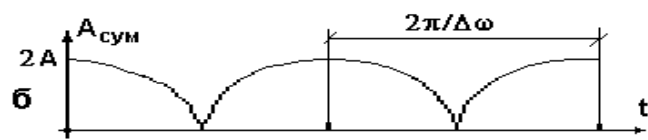
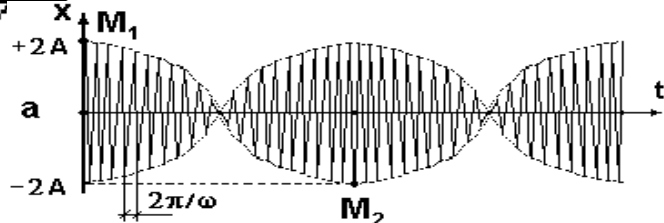
Чем отличаются колебания груза на приведенных рисунках от колебания груза на конце единственной пружины? На какие параметры колебания влияют коэффициенты упругости пружин, величина и направление начального смещения груза от положения равновесия? Что изменится, если пружины одинаковые, а груз между ними (второй рисунок)? Почему в теории изучают только сложение гармоник?

Для 2-х колебаний одинаковой циклической частоты  $\omega$  с разными амплитудами  $A_1$  и  $A_2$  и начальными фазами  $\phi_1$  и  $\phi_2$  суммарное колебание будет? с циклической частотой? Его амплитуда  $A$  (почему?)  $A^2 = A_1^2 + A_2^2 - 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos[\pi - (\phi_2 - \phi_1)] = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos(\phi_2 - \phi_1)$ ; начальная фаза  $\phi$  имеет  $\text{tg } \phi = AB/OB = (A_1 \cdot \sin \phi_1 + A_2 \cdot \sin \phi_2) / (A_1 \cdot \cos \phi_1 + A_2 \cdot \cos \phi_2)$ . УСЛОВИЯ МАКСИМУМА И МИНИМУМА СУММАРНОГО КОЛЕБАНИЯ. Будет ли результат меняться со временем? КОГЕРЕНТНОСТЬ ГАРМОНИЧЕСКИХ КО-



ЛЕБАНИЯ ОДИНАКОВОГО НАПРАВЛЕНИЯ; ДВА УСЛОВИЯ ЕЁ ПОЛУЧЕНИЯ.

Если частоты суммируемых колебаний разные, то? ДВА УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРИО-

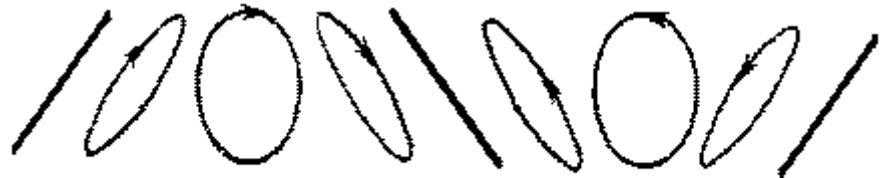
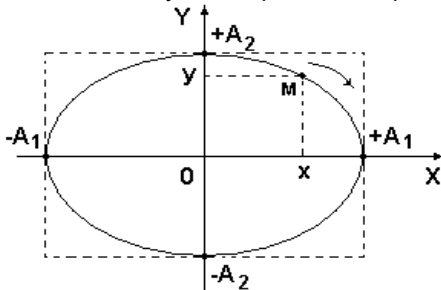


ДИЧЕСКОГО СУММАРНОГО КОЛЕБАНИЯ. 1. Отношение частот должно быть ? 2. Частоты должны быть ? БИЕНИЯ, Сложение 2-х колебаний  $x_1 = A \cdot \cos[(\omega + \Delta\omega) \cdot t]$  и  $x_2 = A \cdot \cos(\omega \cdot t)$  с равными амплитудами и близкими частотами, т.е.  $\Delta\omega/\omega \approx ?$  Почему не учтены начальные фазы? Из теоремы  $\cos\alpha + \cos\beta = 2 \cdot \cos[(\alpha+\beta)/2] \cdot \cos[(\alpha-\beta)/2]$  суммарное колебание даст (почему?)  $x \approx [2A \cdot \cos(\Delta\omega \cdot t/2)] \cdot \cos(\omega \cdot t)$ . АМПЛИТУДА И ЧАСТОТА БИЕНИЙ. Является ли процесс гармоническим? В чём отличие амплитуд в точках  $M_1$  и  $M_2$ ?

Биения как частный случай МОДУЛИРОВАННЫХ КОЛЕБАНИЙ  $x = A(t) \cdot \cos[\Phi(t)]$ . АМПЛИТУДНАЯ И ФАЗОВАЯ или ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ. Где они применяются?

Как в опыте получить сложение двух перпендикулярных колебаний? Для колебаний одинаковой частоты с разными амплитудами и разностью фаз  $\pm\pi/2$ :  $x = A_1 \cdot \cos(\omega \cdot t)$ ,  $y = A_2 \cdot \cos(\omega \cdot t \pm \pi/2) = \pm A_2 \cdot \sin(\omega \cdot t) \rightarrow x^2/A_1^2 + y^2/A_2^2 = 1$ .

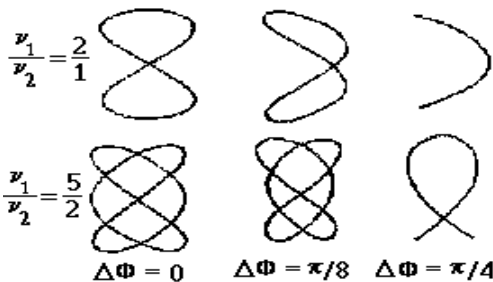
Уравнение какой линии получено; чем задаётся направление вращения? Если разность фаз  $\Delta\Phi = 0$  или  $\Delta\Phi = \pm\pi$ , получим  $y = ?$  Амплитуда суммар-



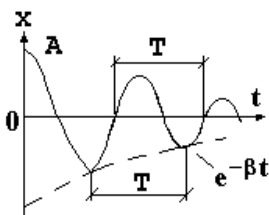
$\Delta\Phi = 0 \quad \pi/4 \quad \pi/2 \quad 3\pi/4 \quad \pi \quad 5\pi/4 \quad 3\pi/2 \quad 7\pi/4 \quad 2\pi$

ного колебания здесь  $A = ?$  Влияние разности фаз при равенстве амплитуд: (а как будет для других  $\Delta\Phi$ ?) КОЛЕБАНИЯ, ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ ЭЛЛИПТИЧЕСКИ, ЦИРКУЛЯРНО И ЛИНЕЙНО (ПЛОСКО).

Фигуры Лиссажу для колебаний разных частот, амплитуд и фаз. Условие устойчивости (периодичности) суммарного колебания.

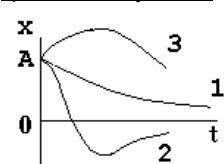


**26. Свободные колебания с учётом вязкого трения при малых колебаниях. Их характеристики.**



Из 2-го закона  $m\ddot{x} = F_x$  с учётом силы вязкого трения при малых скоростях  $\vec{F}_{тр} = -\lambda \vec{v}$  с коэффициентом сопротивления  $\lambda$  получаем  $m\ddot{x} = -kx - \lambda v$ . Введя константы  $\omega_0^2 = k/m$  и коэффициент затухания  $\beta = \lambda/2m$ , имеем дифуравнение затухающих колебаний при малом вязком трении вида? Для  $\beta^2 < \omega_0^2$  (каков физический смысл этого неравенства?) его решением будет функция  $x = Ae^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$ , где амплитуда убывает как  $Ae^{-\beta t}$ , а новая циклическая частота  $\omega = (\omega_0^2 - \beta^2)^{1/2}$  меньше циклической частоты идеальных колебаний  $\omega_0$ . Почему колебание зовут не периодическим, а квазипериодическим? Условный период  $T = ?$

Характеристики систем с малым затуханием. 1. Декремент (скорость) затухания  $\Delta = ?$  2. Логарифмический декремент затухания  $\lambda = ?$  3. Время затухания или время релаксации (успокоения)  $\tau$  как время уменьшения амплитуды в «e» раз:  $A \cdot e^{-\beta \tau} = A/e = A \cdot e^{-1}$ . Отсюда смысл коэффициента затухания  $\beta$ ? 4. Число колебаний  $N_e$ , за которое начальная амплитуда уменьшится в  $e \approx 2,7$  раз. Значит,  $N_e = \tau/T$ .

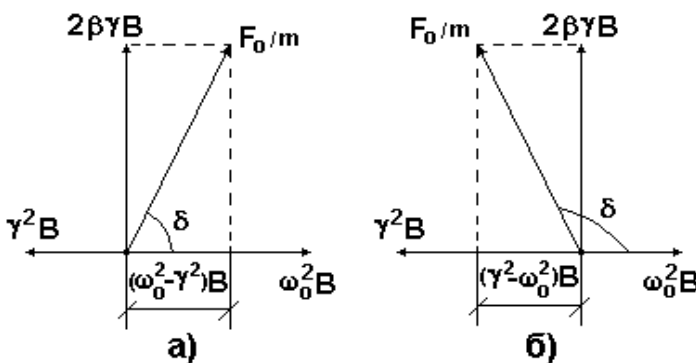


Но  $\tau = 1/\beta$  и  $\lambda = \beta \cdot T \rightarrow N_e = 1/\lambda$ . Смысл  $\lambda$ ? 5. Добротность колебательной системы  $Q = \pi \cdot N_e$ .

Будет ли движение при сильном трении ( $\beta^2 > \omega_0^2$ ) колебательным? Как получить движение груза по кривым 1, 2 и 3?

**27. Вынужденные колебания с учётом вязкого трения при малых колебаниях. Их характеристики.**

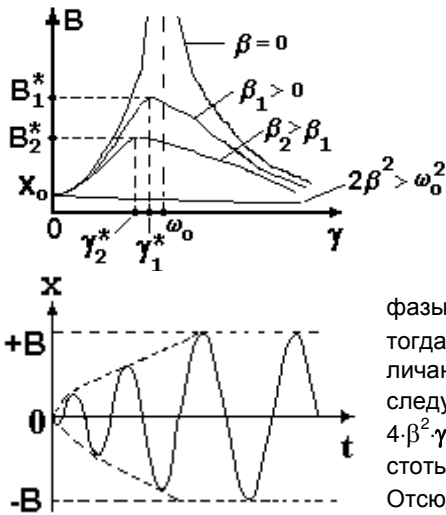
ВИД ДИФУРАВНЕНИЯ ИДЕАЛЬНЫХ ( $\beta = 0$ ) ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ВНЕШНЕЙ СИЛЫ  $F = F_0 \cos(\gamma t + \varphi_0)$ , где  $F_0$  – амплитуда этой силы,  $\gamma$  – её циклическая частота. а) Его



решение для  $F(t) = \text{const} = F_0 \rightarrow x = F_0/(m \cdot \omega_0^2) = x_0 = \text{const}$  – статическое растяжение (сила с нулевой частотой) пружины, например, силой тяжести. б) Для случая  $\gamma \neq 0$  предполагаемое решение  $B \cdot \cos(\gamma t + \varphi_0)$ , где  $B$  – амплитуда. Как доказать, что это верное решение и  $B = F_0/[m(\omega_0^2 - \gamma^2)]$ ? Какова частота вынужденных колебаний? Что такое  $B_0$  на графике? РЕЗОНАНСНАЯ КРИВАЯ. На какой частоте кривая имеет максимум; его значение из формулы? А в реальном опыте без трения? Почему? ОБЩЕЕ РЕШЕНИЕ ПРИ НАЛИЧИИ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ И ВЫНУЖДАЮЩЕЙ СИЛЫ.

С учётом малой силы вязкого трения:  $m\ddot{x} = -kx - \lambda v + F_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$  дифуравнение будет  $\ddot{x} + 2\beta \cdot \dot{x} + \omega_0^2 \cdot x = (F_0/m) \cdot \cos(\gamma \cdot t)$ . Его предполагаемое частное решение  $x = B \cdot \cos(\gamma \cdot t - \delta)$ . Для определения  $B$  и  $\delta$  методом вектор-





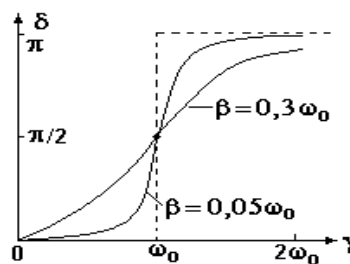
ных диаграмм возьмём первую  $2\beta \cdot \dot{x} = -2\beta \cdot B \cdot \gamma \cdot \sin(\gamma t - \delta) = 2\beta \cdot B \cdot \gamma \cdot \cos(\gamma t - \delta + \pi/2)$  и вторую  $\ddot{x} = -B \cdot \gamma^2 \cdot \cos(\gamma t - \delta) = B \cdot \gamma^2 \cdot \cos(\gamma t - \delta + \pi)$  производные по времени от решения. При подстановке в решение получим  $B \cdot \gamma^2 \cdot \cos(\gamma t - \delta + \pi) + 2\beta \cdot B \cdot \gamma \cdot \cos(\gamma t - \delta + \pi/2) + \omega_0^2 \cdot B \cdot \cos(\gamma t - \delta) = (F_0/m) \cdot \cos(\gamma t) -$  три гармонических колебания в левой части равенства с одинаковой частотой  $\gamma$ , но с разными начальными фазами в сумме дают гармоническое колебание той же частоты без начальной фазы в правой части равенства. Пусть вектор длиной  $\omega_0^2 \cdot B$  направлен вправо;

тогда вектор длиной  $2\beta \cdot \gamma \cdot B$  должен быть направлен ?, а длиной  $B \cdot \gamma^2$ ? Чем отличаются случаи а) и б) на рисунке? В обоих случаях из теоремы Пифагора следует  $(\omega_0^2 - \gamma^2)^2 \cdot B^2 + 4\beta^2 \cdot \gamma^2 \cdot B^2 = (F_0/m)^2$ . Отсюда  $B = F_0 / \{m \cdot [(\omega_0^2 - \gamma^2)^2 + 4\beta^2 \cdot \gamma^2]^{1/2}\}$  и  $\tan \delta = 2\beta \cdot \gamma / (\omega_0^2 - \gamma^2)$ . : Определение резонансной циклической частоты  $\gamma^*$ : из  $\partial B / \partial \gamma = 0 \rightarrow -4(\omega_0^2 - \gamma^2) \cdot \gamma + 8\beta^2 \cdot \gamma = 0 \rightarrow \gamma = 0$  и  $\gamma = \pm (\omega_0^2 - 2\beta^2)^{1/2}$ . Отсюда  $\gamma^* = (\omega_0^2 - 2\beta^2)^{1/2}$ . Критическое значение  $\beta$ : при  $2\beta^2 > \omega_0^2 \rightarrow ?$  Максимальная амплитуда при резонансе  $B^* = F_0 / [2m \cdot \beta \cdot (\omega_0^2 - \beta^2)^{1/2}]$ . В чём два важных отличия резонансных кривых для  $\beta > 0$  от случая  $\beta = 0$ ? Чем определяется время установления амплитуды  $B$  вынужденных колебаний?

Для малого затухания  $\beta \ll \omega_0$  максимальная амплитуда  $B^* \approx F_0 / (2m \cdot \beta \cdot \omega_0)$ . Тогда  $B^*/x_0 = Q$ . СМЫСЛ ДОБРОТНОСТИ  $Q$ ; почему в резонансе контура с  $Q \approx 10^4$ ?

Зависимость разности фаз  $\delta$  между вынужденного колебания и параметрами процесса: при  $\beta = 0 \rightarrow \delta = 0$  и  $\gamma = \omega_0$ ? Вблизи резонансной частоты  $\delta = ?$

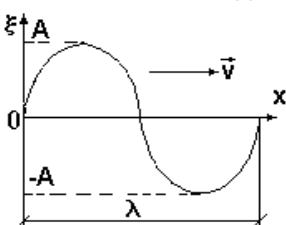
**Самостоятельно.** Получить амплитуду  $B$  вынужденных колебаний под действием гармонической внешней силы.



амплитуда при резонансе  $B^* \approx F_0 / (2m \cdot \beta) = 2\pi / (2\beta \cdot T) = \pi \cdot N_e =$  диотехнике стремятся использовать вынужденной силой и смещением  $\delta = ?$ . При  $\beta > 0$  зависимость от идеального вынужденного колебания  $F = F_0 \cos(\omega t + \phi_0)$ .

**28. Волна. Упругая (механическая) волна. Продольные и поперечные волны; волновой фронт. Энергия волны; плотность потока энергии (вектор Умова). Уравнения плоской и сферической гармонической незатухающей волны. Элементы акустики.**

**ВОЛНА. УПРУГАЯ (механическая) ВОЛНА.** Есть ли другие виды волн? Какие? **ВОЛНЫ В СПЛОШНОЙ СРЕДЕ.** Волны на поверхности и в нити; как их создать? **УСЛОВИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УПРУГОЙ ВОЛНЫ. ПРОДОЛЬНЫЕ И ПОПЕРЕЧНЫЕ ВОЛНЫ.** Какие виды упругих волн возникают в газах, жидкостях и твёрдых телах? **ВОЛНОВЫЙ ФРОНТ. СФЕРИЧЕСКИЕ, ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ, ПЛОСКИЕ ВОЛНЫ;** как их создать? **ДЛИНА ВОЛНЫ  $\lambda$ ; СВЯЗЬ ЕЁ С ПЕРИОДОМ  $T$ , ЧАСТОТОЙ  $\nu$  И ЦИКЛИЧЕСКОЙ ЧАСТОТОЙ  $\omega$  КОЛЕБАНИЙ ИСТОЧНИКА ВОЛНЫ.**



От чего зависит энергия гармонического осциллятора как источника волн? Почему изучаются лишь гармонические волны? **БЕГУЩАЯ ВОЛНА. ПОТОК ЭНЕРГИИ ВОЛНЫ; ПЛОТНОСТЬ ПОТОКА ЭНЕРГИИ (ВЕКТОР УМОВА). ИНТЕНСИВНОСТЬ (МОЩНОСТЬ) ИСТОЧНИКА. ОБЪЁМНАЯ ПЛОТНОСТЬ ЭНЕРГИИ ВОЛНЫ; ЕЁ СВЯЗЬ С ВЕКТОРОМ УМОВА.** Переносит ли волна массу?

