

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Таскаев Сергей Валерьевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 05.09.2025 12:19:33
Уникальный программный ключ:
04c19ed8bb98f3b6cb77a486b9a8788b8322523



МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики
Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика» по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 1	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	--------	------------------------	---------------

**Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации
по дисциплине (модулю)
Теоретическая физика**

Направление подготовки (специальность)
28.03.02 Наноинженерия

Направленность (профиль)
Нанотехнологии в материаловедении

Присваиваемая квалификация (степень)
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Челябинск, 2025 г.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 2	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	--------	------------------------	---------------

Содержание

1. Паспорт фонда оценочных средств
2. Перечень формируемых компетенций
3. Содержание оценочных средств по дисциплине
 - 3.1. Виды оценочных средств
 - 3.2. Содержание оценочных средств
4. Критерии оценивания промежуточной аттестации



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 3

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

1. ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Направление подготовки: 28.03.02 Наноинженерия

Направленность (профиль): Нанотехнологии в материаловедении

Дисциплина: Теоретическая физика

Семестры: 4, 5, 6, 7

Форма промежуточной аттестации: экзамены

Система оценивания: оценивание результатов осуществляется в рамках 5-балльной системы с использованием балльно-рейтинговой системы.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ФОРМИРУЕМЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ И ЭТАПЫ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

2.1. Компетенции, закреплённые за дисциплиной

Изучение дисциплины «Теоретическая физика» направлено на формирование следующих компетенций:

Коды компетенции (по ФГОС)	Содержание компетенций согласно ФГОС	Индикаторы достижения компетенций согласно ОПОП	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
УК-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1. Выполняет поиск информации, определяет критерии системного анализа поставленных задач УК-1.2. Использует критический анализ, систематизацию и обобщение информации для решения поставленных задач.	<u>Знать:</u> Для достижения УК-1.1: теоретические основы, основные понятия, законы и модели теоретической механики, электродинамики, квантовой теории, термодинамики и статистической физики; начала термодинамики, основные распределения статистической физики; <u>Уметь:</u> Для достижения УК-1.2: пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями теоретической физики для проведения комплексных исследований; использовать поиск, критический анализ, систематизацию и



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 5

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

			занятиям; вопросы экзамену (4 семестр).	к
--	--	--	--	---

Раздел 2 «Электродинамика», 5 семестр

№ п/п	Код компетенции/ планируемые результаты обучения	Контролируемые темы/ разделы	Наименование оценочного средства для текущего контроля	Наименование оценочного средства на промежуточной аттестации/№ задания
1.	УК-1	1. Введение	Задачи к практическим занятиям	-
		2. Элементы теории относительности	Задачи к практическим занятиям; контрольная работа	Вопросы к экзамену № 1-3 (5 семестр)
		3. Движение частиц в электромагнитном поле	Задачи к практическим занятиям; контрольная работа	Вопросы к экзамену № 4- 12 (5 семестр)
		4. Уравнения электромагнитного поля в вакууме	Задачи к практическим занятиям	Вопросы к экзамену № 13- 15 (5 семестр)
		5. Постоянное электромагнитное поле	Задачи к практическим занятиям; контрольная работа	Вопросы к экзамену № 16- 24 (5 семестр)
		6. Переменное электромагнитное поле	Задачи к практическим занятиям;	Вопросы к экзамену № 25- 28 (5 семестр)
		7. Экзамен	Вопросы и задачи к экзамену	Вопросы к экзамену № 1- 28 (5 семестр)



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 6

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

Раздел 3 «Квантовая теория», 6 семестр

№ п/п	Код компетенции/ планируемые результаты обучения	Контролируемые темы/ разделы	Наименование оценочного средства для текущего контроля	Наименование оценочного средства на промежуточной аттестации/№ задания
1.	УК-1	Введение. Математический аппарат квантовой теории	задачи к практическим занятиям; контрольная работа	Тест; задачи к практическим занятиям; вопросы к экзамену (6 семестр)
		Простейшие задачи квантовой теории	задачи к практическим занятиям; контрольная работа	Тест; задачи к практическим занятиям; вопросы к экзамену (6 семестр)
		Движение частицы в поле центральных сил	задачи к практическим занятиям	Тест; задачи к практическим занятиям; вопросы к экзамену (6 семестр)
		Приближенные методы квантовой теории	задачи к практическим занятиям	Тест; задачи к практическим занятиям; вопросы к экзамену (6 семестр)
		Теория представлений	вопросы к экзамену	вопросы к экзамену (6 семестр)

Раздел 4 «Термодинамика и статистическая физика», 7 семестр

№ п/п	Код компетенции/ планируемые результаты обучения	Контролируемые темы/ разделы	Наименование оценочного средства для текущего контроля	Наименование оценочного средства на промежуточной аттестации/№ задания
1.	УК-1	Введение, начала термодинамики	задачи к практическим занятиям; контрольная работа	Тест (Раздел 1, №1-22); задачи к практическим занятиям 1-4; вопросы к экзамену №1-13 (7 семестр)



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 7

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

	Методы термодинамики	задачи к практическим занятиям; контрольная работа	Тест (Раздел 2, №1-8); задачи к практическому занятию 5; вопросы к экзамену №14-16 (7 семестр)
	Равновесие и устойчивость термодинамических систем. Фазовые переходы	вопросы к экзамену	Тест (Раздел 3, №1-8); вопросы к экзамену №17-24 (7 семестр)
	Общие методы равновесной статистической механики	задачи к практическим занятиям	Тест (Раздел 4, №1-7); задачи к практическому занятию 6; вопросы к экзамену №25-28 (7 семестр)
	Равновесные ансамбли. Канонические распределения	задачи к практическим занятиям	Тест (Раздел 5, №1-7); задачи к практическим занятиям 7,8; вопросы к экзамену №29-39 (7 семестр)

3.2 Содержание оценочных средств

Раздел 1 «Теоретическая механика», 4 семестр

База тестовых вопросов

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
Раздел 1 Уравнения движения.		
1	Релятивистская физика изучает.	a) Движение частиц в ускорителях b) Движение тел со скоростью близкой к скорости света c) Движение тел относительно друг друга
2	Квантовая физика изучает	a) Движение и взаимодействие микрочастиц b) Излучение и поглощение света порциями c) Системы, действие которых меньше либо сравнимо с постоянной Планка



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
 Федеральное государственное бюджетное образовательное
 учреждение высшего образования
 «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
 Физический факультет
 Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
 по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
 ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 8	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	--------	------------------------	---------------

3	Особенность аналитической механики	<ul style="list-style-type: none"> a) Аксиоматический подход b) Применение математического анализа c) Отказ от численных методов решения 						
4	Материальная точка (частица) – это	<ul style="list-style-type: none"> a) Тело, размерами которого можно пренебречь при описании его движения b) Тело с пренебрежимо малой массой c) Микроскопическая часть материи 						
5.	Пусть N – число частиц в системе, p – размерность пространства. Тогда число степеней свободы системы:	<ul style="list-style-type: none"> a) pN^2 b) pN c) p^3N 						
6	Уравнение движения частицы – это	<ul style="list-style-type: none"> a) Связь координаты, скорости и ускорения b) Зависимость координаты от времени c) Связь энергии и импульса 						
7	Действие системы – это	<ul style="list-style-type: none"> a) Произведение силы на перемещение b) Интеграл от функции Лагранжа по времени c) Интеграл от энергии по координате 						
8	Принцип наименьшего действия:	<ul style="list-style-type: none"> a) система меняется так, чтобы действие наблюдателя было минимальным b) всё стремиться к минимизации действия c) для реальных траекторий частиц действие минимально 						
9	Уравнения Лагранжа для системы с s степенями свободы имеют вид	<table border="1"> <tr> <td>a)</td> <td>$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = \frac{\partial L}{\partial q_i}, i = 1, 2, \dots, s$</td> </tr> <tr> <td>b)</td> <td>$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial \dot{p}_i} = 0, i = 1, 2, \dots, s$</td> </tr> <tr> <td>c)*</td> <td>$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = \frac{\partial L}{\partial q_i}, i = 1, 2, \dots, s$</td> </tr> </table>	a)	$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = \frac{\partial L}{\partial q_i}, i = 1, 2, \dots, s$	b)	$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial \dot{p}_i} = 0, i = 1, 2, \dots, s$	c)*	$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = \frac{\partial L}{\partial q_i}, i = 1, 2, \dots, s$
a)	$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = \frac{\partial L}{\partial q_i}, i = 1, 2, \dots, s$							
b)	$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial \dot{p}_i} = 0, i = 1, 2, \dots, s$							
c)*	$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = \frac{\partial L}{\partial q_i}, i = 1, 2, \dots, s$							
10	Для решения уравнений Лагранжа надо задать	<ul style="list-style-type: none"> a) Начальные координаты и скорости b) Граничные условия c) Начальные и граничные условия 						
11	Однородность времени означает, что	<ul style="list-style-type: none"> a) Время течёт равномерно b) Законы физики не изменяются 						