**УРАВНЕНИЕ ПЛОСКОЙ ГАРМОНИЧЕСКОЙ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ В ИДЕАЛЬНОЙ СРЕДЕ БЕЗ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ (ЗАТУХАНИЯ); СМЫСЛ ВХОДЯЩИХ В НЕГО ВЕЛИЧИН, ГРАФИК.** Чем он отличается от графика гармонического колебания? **ВОЛНОВОЕ ЧИСЛО  $k$ ; ЗАПИСЬ С ЕГО ПОМОЩЬЮ УРАВНЕНИЯ ПЛОСКОЙ ГАРМОНИЧЕСКОЙ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ.**

**ВОЛНОВАЯ ПОВЕРХНОСТЬ. Сколько их? Из  $\omega \square (t - x/v) = \text{const}$  после взятия дифференциала  $dx/dt = ?$  **ФАЗОВАЯ СКОРОСТЬ.****

Для неподвижного точечного источника (волновые поверхности являются сферами) постоянной мощности в среде без затухания поток энергии постоянен, но площадь, по которой распределяется энергия, растёт пропорционально  $r^2$ , где  $r$  – расстояние от точечного источника. Тогда плотность потока энергии должна падать как ?. При этом уменьшение амплитуды  $A$  волны, не связанное с поглощением её энергии в среде, идёт по закону (доказать!)  $A = A_0/r$ , где  $A_0$  – ? Тогда **УРАВНЕНИЕ СФЕРИЧЕСКОЙ ГАРМОНИЧЕСКОЙ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ БЕЗ ЗАТУХАНИЯ** имеет вид?

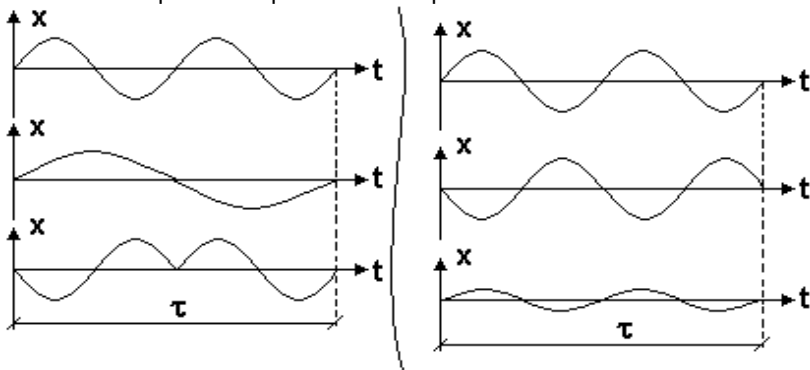
**АКУСТИКА. ЗВУК, ИНФРАЗВУК, УЛЬТРАЗВУК.** Для скорости звука в воздухе 330 м/с минимум и максимум длины волны звука будет? Учитывают ли это в акустических системах? Почему ультразвук способен очищать замасленные детали, а инфразвук убить человека? Одинаковая ли мощность излучателя для этого нужна? **СИЛА И ГРОМКОСТЬ ЗВУКА; ПОРОГ СЛЫШИМОСТИ, БОЛЕВОЙ ПОРОГ.** Почему для вычисления громкости используют формулу не  $L = 10 \lg(\sigma/\sigma_0)$ , а  $L = 10 \cdot 10 \lg(\sigma/\sigma_0)$ ? Единицы измерения громкости. Что значит разница любых величин на 20 дБ? **ЧИСТЫЙ ТОН. АКУСТИЧЕСКИЙ СПЕКТР. СПЛОШНОЙ И ЛИНЕЙЧАТЫЙ СПЕКТРЫ; ШУМ. ШУМЫ РАЗНОЙ ЧАСТОТЫ. ВЫСОТА И ТЕМБР ЗВУКА.**



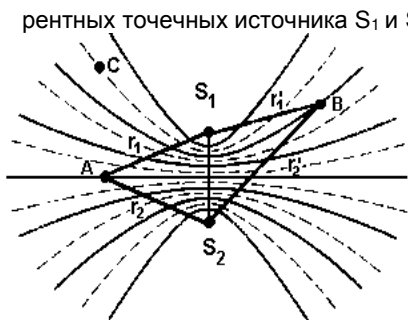
Самостоятельно. Доказать, что при отсутствии затухания амплитуда сферической волны убывает как  $A = A_0/r$   
**29. Затухание волн. Уравнения плоской и сферической затухающей волны. Дисперсия волн. Интерференция волн; стоячие волны.**

**ЛИНЕЙНЫЕ СРЕДЫ.** Почему при поглощении энергии линейной средой величина убыли энергии  $-dW = \gamma W \cdot dx$ ? Запись равенства с помощью показателя поглощения  $\gamma$ :  $-dW = \gamma W \cdot dx$ . **ЗАКОН БУГЕРА**; СМЫСЛ ПОКАЗАТЕЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ  $\gamma$ . **УРАВНЕНИЕ ПЛОСКОЙ И СФЕРИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ ОТ ИСТОЧНИКА, КОЛЕБЛЮЩЕГОСЯ ГАРМОНИЧЕСКИ, В ЛИНЕЙНОЙ СРЕДЕ СУЧЁТОМ ЗАТУХАНИЯ.** Есть ли нелинейные среды?

**ДИСПЕРСИЯ ВОЛН. ВОЛНОВОЙ ПАКЕТ. ГРУППОВАЯ СКОРОСТЬ.** Почему она может отличаться от фазовой? С какой скоростью переносится энергия волны?

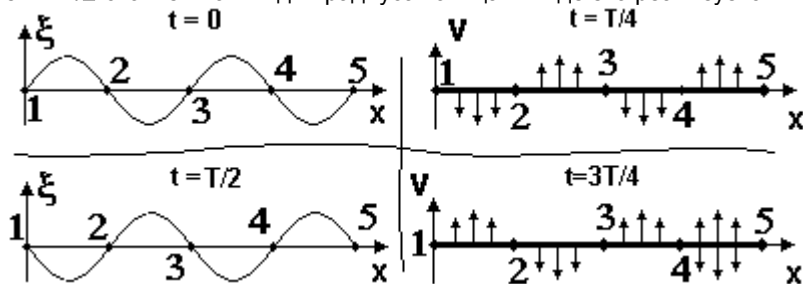


**ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦИИ ВОЛН. КОГЕРЕНТНЫЕ ИСТОЧНИКИ;** показать на приведённом рисунке когерентные за время наблюдения  $\tau$  колебания и объяснить, почему остальные не когерентны. А если время наблюдения уменьшить до  $\tau/2$ ? Важна ли начальная фаза и амплитуда? **СИНФАЗНЫЕ И ПРОТИВОФАЗНЫЕ КОЛЕБАНИЯ;** показать их на рисунке. **ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ВОЛН; ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ КАРТИНА.** Какое добавочное требование к направлению колебаний должно выполняться для получения простой картины? Если два когерентных

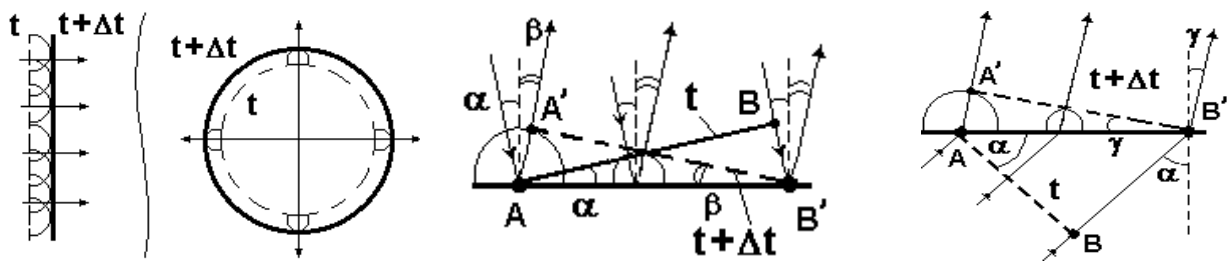


точечных источника  $S_1$  и  $S_2$  создадут поперечные сферические волны, то в какой плоскости будет наблюдаться такая картина? Как получить её на поверхности воды? **РАЗНОСТЬ ХОДА ВОЛН ДВУХ СИНФАЗНЫХ КОГЕРЕНТНЫХ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ. УСЛОВИЯ МАКСИМУМА И МИНИМУМА ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ КАРТИНЫ ПРИ СЛОЖЕНИИ КОЛЕБАНИЙ ОДНОГО НАПРАВЛЕНИЯ.** Почему в точке А должен быть максимум? Положение других максимумов: для сферических волн от точечных источников  $\xi_1(r_1, t) = (A_0/r_1) \cos(\omega t - kr_1 + \phi_0)$  и  $\xi_2(r_2, t) = (A_0/r_2) \cos(\omega t - kr_2 + \phi_0)$ ; для точек максимума разность фаз волн должна быть (почему?)  $0, 2\pi, 4\pi$  и т.д. Значит,  $k(r_2 - r_1) = 2\pi \cdot n$ , или  $r_2 - r_1 = 2\pi \cdot n/k$ . Уравнение какой кривой получено? Что изменится для положения минимумов? Если в точке В максимум, то одинакова ли его амплитуда с точкой А? Почему?

При встрече двух встречных плоских гармонических волн с уравнениями  $\xi_1 = A \cos(\omega t - kx)$  и  $\xi_2 = A \cos(\omega t + kx)$  результатом сложения будет  $\xi = \xi_1 + \xi_2 = 2A \cos(kx) \cos(\omega t) = 2A \cos(2\pi x/\lambda) \cos(\omega t)$ . **СТОЯЧАЯ ВОЛНА. Амплитуда стоячей волны  $A_{ст} = ?$**  Если  $2\pi x/\lambda = \pm n\pi$  ( $n=0, 1, 2, \dots$ ), то амплитуда? **ПУЧНОСТИ СТОЯЧЕЙ ВОЛНЫ;** координаты пучностей  $X_n = ?$  Расстояние между соседними пучностями? Если  $2\pi x/\lambda = \pm (n+1/2)\pi$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ), то амплитуда? **УЗЛЫ СТОЯЧЕЙ ВОЛНЫ;** координаты узлов  $X_n = ?$  Расстояние между соседними узлами? Между соседним узлом и пучностью? Чем замечательна идеальная стоячая волна, например, в кольце? Какой должна быть  $\lambda$  стоячей волны для радиуса кольца R? Где это реализуется в природе?

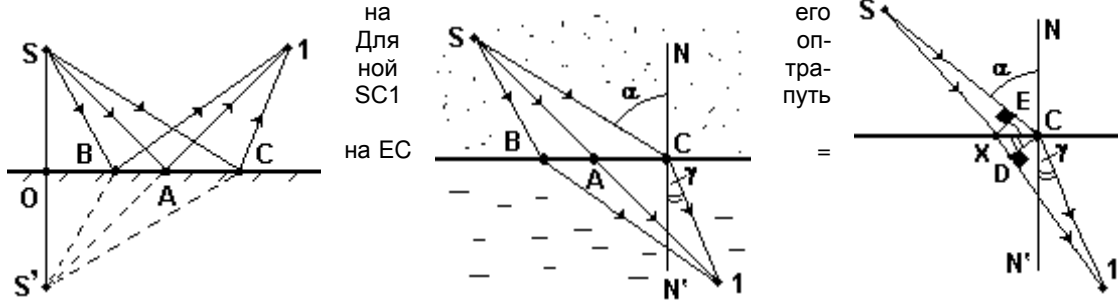


**30. Дифракция волн; принцип Гюйгенса; принцип Ферма. Эффект Доплера. Ударные волны.**  
**ДИФРАКЦИЯ ВОЛН; УСЛОВИЯ ЕЁ НАБЛЮДЕНИЯ.** Качественное объяснение распространения плоских и сферических волн в идеальной безграничной среде с помощью **ПРИНЦИПА ГЮЙГЕНСА**. Что такое **ЛУЧ** и **ОГИБА-**



ЮЩАЯ ПОВЕРХНОСТЬ? УГОЛ ПАДЕНИЯ  $\alpha$  И УГОЛ ОТРАЖЕНИЯ  $\beta$  ПЛОСКИХ ВОЛН НА ПЛОСКОЙ ГРАНИЦЕ СРЕД. ЗАКОН ОТРАЖЕНИЯ. УГОЛ ПРЕЛОМЛЕНИЯ  $\gamma$  ПЛОСКИХ ВОЛН НА ПЛОСКОЙ ГРАНИЦЕ СРЕД С РАЗНОЙ СКОРОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ ВОЛН. Получение закона преломления плоских волн (лучей) на такой границе:  $\sin\alpha/\sin\gamma = BB'/AA' = v_1\Delta t / v_2\Delta t = v_1 / v_2$ .

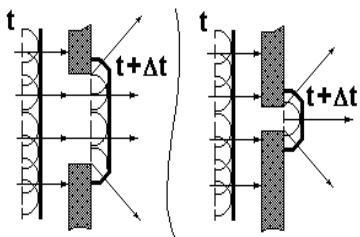
ПРИНЦИП ФЕРМА. Объяснить доказательство законов отражения и преломления



ломления  
основе  
траектории  
по земле  
длиннее

XC·sin(EXC), а для близкой к ней траектории SX1 - длиннее

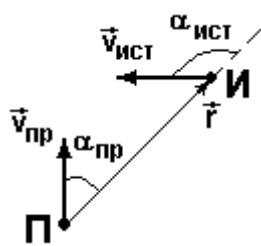
путь в воде на отрезок XD = XC·sin(XCD). Для одинакового минимального времени движения с учётом скорости движения на земле выше в  $n_{12}$  раз, чем в воде имеем равенство EC = XD· $n_{12}$ , или XC·sin(EXC) = XC·sin(XCD)· $n_{12}$ . Здесь  $\angle EXC = ?$ , а  $\angle XCD = ?$  Какой закон получен?



Качественное объяснение дифракции плоской волны в длинных прямых щелях разной ширины. Даёт ли принцип Гюйгенса количественную оценку энергии волн, движущихся после щели в разных направлениях? Что нового добавил Френель и что получил в итоге?

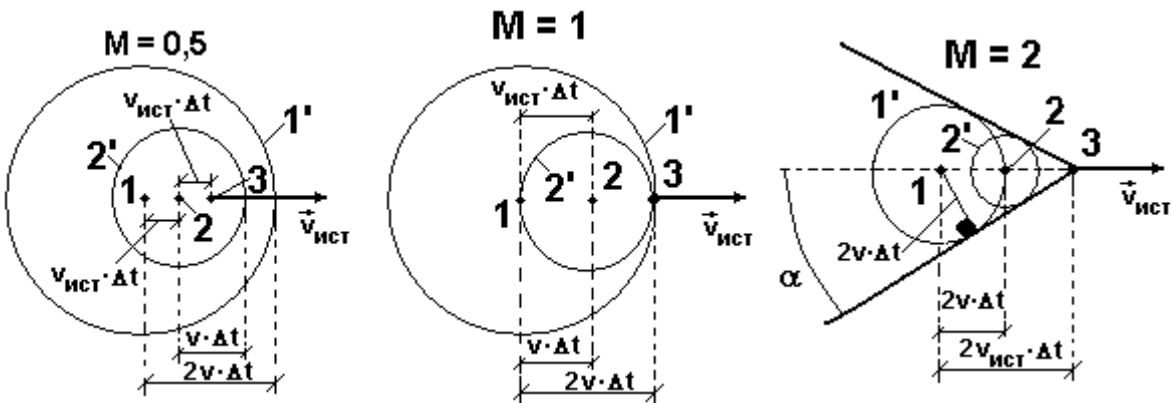
ЭФФЕКТ ДОПЛЕРА. Его количественное описание: если источник с частотой  $\nu_0$  со скоростью  $V_{ист}$  движется на неподвижный приёмник, то при скорости волны в среде  $V$  длина волны упадёт (почему?) до  $\lambda = ?$  Значит, Если приёмник неподвижен, то сжатые волны заставят его колебаться чаще с частотой  $\nu' = ?$

Если же приёмник со скоростью  $V_{пр}$  двинется навстречу сжатой волне, то частота добавочно вырастет (почему?)



до  $\nu = ?$ , т.е. полный рост частоты при сближении движущихся вдоль одной прямой источника и приёмника будет  $\nu = ?$  Что изменится при удалении движущихся вдоль одной прямой источника и приёмника? Если движение происходит не вдоль одной прямой, то для известных углов  $\alpha_{пр}$  и  $\alpha_{ист}$  общая формула примет вид  $\nu = ?$  Где применяется общая формула? Если  $\alpha_{пр} = \alpha_{ист} = \pm\pi/2$  (поперечный эффект Доплера), то  $\nu = ?$  ВАЖНОЕ УСЛОВИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ФОРМУЛ.

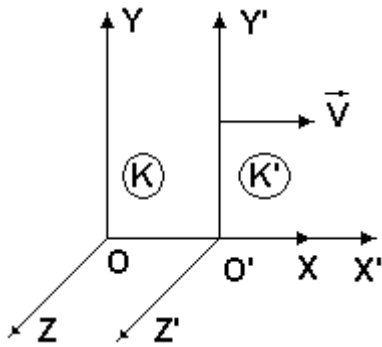
ЧИСЛО МАХА M. Объяснить особенности распространения волн при  $M = 0,5, 1$  и  $2$ . УДАРНЫЕ ВОЛНЫ; как они проявляются? ДЕТОНАЦИЯ, КОНУС МАХА;  $\sin\alpha = ?$



Самостоятельно. Доказать с помощью принципа Гюйгенса закон отражения  $\alpha = \beta$  плоских волн (параллельных лучей) на плоской границе

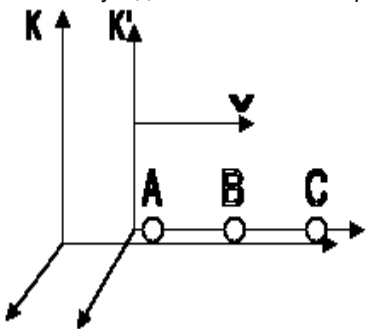
31. Преобразования Галилея. Постулаты Эйнштейна; частный принцип относительности. Преобразования Лоренца, их кинематические следствия.

ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ (ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГАЛИЛЕЯ). ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГАЛИЛЕЯ для неподвижной ИСО К и движущейся вдоль оси X со скоростью V ИСО К'. Получение теоремы сложения скоростей относительно К: из  $v_x = dx/dt$ ,  $v_x' = dx'/dt' = dx'/dt$ ,  $v_y = dy/dt$ ,  $v_y' = dy'/dt$ ,  $v_z = dz/dt$  и  $v_z' = dz'/dt \rightarrow v_x = v_x' + V$ ;  $v_y = v_y'$ ;  $v_z = v_z'$ . Для системы К'  $\rightarrow$  ?



Кажущаяся неприменимость принципа относительности к электромагнитным явлениям: если в системе К электрический заряд неподвижен, то наблюдатель фиксирует лишь ? поле; при переходе в К' будет добавочно фиксироваться ещё и ? поле. Что измерялось в ОПЫТЕ МАЙКЕЛЬСОНА (1881 г); что он доказал? Какие допущения, противоречащие постулатам классической механики, пришлось сделать в 1904 г. Лоренцу, чтобы формальным путём подобрать преобразования координат и, главное, времени, позволяющие правильно описать с помощью уравнений Максвелла электромагнитные явления в разных ИСО? ДВА ПОСТУЛАТА ЭЙНШТЕЙНА (1905 г.). Совпадают ли понятия: специальная теория относительности (СТО) и релятивистская механика (механика больших скоростей ИСО)? Объективный характер как не одновременности, так и, главное, разной длительности одного и того же события в разных ИСО на примере взрыва космического корабля «Челленджер». В какой ИСО событие имеет минимальную длительность? Сохраняется ли в СТО однородность пространства и времени?

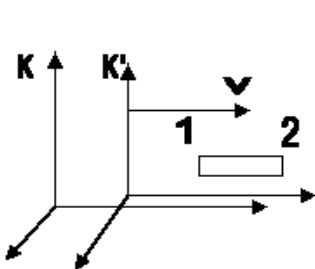
СОБЫТИЕ в СТО; параметры события в четырёхмерном пространстве событий или в пространстве-времени. ИНТЕРВАЛ между двумя событиями  $S_{12} = ?$  Совпадает ли интервал с длиной отрезка в четырёхмерном евклидовом пространстве-времени? Кинематические следствия постулатов Эйнштейна и преобразований Лоренца. 1. ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ОДНОВРЕМЕННОСТИ СОБЫТИЙ. Пусть в К' из неподвижной точки В в равноудалённые неподвижные точки А и С посылается импульс света и будет получен? А в системе К? 2. ИЗМЕНЕНИЕ ХОДА ВРЕМЕНИ. Пусть часы покоятся в точке 1' системы К', т.е. перемещаются из точки 1 в точку 2 системы К. Тогда с учётом хода времени координаты событий будут в К  $1(t_1, x_1, y_1, z_1)$  и  $2(t_2, x_2, y_1, z_1)$ ; в системе К' —  $1'(t'_1, x'_1, y'_1, z'_1)$  и  $2'(t'_2, x'_1, y'_1, z'_1)$ . Учтём прямые преобразования Лоренца:



$$t_1 = \frac{t'_1 + \frac{V}{c^2} x'_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad x_1 = \frac{x'_1 + Vt'_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad y_1 = y'_1, \quad z_1 = z'_1 \text{ и}$$

$$t_2 = \frac{t'_2 + \frac{V}{c^2} x'_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad x_2 = \frac{x'_1 + Vt'_2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad y_1 = y'_1, \quad z_1 = z'_1. \text{ Здесь } t'_1 \neq t'_2, \text{ т.е. } x_2 \neq x_1, \text{ как и должно быть. Существенно,}$$

$$\text{что } t_2 - t_1 = \frac{t'_2 - t'_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \text{ или } \Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}. \text{ СОБСТВЕННОЕ ВРЕМЯ } \Delta \tau = \Delta t' \text{ как МИНИМАЛЬНАЯ ИНВАРИ-}$$



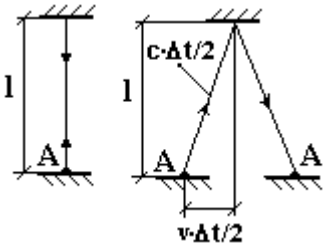
АНТНАЯ (одинаковая во всех ИСО) ВЕЛИЧИНА;  $\Delta \tau = \Delta t \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$ . Объяснить,

почему в данной точке любой ИСО малый интервал  $ds = cd\tau$  будет инвариантом СТО. Изменится ли результат для длины отрезка в четырёхмерном пространстве-времени  $ds^2$  для разных событий в разных ИСО? 3. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ И НЕИЗМЕННОСТЬ ПОПЕРЕЧНОЙ ДЛИНЫ. Пусть линейка ориентирована вдоль осей абсцисс и неподвижна в К'. Определение координат её концов  $x_1$  и  $x_2$  в системе К делаем в момент времени  $t_1$ . Тогда в К' изменятся и координаты, и время: в К события  $1(t_1, x_1, y_1, z_1)$  и  $2(t_1, x_2, y_1, z_1)$  одновременны, а в К' нет —  $1'(t'_1, x'_1, y_1, z_1)$  и  $2'(t'_2, x'_2, y_1, z_1)$ . Используя обратные

$$\text{преобразования Лоренца: } t'_1 = \frac{t_1 - \frac{V}{c^2} x_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad x'_1 = \frac{x_1 - Vt_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad y'_1 = y_1, \quad z'_1 = z_1, \quad t'_2 = \frac{t_1 - \frac{V}{c^2} x_2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad x'_2 = \frac{x_2 - Vt_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}},$$

$y'_1 = y_1, z'_1 = z_1$ , получим  $x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$  или  $\Delta l' = \frac{\Delta l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ . СОБСТВЕННАЯ ДЛИНА  $\Delta l_0 = \Delta l'$  как МАКСИМАЛЬНАЯ ИНВАРИАНТНАЯ ДЛИНА:  $\Delta l = \Delta l_0(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ . Для поперечных линеек  $\Delta z = \Delta z', \Delta y = \Delta y'$ .

4. ТЕОРЕМА СЛОЖЕНИЯ СКОРОСТЕЙ. В классической механике  $v_x = v'_x + V; v_y = v'_y; v_z = v'_z$ . В СТО из прямых преобразования Лоренца можно получить  $v_x = \frac{v'_x + V}{1 + \frac{Vv'_x}{c^2}}, v_y = \frac{v'_y \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}{1 + \frac{Vv'_x}{c^2}}, v_z = \frac{v'_z \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}{1 + \frac{Vv'_x}{c^2}}$ .



Объективность изменения хода времени в мысленном эксперименте на примере световых часов с двумя параллельными зеркалами: для неподвижных часов промежуток времени между посылкой импульса света из точки A и возвратом в ту же точку (1 «тик»)  $\Delta t_0 = 2l/c$ . Если часы двинутся вправо со скоростью  $v$ , то это время из-за роста увеличения расстояния вырастет до  $\Delta t$ , причём  $(c\Delta t/2)^2 = (v\Delta t/2)^2 + l^2$ . Отсюда  $\Delta t = 2l/(c^2 - v^2)^{1/2} = 2l/[c(1 - v^2/c^2)^{1/2}]$ . Но здесь  $2l/c = \Delta t_0$ , т.е.  $\Delta t = \Delta t_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ . Изменится ли результат при произвольной ориентации параллельных зеркал? В реальных опытах с медленными (1-2 км/с)  $\mu$ -мезонами в лаборатории он успевает пройти 2-4 мм, т.е. собственное время жизни  $\Delta t_0 \approx ?$  После удара релятивистской

космической частицы вторичные  $\mu$ -мезоны проходят 20-30 км. Как это объяснить в земной системе K и в системе K', связанной с  $\mu$ -мезоном?

### 32. Релятивистская динамика. Импульс и энергия частицы; связь энергии и массы.

1. Учтя, что инвариантом в СТО является собственное время  $d\tau = dt(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ , для релятивистской скорости имеем  $\vec{u} = d\vec{r}/d\tau = \vec{v}/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ , где  $\vec{v}$  - классический вектор скорости. Тогда в проекциях на декартовы оси  $u_x = v_x/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ ,  $u_y = v_y/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$  и  $u_z = v_z/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ .

2. Для частицы с массой  $m$  и релятивистской скоростью  $\vec{u}$  релятивистский импульс  $\vec{p} = m\vec{u} = m\vec{v}/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ , где МАССА ПОКОЯ  $m$  является? Что иногда называют скаляром релятивистской массы и является ли это доказательством зависимости массы частицы от величины её скорости? Проекция релятивистского импульса на декартовы оси имеют вид?:

3. Релятивистское ускорение  $\vec{w} = \frac{d\vec{u}}{d\tau} = \frac{d\vec{u}}{dt} \frac{dt}{d\tau}$ . Введя вектор классического ускорения  $\vec{a} = d\vec{v}/dt$ , имеем:

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right) = \frac{\vec{a} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} + \vec{v} \frac{v \cdot \vec{a}}{c^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}^2} = \frac{\vec{a}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}^3}. \text{ Тогда } \vec{w} = \frac{d\vec{u}}{d\tau} = \frac{\vec{a}}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^2}.$$

4. Основное уравнение релятивистской динамики  $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{f}$  для разных направлений силы.

а) Если сила параллельна скорости и скорость меняется лишь по величине, то

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = m \frac{\vec{a} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} + \vec{v} \frac{v \cdot \vec{a}}{c^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}^2} = \frac{m\vec{a}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}^3} = m\vec{w} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \text{ Значит, 2-й закон Ньютона здесь примет вид}$$

$$m\vec{w}\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = \frac{m\vec{a}}{\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}} = \vec{f}, \text{ и можно ввести скаляр продольной релятивистской массы}$$

б) Если сила перпендикулярна скорости, то скорость меняется по направлению, но постоянна по величине.

Тогда 2-й закон Ньютона примет вид  $\frac{m\vec{a}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \vec{f}$ , и можно ввести скаляр поперечной релятивистской массы.

5. Можно доказать, что ПОЛНАЯ ЭНЕРГИЯ релятивистской частицы  $E = mc^2/(1-v^2/c^2)^{1/2}$ . Для  $v \ll c$

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = mc^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} \approx mc^2 + \frac{mv^2}{2}. \text{ ЭНЕРГИЯ ПОКОЯ; почему это инвариант СТО? Отсюда}$$

точная величина кинетической энергии релятивистской частицы  $E_k = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - mc^2$ , а связь полной энергии

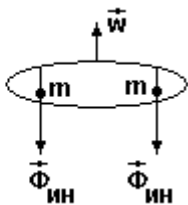
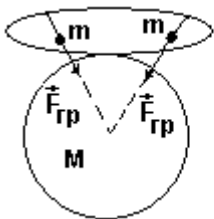
с импульсом  $\vec{p} = \frac{E}{c^2} \vec{v}$ . Тогда  $E^2 - p^2 c^2 = E^2 - (E^2 v^2 c^2 / c^4) = E^2 (1 - v^2/c^2)$ . Из определения полной энергии

$E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4$ . Значит, по отдельности ни  $E$ , ни  $p$  инвариантами СТО не являются, а вот  $E^2 - p^2 c^2$ ? Введение инвариантного вектора энергии-импульса в четырёхмерном пространстве событий, пространственными проекциями которого будут проекции релятивистского импульса, а временная проекция пропорциональна полной энергии  $E$ . Можно доказать, что в разных ИСО проекции меняются по аналогу прямых и обратных преобразований Лоренца. Вот пример прямых преобразований.

$$E = \frac{E' + Vp'_x}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}, p_x = \frac{p'_x + \frac{V}{c^2} E'}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}, p_y = p'_y, p_z = p'_z. \text{ Объяснение гигантской энергии покоя любого тела на}$$

базе аналогии с энергией связи тяжёлых нестабильных ядер – основы атомной энергетики и ядерного оружия. Что такое ДЕФЕКТ МАССЫ; обнаруживается ли он в макромире? Можно ли обнаружить дефект массы при нагреве или в химических реакциях типа взрыва и горения? Почему? В какой реакции полная энергия частиц выделяется полностью? Реализована ли реакция в опытах и можно ли это считать исчезновением вещества?

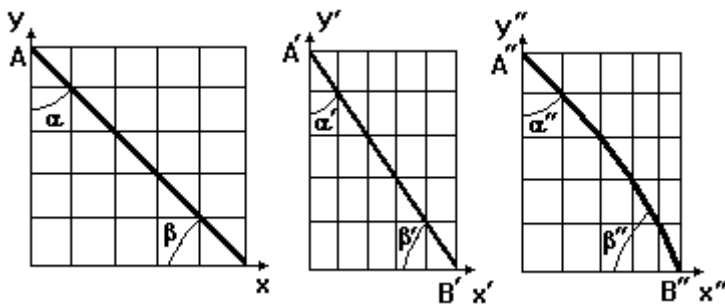
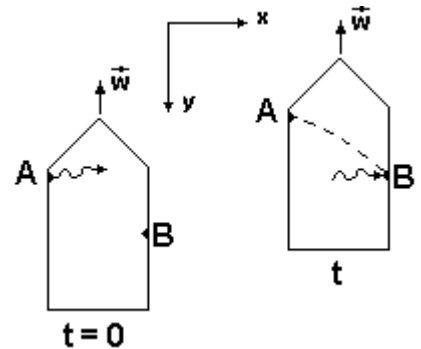
### 33. Принцип эквивалентности систем отсчёта. Основные идеи общей теории относительности (ОТО).



ПРИНЦИП ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ. Какое общее свойство сил инерции и гравитации лежит в его основе? Применим ли он в больших объёмах пространства и для произвольно движущейся НСО? Как в большом объёме отличить действие гравитационного поля с центральной симметрией от поступательного движения НСО? ОБЩИЙ ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ; чем он шире первого постулата Эйнштейна, лежащего в основе СТО?

Искривление траектории светового импульса в корабле, разгоняющемся

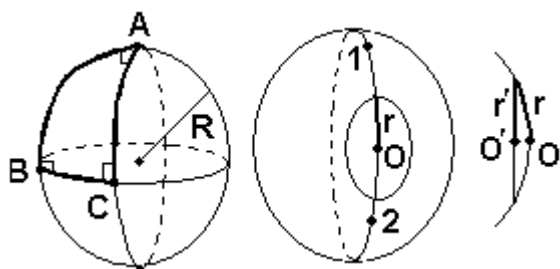
с постоянным ускорением  $w$ : за время разгона  $t$   $x = ct$ ,  $y = wt^2/2 \rightarrow y = ?$ . Расчёт по классическим формулам искривления луча света вблизи края Солнца (Зольднер, 1801 г.) дал  $0,875''$ , а опыты 20 века  $1,75''$ . Силовой подход классической физики и подход Эйнштейна с искривлением пространства. Модель с натянутой горизонтально пластиковой плёнкой, где лёгкие шарики движутся прямолинейно до тех пор, пока не положили тяжёлый шар, искривляющий поверхность плёнки. Доказательства изменения геометрии в НСО на основе результатов СТО. 1. В неподвижной ИСО  $K$  сумма углов треугольника = ?. Изменится ли результат в ИСО  $K'$ , движущейся со скоростью  $v$  вдоль оси  $X$ . А в НСО  $K''$ , движущейся с постоянным ускорением  $w$  вдоль оси  $X$ ? 2. Что происходит с длиной обода раскручиваемого вокруг оси симметрии диска при больших оборотах? А с длиной радиуса диска? Значит? Сохраняются ли



Сохраняются ли

в НСО (т.е. и в гравитационном поле) классические свойства пространства и времени и связанные с ними законы сохранения?

Что такое плоское евклидово пространство? Является ли четырёхмерное пространство событий СТО плоским и евклидовым? Почему первую неевклидову геометрию Лобачевского долго не признавали? Является ли геометрия Римана на поверхности шара евклидовой и при каком условии они совпадут? Каковы здесь максимальная сумма углов треугольника; отношение длины достаточно большой окружности к её радиусу; как надо проводить



ГЕОДЕЗИЧЕСКУЮ ЛИНИЮ? Совпадает ли кратчайшая линия на плоской карте в проекции Меркатора с реальной кратчайшей траекторией самолёта? Почему не удаётся обнаружить кривизну пространства вблизи Земли? Экспериментальные подтверждения ОТО. 1. Расчёт искривления луча света вблизи края Солнца в ОТО дал? 2. ОПЫТ ПАУНДА И РЕБКИ: его суть,



результаты и объяснение. 3. Более поздние опыты по влиянию гравитационного поля на ход времени. 4. Расчёт смещения перигелия Меркурия: В наблюдениях скорость смещения перигелия составляет  $5600''$  за 100 лет; учёт влияния других планет в рамках классической механики даёт  $5557''$  за 100 лет; разница в  $43''$  за 100 лет? Велика ли разница результатов ОТО и классической механики для не очень сильных гравитационных полей? Есть ли во Вселенной очень сильные гравитационные поля? В чём сложность получения и решения уравнений ОТО? Отличаются ли полученные на базе ОТО результаты решения Шварцшильда для гравитационного радиуса  $R_{гр}$  массивного тела, от которого не может уйти даже свет, от классического решения Лапласа? У Лапласа тело массой  $m$  находится в покое на поверхности шара радиусом  $R$  и массой  $M$ , т.е. ПМЭ совпадёт с потенциальной гравитационной энергией  $-G \cdot M \cdot m / R$ . Для ухода на бесконечность телу нужно сообщить кинетическую энергию  $m \cdot v^2 / 2$ , что для  $v = c$  даст  $R_{гр} = ?$

Является ли теория гравитации достаточно завершённой?