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
 Федеральное государственное бюджетное образовательное
 учреждение высшего образования
 «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
 Физический факультет
 Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
 по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
 ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 9	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	--------	------------------------	---------------

		c) Законы физики инвариантны относительно сдвига во времени
12	Однородность пространства означает, что больше?	a) В пространстве нет уплотнений b) Законы физики инвариантны относительно сдвига координат c) Все части пространства одинаковы
13	Изотропия пространства – это	a) Отсутствие троп, следов b) Симметрия направлений c) Инвариантность законов физики к поворотам координат
14	Система отсчёта инерциальна, если в ней	a) Скорость свободно движущегося тела постоянна b) Тело движется по инерции c) На тело не действуют силы
15	Согласно преобразованиям Галилея, в инерциальных системах отсчёта	a) Время течёт одинаково b) Энергия системы частиц одинакова c) Скорость тела одинакова
16	Преобразование Галилея для координаты частицы:	a) $\vec{r} = \vec{r}' + \vec{R}_0 \sqrt{1 - V^2/c^2}$ b) $\vec{r} = \vec{r}' + \vec{R}_0 + \vec{V}t/\sqrt{1 - V^2/c^2}$ c) * $\vec{r} = \vec{r}' + \vec{R}_0 + \vec{V}t$
17	Функция Лагранжа свободной частицы:	a)* $L = \frac{mv^2}{2}$ b) $L = \frac{mv^2}{2} + U$ c) $L = \frac{mv^2}{2} - U$
18	Функция Лагранжа замкнутой системы из N частиц:	a) $L = \sum_{\alpha=1}^N \frac{m_{\alpha} v_{\alpha}^2}{2} - U(v_1, v_2, \dots, v_N)$



10	Момент импульса системы – это векторный интеграл движения:	a) *	$\vec{M} \equiv \sum_{\alpha=1}^N [\vec{r}_{\alpha}, \vec{p}_{\alpha}]$	
		b)	$\vec{M} \equiv \sum_{\alpha=1}^N [\vec{p}_{\alpha}, \vec{r}_{\alpha}]$	
		c)	$\vec{M} \equiv \sum_{\alpha=1}^N \vec{r}_{\alpha} \vec{p}_{\alpha}$	
11	Уравнения Гамильтона:	a)	$\dot{p}_i = \frac{\partial H}{\partial p_i}, \dot{q}_i = \frac{\partial H}{\partial q_i}, \quad i = 1, 2, \dots, s$	
		b)*	$\dot{q}_i = \frac{\partial H}{\partial p_i}, \dot{p}_i = -\frac{\partial H}{\partial q_i}, \quad i = 1, 2, \dots, s$	
		c)	$\dot{q}_i = \frac{-\partial H}{\partial p_i}, \dot{p}_i = \frac{\partial H}{\partial q_i}, \quad i = 1, 2, \dots, s$	

Раздел 3. Движение в центральном поле

1	Приведённая масса:	a) *	$m \equiv \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$	
		b)	$m \equiv \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2}$	
		c)	$m \equiv \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$	
2	Центробежная энергия не позволяет частице в центральном поле	a) Упасть на центр поля b) Улететь на бесконечность c) Двигаться по замкнутой траектории		
3	В задаче Кеплера частица движется по гиперболе, если её энергия	a) Отрицательна b) Положительна c) Равна нулю		
4	Эффективное сечение рассеяния – это	a) Отношение числа частиц, рассеянных в единицу времени на углы в интервале $(\chi, \chi + d\chi)$, к плотности потока частиц b) Доля частиц, рассеянных в единицу времени на углы в интервале $(\chi, \chi + d\chi)$ c) Площадь поперечного сечения частиц		



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
 Федеральное государственное бюджетное образовательное
 учреждение высшего образования
 «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
 Физический факультет
 Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
 по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
 ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 13

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

5	Формула Резерфорда выражает эффективное сечение рассеяния в кулоновском поле через	a) Фундаментальные константы b) Энергию поля и диаграмму рассеяния c) Угол рассеяния и начальную энергию частицы
Раздел 4. Колебания		
1	Уравнение малых колебаний:	a) * $\ddot{x} + \omega^2 x = 0$ b) $\ddot{x} - \omega^2 x = 0$ c) $\ddot{x} - \omega x^2 = 0$
2	Малые колебания с частотой ω , начальной фазой φ_0 и амплитудой a описываются формулой:	a) $x = \varphi_0 e^{at} \cos \omega t$ b) * $x = a \cos(\omega t + \varphi_0)$ c) $x = a \cos \omega t + \varphi_0$
3	Уравнение $\ddot{x} + \omega^2 x = F(t)/m$ описывает	a) Нелинейные колебания b) Затухающие колебания c) Вынужденные линейные колебания
4	Биения колебаний – это	a) Периодические изменения их частоты b) Случайные всплески их амплитуды c) Периодическое изменение их амплитуды
5	Уравнение $\ddot{x} + 2\lambda\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$ описывает	a) Нелинейные колебания b) Затухающие колебания c) Вынужденные колебания
6	Отношение периодов больших и малых колебаний	a) Меньше единицы b) Больше единицы c) Монотонно убывает с ростом амплитуды

Задачи к практическим занятиям

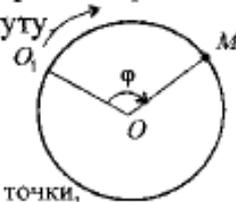
Раздел 1. Уравнения движения

Практическое занятие 1, 2.



Задача 1

Написать уравнения движения точки, движущейся равномерно по окружности радиуса R и делающей n оборотов за одну минуту



Пусть M – положение движущейся точки в текущий момент времени $t (t > 0)$. Для центрального

угла $\varphi = \angle O_1OM$, который будем отсчитывать в сторону движения точки, согласно условию, можем написать $\varphi = \frac{2\pi n}{60}t = \frac{\pi n}{30}t$.
Здесь φ измеряется в радианах, t – в секундах.

Длина s дуги O_1M , радиус окружности R и центральный угол φ связаны геометрическим соотношением $s = R\varphi$.

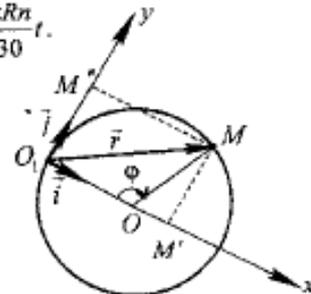
Подставляя сюда найденное значение φ , получаем $s = \frac{\pi R n}{30}t$.

Это и есть закон движения точки в естественной форме.

Для описания движения в координатной форме прежде всего следует выбрать подходящую систему координат, например, изображенную на рис.

$$x = O_1M' = O_1O + OM' = R + R \cos(180^\circ - \varphi) = R(1 - \cos \varphi);$$

$$y = O_1M'' = M'M = R \sin(180^\circ - \varphi) = R \sin \varphi.$$



Т.о., $x = R\left(1 - \cos \frac{\pi n t}{30}\right)$, $y = R \sin \frac{\pi n t}{30}$. $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} = R\left[\left(1 - \cos \frac{\pi n t}{30}\right)\vec{i} + \left(\sin \frac{\pi n t}{30}\right)\vec{j}\right]$.

Задача 2

Движение точки задано уравнениями $x = 2 \sin t$, $y = 4 \cos 2t$ (x, y – в сантиметрах, t – в секундах). Найти уравнение траектории точки в координатной форме.

Для определения уравнения траектории из уравнений движения исключаем время t . Для этого из первого уравнения выражаем $\sin t = \frac{x}{2}$ и подставляем это значение во второе уравнение, преобразованное к функциям одинарного угла:

$$y = 4 \cos 2t = 4(\cos^2 t - \sin^2 t) = 4(1 - 2 \sin^2 t) = 4\left(1 - 2 \cdot \frac{x^2}{4}\right) = 4 - 2x^2.$$

Задача 3

Определить уравнение траектории, если точка движется согласно уравнениям (x – в сантиметрах, t – в секундах): $x = 2 + 5 \sin 2t$, $y = 3(1 + \cos 2t)$.

Для исключения времени t из уравнений движения выразим из этих уравнений $\sin 2t$ и $\cos 2t$:

$$\sin 2t = \frac{x-2}{5}, \quad \cos 2t = \frac{y-3}{3}.$$

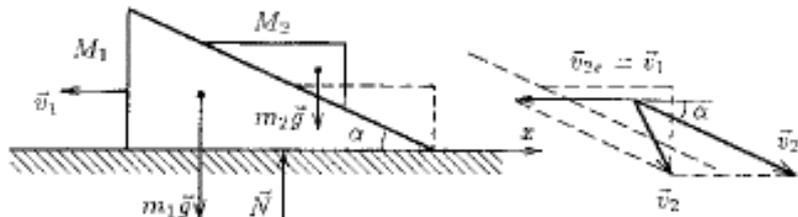
Возводя эти равенства в квадрат и почленно складывая, получаем уравнение траектории в координатной форме:

$$\frac{(x-2)^2}{5^2} + \frac{(y-3)^2}{3^2} = 1.$$



Задача 4

На гладкой призме M_1 массой m_1 и углом α при вершине покоится призма M_2 , масса которой равна m_2 . Предоставленные себе, призмы приходят в движение под действием сил тяжести. Найти скорость призмы M_2 относительно призмы M_1 в момент касания основания, если $m_1 = 5$ кг, $m_2 = 1$ кг, $\alpha = 30^\circ$, а скорость призмы M_1 в этот момент составляет 0,2 м/с.