### 12. Билеты к экзамену по курсу «Механика»

Утверждаю

Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

09.03.2023

### БИЛЕТ № 1

1. Физика. Механика. Механика Ньютона. Свойства пространства и времени в механике Ньютона (классической механике). Основные абстрактные понятия механики: частица, система частиц (механическая система), твёрдое тело (ТТ), упругое и пластичное тело, сплошная среда. Система отсчёта. Описание положения частицы в координатной и векторной форме; связь этих форм

2. Применить формулы динамики СТО

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

09.03.2023

### БИЛЕТ № 2

1. Кинематика. Траектория. Уравнения движения, перемещение, скорость и ускорение частицы в координатной и векторной форме; связь этих форм.

2. Применить формулы кинематики СТО

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

09.03.2023

### БИЛЕТ № 3

1. Описание движения в естественной форме. Равномерное, равнопеременное и произвольное движения.

2. Большой жёсткий лист в воздухе гармонически колеблется в направлении, нормальном его плоскости с амплитудой  $A = 1$  см и частотой  $\nu = 20$  Гц. Найти длину волны; учитывая поглощение звука, оценить амплитуду колебаний в 1 м от листа и записать уравнение упругой волны в воздухе. Скорость звука в воздухе  $330$  м/с; коэффициент поглощения принять равным  $0,1 \text{ м}^{-1}$ .

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

Физики. Механика.

**БИЛЕТ № 4**

1. Движение брошенного тела.
2. Для предложенных преподавателем груза известной массы и пружины оценить коэффициент жёсткости пружины и период свободных колебаний при малом трении. Выбрав способ возбуждения и разумную амплитуду колебаний, записать уравнение свободных колебаний.

Экзаменатор  
Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

Физики. Механика.

**БИЛЕТ № 5**

1. Описание поступательного движения и вращения ТТ вокруг неподвижной оси.
2. По уравнению гармонического колебания построить его график или по графику гармонического колебания записать его уравнение..

Экзаменатор  
Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

Физики. Механика.

**БИЛЕТ № 6**

1. Формулы кинематики вращения ТТ вокруг неподвижной оси. Таблица формул кинематики. Вращение ТТ вокруг неподвижной точки. Произвольное движение ТТ.
2. Решить главную задачу статики.

Экзаменатор  
Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

Физики. Механика.

**БИЛЕТ № 7**

1. Относительность движения. Абсолютное, переносное, относительное движение. Теорема сложения скоростей в случае поступательного и произвольного переносного движения. Теорема сложения ускорений.
2. Для прямого центрального удара шаров найти скорости после удара.

Экзаменатор  
Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

Физики. Механика.

**БИЛЕТ № 8**

1. Динамика. Инертность тела. Инертная масса. Импульс частицы. Сила. Инерциальная (ИСО) и неинерциальная (НСО) система отсчёта. Три закона Ньютона; формы записи второго закона. Равнодействующая сил.
2. Применить закон сохранения ПМЭ.

Экзаменатор  
Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

Физики. Механика.

**БИЛЕТ № 9**

1. Принцип относительности Галилея. Две задачи динамики. Примеры решения прямой и обратной задачи.
2. Применить теорему об изменении кинетической энергии или ПМЭ для ТТ.



Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

09.03.2023

**БИЛЕТ № 10**

1. Движение в НСО. Силы инерции; их проявления на Земле.
2. Применить закон сохранения момента импульса ТТ с частями, которые могут изменять положение и затем вновь застыть.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

09.03.2023

**БИЛЕТ № 11**

1. Силы всемирного тяготения и тяжести. Теории далеко- и близкодействия. Вес.
2. Применить теорему об изменении момента импульса ТТ.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

09.03.2023

**БИЛЕТ № 12**

1. Силы упругости и деформация упругих тел в механике. Гидро- и аэростатика. Давление в жидкости и газе. Закон Паскаля. Сжимаемость жидкостей и газов. Закон Архимеда. Плавание тел.
2. Найти момент инерции и момент импульса ТТ.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

09.03.2023

**БИЛЕТ № 13**

1. Силы трения в механике. Угол трения.
2. Найти момент силы и применить основной закон динамики вращения ТТ вокруг неподвижной оси.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

09.03.2023

**БИЛЕТ № 14**

1. Теорема об изменении импульса частицы. Система частиц (механическая система МС). Импульс МС. Теорема об изменении импульса МС.
2. Найти положение центра масс ТТ и применить теорему о его движении.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

09.03.2023

**БИЛЕТ № 15**

1. Центр масс МС. Теорема о движении центра масс. Закон сохранения импульса.
2. Применить теорему об изменении кинетической энергии ТТ.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

09.03.2023

**БИЛЕТ № 16**

1. Момент силы (вращающий момент). Момент импульса частицы и МС. Теорема об изменении и закон сохранения момента импульса МС.

2. Применить закон сохранения импульса МС.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

09.03.2023

**БИЛЕТ № 17**

1. Основной закон динамики вращения ТТ вокруг неподвижной оси. Момент инерции ТТ; его вычисление. Момент импульса ТТ. Теорема об изменении и закон сохранения момента импульса ТТ.

2. Найти положение центра масс МС или ТТ.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

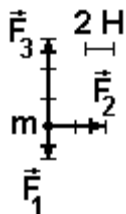
Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

09.03.2023

**БИЛЕТ № 18**



1. Движение свободного ТТ; свободные оси вращения. Гироскопы; их свойства. Гироскопический эффект и гироскопические силы.

2. На столе лежал груз массой 1 кг. К нему приложили 3 горизонтальные неизменные силы, направление и величина которых (на виде сверху) указаны на рисунке. Куда и на сколько сместится груз через 2 с действия сил, если коэффициент трения груза о стол 0,4?

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

09.03.2023

**БИЛЕТ № 19**

1. Механическая работа и мощность. Кинетическая энергия частицы; теорема об её изменении. Кинетическая энергия МС и ТТ; теорема Кёнига. Теоремы об изменении кинетической энергии МС и ТТ.

2. Применить теорему об изменении импульса.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

09.03.2023

**БИЛЕТ № 20**

1. Потенциальная энергия упругого и гравитационного взаимодействия. Общие свойства потенциальной энергии. Консервативные и диссипативные силы. Консервативная МС. Полная механическая энергия (ПМЭ). Закон сохранения и теоремы об изменении ПМЭ. Другие виды энергии; закон сохранения энергии.

2. В опыте оценить коэффициент сухого трения скольжения.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

**БИЛЕТ № 21**

1. Связь консервативных сил и потенциальной энергии. Виды равновесия МС; описание возможности движения по виду потенциальной энергии. Условия равновесия ТТ в статике; главная задача статики.
2. В опыте найти коэффициент упругости тела и другие его упругие характеристики, которые можно найти.

Экзаменатор Михайлов С.П.  
Утверждаю Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

**БИЛЕТ № 22**

1. Динамика идеальных жидкостей и несжимаемых газов. Уравнение неразрывности струи. Уравнение Бернулли и следствия из него. Формула Торричелли.
2. Решить обратную задачу механики.

Экзаменатор Михайлов С.П.

Утверждаю Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

**БИЛЕТ № 23**

1. Динамика реальной жидкости и газа. Вязкость жидкости. Ламинарное и турбулентное течения. Движение тел в жидкости и газе.
2. Указать силы в 3-м законе Ньютона для тел, падающих на Землю; лежащих на Земле; покоящихся на наклонной плоскости за счёт трения.

Экзаменатор Михайлов С.П.

Утверждаю Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

**БИЛЕТ № 24**

1. Основные понятия теории колебаний. Механические идеальные, затухающие и вынужденные колебания. Пружинный маятник; его энергия. Математический и физический маятники.
2. Решить главную задачу механики для частицы, движущейся без сопротивления воздуха вблизи Земли.

Экзаменатор Михайлов С.П.

Утверждаю Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

**БИЛЕТ № 25**

1. Сложение гармонических колебаний одинакового направления; биения. Сложение перпендикулярных гармонических колебаний; фигуры Лиссажу.
2. Найти силы инерции.

Экзаменатор Михайлов С.П.

Утверждаю Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

**БИЛЕТ № 26**

1. Свободные колебания с учётом вязкого трения при малых колебаниях. Их характеристики.
2. Найти ускорение относительно Солнца тела на поверхности Земли.

Экзаменатор Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

Физики. Механика.

**БИЛЕТ № 27**

1. Вынужденные колебания с учётом вязкого трения при малых колебаниях. Резонанс.
2. Найти скорость относительно Солнца тела на поверхности Земли.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

Физики. Механика.

**БИЛЕТ № 28**

1. Волна. Упругая (механическая) волна. Продольные и поперечные волны; волновой фронт. Энергия волны; плотность потока энергии (вектор Умова). Уравнения плоской и сферической гармонической незатухающей волны. Элементы акустики.
2. Указав абсолютное, переносное и относительное движения, применить теорему сложения ускорений.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

Физики. Механика.

**БИЛЕТ № 29**

1. Затухание волн; закон Бугера. Уравнения плоской и сферической затухающей волны. Дисперсия волн. Интерференция волн; стоячие волны.
2. Указав абсолютное, переносное и относительное движения, применить теорему сложения скоростей.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

Физики. Механика.

**БИЛЕТ № 30**

1. Дифракция волн; принцип Гюйгенса; принцип Ферма. Эффект Доплера. Ударные волны.
2. Определить характер движения ТТ и кинематически описать движение одной из его точек.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

Физики. Механика.

**БИЛЕТ № 31**

1. Преобразования Галилея. Постулаты Эйнштейна; частный принцип относительности. Преобразования Лоренца, их кинематические следствия.
2. Для брошенного под углом к горизонту тела найти все указанные преподавателем параметры движения,

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
09.03.2023

Физики. Механика.

**БИЛЕТ № 32**

1. Релятивистская динамика. Импульс и энергия частицы; связь энергии и массы.
2. По заданным уравнениям движения точки в координатной или естественной форме определить все возможные кинематические параметры её движения.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Физики. Механика.

Богданова Р.А.

09.03.2023

**БИЛЕТ № 33**

1. Принцип эквивалентности систем отсчёта. Основные идеи общей теории относительности (ОТО).
2. По координатам начала и конца вектора, **заданными преподавателем**, найти длину и направление вектора, а также его проекции на координатные оси. Сложить несколько векторов; разложить вектор на составляющие; найти проекции вектора.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

**Составитель – проф. С.П. Михайлов**

**И.о. заведующего кафедрой математики, физики и информатики \_\_\_\_\_ Р.А Богданова**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Горно-Алтайский государственный университет»  
Кафедра математики, физики и информатики

**ФОНД  
ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

по дисциплине  
«МЕХАНИКА»

Уровень основной образовательной программы **бакалавриат**  
Для направления подготовки 03.03.02 Физика  
Профиль подготовки «Цифровые технологии в альтернативной энергетике»

Составитель – к.ф.-м.н., проф. Михайлов С.П.



Утвержден на заседании кафедры  
«\_11\_»\_04\_2024 г., протокол № 8

И.о. заведующего кафедрой



Богданова Р.А.

Горно-Алтайск 2024

## Пояснительная записка

1. Оценочные средства предназначены для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу учебной дисциплины «МЕХАНИКА»

2. Фонд оценочных средств включает контрольные материалы для проведения текущего контроля в формах, указанных ниже, и промежуточной аттестации по билетам на экзамене.

А) Формы текущего контроля: списки понятий, используемых на практических занятиях; домашние задачи; изучаемые самостоятельно теоретические вопросы; контрольные работы; вопросы теоретического собеседования во время выполнения лабораторных работ; перечень отрабатываемых в лаборатории экспериментальных умений.

Б) Промежуточная аттестация: собеседование по теории и проверка экспериментально-практических умений на экзамене по билетам.

## ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ БИЛЕТЫ

по дисциплине «Механика»

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
11.04.2024, протокол № 8,

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

### БИЛЕТ № 1

1. Физика. Механика. Механика Ньютона. Свойства пространства и времени в механике Ньютона (классической механике). Основные абстрактные понятия механики: частица, система частиц (механическая система), твёрдое тело (ТТ), упругое и пластичное тело, сплошная среда. Система отсчёта. Описание положения частицы в координатной и векторной форме; связь этих форм

2. Применить формулы динамики СТО

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю  
Зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
11.04.2024, протокол № 8

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

### БИЛЕТ № 2

1. Кинематика. Траектория. Уравнения движения, перемещение, скорость и ускорение частицы в координатной и векторной форме; связь этих форм.

2. Применить формулы кинематики СТО

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю  
Зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
11.04.2024, протокол № 8

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

### БИЛЕТ № 3

1. Описание движения в естественной форме. Равномерное, равнопеременное и произвольное движения.

2. Большой жёсткий лист в воздухе гармонически колеблется в направлении, нормальном его плоскости с ампли-

тудой  $A = 1$  см и частотой  $\nu = 20$  Гц. Найти длину волны; учитывая поглощение звука, оценить амплитуду колебаний в 1 м от листа и записать уравнение упругой волны в воздухе. Скорость звука в воздухе 330 м/с; коэффициент поглощения принять равным  $0,1 \text{ м}^{-1}$ .

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 4

1. Движение брошенного тела.

2. Для предложенных преподавателем груза известной массы и пружины оценить коэффициент жёсткости пружины и период свободных колебаний при малом трении. Выбрав способ возбуждения и разумную амплитуду колебаний, записать уравнение свободных колебаний.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 5

1. Описание поступательного движения и вращения ТТ вокруг неподвижной оси.

2. По уравнению гармонического колебания построить его график или по графику гармонического колебания записать его уравнение..

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 6

1. Формулы кинематики вращения ТТ вокруг неподвижной оси. Таблица формул кинематики. Вращение ТТ вокруг неподвижной точки. Произвольное движение ТТ.

2. Решить главную задачу статики.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 7

1. Относительность движения. Абсолютное, переносное, относительное движение. Теорема сложения скоростей в случае поступательного и произвольного переносного движения. Теорема сложения ускорений.

2. Для прямого центрального удара шаров найти скорости после удара.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 8



1. Динамика. Инертность тела. Инертная масса. Импульс частицы. Сила. Инерциальная (ИСО) и неинерциальная (НСО) система отсчёта. Три закона Ньютона; формы записи второго закона. Равнодействующая сил.
2. Применить закон сохранения ПМЭ.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
11.04.2024, протокол № 8

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

#### **БИЛЕТ № 9**

1. Принцип относительности Галилея. Две задачи динамики. Примеры решения прямой и обратной задачи.
2. Применить теорему об изменении кинетической энергии или ПМЭ для ТТ.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
11.04.2024, протокол № 8

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

#### **БИЛЕТ № 10**

1. Движение в НСО. Силы инерции; их проявления на Земле.
2. Применить закон сохранения момента импульса ТТ с частями, которые могут изменять положение и затем вновь застыть.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
11.04.2024, протокол № 8

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

#### **БИЛЕТ № 11**

1. Силы всемирного тяготения и тяжести. Теории далеко- и близкодействия. Вес.
2. Применить теорему об изменении момента импульса ТТ.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
11.04.2024, протокол № 8

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

#### **БИЛЕТ № 12**

1. Силы упругости и деформация упругих тел в механике. Гидро- и аэростатика. Давление в жидкости и газе. Закон Паскаля. Сжимаемость жидкостей и газов. Закон Архимеда. Плавание тел.
2. Найти момент инерции и момент импульса ТТ.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
11.04.2024, протокол № 8

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

#### **БИЛЕТ № 13**

1. Силы трения в механике. Угол трения.
2. Найти момент силы и применить основной закон динамики вращения ТТ вокруг неподвижной оси.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 14

1. Теорема об изменении импульса частицы. Система частиц (механическая система МС). Импульс МС. Теорема об изменении импульса МС.

2. Найти положение центра масс ТТ и применить теорему о его движении.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 15

1. Центр масс МС. Теорема о движении центра масс. Закон сохранения импульса.

2. Применить теорему об изменении кинетической энергии ТТ.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 16

1. Момент силы (вращающий момент). Момент импульса частицы и МС. Теорема об изменении и закон сохранения момента импульса МС.

2. Применить закон сохранения импульса МС.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 17

1. Основной закон динамики вращения ТТ вокруг неподвижной оси. Момент инерции ТТ; его вычисление. Момент импульса ТТ. Теорема об изменении и закон сохранения момента импульса ТТ.

2. Найти положение центра масс МС или ТТ.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

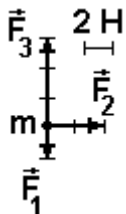
Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 18



1. Движение свободного ТТ; свободные оси вращения. Гироскопы; их свойства. Гироскопический эффект и гироскопические силы.

2. На столе лежал груз массой 1 кг. К нему приложили 3 горизонтальные неизменные силы, направление и величина которых (на виде сверху) указаны на рисунке. Куда и на сколько сместится груз

через 2 с действия сил, если коэффициент трения груза о стол 0,4?

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 19

1. Механическая работа и мощность. Кинетическая энергия частицы; теорема об её изменении. Кинетическая энергия МС и ТТ; теорема Кёнига. Теоремы об изменении кинетической энергии МС и ТТ.

2. Применить теорему об изменении импульса.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 20

1. Потенциальная энергия упругого и гравитационного взаимодействия. Общие свойства потенциальной энергии. Консервативные и диссипативные силы. Консервативная МС. Полная механическая энергия (ПМЭ). Закон сохранения и теоремы об изменении ПМЭ. Другие виды энергии; закон сохранения энергии.

2. В опыте оценить коэффициент сухого трения скольжения.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 21

1. Связь консервативных сил и потенциальной энергии. Виды равновесия МС; описание возможности движения по виду потенциальной энергии. Условия равновесия ТТ в статике; главная задача статики.

2. В опыте найти коэффициент упругости тела и другие его упругие характеристики, которые можно найти.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 22

1. Динамика идеальных жидкостей и несжимаемых газов. Уравнение неразрывности струи. Уравнение Бернулли и следствия из него. Формула Торричелли.