Решение. Примем за систему совокупность обеих призм. На систему действуют три внешние силы — веса призм $m_1\vec{g}$, $m_2\vec{g}$ и нормальная реакция основания \vec{N} . Силы перпендикулярны к опорной плоскости, поэтому их проекции на ось x равны нулю. Будет равна нулю и проекция главного вектора внешних сил на эту ось: $R_x^e = 0$. Следовательно, проекция количества движения на ось x остается при движении системы постоянной. Так как в начале движения обе призмы неподвижны, то это постоянное значение равно нулю:

$$Q_x = \text{const} = Q_{x0} = 0.$$

Получим выражение для определения Q_x . Прежде всего заметим, что в теореме об изменении количества движения участвуют абсолютные скорости точек системы. Рассматривая движение призмы M_2 как сложное, состоящее из переносного (движение призмы M_1) и относительного (движение призмы M_2 относительно призмы M_1), и применяя теорему сложения скоростей, для абсолютной скорости \vec{v}_2 призмы M_2 будем иметь выражение

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_{2e} + \vec{v}_{2r} = \vec{v}_1 + \vec{v}_{2r},$$

где \vec{v}_1 — скорость призмы M_1 (абсолютная); v_{2r} — относительная скорость призмы M_2 . Проектируя это векторное равенство на ось x , находим проекцию абсолютной скорости призмы M_2

$$v_{2x} = v_{1x} + v_{2rx} = -v_1 + v_{2r} \cos \alpha,$$

а далее и проекцию количества движения системы*

$$Q_x = m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} = -m_1 v_1 + m_2 (-v_1 + v_{2r} \cos \alpha).$$

Отсюда, приравнявая Q_x нулю, находим

$$v_{2r} = \frac{(m_1 + m_2)v_1}{m_2 \cos \alpha} = \frac{(5 + 1) \cdot 0,2}{1 \cdot 0,866} = 1,38 \text{ м/с.}$$



Полное количество движения системы равно
$$\mathbf{P} = \sum m_i \frac{d\mathbf{r}_i}{dt} = \frac{d}{dt} \sum m_i \mathbf{r}_i = \frac{d}{dt} (M\mathbf{R}) = M \frac{d\mathbf{R}}{dt}$$

1. Найти количество движения диска массы $m = 2$ кг в момент $t = 1$ с, если его центр C движется согласно уравнению $s = 3t^2$, м (рис. 29).

2. Найти количество движения системы, изображенной на рис. 30, если скорость стержня равна v . Масса стержня m_1 , масса каждого из катков m_2 , проскальзывание между стержнем и катками, а также между основанием и катками отсутствует.

3. Решить следующие задачи из сборника И.В. Мещерякова 1981 г. издания: 36.9; 36.10; 28.6; 28.11.

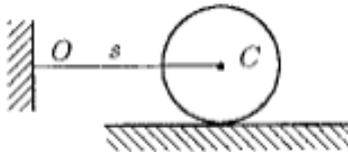


Рис. 29

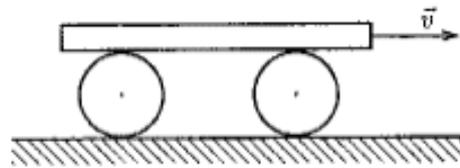


Рис. 30

1. Найти изменение со временем вертикальной координаты и скорости тела, выпавшего из кабины лифта, которая едет вниз с постоянной скоростью v_0 . Считать падение тела свободным, поле тяжести – однородным. Рассмотреть решение относительно: а) кабины лифта, б) Земли.
2. Вычислить действие частицы, свободно падающей в однородном поле тяжести с высоты h и начальной скоростью v_0 .
3. Материальная точка M движется под действием силы тяжести по прямолинейному стержню, вращающемуся с постоянной скоростью ω вокруг неподвижной вертикальной оси. Стержень образует угол α с горизонталью. Найти закон движения точки
4. Призма A массы m скользит по гладкой боковой грани призмы B массы m_1 , образующей угол α с горизонтом. Определить ускорение призмы B . Трением между призмой B и горизонтальной плоскостью пренебречь.
5. На гладкой горизонтальной плоскости помещена треугольная призма ABC массы m , которая может скользить без трения по этой плоскости, по грани призмы AB катится без скольжения однородный круглый цилиндр массы m_1 . Определить ускорение призмы.
6. Однородный диск радиуса R , имеющий массу M , может вращаться вокруг своей горизонтальной оси. К диску на нити AB длины l подвешена материальная точка массы m . Составить уравнения движения системы.
7. Составить уравнения движения математического маятника массы m , подвешенного на упругой нити. Длина нити в положении равновесия l , ее жесткость равна k . В качестве обобщенных координат взять угол φ отклонений маятника от вертикали и удлинение нити z .

Раздел 2. Законы сохранения.

Практическое занятие 3, 4.



Задача 1. Плоская невесомая стержневая ферма ABCD расположена в вертикальной плоскости и нагружена вертикальной силой F, приложенной в узле D. Узел A закреплен в опоре неподвижно. Узел C может перемещаться по горизонтальной поверхности. Линия AC горизонтальна. Длины стержней удовлетворяют следующим условиям: $AB = BC = AC = b$, $AD = DC = b/\sqrt{2}$. Определить напряжение стержня BD.

Удалим стержень BD, заменив его действие на ферму двумя равными силами Q, приложенными в точках B и D (рис. 1).

С помощью принципа виртуальных перемещений определим величину силы Q, предполагая, что ферма деформировалась и находится в равновесии. При этом угол BAC равен α , а угол DAC равен β .

Выберем прямоугольную систему координат Axу с осью Ax, направленной по стержню AC.

Активные силы, приложенные к ферме: силы упругости Q в точках B и D и сила F в точке D.

Координаты точек приложения сил

$$\begin{aligned} \text{точка B: } x_1 &= b \cos \alpha, & y_1 &= b \sin \alpha; \\ \text{точка D: } x_2 &= b/\sqrt{2} \cos \beta, & y_2 &= b/\sqrt{2} \sin \beta. \end{aligned}$$

Система имеет одну степень свободы, углы α и β связаны: $x_1 = x_2$, $b \cos \alpha = b/\sqrt{2} \cos \beta$. Вариации углов связаны соотношением: $b \sin \alpha \delta \alpha = b/\sqrt{2} \sin \beta \delta \beta$.

Дадим точке C виртуальное перемещение. Координаты точек B и D получат приращение. В соответствии с принципом виртуальных перемещений работа активных сил на виртуальных приращениях

$$\begin{aligned} \delta x_2 &= -2b_1 \sin \alpha \delta \alpha - b_2 \sin \beta \delta \beta, & \delta y_2 &= 2b_1 \cos \alpha \delta \alpha + b_2 \cos \beta \delta \beta; \\ \delta x_3 &= -2b_1 \sin \alpha \delta \alpha - 2b_2 \sin \beta \delta \beta, & \delta y_3 &= 2b_1 \cos \alpha \delta \alpha + 2b_2 \cos \beta \delta \beta. \end{aligned}$$

Работа активных сил на виртуальных перемещениях

$$\delta A = m_1 g \delta r_1 + m_2 g \delta r_2 + F \delta r_3 = g(m_1 \delta y_1 + m_2 \delta y_2) + F \delta x_3 = [(m_1 b_1 + m_2 b_2) \cos \alpha - 2b_1 F \sin \alpha] \delta \alpha + [m_2 b_2 \cos \beta - 2b_2 F \sin \beta] \delta \beta.$$

В соответствии с принципом виртуальных перемещений $\delta A = 0$.

При произвольных $\delta \alpha$ и $\delta \beta$ $(m_1 b_1 + m_2 b_2) \cos \alpha - 2b_1 F \sin \alpha = 0$;

$$m_2 b_2 \cos \beta - 2b_2 F \sin \beta = 0.$$

$$\text{tg } \alpha = 2F / (m_1 + m_2 q);$$

Отсюда находим, что в положении равновесия системы

$$\text{tg } \beta = 2F / m_2.$$

Задача 3. На абсолютно гладкой горизонтальной плоскости лежат связанные нитью три равных груза массой m каждый. Четвертый такой же груз прикреплен к ним нитью, перекинутой через блок, и подвешен вертикально. Система предоставлена самой себе. Определить ускорение системы и натяжение нити в сечении ab во время движения.

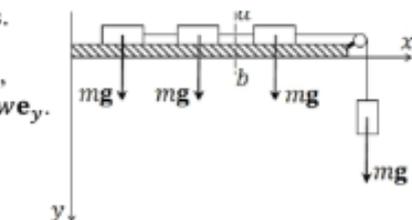
Ось x направим по столу, ось y – вертикально вниз. Система грузов будет двигаться с ускорением w .

Сила инерции каждого груза на столе равна $-m w e_x$, а сила инерции груза, подвешенного вертикально $-m w e_y$.

Активные силы – силы тяжести

Система имеет одну степень свободы.

Дадим вертикальному грузу возможное перемещение δy . Перемещения грузов на столе $\delta x = \delta y$.



Сумма работ активных сил и сил



$$\delta A = Q_B \delta r_1 + Q_D \delta r_2 + F \delta r_2 = -Q \delta y_1 + (Q - F) \delta y_2 = 0.$$

После подстановки вариаций ординат точек В и D $\delta y_1 = b \cos \alpha \delta \alpha$, $\delta y_2 = b/\sqrt{2} \cos \beta \delta \beta$,
находим $Q \cos \alpha \delta \alpha = (Q - F) / \sqrt{2} \cos \beta \delta \beta$.

Разделив почленно это соотношение на выражение, связывающее вариации углов, получим уравнение для определения силы Q при заданных значениях углов α и β

$$Q \operatorname{ctg} \alpha = (Q - F) \operatorname{ctg} \beta.$$

В частности, при $\alpha = \pi/3$, $\beta = \pi/4$, $Q = F\sqrt{3}/(\sqrt{3} - 1)$.

Задача 2. Однородный стержень OA массой m_1 может вращаться на неподвижном шарнире O в вертикальной плоскости. Конец A этого стержня соединен шарнирно с другим однородным стержнем AB массой m_2 . К концу второго стержня приложена горизонтальная сила F. Найти углы стержней с горизонталью при равновесии. Отношение $AB/OA = q$.

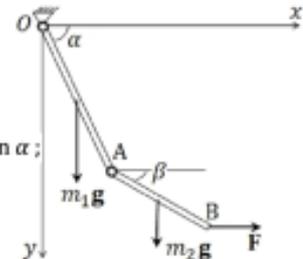
Система обладает двумя степенями свободы. В качестве независимых переменных примем искомые углы α и β .

Выберем систему координат Oxy как показано на рис. Обозначим длину стержня OA $2b_1$, длину стержня AB $2b_2$.

Активные силы: силы тяжести стержней и

сила F. Координаты точек приложения сил $x_1 = b_1 \cos \alpha$, $y_1 = b_1 \sin \alpha$;
 $x_2 = 2b_1 \cos \alpha + b_2 \cos \beta$, $x_3 = 2b_1 \cos \alpha + 2b_2 \cos \beta$,
 $y_2 = 2b_1 \sin \alpha + b_2 \sin \beta$; $y_3 = 2b_1 \sin \alpha + 2b_2 \sin \beta$.

Вариации координат $\delta x_1 = -b_1 \sin \alpha \delta \alpha$, $\delta y_1 = b_1 \cos \alpha \delta \alpha$;



Сумма работ активных сил и сил инерции напишется следующим образом: $(mg - 4mw)\delta y = 0$. Ввиду произвольности δy $mg - 4mw = 0$, $w = g/4$.

Разрежем нить в сечении ab и заменим действие грузов, расположенных справа силой F. Она должна уравновесить сумму сил инерции грузов, лежащих левее сечения ab: $F = mg/2$.

Задача 4. Пренебрегая трением, определить ускорение грузов в системе, представленной на рисунке. Массы блоков и грузов соответственно $2m$ и m .

Рассматриваемая система блоков и грузов имеет одну степень свободы.

Положение правого груза и подвижных блоков будем определять координатами x_1 , x_2 , x_3 .

Они связаны соотношением $x_1 + x_2 + 2x_3 = L$, где L – полная длина нити.

Вариации координат связаны соотношением

$$\delta x_1 + \delta x_2 + 2 \delta x_3 = 0.$$

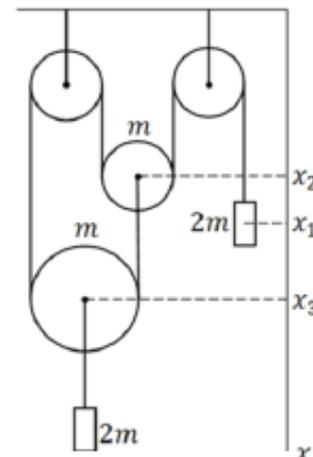
Для ускорений левого груза и блоков можно записать аналогичное равенство

$$\ddot{x}_1 + \ddot{x}_2 + 2\ddot{x}_3 = 0.$$

Активные силы - силы тяжести $2mg$, mg , $3mg$, которые можно считать приложенными соответственно в точках x_1 , x_2 , x_3 .

4

Сумма работ активных сил на виртуальных перемещениях $\delta A_{\text{акт}} = 2mg\delta x_1 + mg\delta x_2 + 3mg\delta x_3$.





МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 19	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

Силы инерции $-2m\ddot{x}_1, -m\ddot{x}_2, -3m\ddot{x}_3$ приложены к тем же точкам, что и соответствующие активные силы.

Работа сил инерции на виртуальных перемещениях $\delta A_{ин} = -2m\ddot{x}_1 \delta x_1 - m\ddot{x}_2 \delta x_2 - 3m\ddot{x}_3 \delta x_3$.

Запишем общее уравнение динамики $\delta A_{акт} + \delta A_{ин} = 0$.

$$2m(g - \ddot{x}_1) \delta x_1 + m(g - \ddot{x}_2) \delta x_2 + 3m(g - \ddot{x}_3) \delta x_3 = 0.$$

Вариации координат не являются независимыми. Система имеет одну степень свободы, поэтому две из них нужно выразить через третью.

Мы располагаем лишь одним соотношением $\delta x_1 + \delta x_2 + 2 \delta x_3 = 0$, по которому запишем $\delta x_1 = -\delta x_2 - 2 \delta x_3$.

Далее обратимся к методу неопределенных множителей Лагранжа:

запишем $\delta x_2 = \lambda \delta x_3$, λ – неопределенный множитель. Тогда $\delta x_1 = -(\lambda + 2) \delta x_3$.

В общем уравнении динамики заменим $\delta x_1, \delta x_2$ их выражениями через δx_3 и приведем его к следующему виду: $[-g + 4\ddot{x}_1 - 3\ddot{x}_3 + \lambda(-g + 2\ddot{x}_1 - \ddot{x}_2)] \delta x_3 = 0$.

Соотношение должно выполняться при любых параметра λ . Это возможно лишь при $-g + 2\ddot{x}_1 - \ddot{x}_2 = 0$.

Отсюда и из полученного ранее равенства $\ddot{x}_1 + \ddot{x}_2 + 2\ddot{x}_3 = 0$ находим

$$\ddot{x}_1 = \frac{g}{3} - \frac{2}{3}\ddot{x}_3, \quad \ddot{x}_2 = -\frac{g}{3} - \frac{4}{3}\ddot{x}_3.$$

После подстановки \ddot{x}_1, \ddot{x}_2 в общее уравнение динамики имеем $\left(\frac{g}{3} - \frac{17}{3}\ddot{x}_3\right) \delta x_3 = 0$.

Перемещение δx_3 произвольно, поэтому заключаем, что $\ddot{x}_3 = \frac{g}{17}$.

Затем находим $\ddot{x}_1 = \frac{5g}{17}, \ddot{x}_2 = -\frac{7g}{17}$.

5

1. На однородную призму A , лежащую на горизонтальной поверхности, положена однородная призма B ; поперечные сечения призм – прямоугольные треугольники, масс призмы A втрое больше массы призмы B . Предполагая, что призмы и горизонтальная плоскость идеально гладкие, определить длину l , на которую переместится призма A , когда призма B , спускаясь по A , дойдет до горизонтальной плоскости.
2. Определить главный вектор количеств движения маятника, состоящего из однородного стержня массы m_1 , длины $4r$ и однородного диска массы m_2 , радиуса r , если угловая скорость маятника в данный момент равна ω .
3. По горизонтальной платформе, движущейся по инерции со скоростью v_0 , перемещается тележка с постоянной скоростью u_0 . В некоторый момент времени тележка была заторможена. Определить общую скорость платформы с тележкой после её остановки, если M – масса платформы, а m – масса тележки.
4. Однородный круглый диск массы M и радиуса R катится без скольжения по горизонтальной плоскости, вращаясь с угловой скоростью ω . Вычислить главный момент количества движения диска относительно оси, проходящей через центр диска, перпендикулярно плоскости движения, и относительно мгновенной оси.



5. Определить, с какой угловой скоростью ω упадёт на землю спиленное дерево массы M , если его центр масс расположен на расстоянии h от основания, а силы сопротивления воздуха создают момент сопротивления m_c , причём $m_{cz} = -\alpha\omega$, где $\alpha = \text{const}$. Момент инерции дерева относительно оси z совпадает с осью, вокруг которой поворачивается дерево при падении, равен J .
6. Упругую проволоку, на которой подвешен однородный шар с радиусом r и массой m , закручивают на угол φ_0 , а затем предоставляют ей свободно раскручиваться. Момент, необходимый для закручивания проволоки на один радиан, равен c . Определить движение, пренебрегая сопротивлением воздуха и считая момент силы упругости закрученной проволоки пропорциональным углу кручения φ .
7. Маятник состоит из стержня с двумя закреплёнными на нём грузами, расстояние между которыми равно l ; верхний груз имеет массу m_1 , нижний – m_2 . Определить, на каком расстоянии от нижнего груза нужно поместить ось подвеса для того, чтобы период малых качаний маятника был наименьшим; массой стержня пренебречь и грузы считать материальными точками.

Раздел 3. Движение в центральном поле.

Практическое занятие 5, 6.

Пример 3. Вычислить обобщенную силу физического маятника, состоящего из стержня OA длиной ℓ и массой m (рис. 80).

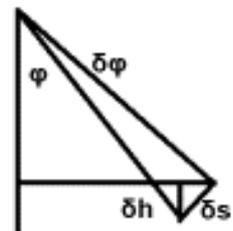
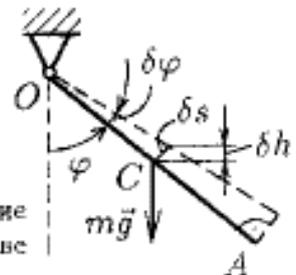
Решение. Физический маятник является системой с одной степенью свободы ($n = 1$). Следовательно, положение маятника определяется одной обобщенной координатой, в качестве которой выберем угол наклона к вертикали φ ($q_1 = q = \varphi$).