2. Решить обратную задачу механики.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики

Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 23

1. Динамика реальной жидкости и газа. Вязкость жидкости. Ламинарное и турбулентное течения. Движение тел в жидкости и газе.

2. Указать силы в 3-м законе Ньютона для тел, падающих на Землю; лежащих на Земле; покоящихся на наклонной плоскости за счёт трения.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 24

1. Основные понятия теории колебаний. Механические идеальные, затухающие и вынужденные колебания. Пружинный маятник; его энергия. Математический и физический маятники.
2. Решить главную задачу механики для частицы, движущейся без сопротивления воздуха вблизи Земли.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 25

1. Сложение гармонических колебаний одинакового направления; биения. Сложение перпендикулярных гармонических колебаний; фигуры Лиссажу.
2. Найти силы инерции.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 26

1. Свободные колебания с учётом вязкого трения при малых колебаниях. Их характеристики.
2. Найти ускорение относительно Солнца тела на поверхности Земли.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 27

1. Вынужденные колебания с учётом вязкого трения при малых колебаниях. Резонанс.
2. Найти скорость относительно Солнца тела на поверхности Земли.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.  
И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
11.04.2024, протокол № 8

#### БИЛЕТ № 28

1. Волна. Упругая (механическая) волна. Продольные и поперечные волны; волновой фронт. Энергия волны; плотность потока энергии (вектор Умова). Уравнения плоской и сферической гармонической незатухающей волны. Элементы акустики.
2. Указав абсолютное, переносное и относительное движения, применить теорему сложения ускорений.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.  
11.04.2024, протокол № 8

### БИЛЕТ № 29

1. Затухание волн; закон Бугера. Уравнения плоской и сферической затухающей волны. Дисперсия волн. Интерференция волн; стоячие волны.
2. Указав абсолютное, переносное и относительное движения, применить теорему сложения скоростей.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

### БИЛЕТ № 30

1. Дифракция волн; принцип Гюйгенса; принцип Ферма. Эффект Доплера. Ударные волны.
2. Определить характер движения ТТ и кинематически описать движение одной из его точек.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

### БИЛЕТ № 31

1. Преобразования Галилея. Постулаты Эйнштейна; частный принцип относительности. Преобразования Лоренца, их кинематические следствия.
2. Для брошенного под углом к горизонту тела найти все указанные преподавателем параметры движения,

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

### БИЛЕТ № 32

1. Релятивистская динамика. Импульс и энергия частицы; связь энергии и массы.
2. По заданным уравнениям движения точки в координатной или естественной форме определить все возможные кинематические параметры её движения.

Экзаменатор

Михайлов С.П.

Утверждаю

Горно-Алтайский госуниверситет. Физики. Механика.

И.о. зав. кафедрой математики, физики и информатики  
Богданова Р.А.

11.04.2024, протокол № 8

### БИЛЕТ № 33

1. Принцип эквивалентности систем отсчёта. Основные идеи общей теории относительности (ОТО).
2. По координатам начала и конца вектора, **заданными преподавателем**, найти длину и направление вектора, а также его проекции на координатные оси. Сложить несколько векторов; разложить вектор на составляющие; найти проекции вектора.

### Критерии оценки:

- оценка «отлично» выставляется студенту, если студент полностью владеет важнейшими физическими понятиями, выделенными для заучивания, практическое умение показано без замечаний и теоретический вопрос раскрыт полностью.

- оценка «хорошо» выставляется студенту, если студент свободно владеет важнейшими физическими понятиями, выделенными для заучивания, но практическое умение показано с замечаниями или теоретический вопрос раскрыт не полностью.

- оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если студент частично владеет важнейшими физическими понятиями, выделенными для заучивания, но практическое умение показано с замечаниями и теоретический вопрос раскрыт не полностью.

- оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если студент не владеет важнейшими физическими понятиями, выделенными для заучивания, или не показано практическое умение, или не раскрыт теоретический вопрос.

## СПИСКИ ПОНЯТИЙ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

по дисциплине «Механика»

### **Часть 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МЕХАНИКИ. КИНЕМАТИКА ЧАСТИЦЫ И ТВЁРДОГО ТЕЛА**

#### **Занятие 1. Кинематика частицы и поступательного движения твердого тела (ТТ).**

Механика. Материальная точка (частица); твёрдое тело (ТТ). Система отсчёта. Кинематика. Траектория. Прямолинейное, круговое, плоское и криволинейное движения частицы. Векторный, координатный и естественный способы описания положения частицы в пространстве. Уравнения её движения в этих трёх формах.

Вектора перемещения, мгновенной скорости и ускорения. Перемещение, скорость и ускорение в координатной форме. Модуль и направление векторов перемещения, скорости и ускорения; их смысл. Связь векторной и координатной форм.

Перемещение в естественной форме. Скорость в естественной форме; направление вектора скорости; смысл вектора  $t^\circ$ . Ускорение в естественной форме; смысл вектора  $n^\circ$ ; нормальная и тангенциальная составляющие вектора ускорения, их направление, смысл. Полное ускорение; его направление, модуль.

Равномерное, равнопеременное и произвольное движения. Начальные условия. Путь и скорость при равномерном и равнопеременном движениях. Поступательное движение ТТ.

#### **Занятие 2. Кинематика кругового движения частицы и вращения ТТ вокруг неподвижной оси и точки.**

Круговое движение частицы. Вращение ТТ вокруг неподвижной оси и точки (полюса). Полярные и аксиальные (осевые) вектора; правило буравчика для аксиальных векторов. Элементарный угол поворота  $d\varphi$ , угловая скорость  $\omega$  и ускорение  $\varepsilon$ . Связь скорости вращения и угловой скорости. Формула Эйлера; правило буравчика для векторно-произведения. Таблица формул кинематики поступательного и вращательного движений ТТ.

#### **Занятие 3. Сложное движение точки.**

Задача о сложении движений. Абсолютное, переносное и относительное движения. Теорема сложения скоростей. Теорема сложения ускорений. Переносное и кориолисово ускорения; их модуль и направление.

### **Часть 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ДИНАМИКИ. МЕХАНИКА УПРУГИХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ.**

#### **Занятие 4. Основной закон механики. Две задачи динамики**

Динамика. Сила. Инертность тела. Инертная масса. Импульс частицы. Три закона Ньютона. Равнодействующая. Инерциальная система отсчёта. Разные формы векторной и координатной записи основного закона динамики. Две задачи динамики.

Закон всемирного тяготения; границы применения. Сила тяжести. Отличие сил тяжести и гравитационной. Закон Гука; границы применения. Виды трения. Сила трения покоя; угол трения. Сила сухого трения скольжения; её зависимость от скорости. Закон Амантона-Кулона. Сила трения качения. Сила вязкого трения для разных скоростей движения тела. Формула Стокса.

#### **Занятие 5. Силы инерции.**

Неинерциальная система отсчёта (НСО). Основной закон движения частицы в НСО. Переносная и кориолисова силы инерции.

#### **Занятие 6. Теоремы об изменении импульса частицы и МС. Теорема о движении центра масс МС.**

##### **Закон сохранения импульса МС.**

Импульс частицы; второй закон Ньютона в импульсной форме. Теорема об изменении импульса частицы в интегральной форме. Импульс силы. Форма записи теоремы для постоянных сил и движения по прямой.

Импульс системы частиц (механической системы). Центр масс; его положение (векторная, координатная формы). Главный вектор внешних сил; отличие его от равнодействующей. Теорема об изменении импульса системы (дифференциальная, интегральная формы). Теорема о движении центра масс. Закон сохранения импульса.

#### **Занятие 7. Работа силы. Мощность. Теоремы об изменении механической энергии. Закон сохранения полной механической энергии**

Элементарная работа. Работа на конечном перемещении; для случая постоянных сил и движения по прямой. Мощность; её связь со скоростью.

Кинетическая энергия материальной точки и системы частиц. Теорема об изменении кинетической энергии.

Потенциальная энергия. Консервативные и диссипативные силы; их примеры, признаки консервативности силы. Потенциальная энергия упругого и гравитационного взаимодействий. Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия вблизи поверхности Земли.

Замкнутая (изолированная) механическая система. Полная механическая энергия (ПМЭ). Закон сохранения ПМЭ. Теорема об изменении ПМЭ.

### **Занятие 8. Смешанные задачи на энергию и импульс**

Повторить списки понятий к занятиям 7 и 8.

### **Занятие 9. Теорема об изменении момента импульса. Закон сохранения момента импульса**

Пара сил. Момент (вращающий момент) пары сил. Момент силы относительно оси; плечо силы. Вектор момента силы; его модуль и направление. Главный момент сил.

Момент инерции частицы, механической системы и АТТ относительно оси. Теорема Штейнера. Момент инерции кольца и диска относительно оси симметрии, стержня относительно 3 осей.

Момент импульса (вращательный, механический момент) частицы, механической системы и АТТ относительно оси. Теорема об изменении момента импульса (дифференциальная и интегральная формы). Закон сохранения момента импульса. Основной закон динамики вращения АТТ вокруг неподвижной оси. Закон сохранения момента импульса в этом случае. Работа внешних сил при повороте АТТ вокруг неподвижной оси

Таблица формул динамики поступательного и вращательного (вокруг неподвижной оси) движений точки, системы точек и АТТ.

### **Занятие 10. Регулярная прецессия гироскопа. Гироскопические силы.**

Гироскоп (волчок). Свободный гироскоп; примеры таких гироскопов. Гироскопический эффект и его объяснение на базе теоремы Резаля. Регулярная прецессия гироскопа; её примерное уравнение. Гироскоп с одной степенью свободы; примеры таких гироскопов и гироскопические силы.

### **Занятие 11. Статика. Механика упругих тел, жидкостей и газов.**

Статика. Условия и уравнения равновесия ТТ в статике.

Виды деформаций упругих тел. Нормальные и тангенциальные напряжения. Абсолютное и относительное одностороннее удлинение (сжатие). Закон Гука для одностороннего растяжения и сжатия; модуль Юнга и его связь с коэффициентом упругости тела. Коэффициент Пуассона. Закон Гука для малого сдвига; модуль сдвига. Пределы пропорциональности, упругости, текучести и прочности: упругие и остаточные деформации.

Гидро- и аэростатика. Давление в жидкости и газе; закон Паскаля. Закон Архимеда. Плавание тел. Механические свойства жидкостей и газов; сжимаемость жидкостей и газов.

Уравнение Бернулли. Формула Торричелли. Формула Пуазейля. Кинематическая и динамическая вязкость жидкости и газа. Ламинарное и турбулентное течения; число Рейнольдса. Движение тел в жидкости и газе; лобовое сопротивление и подъёмная сила. Формула Стокса. Лобовое сопротивление при турбулентном обтекании.

### **Часть 3. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ.**

#### **Занятие 12. Свободные и вынужденные колебания.**

Колебание. Периодическое и свободное колебание. Дифференциальное уравнение свободных колебаний линейного гармонического осциллятора в отсутствие трения. Его решение (уравнение гармонического колебания) и основные характеристики: амплитуда, фаза, начальная фаза, круговая частота, мгновенное значение смещения. Связь частоты, круговой частоты и периода. Энергия гармонического колебания.

Вынужденные колебания. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний линейного гармонического осциллятора без трения; его решение. Характеристики колебания. Резонанс; резонансная кривая. Особенности резонанса без трения.

Дифференциальное уравнение свободных колебаний линейного гармонического осциллятора при наличии вязкого трения; его решения. Коэффициент сопротивления (вязкого трения). Условие возможности колебаний; характеристики колебания. Коэффициент затухания, декремент затухания, логарифмический декремент затухания, время затухания, добротность.

Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний линейного гармонического осциллятора при наличии вязкого трения при малых скоростях, его решение, характеристики колебания. Особенности резонанса при наличии трения; вид резонансных кривых.

#### **Занятие 13. Упругие волны. Эффект Доплера.**

Волна. Упругая волна. Продольная и поперечная волна. Волновой фронт, его формы. Плоская гармоническая волна в среде без поглощения энергии; её уравнение. Волновая поверхность. Длина волны; фазовая скорость; волновое число; их связь. Средняя (по времени) объёмная плотность энергии упругой волны. Плотность потока энергии упругой волны (вектор Умова). Уравнение сферической гармонической волны в среде без поглощения энергии. Закон Бугера. Скорость продольной волны в среде плотностью  $\rho$  с модулем Юнга  $E$ . Скорость поперечной волны в среде плотностью  $\rho$  с модулем сдвига  $G$ . Линейная и нелинейная среда. Уравнения плоской и сферической гармонической волны в линейной среде с поглощением. Стоячая гармоническая волна; её уравнение, положение узлов и пучностей. Продольный эффект Доплера; его формула.

### **Часть 4. Элементы СТО и ОТО.**

#### **Занятие 14. Элементы релятивистской кинематики**

Преобразования Галилея и Лоренца. Формулы релятивистского изменения длин и промежутков времени; теорема сложения скоростей. Релятивистский интервал.

#### **Занятие 15. Элементы релятивистской динамики**

Релятивистские масса и импульс. Основной закон динамики для релятивистской частицы. Полная и кинетическая энергии такой частицы; связь её импульса и полной энергии.

## Занятие 16. Резервное.

### Критерии оценки:

- оценка «отлично» выставляется студенту, если студент полностью и правильно раскрыл список понятий, правильно указав единицы всех физических величин и смысл всех обозначений в формулах;
- оценка «хорошо» выставляется студенту, если студент полностью и правильно раскрыл список понятий, но не везде правильно указал единицы всех физических величин и смысл всех обозначений в формулах;
- оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если студент не полностью или не везде правильно раскрыл список понятий, не везде указав единицы всех физических величин и смысл всех обозначений в формулах;
- оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если список отсутствует без уважительной причины.

## ДОМАШНИЕ ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ по дисциплине «Механика»

### Часть 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МЕХАНИКИ. КИНЕМАТИКА ЧАСТИЦЫ И ТВЁРДОГО ТЕЛА

#### Занятие 1. Кинематика частицы и поступательного движения твердого тела (ТТ).

##### Домашнее задание 1.

1. (М.10.4-4). Даны уравнения движения точки  $x = 5\cos 5t^2$ ,  $y = 5\sin 5t^2$ . Найти уравнение траектории и закон движения по ней, отсчитывая расстояние от начального положения.

*Ответ:*  $x^2 + y^2 = 25$ ;  $s = 25t^2$ .

2. Точка движется так, что  $x = 4\sin(\pi t/2)$ ,  $y = 3\sin(\pi t/2)$ , где  $x$ ,  $y$  - в метрах,  $t$  - в секундах. Найти величину и направление скорости точки при  $t = 0$ , 1 и 2 с.

→ →

→ →

→ →

→ →



*Ответ:*  $v_0=5\pi/2$  м/с,  $\cos(v_0^i)=0.8$ ,  $\cos(v_0^j)=0.6$ ;  $v_1=0$ ;  $v_2=5\pi/2$  м/с,  $\cos(v_2^i)=-0.8$ ,  $\cos(v_2^j)=0.6$ .

3. (М.12.7). Поезд, имея начальную скорость 54 км/час, прошёл с постоянным тангенциальным ускорением за 30 с расстояние 600 м по закруглению пути радиусом 1 км. Найти скорость и ускорение поезда на 30-й секунде.

*Ответ:* скорость 25 м/с, ускорение около 0,7 м/с<sup>2</sup>.

4. (М.12.11). Точка движется по дуге окружности радиусом  $R=20$  см. Закон её движения по траектории  $s=20\sin\pi t$  ( $s$  - в сантиметрах,  $t$  - в секундах). Найти величину и направление скорости, тангенциальное, нормальное и полное ускорения для  $t=5$  с. **Построить графики скорости и ускорений  $w_n$  и  $w_t$  за 1 оборот.**

*Ответ:* скорость  $20\pi$  см/с и направлена обратно направлению отсчёта дуги  $s$ ;  $w_t=0$ ;  $w_n=w=20\pi^2$  см/с<sup>2</sup>.

5. (М.12.13). Точка движется с соответствием с уравнениями  $x=10\cos(2\pi t/5)$ ,  $y=10\sin(2\pi t/5)$ , где  $x, y$  - в сантиметрах,  $t$  - в секундах. Найти траекторию точки, величину и направление её скорости и ускорения.

*Ответ:* окружность радиуса 10 см; скорость  $v=4\pi$  см/с направлена касательно к траектории против часовой стрелки; ускорение  $w=1.6\pi^2$  см/с<sup>2</sup> направлено к центру круга.

#### Добавочные задачи.

1. (М.10.19). Уравнения движения точки имеют вид  $x=2a\cos^2(kt/2)$ ,  $y=a\sin kt$ , где  $a$  и  $k$  - положительные постоянные. Найти траекторию и закон движения по ней, отсчитывая расстояние от начального положения.

*Ответ:*  $(x-a)^2+y^2=a^2$ ,  $s=akt$ .

2. Найти ускорение и радиус кривизны траектории в момент  $t=1$  с, если точка движется в соответствии с уравнениями  $x=4\sin(\pi t/2)$ ,  $y=3\sin(\pi t/2)$ . Здесь  $x, y$  - в метрах,  $t$  - в секундах.

*Ответ:*  $w=1,25\pi^2$  м/с<sup>2</sup>, радиус кривизны бесконечен.

#### Занятие 2. Кинематика кругового движения частицы и вращения ТТ вокруг неподвижной оси и точки.

Круговое движение частицы. Вращение ТТ вокруг неподвижной оси и точки (полюса). Полярные и аксиальные (осевые) вектора; правило буравчика для аксиальных векторов. Элементарный угол поворота  $d\varphi$ , угловая скорость  $\omega$  и ускорение  $\varepsilon$ . Связь скорости вращения и угловой скорости. Формула Эйлера; правило буравчика для векторно-произведения. Таблица формул кинематики поступательного и вращательного движений ТТ.

#### Домашнее задание 2.

1 (М.13.4). Маховик начинает крутиться равноускоренно и в первые 2 мин делает 3000 оборотов. Найти угловое ускорение. *Ответ:*  $\pi$  с<sup>-2</sup>.