Изображаем маятник в произвольном положении, прикладываем действующие силы. Реакции в опоре A можно не показывать, так как шарнир является идеальной связью и его вклад в обобщенную силу равен нулю. Сообщаем системе возможное перемещение — элементарный поворот маятника на угол $\delta\varphi$ в сторону возрастания угла φ^* . Работу совершает только вес маятника $m\vec{g}$. Его точка приложения (центр тяжести C стержня) опишет дугу длиной $\delta s \approx (OC)\delta\varphi = \frac{1}{2}\ell\delta\varphi$, при этом поднимется вдоль вертикали на величину $\delta h = \delta s \sin\varphi = \frac{1}{2}\ell \sin\varphi \delta\varphi$, совершив элементарную работу

$$\delta A = -mg \delta h = -\frac{1}{2}mg\ell \sin\varphi \delta\varphi.$$

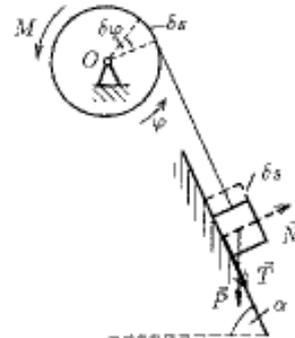
Коэффициент при вариации $\delta\varphi$ в этом выражении определяет искомую обобщенную силу, т. е.

$$Q = -\frac{1}{2}mg\ell \sin\varphi.$$





Пример 4. Найти обобщенную силу для системы, показанной на рис. 81, приняв за обобщенную координату угол поворота барабана φ . К барабану приложен движущий момент M , между грузом и наклонной плоскостью имеется трение скольжения с коэффициентом f . Вес груза равен P , радиус барабана — R .



Решение. Возможным перемещением данной системы будет поворот барабана на угол $\delta\varphi$ в ту или иную сторону и соответствующее перемещение груза. Изображаем силы, совершающие работу на возможном перемещении — момент M , вес груза \vec{P} , силу трения скольжения \vec{T} ($T = fN = fP \cos \alpha$). Элементарный поворот барабана $\delta\varphi$ примем в сторону момента M и вычислим возможную работу:

$$\delta A = M \delta\varphi - P \sin \alpha \delta s - T \delta s.$$

Подставляя сюда значения $T = fP \cos \alpha$, $\delta s = R \delta\varphi$ и вынося $\delta\varphi$ за скобки, запишем: $\delta A = [M - PR(\sin \alpha + f \cos \alpha)] \delta\varphi$.

Обобщенная сила Q равна коэффициенту при $\delta\varphi$ в полученном выражении, т. е.

$$Q = M - PR(\sin \alpha + f \cos \alpha).$$

2

12.14. Найти движения системы, лагранжиан которой $L = L(\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n)$ не зависит от обобщенных координат и времени.

12.15. Найти движения системы с лагранжианом $L = \sum_{i=1}^n F_i(\dot{q}_i + q_i)$, если уравнения $y_i = \varphi_i(z_i)$, где $\varphi_i(z_i) = F'_i(z_i)$, имеют решениями функции $z_i = \psi_i(y_i)$ ($i = \overline{1, n}$).

12.16. Найти движения механической системы с лагранжианом $L = \frac{1}{2} \sum_{i,k=1}^n a_{ik} \dot{q}_i \dot{q}_k - \sum_{i=1}^n c_i(t) q_i$, где $a_{ik} = a_{ki}$ — постоянные величины.

12.17. Найти закон движения точки, определяемый лагранжианом $L = t \sqrt{1 + \dot{x}^2}$.

12.19. Функция Лагранжа свободной релятивистской частицы с массой покоя m_0 имеет вид

$$L = -m_0 c^2 \sqrt{1 - \frac{\dot{x}_1^2 + \dot{x}_2^2 + \dot{x}_3^2}{c^2}},$$

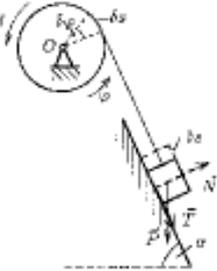
где c — скорость света. Составить уравнения движения частицы и найти их решение.

12.20. Найти закон движения точки, определяемый лагранжианом $L = \frac{m}{2}(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + \frac{\alpha}{2}(\dot{x}y - \dot{y}x) - \frac{\rho_1 x^2}{2} - \frac{\rho_2 y^2}{2}$ (α, ρ_1, ρ_2 — положительные константы).

3



Пример. В механической системе (см. рис. 81) масса барабана равна m_1 , масса перемещаемого груза — m_2 , а движущий момент M изменяется по закону $M = M_0 - k\omega$, где M_0 , k — заданные постоянные, ω — угловая скорость барабана. Полагая выполненным условие $M_0 \geq m_2 g R(\sin \alpha + f \cos \alpha)$, найти закон движения барабана. В начальный момент система находилась в покое.



Решение. Система имеет одну степень свободы ($n = 1$). Примем за обобщенную координату угол поворота барабана φ ($q = \varphi$) и запишем для системы уравнение Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_\varphi.$$

Далее вычисляем обобщенную силу Q_φ и кинетическую энергию системы T и выражаем их через обобщенную координату φ и обобщенную скорость $\dot{\varphi}$.

Выражение для обобщенной силы получено ранее (см. пример 4 на с. 115). Подставляя в него значения $M = M_0 - k\omega$, $P = m_2 g$, $\omega = \dot{\varphi}$, найдем $Q_\varphi = M_1 - k\dot{\varphi}$, где $M_1 = M_0 - m_2 g R(\sin \alpha + f \cos \alpha)$.

Кинетическую энергию системы определяем как сумму кинетических энергий барабана (T_1) и груза (T_2):

$$T = T_1 + T_2 = \frac{1}{2} \frac{m_1 R^2}{2} \omega^2 + \frac{1}{2} m_2 (R\omega)^2 = \frac{1}{4} (m_1 + 2m_2) R^2 \dot{\varphi}^2.$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = \frac{1}{2} (m_1 + 2m_2) R^2 \dot{\varphi}; \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = \frac{1}{2} (m_1 + 2m_2) R^2 \ddot{\varphi}; \quad \frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0 \quad 4$$

Подставляя найденные производные и обобщенную силу в уравнение Лагранжа, получаем дифференциальное уравнение движения системы

$$\frac{1}{2} (m_1 + 2m_2) R^2 \ddot{\varphi} = M_1 - k\dot{\varphi}.$$

Дальнейшее решение задачи сводится к интегрированию этого уравнения при начальных условиях: $t_0 = 0$; $\varphi(0) = \dot{\varphi}(0) = 0$.

Введем обозначения $b = \frac{2k}{(m_1 + 2m_2) R^2}$; $d = \frac{2M_1}{(m_1 + 2m_2) R^2}$

$$\ddot{\varphi} + b\dot{\varphi} = d.$$

Его общее решение (φ) складывается из общего решения (φ_1) однородного уравнения $\ddot{\varphi} + b\dot{\varphi} = 0$ и частного решения (φ_2) неоднородного уравнения: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$.

Чтобы найти общее решение однородного уравнения, составляем характеристическое уравнение $\lambda^2 + b\lambda = 0$ и находим его корни: $\lambda_1 = 0$, $\lambda_2 = -b$. По найденным корням находим $\varphi_1 = C_1 + C_2 e^{-bt}$.

Частное решение, согласно методу специальной правой части, ищем в виде $\varphi_2 = At$, где A — неизвестная пока постоянная. Ее находим, подставляя $\varphi = \varphi_2 = At$ в неоднородное уравнение и приравняв сходственные члены в правой и левой частях полученного равенства. Получаем $A = \frac{d}{b}$; $\varphi_2 = \frac{d}{b} t$.

$$\varphi = C_1 + C_2 e^{-bt} + \frac{d}{b} t.$$

$$\varphi = \frac{d}{b^2} (e^{-bt} - 1) + \frac{d}{b} t.$$

5



1. Частица движется в поле центральной силы, потенциал которой равен $V = -\frac{k}{r}e^{-ar}$, где k и a – положительные постоянные. Провести качественное исследование этого движения, пользуясь методом одномерного потенциала.
2. Показать, что если частица движется по дуге круга под действием центральной силы притяжения, направленной к точке той же окружности, то эта сила изменяется обратно пропорционально пятой степени расстояния.
3. Вычислить приближенное отношение масс Солнца и Земли, пользуясь только продолжительностью года и лунного месяца, а также средними радиусами орбит Земли и Луны.
4. Определить закон движения частицы в поле $U(x)$: $U(x) = A(e^{-2\alpha x} - 2e^{-\alpha x})$;
 $U(x) = -\frac{U_0}{ch^2\alpha x}A$; $U(x) = U_0tg^2\alpha x$.
5. Определить траекторию частицы в поле $U(x) = -\frac{\alpha}{r} - \frac{\beta}{r^2}$.
6. При каких значениях момента импульса возможно финитное движение частицы в поле $U(r)$: $U(x) = -\frac{\alpha e^{-\beta r}}{r}$, $U(x) = -Ve^{-\alpha^2 r^2}$.
7. Определить время падения частицы с расстояния R в центр поля $U(r) = -\frac{\alpha}{r}$, рассматривая траекторию как вырожденный эллипс. Начальная скорость частицы равна нулю.

Раздел 4. Колебания.

Практическое занятие 7,8



1. Выразить амплитуду и начальную фазу колебаний через начальные значения x_0 и v_0 координаты и скорости.

Ответ:

$$a = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}}, \quad \operatorname{tg} \alpha = -\frac{v_0}{\omega x_0}.$$

3. Найти частоту колебаний точки с массой m , способной двигаться по прямой и прикрепленной к пружине, другой конец которой закреплен в точке A (рис. 22) на расстоянии l от прямой. Пружина, имея длину l , натянута с силой F .

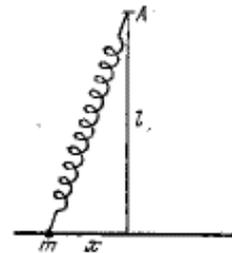
Решение. Потенциальная энергия пружины (с точностью до малых величин высшего порядка) равна произведению силы F на удлинение δl пружины. При $x \ll l$ имеем:

$$\delta l = \sqrt{l^2 + x^2} - l \approx x^2/2l,$$

так что $U = Fx^2/2l$. Поскольку кинетическая энергия есть $mx^2/2$, то

$$\omega = \sqrt{F/ml}.$$

$$(1+x)^n \approx 1+nx$$



4. То же, если точка m движется по окружности радиуса r (рис. 23).

Решение. В этом случае удлинение пружины (при $\varphi \ll 1$)

$$\delta l = \sqrt{r^2 + (l+r)^2} - 2r(l+r) \cos \varphi - l \approx \frac{r(l+r)}{2l} \varphi^2.$$

Кинетическая энергия $T = \frac{1}{2}mr^2\dot{\varphi}^2$. Отсюда частота

$$\omega = \sqrt{\frac{F(r+l)}{rlm}}.$$

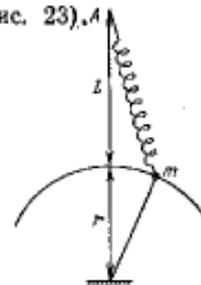


Рис. 23

5. Найти частоту колебаний изображенного на рис. 2 маятника, точка подвеса которого (с массой m_1 в ней) способна совершать движение в горизонтальном направлении.

Решение. При $\varphi \ll 1$ из полученной в задаче 3 § 14 формулы находим:

$$T = \frac{m_1 m_2 l^2}{2(m_1 + m_2)} \dot{\varphi}^2, \quad U = \frac{m_2 g l}{2} \varphi^2.$$

Отсюда

$$\omega = \sqrt{\frac{g(m_1 + m_2)}{m_1 l}}.$$

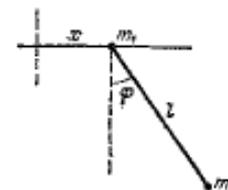


Рис. 2



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ») Физический факультет Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика» по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 25

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

1. Определить вынужденные колебания системы под влиянием силы $F(t)$, если в начальный момент $t = 0$ система покоится в положении равновесия ($x = 0, \dot{x} = 0$) для случаев

а) $F = \text{const} = F_0$. $x = x' + F_0/k$

Ответ: $x = \frac{F_0}{m\omega^2} (1 - \cos \omega t)$; действие постоянной силы приводит к смещению положения равновесия, вокруг которого происходят колебания,

б) $F = at$.

Ответ: $x = \frac{a}{m\omega^3} (\omega t - \sin \omega t)$.

в) $F = F_0 e^{-\alpha t}$.

Ответ: $x = \frac{F_0}{m(\omega^2 + \alpha^2)} \left(e^{-\alpha t} - \cos \omega t + \frac{\alpha}{\omega} \sin \omega t \right)$.

г) $F = F_0 e^{-\alpha t} \cos \beta t$.

Ответ:

$$x = \frac{F_0}{m[(\omega^2 + \alpha^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha^2\beta^2]} \left\{ -(\omega^2 + \alpha^2 - \beta^2) \cos \omega t + \frac{\alpha}{\omega} (\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2) \sin \omega t + e^{-\alpha t} [(\omega^2 + \alpha^2 - \beta^2) \cos \beta t - 2\alpha\beta \sin \beta t] \right\}$$

(при решении удобно писать силу в комплексном виде $F = F_0 e^{(-\alpha + i\beta)t}$).

1. Определить колебания системы с двумя степенями свободы, если ее функция Лагранжа

$$L = \frac{1}{2} (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) - \frac{\omega_0^2}{2} (x^2 + y^2) + \alpha xy$$

(две одинаковые одномерные системы с собственной частотой ω_0 , связанные взаимодействием $-\alpha xy$).

Решение. Уравнения движения

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = \alpha y, \quad \ddot{y} + \omega_0^2 y = \alpha x.$$

Подстановка (23,6) дает:

$$A_x (\omega_0^2 - \omega^2) = \alpha A_y, \quad A_y (\omega_0^2 - \omega^2) = \alpha A_x. \quad (1)$$

Характеристическое уравнение $(\omega_0^2 - \omega^2)^2 = \alpha^2$, откуда

$$\omega_1^2 = \omega_0^2 - \alpha, \quad \omega_2^2 = \omega_0^2 + \alpha.$$

При $\omega = \omega_1$ уравнения (1) дают $A_x = A_y$, а при $\omega = \omega_2$ $A_x = -A_y$. Поэтому

$$x = \frac{1}{\sqrt{2}} (Q_1 + Q_2), \quad y = \frac{1}{\sqrt{2}} (Q_1 - Q_2)$$

(коэффициенты $1/\sqrt{2}$ соответствуют указанной в тексте нормировке нормальных координат).

При $\alpha \ll \omega_0^2$ (слабая связь) имеем:

$$\omega_1 \approx \omega_0 - \frac{\alpha}{2\omega_0}, \quad \omega_2 \approx \omega_0 + \frac{\alpha}{2\omega_0}.$$

Изменение x и y представляет собой в этом случае наложение двух колебаний с близкими частотами, т. е. имеет характер биений с частотой $\omega_x - \omega_1 = \alpha/\omega_0$ (см. § 22). При этом в момент, когда амплитуда координаты x проходит через максимум, амплитуда y проходит через минимум и наоборот.



2. Определить малые колебания двойного плоского маятника (рис. 1).

Решение. Для малых колебаний ($\varphi_1 \ll 1$, $\varphi_2 \ll 1$) найденная в задаче 1 § 5 функция Лагранжа принимает вид

$$L = \frac{m_1 + m_2}{2} l_1^2 \dot{\varphi}_1^2 + \frac{m_2}{2} l_2^2 \dot{\varphi}_2^2 + m_2 l_1 l_2 \dot{\varphi}_1 \dot{\varphi}_2 - \frac{m_1 + m_2}{2} g l_1 \varphi_1^2 - \frac{m_2}{2} g l_2 \varphi_2^2$$

Уравнения движения:

$$\begin{aligned} (m_1 + m_2) l_1 \ddot{\varphi}_1 + m_2 l_2 \ddot{\varphi}_2 + (m_1 + m_2) g \varphi_1 &= 0, \\ l_1 \ddot{\varphi}_1 + l_2 \ddot{\varphi}_2 + g \varphi_2 &= 0. \end{aligned}$$

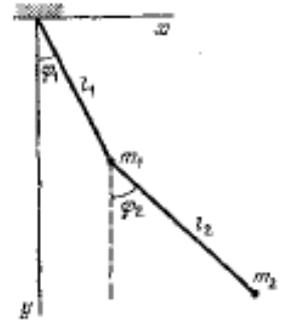
После подстановки (23,6):

$$\begin{aligned} A_1 (m_1 + m_2) (g - l_1 \omega^2) - A_2 \omega^2 m_2 l_2 &= 0, \\ -A_1 l_1 \omega^2 + A_2 (g - l_2 \omega^2) &= 0. \end{aligned}$$

Корни характеристического уравнения:

$$\begin{aligned} \omega_{1,2}^2 = \frac{g}{2m_1 l_1 l_2} \{ (m_1 + m_2) (l_1 + l_2) \pm \\ \pm \sqrt{(m_1 + m_2) [(m_1 + m_2) (l_1 + l_2)^2 - 4m_1 l_1 l_2]} \}. \end{aligned}$$

При $m_1 \rightarrow \infty$ частоты стремятся к пределам $\sqrt{g/l_1}$ и $\sqrt{g/l_2}$, соответствующим независимым колебаниям двух маятников.



3. Найти траекторию движения частицы в центральном поле $U = kr^2/2$ (так называемый пространственный осциллятор).

Решение. Как и во всяком центральном поле, движение происходит в одной плоскости, которую выбираем в качестве плоскости x, y . Изменение каждой из координат x, y — простое колебание с одинаковыми частотами $\omega = \sqrt{k/m}$:

$$x = a \cos(\omega t + \alpha), \quad y = b \cos(\omega t + \beta)$$

или

$$x = a \cos \varphi, \quad y = b \cos(\varphi + \delta) = b \cos \delta \cos \varphi - b \sin \delta \sin \varphi,$$

где введены обозначения $\varphi = \omega t + \alpha$, $\delta = \beta - \alpha$. Определив отсюда $\cos \varphi$ и $\sin \varphi$ и составив сумму их квадратов, получим уравнение траектории

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{2xy}{ab} \cos \delta = \sin^2 \delta.$$

Это — эллипс с центром в начале координат¹⁾. При $\delta = 0$ или π траектория вырождается в отрезки прямой.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 27	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

- 1 Найти функцию Лагранжа плоского подвесного маятника.
- 2 Вывести уравнение больших колебаний подвесного маятника с помощью формализма Ньютона.
- 3 Вывести уравнение больших колебаний подвесного маятника с помощью формализма Лагранжа.
- 4 Вывести уравнение больших колебаний подвесного маятника с помощью формализма Гамильтона.
- 5 Найти функцию Лагранжа одномерного пружинного маятника.
- 6 Определить малые колебания двойного плоского маятника.
- 7 Найти частоту колебаний маятника, точка подвеса которого способна совершать движение в горизонтальном направлении.
- 8 Определить колебания системы с двумя степенями свободы, если известна функция Лагранжа.
- 9 Однородный сплошной цилиндр массы m радиуса r может катиться без проскальзывания по внутренней поверхности полого цилиндра радиуса R и массы M , который может вращаться вокруг своей горизонтально расположенной неподвижной оси. Составить уравнения движения системы. Найти малые колебания системы.