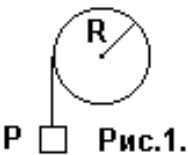
2. (М.13.6). Маховик начинает крутиться равноускоренно и через 10 мин делает 120 об/мин. Сколько оборотов сделал маховик к этому моменту? *Ответ:* 600.

3. (М.13.15). Маховик радиусом 2 м начинает раскручиваться равноускоренно, и через 10 с точки на его ободе имеют скорость 100 м/с. Найти скорость, нормальное и тангенциальное ускорение точек обода для  $t=15$  с.

*Ответ:*  $v=150$  м/с,  $w_n=11250$  м/с<sup>2</sup>,  $w_t=10$  м/с<sup>2</sup>.

4. (М.13.18). Вал радиусом  $R=10$  см приводит во вращение груз  $P$ , подвешенный к намотанной на вал нерастяжимой нити (см. рис.1). Груз движется по закону  $x=100t^2$ , где  $x$  - расстояние груза от точки схода нити с вала ( $x$  - сантиметры,  $t$  - секунды). Найти угловые скорость  $\omega$  и ускорение  $\varepsilon$  вала, а также полное ускорение  $w$  точек поверхности вала в момент  $t$ .

*Ответ:*  $\omega=20t$  с<sup>-1</sup>,  $\varepsilon=20$  с<sup>-2</sup>,  $w=200(1+400t^2)^{1/2}$  см/с<sup>2</sup>.



5. Твёрдое тело вращается вокруг неподвижной точки, с которой совмещено начало декартовых координат.

Вектор угловой скорости можно записать как  $\vec{\omega} = 15k$ . Найти скорость точки тела с координатами (1,2,3).

*Ответ:*  $v=15(5)^{1/2}$  м/с,  $\cos(v^i)= -2/(5)^{1/2}$ ,  $\cos(v^j)= 1/(5)^{1/2}$ ,  $\cos(v^k)= 0$ .

#### Добавочные задачи.

1. (М.13.2). При запуске паровой турбины угол поворота пропорционален кубу времени, и в момент  $t=3$  с турбина делает 810 об/мин. Найти уравнение вращения турбины. *Ответ:*  $\varphi = \pi t^3$  рад.

2. (М.13.8). После выключения мотора пропеллер самолёта, делавший 1200 об/мин, крутится равнозамедленно и до остановки делает 80 оборотов. Какое время прошло до остановки? *Ответ:* 8 с.

#### Занятие 3. Сложное движение точки.

Задача о сложении движений. Абсолютное, переносное и относительное движения. Теорема сложения скоростей. Теорема сложения ускорений. Переносное и кориолисово ускорения; их модуль и направление.

#### Домашнее задание 3.

1. (М.21.5). Горизонтальная стрела поворотного крана вращается вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . Найти абсолютную траекторию тележки, движущейся по стреле с постоянной скоростью  $v_0$ , если в начальный момент тележка находилась на оси вращения.

*Ответ:* архимедова спираль  $r = v_0\varphi/\omega$ , где  $r$  - расстояние тележки от оси,  $\varphi$  - угол поворота вокруг оси.

2. (М.22.9). Пассажир движущейся со скоростью  $v_0=72$  км/час по горизонтальному шоссе машины видит на боковом стекле следы капель дождя наклонёнными под углом  $40^\circ$  к вертикали. Найти абсолютную скорость капель отвесно падающего дождя. *Ответ:*  $v = v_0 \operatorname{tg}40^\circ = 23,8$  м/с.

3. (М.23.28). Прямоугольник ABCD (длина сторон  $DA = CB = a$  см) вращается вокруг стороны CD с постоянной угловой скоростью  $\omega = \pi/2 \text{ с}^{-1}$ . Вдоль стороны AB движется точка M по закону  $s = a \sin(\pi t/2)$ . Найти величину абсолютного ускорения  $w_0$  точки M в момент  $t = 1$  с. *Ответ:*  $w = a\pi^2(2)^{1/2}/4 \text{ см/с}^2$ .

4. (М.23.45). Точка движется со скоростью 2 м/с по ободу диска диаметром 4 м. Диск вращается в обратную сторону, имея в данный момент угловую скорость  $2 \text{ с}^{-1}$  и угловое ускорение  $4 \text{ с}^{-2}$ . Найти абсолютное ускорение  $w_0$  точки в этот момент. *Ответ:*  $w_0 = 8,24 \text{ м/с}^2$ , составляя угол  $76^\circ$  радиусом.

5. Найти кориолисово ускорение  $w_k$  тепловоза, движущегося на экваторе со скоростью 20 м/с на восток.  
*Ответ:*  $w_k = 0,029 \text{ м/с}^2$ ; направлено к центру Земли.

#### Добавочные задачи.

1. (М.22.6). Когда корабль шёл со скоростью  $a$  узлов (1 узел - это морская миля в час, или 1852 метра в час) на юго-восток, то флюгер на мачте показывает ветер с востока, а при уменьшении хода до  $a/2$  - ветер с северо-востока. Найти скорость и направление ветра.

*Ответ:* ветер с севера имеет скорость  $0,5a(2)^{1/2}$  узлов.

2. (М.23.34). Вдоль полупрямой OA, вращающейся в плоскости XY вокруг начала координат O против часовой стрелки с постоянной угловой скоростью  $\omega$ , движется точка M. Точка M совпадала с точкой O, когда полупрямая OA совпадала с осью X. Найти: абсолютные траекторию и ускорение точки M; её скорость  $v_r$  относительно полупрямой OA, если абсолютная скорость  $v$  точки M постоянна по модулю.

*Ответ:* абсолютная траектория - круг  $r = v \sin \varphi / \omega$  ( $\varphi$  - угол между осью X и полупрямой OA) в полярных координатах и  $x^2 + (y - v/2\omega)^2 = (v/2\omega)^2$  в декартовых координатах; абсолютное ускорение  $w_0 = 2v\omega$ ; относительная скорость  $v_r = v \cos \omega t$ .

## Часть 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ДИНАМИКИ. МЕХАНИКА УПРУГИХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ.

### Занятие 4. Основной закон механики. Две задачи динамики

#### Домашнее задание 4

1. (М.26.1). В шахте опускается равноускоренно лифт массой 280 кг. За первые 10 с он прошёл 35 м. Найти натяжение каната, на котором висит лифт. *Ответ:* примерно 2550 Н.

2. (М.26.10). Автомобиль массой 1 т проходит со скоростью 10 м/с верхнюю точку выпуклого моста радиусом кривизны 50 м. Найти силу, с которой автомобиль здесь давит на мост. *Ответ:* 7800 Н.

3. (М.26.16). Движение частицы массой 200 г описывается уравнениями  $x = 3 \cos 2\pi t$ ,  $y = 4 \sin \pi t$ , где  $x$  и  $y$  - в см, а  $t$  - в с. Найти проекции действующей силы как функции её координат.

*Ответ:*  $F_x = -0,08x \text{ Н}$ ;  $F_y = -0,02y \text{ Н}$ .

4. (М.27.13). Самолёт летит горизонтально. Соппротивление воздуха пропорционально квадрату скорости и при скорости 1 м/с равно 0,5 Н. Сила тяги 30 кН постоянна и составляет угол  $10^\circ$  со скоростью. Найти наибольшую скорость самолёта. *Ответ:* около 250 м/с.

5. (М.27.17). Тело массой 2 кг, брошенное вертикально вверх с начальной скоростью 20 м/с, испытывает при скорости  $v$  сопротивление воздуха (в Ньютонах)  $0,4v$ . Через какое время тело достигнет наивысшей точки?

*Ответ:* около 1,7 с.

#### Добавочные задачи

1. (М.26.9). Груз массой 100 г, подвешенный на нити длиной 30 см в неподвижной точке O, описывает окружность в горизонтальной плоскости, причём нить движется по конической поверхности и составляет с вертикалью угол  $60^\circ$ . Найти скорость груза  $v$  и силу натяжения нити T. *Ответ:*  $v = 2,1 \text{ м/с}$ ,  $T = 2 \text{ Н}$ .

2. (М.26.11). При равноускоренном подъёме лифта пружинные весы показывают вес груза 51 Н, а при равномерном подъёме - 50 Н. Каково ускорение лифта? Принять  $g = 10 \text{ м/с}^2$ . *Ответ:*  $0,2 \text{ м/с}^2$ .

### Занятие 5. Силы инерции.

#### Домашнее задание 5

1. (М.33.4). Поезд массой 2000 т со скоростью 15 м/с идёт на север. Найти: а) силу бокового давления поезда на рельсы на северной широте  $60^\circ$ ; б) ту же силу, когда поезд идёт на юг.

*Ответ:* а) около 3780 Н на правый (восточный) рельс; б) так же на правый (западный) рельс.

2. (М.33.5). Груз с высоты 500 м падает на северной широте  $60^\circ$  на Землю. На сколько при падении отклонится груз и куда за счёт вращения Земли? Соппротивление воздуха мало. *Ответ:* на 12 см на восток.

3. (М.33.10). Горизонтальная трубка длиной L вращается вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . Внутри трубки на расстоянии  $x_0$  от оси закреплён груз. С какой скоростью он вылетит из трубки после освобождения? Трение мало. *Ответ:*  $v = \omega(L^2 - x_0^2)^{1/2}$ .

4. (М.33.11). В предыдущей задаче найти время движения груза внутри трубки T.

*Ответ:*  $T = \{\ln[L + (L^2 - x_0^2)^{1/2}/x_0]\}/\omega$ .

5. (М.33.17). Артиллерийский снаряд движется по настильной траектории, близкой к горизонтальной прямой, со скоростью  $v = 900 \text{ м/с}$ , и должен поразить цель на расстоянии  $l = 18 \text{ км}$ . На сколько и куда отклонится снаряд из-за вращения Земли, если пушка находится на северной широте  $\varphi = 60^\circ$ ? Соппротивление воздуха мало.

*Ответ:* вправо (если смотреть сверху перпендикулярно скорости) на  $S = \omega^2 l \sin \varphi / v = 22,7 \text{ м}$  независимо от направления стрельбы, где  $\omega$  - угловая скорость суточного вращения Земли.

#### Добавочные задачи

1. (М.33.13). Кольцо движется по гладкому горизонтальному стержню АВ длиной 1 м, вращающемуся с постоянной угловой скоростью (1 оборот в секунду) вокруг вертикальной оси, проходящей через конец А; в начальный момент кольцо покоилось на расстоянии 60 см от конца А. Через какое время кольцо слетит?

*Ответ:*  $t = \ln 3 / (2\pi) = 0,175$  с.

2. (М.33.15). Определить, как меняется ускорение силы тяжести в зависимости от географической широты места  $\varphi$  из-за вращения Земли вокруг своей оси. Радиус Земли  $R = 6370$  км, ускорение силы тяжести на полюсах  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>. *Ответ:*  $g_1 = g[1 - (\omega^2 R \cos^2 \varphi) / g] = 9,81[1 - (\cos^2 \varphi) / 289]$ .

### **Занятие 6. Теоремы об изменении импульса частицы и МС. Теорема о движении центра масс МС.**

#### **Закон сохранения импульса МС.**

##### **Домашнее задание 6.**

1. (М.28.2). По наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол  $30^\circ$ , начал спускаться покоившийся груз. За какое время от пройдёт путь 39,2 м, если коэффициент трения 0,2? *Ответ:* 5 с.

2. (М.28.6). При скорости 20 м/с автомобиль тормозится за 6 с. Каков коэффициент трения? *Ответ:* 0,34.

3. (М.28.7). Пуля массой 20 г вылетает из ствола винтовки со скоростью 650 м/с, пробега ствол за 0,95 мс. Найти среднее давление пороховых газов для площади сечения ствола  $150 \text{ мм}^2$ . *Ответ:*  $91,2 \text{ Н/мм}^2$ .

4. (М.35.18). По горизонтальной покоившейся платформе длиной 6 м и массой 2700 кг рабочие переместили тяжёлую отливку с левого конца платформы в правый. Общая масса отливки и рабочих 1800 кг. Куда и на сколько сместится платформа? Трение платформы о рельсы мало. *Ответ:* налево на 2,4 м.

5. (М.36.8). Граната массой 12 кг, летевшая со скоростью 15 м/с, разорвалась в воздухе на 2 части. Скорость осколка массой 8 кг выросла в направлении движения до 25 м/с. Найти величину и направление скорости второго осколка. *Ответ:* 5 м/с; обратно скорости первого осколка.

##### **Добавочные задачи**

1. (М.28.1). При торможении поезда на прямом горизонтальном участке пути развивается сила сопротивления в 0,1 веса поезда. Найти время торможения и тормозной путь, если начальная скорость поезда 20 м/с.

*Ответ:* 20,4 с; 204 м.

2. (М.36.12). Найти горизонтальную составляющую силы давления воды в изгибе (под углом  $90^\circ$ ) трубы вертикального водостока диаметром 300 мм. Вода заполняет всё сечение и течёт в изгибе со скоростью 2 м/с.

*Ответ:* 284 Н.

### **Занятие 7. Работа силы. Мощность. Теоремы об изменении механической энергии. Закон сохранения полной механической энергии**

##### **Домашнее задание 7**

1. (М.29.2). Найти наименьшую работу подъёма тела массой 2 т на 5 м по наклонной плоскости, составляющей угол  $30^\circ$  с горизонтом. Коэффициент трения 0,5. *Ответ:* 183 кДж.

2. (М.30.5). Снаряд массой 24 кг вылетает из ствола орудия длиной 2 м со скоростью 500 м/с. Найти среднюю силу давления пороховых газов на снаряд. *Ответ:* 1500 кН.

3. (М.30.7). Перед торможением у станции поезд шёл со скоростью 10 м/с под уклон с углом  $\alpha = 0,008$  рад (можно принять  $\sin \alpha = \alpha$ ). Сила сопротивления составляет 0,1 веса поезда. Найти тормозной путь и время торможения. *Ответ:* 55,3 м, 11,8 с.

4. (М.30.10). Железнодорожная платформа массой 6 т испытывает силу сопротивления в 0,0025 её веса. На горизонтальном прямолинейном участке пути рабочий начал толкать покоившуюся платформу с постоянной силой 250 Н, и через 20 м перестал толкать. Найти максимальную скорость платформы и полный её путь до остановки. *Ответ:* 0,82 м/с, 34 м.

5. (М.30.28). Шахтный лифт массой 6 т движется вниз со скоростью  $v_0 = 12$  м/с. Какую среднюю силу трения должен обеспечить тормозной парашют в случае обрыва троса, чтобы остановить лифт на пути  $S = 10$  м?

*Ответ:*  $F = m[g + (v_0^2 / 2s)] = 102$  кН.

##### **Добавочные задачи**

1. (М.30.4). По наклонной плоскости, составляющей угол  $30^\circ$  с горизонтом, начинает спускаться груз. Коэффициент трения 0,1. Найти скорость груза через 2 м от начала пути. *Ответ:* 4,02 м/с.

2. (М.30.13). Поезд массой 500 т имел начальную скорость 15 м/с. Какой путь он пройдёт после выключения двигателя, если сила сопротивления может быть выражена формулой  $F = (7650 + 500v)$ , где  $v$  взято в м/с,  $F$  - в Н. *Ответ:* 4,5 км.

### **Занятие 8. Смешанные задачи на энергию и импульс**

#### **Домашнее задание 8.**

1. (М.31.5). Тяжёлая отливка массой 20 кг закреплена на лёгком жёстком стержне, который может практически без трения вращаться в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси. Покоившаяся отливка начинает падать из верхнего положения. Найти максимальную силу давления на ось. *Ответ:* 980 Н.

2. (М.31.7). Парашютист массы 70 кг прыгнул из самолёта и, пролетев 100 м, раскрыл парашют. Найти силу натяжения строп крепления парашюта, если за 5 с после раскрытия парашюта скорость упала до 4,3 м/с. Считать силу сопротивления воздуха парашюту постоянной, а человеку без парашюта - малой. *Ответ:* 1246 Н.

3. (М.31.8). За 500 м до станции, стоящей на пригорке высотой 2 м, машинист поезда массой 1000 т, идущего со скоростью 12 м/с, начал торможение. Сила трения постоянна и равна 20 кН. Какой должна быть постоянная сила торможения, чтобы поезд остановился у станции? *Ответ:* 84,8 кН.

4. (М.31.22). Камню, находящемуся на вершине гладкого полусферического купола радиуса  $R$ , сообщили горизонтальную скорость  $v_0$ . В какой точке камень покинет купол? При какой скорости  $v_{\text{max}}$  камень покинет купол в вершине? *Ответ:*  $\varphi = \arccos(2/3 + v_0^2/3gR)$ , где  $\varphi$  - угол между радиусами, проведёнными из центра полусферы в вершину и точку отрыва камня;  $v_{\text{max}} > (gR)^{1/2}$ .

5. (М.31.31). Шарик на нити описывает окружность в горизонтальной плоскости, образуя конический маятник. Найти высоту конуса, если шарик делает 20 об/мин. *Ответ:* 2,25 м.

#### Добавочные задачи

1. (М.31.6). Каков угол с вертикалью вращающегося стержня в задаче 31.5, когда давление на ось равно нулю?

*Ответ:*  $\varphi = \arccos(2/3)$ .

2. (М.31.9). Отливку в задаче 31.5 отклонили от вертикали на угол  $\varphi_0$  и сообщили начальную скорость  $v_0$  вверх перпендикулярно стержню длиной  $l$  в вертикальной плоскости. Найти усилие  $N$  в стержне как функцию угла  $\varphi$  отклонения стержня от вертикали.

*Ответ:*  $N = 3mg\cos\varphi - 2mg\cos\varphi_0 + mv_0^2/l$ . Стержень растянут, если  $N > 0$ , и сжат, если  $N < 0$ .

#### Занятие 9. Теорема об изменении момента импульса. Закон сохранения момента импульса

##### Домашнее задание 9.

1. (М.37.1). Однородный круглый диск радиусом 30 см и массой 50 кг катится без скольжения по горизонтальной поверхности, делая вокруг своей оси 60 об/мин. Найти момент импульса диска: 1) относительно его оси; 2) мгновенной оси вращения. *Ответ:* 14,1 кг·м<sup>2</sup>/с; 42,3 кг·м<sup>2</sup>/с.