Пример варианта контрольной работы (Разделы 1,2)

1. Однородная нить длины L , часть которой лежит на гладком горизонтальном столе, движется под действием силы тяжести другой части, которая свешивается со стола. Определить промежуток времени T , по истечению которого нить покинет стол, если известно, что в начальный момент длина свешивающейся части равна l , а начальная скорость равна нулю.
2. Три груза массы M каждый соединены нерастяжимой нитью, переброшенной через неподвижный блок. Два груза лежат на гладкой горизонтальной плоскости, а третий – подвешен вертикально. Определить ускорение системы и натяжение нити между первым и вторым грузами. Массой нити и блока пренебречь.
3. Решить предыдущую задачу с учётом массы блока, считая, что при движении грузов блок вращается вокруг неподвижной оси. Масса блока – сплошного однородного диска – равна $2M$.

Вопросы к экзамену (4 семестр)

1. * Предмет и особенности теоретической механики. Разделы: квантовая и классическая теории, нерелятивистская и релятивистская теории.
2. * Материальная точка. Степени свободы. Обобщённые координаты, скорости, ускорения. Функции координат и скоростей.
3. * Функция Лагранжа и действие системы. Уравнения Лагранжа. Свойства функции Лагранжа. Экстремальные принципы физики.
4. * Инерциальные системы отсчёта и свойства пространства-времени. Преобразования Галилея и Лоренца. Принципы относительности Галилея и Эйнштейна.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 28	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

5. Функция Лагранжа свободной частицы. Её вид в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат.

6. * Функция Лагранжа системы частиц. Обратимость движения. Уравнения Ньютона. Нормировка потенциальной энергии. Система во внешнем поле.

7. * Интегралы движения. Закон сохранения энергии как следствие однородности времени.

8. * Закон сохранения импульса как следствие однородности пространства. Влияние внешнего поля. Обобщённые импульсы и силы. Релятивистский импульс.

9. * Условие покоя системы частиц. Центр инерции. Внутренняя энергия. Преобразование энергии.

10. * Закон сохранения момента импульса как следствие изотропии пространства. Семь аддитивных интегралов движения. Преобразование момента импульса.

11. * Функция Гамильтона системы. Канонические уравнения и условие сохранения энергии. Релятивистская кинетическая энергия.

12. Вывод и неявное решение уравнения одномерного движения. Финитное и инфинитное движения. Точки остановки. Период произвольных колебаний.

13. Задача двух тел. Их функция Лагранжа относительно центра инерции. Приведённая масса.

14. Центральное поле. Сохранение момента импульса. Секториальная скорость. Неявное решение уравнения движения. Центробежная энергия. Точки разворота.

15. Задача Кеплера. Форма траектории тела. Параметр и эксцентриситет орбиты. Период движения.

16. Рассеяние частиц. Прицельное расстояние. Эффективное сечение рассеяния.

17. * Свободные колебания. Вывод и решение уравнения малых колебаний. Амплитуда, фаза, частота, комплексная амплитуда.

18. Вынужденные колебания. Вывод и решение уравнения малых колебаний. Случай гармонической силы. Резонанс. Биения.

19. Колебания молекул. Подсчёт степеней свободы. Исключение поступательного и вращательного движений. Типы колебаний плоских и линейных молекул.

20. * Затухающие колебания. Сила трения. Постулирование и решение уравнения малых колебаний. Аперiodическое затухание.

21. Ангармонические колебания. Примеры модельных систем и уравнений.

Примечание: *отмечены вопросы, входящие в список вопросов «теоретического минимума».

Раздел 2 «Электродинамика», 5 семестр

Примеры задач для контрольных работ

По теме «Движение частиц в электромагнитном поле»

Вариант 1:



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 29	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

- 1) Найти зависимость импульса заряженной частицы от времени в постоянном однородном электрическом поле.
- 2) Оценить индукцию магнитного поля в Большом адронном коллайдере для удержания протонов ($m = 1.67 \cdot 10^{-27}$ кг, $q = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл) с Лоренц-фактором 6500 на круговой орбите.

Вариант 2:

- 1) Найти зависимость скорости заряженной частицы от времени в постоянном однородном электрическом поле, полагая, что вначале частица покоится.
- 2) С помощью рисунка доказать, что в сходящемся магнитном поле средняя по циклотронному периоду сила Лоренца направлена в сторону ослабления магнитного поля.

Вопросы для тестирования и ответы

1. Одно из уравнений Максвелла гласит:

- a) Магнитный момент контура с током равен произведению силы тока на площадь поверхности, опирающейся на контур;
- b) Циркуляция напряжённости электрического поля в контуре пропорциональна темпу изменения магнитного потока через поверхность, опирающуюся на контур;**
- c) Ротор электрической индукции равен плотности тока плюс темп изменения напряжённости электрического поля.

2. Одно из уравнений Максвелла гласит:

- a) Дивергенция магнитной индукции равна произведению силы тока на площадь поверхности, опирающейся на контур;
- b) Циркуляция индукции электрического поля пропорциональна темпу изменения тока;
- c) Ротор электрической напряжённости пропорционален темпу изменения магнитной индукции.**

3. Одно из уравнений Максвелла гласит:

- a) Поток магнитной индукции через замкнутую поверхность равен нулю;**
- b) Скорость изменения заряда в области пространства равна потоку заряда через поверхность этой области;
- c) Индукция магнитного поля витка с током максимальна в центре витка.

4. Одно из уравнений Максвелла гласит:

- a) Дивергенция магнитной индукции равна нулю;**
- b) Плотность потока электромагнитной энергии пропорциональна векторному произведению напряжённостей электрического и магнитного поля;



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 30

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

с) Ротор напряжения равен силе тока плюс скорость изменения магнитного потока.

5. Одно из уравнений Максвелла гласит:

- a) Дивергенция векторного потенциала электромагнитного поля равна нулю;
- b) Поток электрической индукции через поверхность некоторой области пропорционален заряду этой области;**
- c) Градиент электростатического потенциала равен напряжённости электрического поля со знаком минус.

6. Одно из уравнений Максвелла гласит:

- a) Градиент векторного потенциала равен темпу изменения напряжённости магнитного поля;
- b) Циркуляция скалярного потенциала магнитного поля равна скорости изменения потока электрической индукции;
- c) Дивергенция индукции электрического поля пропорциональна плотности заряда.**

7. Одно из уравнений Максвелла гласит:

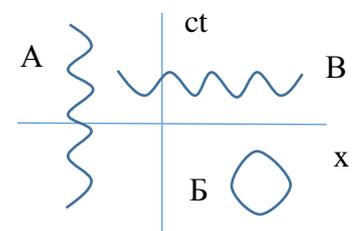
- a) Ротор напряжённости магнитного поля равен линейной комбинации плотности тока и темпа изменения индукции электрического поля;**
- b) Градиент напряжённости магнитного поля равен сумме силы тока и скорости изменения электрического поля;
- c) Дивергенция индукции магнитного поля равна разности силы тока и темпа изменения магнитного потока.

8. Одно из уравнений Максвелла гласит:

- a) Поток магнитной индукции в контуре равен сумме силы тока и темпа изменения циркуляции электрического поля через площадь поверхности опирающейся на контур;
- b) Циркуляция напряжённости магнитного поля в контуре равна линейной комбинации силы тока и темпа изменения потока электрической индукции через площадь поверхности опирающейся на контур;**
- c) Ротор электрической индукции пропорционален сумме плотности тока и темпа изменения напряжённости электрического поля.

9. Мирова линия частицы, совершающей одномерные колебания, имеет вид

- А
- Б
- В





10. Преобразования Лоренца в случае движения инерциальной системы отсчёта K' в направлении оси y системы K со скоростью v и Лоренц-фактором γ при одинаковой ориентации осей имеют вид:

А	Б	В
$t = \gamma(t' + vy'/c^2)$ $x = x' + vt'$ $y = y'$ $z = z'$	$t = \gamma(t' + vy'/c^2)$ $x = x'$ $y = \gamma(y' + vt')$ $z = z'$	$t = \gamma(t' + vx'/c^2)$ $x = \gamma x'$ $y = \gamma(y' + vt')$ $z = \gamma z'$

11. Лоренц-фактором называют величину:

- a) $1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$
- b) $\sqrt{1 - v^2/c^2}$
- c) $\sqrt{1 + v^2/c^2}$

12. Система отсчёта K' движется в направлении оси x инерциальной системы отсчёта K со скоростью $\vec{v} = \text{const}$. Ориентация осей в этих системах одинакова. $1/\sqrt{1 - v^2/c^2} \equiv \gamma$. Тогда координаты и время в системе K' :

А	Б	В
$t' = \gamma(t - vx/c^2)$ $x' = \gamma(x - vt)$ $y' = y$ $z' = z$	$t' = \gamma(t + vx/c^2)$ $x' = \gamma(x + vt)$ $y' = y$ $z' = z$	$t' = \gamma(t + vx)$ $x' = \gamma(x + vt)$ $y' = y$ $z' = z$

13. При переходе в систему отсчёта, связанную со спутником Земли, преобразования Лоренца непригодны, поскольку:

- a) **Спутник движется ускоренно;**
- b) Скорость спутника постоянна;
- c) Спутник является инерциальной системой отсчёта.

14. Релятивистский импульс частицы:

- a) $m\vec{v}\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}$
- b) $\rho m\vec{v}$



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 32

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

с) $m\vec{v}/\sqrt{1-v^2/c^2}$

15. Релятивистский импульс частицы:

а) $\mathcal{E}\vec{v}/c^2$

б) mc^2

с) $m\vec{v}$

16. Релятивистская энергия частицы:

а) $\mathcal{E}\vec{v}/c^2$

б) $mc^2/\sqrt{1-v^2/c^2}$

с) $mc^2\sqrt{1+v^2/c^2}$

17. В инерциальной системе отсчёта расстояние между двумя электронами с энергиями E_1 и E_2 равно a . Тогда координата центра инерции относительно первого электрона:

а) $x=aE_1/(E_1+E_2)$, $y=0$, $z=0$, если Ox провести через первый электрон;

б) $x=aE_2/(E_1+E_2)$, $y=0$, $z=0$, если Ox провести через второй электрон;

с) $x=aE_2/(E_1+E_2)$, $y=0$, $z=0$, если Ox провести через второй электрон.