2. (М.37.5). Для определения момента трения в цапфах на вал насадили маховик с моментом инерции относительно оси 1125 кг·м<sup>2</sup> и раскрутили до 240 об/мин; затем за счёт трения вал остановился через 10 мин. Найти средний момент трения. *Ответ:* 47,1 Н·м

3. (М.37.6). Для торможения маховиков применяют магнитный тормоз в виде 2-х полюсов электромагнита; его тормозящий момент  $M_1 = kv$  пропорционален скорости обода маховика ( $k$  - постоянный коэффициент). Кроме того, трение создаёт постоянный момент  $M_2$ . Через какое время остановится маховик диаметром  $D$  с моментом инерции относительно оси вращения  $I$  при начальной угловой скорости  $\omega_0$ ?

*Ответ:*  $T = [2I \cdot \ln(1 + kD\omega_0/2M_2)]/kD$ .

4. (М.37.48). Найти зависимость от времени угловой скорости покоившегося ведомого колеса (автомобиля) массой  $M$  и радиусом  $r$ , приведённого в движение горизонтальной силой, приложенной в его центре, и катящегося со скольжением горизонтально. Момент инерции колеса относительно его оси  $I_C$ , коэффициент трения качения  $f_k$ , коэффициент трения скольжения  $f$ . *Ответ:*  $\omega = Mg(rf - f_k)/I_C$ .

5. (М.37.55). Стоящего на скамье Жуковского с вытянутыми в стороны руками раскрутили до 15 об/мин; момент инерции его и скамьи относительно оси вращения 0,8 кг·м<sup>2</sup>. Какой станет скорость вращения, если человек прижал руки к туловищу и снизил момент инерции системы до 0,12 кг·м<sup>2</sup>? *Ответ:* 100 об/мин.

#### Добавочные задачи

1. (М.37.51). Через блок, массу которого можно считать распределённой по ободу, перекинут канат. Левую его часть держит человек, а к правой привязан груз равной человеку массы. Что произойдёт с грузом, если человек начнёт подниматься по канату со скоростью  $v$  относительно каната? Масса блока в 4 раза меньше массы человека, трением в оси можно пренебречь. *Ответ:* груз будет подниматься со скоростью  $4v/9$ .

2. (М.37.52). Круглая горизонтальная платформа в виде диска радиусом  $R$  массой  $M_2$  может без трения вращаться вокруг вертикальной оси, проходящей через её центр. По платформе на неизменном расстоянии  $r$  от оси с постоянной относительной скоростью  $u$  идёт человек массой  $M_1$ . Найти угловую скорость платформы, если исходно платформа и человек покоились. *Ответ:*  $\omega = 2M_1ru/(M_2R^2 + 2M_1r^2)$ .

#### Занятие 10. Регулярная прецессия гироскопа. Гироскопические силы.

##### Домашнее задание 10.

1. Волчок массой  $m = 0,5$  кг, ось которого наклонена под углом  $\alpha = 30^\circ$  к вертикали, прецессирует под действием силы тяжести. Момент инерции волчка относительно его оси симметрии  $I = 2$  г·м<sup>2</sup>, угловая скорость вращения вокруг этой оси  $\omega = 350$  рад/с и направлена к точке  $O$  закрепления оси волчка. Расстояние между центром масс волчка и точкой  $O$  составляет  $l = 10$  см. Найти угловую скорость прецессии  $\omega_n$  и её направление. Влияет ли на прецессию величина  $\alpha$ ? *Ответ:*  $\omega_n = m \cdot g \cdot l / (I \cdot \omega) \approx 0,7$  рад/с независимо от  $\alpha$ ; при взгляде сверху прецессия происходит по часовой стрелке.

2. (И.1.284). На полу лифта, поднимающегося с постоянным ускорением  $a = 2$  м/с<sup>2</sup>, стоит гироскоп в виде диска радиусом  $R = 5$  см на конце горизонтального стержня длиной  $l = 10$  см. Другой конец стержня закреплён в шарнире. Пренебрегая трением и массой стержня, найти собственную угловую скорость  $\omega$  диска, если прецессия происходит со скоростью  $n = 0,5$  об/с. *Ответ:*  $\omega = (g + a) \cdot l / (\pi \cdot n \cdot R^2) \approx 300$  рад/с.

3. (И.1.287). Цилиндрический диск гироскопа массой  $m = 15$  кг радиусом  $R = 5$  см делает  $\omega = 330$  рад/с. Расстояние между подшипниками, где закреплена ось диска, составляет  $l = 15$  см. Гироскоп заставляют колебаться гармонически с периодом  $T = 1$  с и амплитудой  $\alpha_m = 20^\circ$  вокруг горизонтальной оси. Найти максимальную величину гироскопических сил в подшипниках. *Ответ:*  $F_{\text{max}} = (\pi \cdot m \cdot R^2 \cdot \omega \cdot \alpha_m) / (l \cdot T) = 90$  Н.

4. (И.1.288). Корабль движется со скоростью  $v = 36$  км/час по дуге окружностью  $R = 200$  м: ось коленчатого вала с маховиком, делающего  $n = 300$  об/мин, расположена вдоль корабля, а момент инерции вращающихся частей относительно оси вращения  $I = 3800$  кг·м<sup>2</sup>. Найти момент  $M$  гироскопических сил в подшипниках

Ответ:  $M = (2\pi \cdot n \cdot I \cdot v) / R = 6 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

5. Переднее колесо тяжёлого мотоцикла можно считать тонким обручем массой  $m = 16 \text{ кг}$  и радиусом  $R = 0,5 \text{ м}$ . С какой силой должны действовать руки на концы руля шириной  $l = 1 \text{ м}$ , чтобы на скорости  $v = 108 \text{ км/час}$  повернуть колесо на угол  $\alpha = 30^\circ$  за  $t = 1 \text{ с}$ ? Ответ:  $F = (m \cdot R \cdot v \cdot \alpha) / (l \cdot t) = 40\pi \approx 126 \text{ Н}$ .

#### Добавочные задачи

1. Тонкий диск радиусом  $R = 5 \text{ см}$  насажен посередине лёгкой спицы длиной  $l = 10 \text{ см}$ , совпадающей с осью симметрии диска, и ему сообщена угловая скорость  $\omega = 100 \text{ рад/с}$ . Один конец спицы заострён и упирается в горизонтальную поверхность, причём при взгляде с другого конца спицы вращение происходит против часовой стрелки. Найти угловую скорость прецессии  $\omega_n$  и её направление. Угол спицы с вертикалью не равен нулю.

Ответ:  $\omega_n = g / (R^2 \cdot \omega) \approx 4 \text{ рад/с}$ ; при взгляде сверху прецессия происходит против часовой стрелки.

2. Турбину самолёта можно считать цилиндром массой  $m = 500 \text{ кг}$  и радиусом  $R = 0,5 \text{ м}$ , делающим  $n = 12\,000$  об/мин. Самолёт за  $t = 5 \text{ с}$  переходит от горизонтального полёта к вертикальному пикированию. Найти гироскопические силы в подшипниках на концах турбины при её длине  $l = 6 \text{ м}$ . Ответ:  $F \approx 12,5 \text{ кН}$ .

### Занятие 11. Статика. Механика упругих тел, жидкостей и газов.

#### Домашнее задание 11.

1. Однородная лёгкая горизонтальная балка длиной  $l = 6 \text{ м}$  на конце А закреплена шарниром, а на конце В опирается на каток, где трением качения можно пренебречь. В середине балки под углом  $\alpha = 45^\circ$  к ней приложена сила  $F = 20 \text{ кН}$ , действующая влево и вниз в вертикальной плоскости. Найти силы реакции в опорах.

Ответ:  $F_{XA} \approx 14,14 \text{ кН}$  вправо;  $F_{YA} \approx 7,07 \text{ кН}$  вверх;  $F_{VB} \approx 7,07 \text{ кН}$  вверх.

2. (И.1.292). Горизонтальный медный стержень длиной  $l = 1 \text{ м}$  вращают вокруг вертикальной оси, проходящей через его середину. Найти максимальную частоту вращения  $\nu$ , при которой стержень ещё не порвётся. Для меди плотность  $\rho = 8900 \text{ кг/м}^3$ , предел прочности на разрыв  $\sigma_b = 0,3 \text{ ГПа}$ . Ответ:  $\nu = (2\sigma_b/\rho)^{1/2} / (l \cdot \pi) = 80 \text{ Гц}$ .

3. Катер имеет объём деталей корпуса, который по средней плотности можно считать алюминевым,  $V = 0,5 \text{ м}^3$ . Его нужно поднять с глубины  $h = 500 \text{ м}$  с каменистого дна озера без присасывания к илу. Какую минимальную площадь сечения  $S$  должен иметь для этого стальной трос? Для стали плотность  $\rho_{ст} = 7800 \text{ кг/м}^3$ , предел прочности на разрыв  $\sigma_b = 0,6 \text{ ГПа}$ , плотность алюминия  $\rho_{ал} = 2700 \text{ кг/м}^3$ , плотность воды  $\rho_b = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

Ответ:  $S = (\rho_{ал} - \rho_b) \cdot V \cdot g / [\sigma_b - (\rho_{ст} - \rho_b) \cdot h \cdot g] = 15 \text{ мм}^2$ .

4. Полный бак для горючего имеет площадь  $S_B = 1 \text{ м}^2$  и высоту  $h = 0,5 \text{ м}$  при толщине стенок  $d = 2 \text{ мм}$ . В дне сделали маленькое круглое отверстие площадью  $S = 2 \text{ мм}^2$ . Найти начальную скорость  $v_0$  вытекания горючего для случая идеальной жидкости без вязкости и реальной жидкости  $\langle v \rangle$  с динамической вязкостью  $\eta = 0,032 \text{ Па} \cdot \text{с}$  и плотностью  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ , а также время вытекания  $t_{ид}$  и  $\langle t \rangle$  без учёта изменения скорости вытекания. Что даст учёт изменения скорости вытекания? Ответ:  $v_0 = (2 \cdot h \cdot g)^{0,5} = 3,16 \text{ м/с}$ ;  $\langle v \rangle = \rho \cdot h \cdot g \cdot S / (8\pi \cdot \eta \cdot d) = 0,05 \text{ м/с}$ ;  $t_{ид} = S_B \cdot h / (v_0 \cdot S) = 80\,000 \text{ с} \approx 22 \text{ часа}$ ;  $\langle t \rangle \approx 1390 \text{ час} \approx 58 \text{ суток}$ . Учёт изменения скорости увеличит время.

5. Грузовик с площадью поперечного сечения  $S = 3,75 \text{ м}^2$  движется горизонтально равномерно со скоростью  $v = 72 \text{ км/час}$ . Считая обтекание турбулентным с коэффициентом лобового сопротивления  $C_x = 0,6$ , найти мощность  $P$ , расходуемую на движение. Плотность воздуха  $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$ . Ответ:  $P = C_x \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 = 23,4 \text{ кВт}$ .

#### Добавочные задачи

1. (И.1.293). Тонкое свинцовое горизонтальное кольцо радиусом  $R = 25 \text{ см}$  вращают вокруг вертикальной оси, проходящей через центр кольца перпендикулярно его плоскости. Найти максимальную частоту вращения  $\nu$ , при которой кольцо ещё не порвётся, если для свинца плотность  $\rho = 11300 \text{ кг/м}^3$ , предел прочности на разрыв  $\sigma_b = 15 \text{ МПа}$ . Ответ:  $\nu = (\sigma_b/\rho)^{1/2} / (2\pi \cdot R) = 23 \text{ Гц}$ .

2. Какие силы  $F$  надо приложить к концам стальной проволоки длиной  $l = 4 \text{ м}$  и площадью сечения  $S = 0,5 \text{ мм}^2$ , чтобы растянуть её на  $\Delta l = 2 \text{ мм}$ ? Модуль Юнга стали  $E = 200 \text{ ГПа}$ . Ответ:  $F = \Delta l \cdot E \cdot S / l = 50 \text{ Н}$ .

### Часть 3. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ.

#### Занятие 12. Свободные и вынужденные колебания.

##### Домашнее задание 12.

1. Для шарика массой  $10 \text{ г}$  на пружине с коэффициентом жёсткости  $4 \text{ Н/м}$  найти амплитуду вынужденных колебаний под действием гармонически меняющейся внешней силы амплитудой  $0,1 \text{ Н}$  и частотой  $1,57 \text{ Гц}$ . Трение можно считать малым. Ответ: примерно  $3,3 \text{ см}$ .

2. Для тех же, что в задаче 1, механической системы и вынуждающей силы найти резонансную частоту и амплитуду вынужденных колебаний с учётом вязкого трения, коэффициент сопротивления которого  $0,1 \text{ кг/с}$ .

Ответ: примерно  $3 \text{ Гц}$  и  $3,2 \text{ см}$ .

3. (И.4.3). Частица совершает гармонические колебания с круговой частотой  $\omega = 4 \text{ рад/с}$  вдоль оси  $x$  около положения равновесия  $x = 0$ . В некоторый момент координата частицы  $x_0 = 25 \text{ см}$  и её скорость  $v_{x0} = 100 \text{ см/с}$ . Найти координату  $x$  и скорость  $v_x$  частицы через  $t = 2,4 \text{ с}$  после этого момента.

Ответ:  $x = A \cos(\omega t + \alpha) = -29 \text{ см}$ ,  $v_x = -81 \text{ см/с}$ , где амплитуда  $A = [x_0^2 + (v_{x0}/\omega)^2]^{1/2}$ , начальная фаза  $\alpha = \arctg[-v_{x0}/(\omega x_0)]$

4. (И.4.18). Найти период малых вертикальных колебаний шарика массой  $m = 40 \text{ г}$ , укреплённого на середине горизонтально натянутой постоянной силой  $F = 10 \text{ Н}$  струны длиной  $l = 1 \text{ м}$ . Ответ:  $T = \pi(lm/F)^{1/2} = 0,2 \text{ с}$ .

5. (И.4.40). Тело массой  $m$  висело на высоте  $h$  над чашкой пружинных весов с коэффициентом жёсткости пружины  $k$ , а затем упало, прилипло к чашке и начало совершать гармонические колебания в вертикальном направлении. Найти амплитуду и энергию колебаний. Массы пружины и чашки малы.

*Ответ:*  $a = (mg/k)[1 + (2hk/mg)]^{1/2}$ ,  $E = mgh + m^2 g^2 / 2k$ .

#### Добавочные задачи

1. (И.4.4). Найти круговую частоту и амплитуду гармонических колебаний частицы, если на расстояниях  $x_1$  и  $x_2$  от положения равновесия её скорость равна соответственно  $v_1$  и  $v_2$ .

*Ответ:*  $\omega = [(v_1^2 - v_2^2)/(x_2^2 - x_1^2)]^{1/2}$ ,  $a = [(v_1^2 x_2^2 - v_2^2 x_1^2)/(x_2^2 - x_1^2)]^{1/2}$

2. Найти амплитуду колебаний в задаче 5 (И.4.40), если масса чашки равна  $M$ .

*Ответ:*  $a = (mg/k)\{1 + [2hk/(m+M)g]\}^{1/2}$

### Занятие 13. Упругие волны. Эффект Доплера.

#### Домашнее задание 13.

1. Длина бегущей плоской звуковой волны в воздухе  $\lambda = 1$  м при частоте источника  $\nu = 340$  Гц и амплитуде колебаний  $A = 0,2$  мм. Найти: а) скорость волны  $v$ ; б) амплитуду  $v_m$  колебаний скорости частиц среды; в) записать уравнение волны. *Ответ:* а)  $v = \lambda \cdot \nu = 340$  м/с; б)  $v_m = A \cdot \omega = A \cdot 2\pi \cdot \nu = 0,4$  м/с; в)  $\xi = 2 \cdot 10^{-4} \cos(680 \cdot \pi \cdot t - 2\pi x)$ .

2. (И.4.155). Уравнение бегущей плоской звуковой волны в воздухе (скорость волны  $v = 340$  м/с) имеет вид  $\xi = 60 \cos(1800t - 5,3x)$ , где  $\xi$  - в микрометрах,  $t$  - в секундах,  $x$  - в метрах. Найти: а) отношение амплитуды  $A$  смещения частиц среды к длине волны  $\lambda$ ; б) амплитуду  $v_m$  скорости колебаний частиц среды и её отношение к скорости волны; в) амплитуду колебаний относительной деформации среды и её связь с амплитудой колебаний скорости частиц среды. *Ответ:* а)  $A/\lambda = 5,1 \cdot 10^{-5}$ ; б)  $v_m = 11$  см/с;  $v_m/v = 3,2 \cdot 10^{-4}$ ; в)  $(\partial \xi / \partial x)_m = 3,2 \cdot 10^{-4}$ ;  $(\partial \xi / \partial t)_m = v \cdot (\partial \xi / \partial x)_m = 3,2 \cdot 10^{-4} \cdot 340 = 0,11$  м/с.

3. Найти расстояние  $d$  между ближайшими узлами стоячей звуковой волны в воздухе при частоте колебаний 440 Гц. Скорость волны в воздухе  $v_b = 340$  м/с. *Ответ:*  $d \approx 39$  см.

4. Длина продольной упругой волны в стали  $\lambda_c = 0,55$  м. Плотность стали  $7800$  кг/м<sup>3</sup>, модуль Юнга  $200$  ГПа. Какова частота  $\nu$  источника? Какой станет длина волны  $\lambda_m$  в меди, где плотность  $8900$  кг/м<sup>3</sup>, а модуль Юнга  $130$  ГПа? *Ответ:*  $\nu \approx 9,2$  кГц,  $\lambda_m \approx 0,42$  м

5. Дрон летит горизонтально со скоростью  $v = 10$  м/с на неподвижную вертикальную стенку и шлёт ультразвуковой пучок с частотой  $\nu_0 = 30$  кГц. Найти разность частот  $\Delta \nu$  посланного и полученного после отражения сигнала, если скорость волны в воздухе  $v_b = 340$  м/с. *Ответ:*  $\Delta \nu = 2\nu \cdot \nu_0 / (v_b - v) \approx 1,82$  кГц.

#### Добавочные задачи

1. (И.4.169). Для измерения скорости звука в воздухе методом акустического резонанса используют трубу с перемещаемым поршнем и мембраной (заглушкой) на одном из концов трубы. Найти скорость звука, если расстояние между соседними положениями поршня, при которых наблюдается резонанс на частоте  $\nu = 2000$  Гц, составляет  $l = 8,5$  см. *Ответ:*  $v = 2l \cdot \nu = 340$  м/с.

2. Некоторая точка среды в гармонической волне колеблется как  $\xi = 0,05 \cos 2 \cdot \pi \cdot t$ . Записать уравнения движения точек среды на том же луче, отстоящих от данной на 15 и 30 см, если скорость волны 0,6 м/с. *Ответ:*  $\xi = 0,05 \sin 2 \cdot \pi \cdot t$  и  $\xi = -0,05 \cos 2 \cdot \pi \cdot t$

### Часть 4. Элементы СТО и ОТО.

#### Занятие 14. Элементы релятивистской кинематики

##### Домашнее задание 14

1. (И.1.342). Найти собственную длину стержня, если в лабораторной системе отсчёта его скорость  $v = c/2$ , длина  $l = 1$  м и угол между стержнем и направлением его движения  $\theta = 45^\circ$ .

*Ответ:*  $l_0 = l[(1 - \beta^2 \sin^2 \theta)/(1 - \beta^2)]^{1/2} = 1,08$  м, где  $\beta = v/c$ .

2. (И.1.344). С какой скоростью двигались в К-системе отсчёта часы, если за время  $t = 5$  с (по часам, неподвижным в К-системе) они отстали от неподвижных часов на  $\Delta t = 0,1c$ ?

*Ответ:*  $v = c[(2 - \Delta t/t)/(\Delta t/t)]^{1/2} = 0,6 \cdot 10^8$  м/с.

3. (И.1.346). Собственное время жизни нестабильной частицы  $\Delta t_0 = 10$  нс. Найти путь этой частицы до распада в К-системе, где время её жизни  $\Delta t = 10$  нс.

*Ответ:*  $s = c \Delta t [(1 - (\Delta t_0/\Delta t)^2)]^{1/2} = 5$  м.

4. (И.1.359). Две частицы движутся навстречу друг другу со скоростями  $v_1 = 0,5c$  и  $v_2 = 0,75c$  относительно К-системы. Найти скорости: а) сближения частиц в К-системе; б) относительную.

*Ответ:* а)  $v = v_1 + v_2 = 1,25c$ ; б)  $v = (v_1 + v_2)/(1 + v_1 \cdot v_2/c^2) = 0,91c$ .

5. (И.1.360). Два стержня равной собственной длины  $l_0$  движутся в продольном направлении навстречу друг другу параллельно общей оси с одинаковой скоростью  $v$  относительно К-системы. Найти длину каждого стержня в системе отсчёта, связанной с другим стержнем. *Ответ:*  $l = l_0(1 - \beta^2)/(1 + \beta^2)$ , где  $\beta = v/c$ .

#### Добавочные задачи

1. (И.1.347). В К-системе мю-мезон со скоростью  $v = 0,99c$  пролетел от места рождения до точки распада расстояние  $l = 3$  км. Найти: а) собственное время его жизни; б) путь мю-мезона в К-системе с "его точки зрения".

*Ответ:* а)  $\Delta t_0 = (l/v)[1 - (v/c)^2]^{1/2} = 1,4$  мкс; б)  $l' = l[1 - (v/c)^2]^{1/2} = 0,42$  км

2. (И.1.361). Две быстрые частицы движутся в К-системе под прямым углом друг к другу со скоростями  $v_1$  и  $v_2$ . Найти скорости: а) сближения частиц в К-системе; б) относительную.

Ответ: а)  $v = (v_1^2 + v_2^2)^{1/2}$ ; б)  $v = [v_1^2 + v_2^2 - (v_1 \cdot v_2/c)^2]^{1/2}$ .

### Занятие 15. Элементы релятивистской динамики

#### Домашнее задание 15

1. (И.1.371). При какой скорости релятивистский импульс частицы в  $k = 2$  раза больше её ньютоновского импульса?

Ответ:  $v = (c/k)(k^2 - 1)^{1/2} = 2,6 \cdot 10^8$  м/с.

2. (И.1.372). Найти работу разгона тела с массой покоя  $m_0$  от 0,6с до 0,8с и сравнить с классическим результатом.

Ответ:  $A = 0,42m_0c^2$  вместо  $0,14m_0c^2$ .

3. (И.1.373). При какой скорости кинетическая энергия частицы равна её энергии покоя?

Ответ:  $v = c(3)^{1/2}/2 = 2,6 \cdot 10^8$  м/с.

4. (И.1.376). Пучок релятивистских частиц с кинетической энергией  $T$  падает на поглощающую мишень. Сила тока в пучке  $I$ , заряд и масса покоя частиц равны  $e$  и  $m_0$ . Найти силу давления пучка на мишень и выделяющуюся в ней мощность.

Ответ:  $F = (I/ec)[T(T + 2m_0c^2)]^{1/2}$ ,  $P = TI/e$ .

5. (И.1.378). Частица с массой покоя  $m_0$  в момент  $t = 0$  начинает разгоняться постоянной силой  $F$ . Найти зависимость от времени скорости частицы и пройденного пути.

Ответ:  $v = Fct/(m_0^2c^2 + F^2t^2)^{1/2}$ ,  $S = [(m_0c^2/F)^2 + t^2c^2]^{1/2} - m_0c^2/F$ .

#### Добавочные задачи

1. (И.1.368). Во сколько раз релятивистская масса частицы со скоростью, меньшей  $c$  на 0,01%, больше её массы покоя? Ответ:  $m/m_0 \approx 1/[2(1 - v/c)]^{1/2} \approx 70$ .

2. (И.1.380). Из основного уравнения релятивистской динамики, найти: а) в каких случаях ускорение частицы совпадает по направлению с действующей на неё силой; б) коэффициенты пропорциональности между силой  $F$  и ускорением  $w$  для случаев, когда сила перпендикулярна и параллельна скорости. Ответ: а) когда сила перпендикулярна и параллельна скорости; б)  $F_{\perp} = m_0w/(1 - \beta^2)^{1/2}$ ,  $F_{\parallel} = m_0w/(1 - \beta^2)^{3/2}$ , где  $\beta = v/c$ .

### Занятие 16. Зарезервировано.

#### Критерии оценки:

- оценка «отлично» выставляется студенту, если студент полностью и правильно решил все задачи, правильно и полностью записав исходные физические условия задачи;
- оценка «хорошо» выставляется студенту, если студент полностью и правильно решил все задачи, но не везде правильно и полностью записав исходные физические условия задачи;
- оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если студент не полностью или не везде правильно решил задачи, не везде правильно и полностью записав исходные физические условия задачи;
- оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если условия и решения задач отсутствуют без уважительной причины.

## КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

по дисциплине «Механика»

### КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

**Кинематика частицы и твёрдого тела. Основной закон механики.**

**Две задачи динамики. Силы инерции;**

Включает 24 билета по 3 задачи в каждом. Билеты хранятся у преподавателя, ведущего практику.

### КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

**закон сохранения и теорема об изменении импульса; теорема о движении центра масс; работа силы; мощность; теоремы об изменении механической энергии; закон сохранения полной механической энергии; смешанные задачи на энергию и импульс; теорема об изменении момента импульса; закон сохранения момента импульса.**

Включает 24 билета по 3 задачи в каждом. Билеты хранятся у преподавателя, ведущего практику.

**Критерии оценки:** полностью решенные без замечаний задачи билета (варианта) контрольной работы оцениваются в 5 баллов. Мелкие замечания (неверно или не полностью обозначены исходные данные задачи, не указаны единицы измерения результата, допущена математическая ошибка в расчётах, не учтены десятичные приставки и т.п.) снижают общую оценку на 0,1 балла за каждое замечание.

- оценка «отлично» выставляется, если студент набрал 4,5 баллов и более;
- оценка «хорошо» выставляется, если студент набрал 3,5 балла и более, но менее 4,5 баллов;
- оценка «удовлетворительно» выставляется, если студент набрал 2,5 балла и более, но менее 3,5 баллов;
- оценка «неудовлетворительно» выставляется, если студент набрал менее 2,5 балла.

## **ИЗУЧАЕМЫЕ САМОСТОЯТЕЛЬНО ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ**

по дисциплине «Механика»

1. Доказать, что: а) при движении по окружности радиуса  $R$  со скоростью  $V = \text{const}$  модуль нормального ускорения  $w_n = V^2/R$ ; б) для равнопеременного движения  $v^2 - v_0^2 = \pm 2sa$ .

2. Для брошенного с поверхности земли под углом  $\alpha_0$  к горизонту с начальной скоростью  $V_0$  тела найти, без учёта сопротивления воздуха значение скорости, нормального, тангенциального и полного ускорений, а также радиуса кривизны траектории для её произвольной точки  $Z$  на известной высоте  $h_3$  от земли.



3. Доказать одинаковость скоростей и ускорений всех точек поступательно движущегося ТТ.
4. Доказать, что: а) во всех ИСО ускорение частицы одинаково; б) во всех ИСО при не очень больших скоростях тел второй закон Ньютона проявляется одинаково.
5. Природа сил вязкого трения при малых и больших скоростях.
6. Доказать теорему Штейнера.
7. Найти полную кинетическую энергию катящегося твёрдого диска (или цилиндра).
8. Доказать, что: 1) приведённая длина  $l_{пр}$  всегда больше расстояния  $l$  между точкой подвеса  $O'$  и центром масс  $C$ . 2) Перемещение точки подвеса в центр качаний  $O''$  не изменит период колебаний.
9. Получить амплитуду  $B$  идеального вынужденного колебания под действием гармонической внешней силы  $F=F_0\cos(\omega t+\varphi_0)$ .
10. Доказать, что при отсутствии затухания амплитуда сферической гармонической бегущей волны убывает как  $A = A_0/r$
11. Доказать с помощью принцип Гюйгенса закон отражения  $\alpha = \beta$  плоских волн (параллельных лучей) на плоской границе. □

#### **Критерии оценки:**

- оценка «отлично» выставляется, если студент полностью и правильно раскрыл все вопросы;
- оценка «хорошо» выставляется, если студент не полностью раскрыл все вопросы, или не везде правильно;
- оценка «удовлетворительно» выставляется, если студент не полностью раскрыл все вопросы и не везде правильно;
- оценка «неудовлетворительно» выставляется, если ответы на самостоятельно изучаемые вопросы отсутствуют без уважительной причины.

### **Вопросы теоретического собеседования в ходе выполнения лабораторных работ.**

#### **Работа № 1 (вводная). ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ВОПРОСЫ К ДОПУСКУ.**

1. Прямые и косвенные измерения. Предел измерения, цена деления, приборная погрешность измерения.
2. Три вида и два типа погрешностей измерений.

3. Расчёт погрешности прямых измерений. Стандартное отклонение среднего. Коэффициенты Стьюдента.
4. Расчёт погрешности косвенных измерений.

**Работа № 2. ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ РАВНОУСКОРЕННОГО ДВИЖЕНИЯ**  
*ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Физика. Механика. Механика Ньютона. Свойства пространства и времени в механике Ньютона (классической механике). Основные абстрактные понятия механики: частица, твёрдое тело (ТТ), система отсчёта. Описание положения частицы в координатной и векторной форме; связь этих форм
2. Кинематика. Траектория. Уравнения движения, перемещение, скорость и ускорение частицы в координатной и векторной форме; связь этих форм.
3. Описание движения в естественной форме. Равномерное, равнопеременное и произвольное движения.

**Работа № 3. ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА, БРОШЕННОГО ПОД УГЛОМ К ГОРИЗОНТУ**

*ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Движение брошенного тела.

**Работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**  
*ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Кинематика. Траектория. Уравнения движения, перемещение, скорость и ускорение частицы в координатной и векторной форме; связь этих форм.
2. Описание движения в естественной форме. Равномерное, равнопеременное и произвольное движения.
3. Описание поступательного движения и вращения ТТ вокруг неподвижной оси.

**Работа № 5. ПРОВЕРКА 2-го ЗАКОНА НЬЮТОНА**  
*ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Динамика. Инертность тела. Инертная масса. Импульс частицы. Сила. Инерциальная и неинерциальная система отсчёта. Три закона Ньютона; формы записи второго закона. Равнодействующая сил.

**Работа № 6. ИЗУЧЕНИЕ СИЛЫ СУХОГО ТРЕНИЯ.**  
*ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Силы трения в механике. Угол трения.

**Работа № 7. ИЗУЧЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА**  
*ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Силы упругости и деформация упругих тел в механике. Виды деформаций упругих тел; нормальные и тангенциальные напряжения. Модуль Юнга и модуль сдвига. Пределы пропорциональности, упругости, текучести и прочности: упругие и остаточные деформации.

**Работа № 8. ПРОВЕРКА ОСНОВНОГО ЗАКОНА ДИНАМИКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАЯТНИКА ОБЕРЬЕКА**  
*ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Момент силы (вращающий момент). Основной закон динамики вращения ТТ вокруг неподвижной оси. Момент инерции ТТ; его вычисление.

**Работа № 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПУЛИ С ПОМОЩЬЮ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА.**

### *ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Теорема об изменении импульса частицы. Система частиц (механическая система МС). Импульс МС. Теорема об изменении импульса МС.

2. Потенциальная энергия упругого и гравитационного взаимодействия. Общие свойства потенциальной энергии. Консервативные и диссипативные силы. Консервативная МС. Полная механическая энергия (ПМЭ). Теоремы об изменении ПМЭ; закон сохранения ПМЭ. Другие виды энергии; закон сохранения энергии.

#### **Работа № 10. ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКОВ.**

##### *ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Основные понятия теории колебаний. Механические идеальные, затухающие и вынужденные колебания. Пружинный маятник; его энергия. Математический и физический маятники.

#### **Работа № 11. ИЗУЧЕНИЕ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРУЖИННЫХ МАЯТНИКОВ.**

##### *ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ*

1. Вынужденные колебания линейного гармонического осциллятора в отсутствие трения. Резонанс. Свободные и вынужденные колебания с учётом вязкого трения при малых колебаниях.

#### **Критерии оценки:**

- оценка «отлично» выставляется студенту, если студент полностью владеет важнейшими физическими понятиями, выделенными для заучивания и теоретический вопрос раскрыт полностью.

- оценка «хорошо» выставляется студенту, если студент свободно владеет важнейшими физическими понятиями, выделенными для заучивания, но теоретический вопрос раскрыт не полностью.

- оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если студент частично владеет важнейшими физическими понятиями, выделенными для заучивания, и теоретический вопрос раскрыт не полностью.

- оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если студент не владеет важнейшими физическими понятиями, выделенными для заучивания и не раскрыт теоретический вопрос.

#### **Перечень отрабатываемых в лаборатории экспериментальных и практических умений**

##### **Работа № 1 (вводная). ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

###### *ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. Расчёт полной погрешности прямых измерений.
2. Расчёт полной погрешности косвенных измерений.

#### **Работа № 2. ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ РАВНОУСКОРЕННОГО ДВИЖЕНИЯ**

##### *ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. По заданным уравнениям движения точки в координатной или естественной форме определить все возможные параметры её движения.

### **Работа № 3. ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА, БРОШЕННОГО ПОД УГЛОМ К ГОРИЗОНТУ**

*ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. Для брошенного под углом к горизонту тела найти все указанные преподавателем параметры движения,

### **Работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

*ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. По заданным уравнениям движения точки в координатной или естественной форме определить все возможные кинематические параметры её движения.

2. Определить характер движения ТТ и кинематически описать движение одной из его точек.

### **Работа № 5. ПРОВЕРКА 2-го ЗАКОНА НЬЮТОНА**

*ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. Решить основную задачу механики для частицы, движущейся без сопротивления воздуха вблизи Земли.

2. Указать силы в 3-м законе Ньютона для тел, падающих на Землю; лежащих на Земле.

### **Работа № 6. ИЗУЧЕНИЕ СИЛЫ СУХОГО ТРЕНИЯ.**

*ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. В опыте оценить коэффициент сухого трения скольжения.

### **Работа № 7. ИЗУЧЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА**

*ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. В опыте оценить коэффициент упругости тела и другие упругие характеристики, которые можно найти.

### **Работа № 8. ПРОВЕРКА ОСНОВНОГО ЗАКОНА ДИНАМИКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАЯТНИКА ОБЕРЬЕКА**

*ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. Найти момент силы и применить основной закон динамики вращения ТТ вокруг неподвижной оси.

### **Работа № 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПУЛИ С ПОМОЩЬЮ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА.**

*ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. Применить теорему об изменении импульса частицы.

2. Применить закон сохранения ПМЭ.

### **Работа № 10. ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКОВ.**

*ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. По уравнению гармонического колебания построить его график.

2. По графику гармонического колебания записать его уравнение.

### **Работа № 11. ИЗУЧЕНИЕ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРУЖИННЫХ МАЯТНИКОВ.**

*ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.*

1. Для предложенных преподавателем груза известной массы и пружины оценить коэффициент жёсткости пружины и период свободных колебаний при малом трении. Выбрав способ возбуждения и разумную амплитуду колебаний, записать уравнение свободных колебаний.

**Критерии оценки:**

- оценка «отлично» выставляется студенту, если студент полностью владеет важнейшими физическими понятиями, выделенными для заучивания, и умение показано без замечаний.
- оценка «хорошо» выставляется студенту, если студент свободно владеет важнейшими физическими понятиями, выделенными для заучивания, но умение показано с замечаниями.
- оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если студент частично владеет важнейшими физическими понятиями, выделенными для заучивания, и умение показано с замечаниями.
- оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если студент не владеет важнейшими физическими понятиями, выделенными для заучивания, и умение не показано.