18. Релятивистское уравнение движения частицы с зарядом q имеет вид (в системе СГС):

а) $\dot{\vec{p}} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

б) $\dot{\vec{p}} = q\left(\vec{E} + \frac{1}{c}\vec{v} \times \vec{B}\right)$

с) $\dot{\vec{p}} = q\vec{E} + \frac{1}{c}\vec{v}\vec{B}$

19. Импульс частицы с зарядом q в постоянном однородном электрическом поле с напряжённостью \vec{E} зависит от времени по закону:

а) $\vec{p}(t) = \vec{p}(0)q \sin \vec{E}t$

б) $\vec{p}(t) = \vec{p}(0) + q\vec{E}\sqrt{1-t^2}$

с) $\vec{p}(t) = \vec{p}(0) + q\vec{E}t$

20. Вычислить Лоренц-фактор электронов в электронном микроскопе с разгоняющим напряжением 100 кВ. Масса электрона $9.1 \cdot 10^{-31}$ кг, заряд электрона $1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл.
Ответ:

а) 2.4;

б) 1.2;

с) 0.8.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 33	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

21. Скорость неизлучающей заряженной частицы в постоянном однородном магнитном поле:

- a) Постоянна по модулю и направлению;
- b) Постоянна по модулю;**
- c) Подобна спирали.

22. В постоянном однородном магнитном поле релятивистская заряженная частица движется по винтовой линии, если:

- a) начальная скорость частицы не параллельна магнитному полю;**
- b) начальная скорость частицы много меньше скорости света;
- c) радиус кривизны магнитного поля много меньше длины волны излучения частицы.

23. Гиромагнитная (циклотронная) частота нерелятивистской частицы (в системе СГС):

- a) $qB/(mc)$
- b) $\sqrt{k/m}$
- c) $2\pi/\sqrt{LC}$

24. Гиромагнитная (циклотронная) частота релятивистской частицы (в системе СГС):

- a) $eH/(mc^2)$
- b) qBc/ε
- c) $eB/(mc)$

25. В постоянных и однородных скрещенных электрическом и магнитном полях частица:

- a) Двигается по Архимедовой спирали, перпендикулярной магнитному полю;
- b) Колеблется перпендикулярно магнитному полю;
- c) Дрейфует в направлении, перпендикулярном обоим полям.**

26. Система отсчёта K' движется в направлении оси x инерциальной системы отсчёта K со скоростью $\vec{v} = \text{const}$. Ориентация осей в этих системах одинакова. $1/\sqrt{1 - v^2/c^2} \equiv \gamma$. Тогда преобразования Лоренца для электрического поля можно записать в виде:

А	Б	В
---	---	---



$E_x = \gamma E'_x$ $E_y = \gamma \left(E'_y + \frac{v}{c} H'_x \right)$ $E_z = \gamma \left(E'_z + \frac{v}{c} H'_x \right)$	$E_x = \gamma \left(E'_x + \frac{v}{c} H'_x \right)$ $E_y = \gamma \left(E'_y - \frac{v}{c} H'_y \right)$ $E_z = \gamma \left(E'_z + \frac{v}{c} H'_z \right)$	$E_x = E'_x$ $E_y = \gamma \left(E'_y + \frac{v}{c} H'_z \right)$ $E_z = \gamma \left(E'_z - \frac{v}{c} H'_y \right)$
---	---	--

27. Система отсчёта K' движется в направлении оси x инерциальной системы отсчёта K со скоростью $\vec{v} = \text{const}$. Ориентация осей в этих системах одинакова. $1/\sqrt{1 - v^2/c^2} \equiv \gamma$. Тогда преобразования Лоренца для магнитного поля можно записать в виде:

А	Б	В
$H_x = \gamma \left(H'_x + \frac{v}{c} E'_x \right)$ $H_y = \gamma \left(H'_y - \frac{v}{c} E'_z \right)$ $H_z = \gamma \left(H'_z + \frac{v}{c} E'_y \right)$	$H_x = H'_x$ $H_y = \gamma \left(H'_y - \frac{v}{c} E'_z \right)$ $H_z = \gamma \left(H'_z + \frac{v}{c} E'_y \right)$	$H_x = \gamma H'_x$ $H_y = \gamma \left(H'_y - \frac{v}{c} E'_y \right)$ $H_z = \gamma \left(H'_z + \frac{v}{c} E'_z \right)$

28. Инвариантами электромагнитного поля являются:

- $\vec{E}\vec{H}, E^2 - H^2$
- $\vec{E} \times \vec{H}, E^2 + H^2$
- $\vec{E}\vec{H}, E^2 + H^2, E/H$

29. Уравнение $\text{rot}\vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ есть математическая запись:

- Закона электромагнитной индукции Фарадея;**
- Условия отсутствия магнитных зарядов;
- Закона Био-Савара-Лапласа.

30. Уравнение $\text{rot}\vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ означает, что:

- Циркуляция магнитного поля пропорционален сумме тока смещения и темпа изменения напряжённости электрического поля;
- Ротор напряжённости магнитного поля равен линейной комбинации плотности тока и темпа изменения электрической индукции;**
- Ротор магнитной индукции пропорционален сумме плотности тока смещения и темпа изменения напряжённости электрического поля.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 35	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

31. Используя одно из уравнений Максвелла, оценить напряжённость магнитного поля на поверхности молнии с радиусом 20 см и силой тока 500 кА. Током смещения пренебречь. Ответ:

- a) $4 \cdot 10^5$ А/м;
- b) 3500 Тл;
- c) 8 А/м.

32. Вектор Пойнтинга задаёт:

- a) Мощность излучения антенны;
- b) Электромагнитную светимость системы зарядов;
- c) **Плотность потока электромагнитной энергии.**

33. Плотность электромагнитной энергии в вакууме (в системе СГС):

- a) $E^2 - H^2$
- b) $(E^2 + H^2)/(8\pi)$
- c) $\vec{E}\vec{H}$

34. Вектор Пойнтинга в вакууме (в системе СГС):

- a) $\vec{E}\vec{H}/(8\pi)$
- b) $\frac{c}{4\pi} \vec{E} \times \vec{H}$
- c) $\vec{E}\vec{H}$

35. Энергия электростатического взаимодействия заряженных частиц может быть вычислена по формуле (в системе СГС):

A	Б	B
$\frac{1}{2} \sum_i q_i \sum_{j \neq i} \frac{q_j}{r_{ij}}$	$\sum_i q_i \sum_{j \neq i} \frac{q_j}{r_{ij}} \vec{r}_{ij}$	$\sum_i q_i \sum_{j \neq i} \frac{q_j}{r_{ij}^2}$

36. Закон Био-Савара-Лапласа может быть записан в виде (в системе СГС):

A	Б	B
$d\vec{E} = \frac{I}{c} \frac{[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^2}$	$d\vec{H} = \frac{I}{c} \frac{[\vec{r}, d\vec{l}]}{r}$	$d\vec{H} = \frac{I}{c} \frac{[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}$



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 36	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

37. Одномерное волновое уравнение для векторного потенциала электромагнитного поля в вакууме имеет вид:

А	Б	В
$\frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial x^2} = 0$	$\frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial x} = 0$	$\frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = 0$

38. Диэлектрическая проницаемость среды характеризует:

- а) **Поляризацию диэлектриков под действием электрического поля;**
- б) Пробивную напряжённость электрического поля в диэлектриках;
- с) Степень экранирования связанных зарядов свободными зарядами.

39. Магнитная проницаемость среды характеризует:

- а) Глубину проникновения магнитного поля в среду;
- б) Время проникновения магнитного поля в среду;
- с) **Намагничивание среды под воздействием магнитного поля.**

40. Поверхность проводника является эквипотенциальной, поскольку:

- а) Электрическое поле на ней имеет только тангенциальную составляющую;
- б) Электрическое поле на ней равно нулю;
- с) **Электрическое поле на ней имеет только нормальную составляющую.**

Вопросы к экзамену (5 семестр)

1. Постулаты теории относительности. Пространство Минковского. Интервал. *
2. Вывод и анализ преобразований Лоренца.
3. Преобразование скорости. Предельные случаи.
4. Импульс частицы. Сила. *
5. Энергия и Гамильтониан свободной частицы. *
6. Скалярный и векторный потенциалы электромагнитного поля.
7. Уравнение движения частицы в электромагнитном поле. *
8. Постоянное или однородное электромагнитное поле.
9. Движение в постоянном однородном электрическом или магнитном поле. *
10. Движение в постоянных однородных электрическом и магнитном полях.
11. Преобразования Лоренца для поля. *
12. Инварианты поля. *
13. Первая пара уравнений Максвелла. *
14. Вторая пара уравнений Максвелла. *
15. Плотность и поток электромагнитной энергии. *
16. Вывод закона Кулона.
17. Электростатическая энергия системы зарядов.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 37	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

18. Дипольный момент.
19. Закон Био-Савара-Лапласа. *
20. Магнитный момент.
21. Электростатическое поле проводников и диэлектриков.
22. Диэлектрическая проницаемость среды. *
23. Постоянный ток.
24. Намагниченность тела и магнитная проницаемость среды. *
25. Квазистационарное приближение.
26. Приближение магнитной газодинамики.
27. Электромагнитные волны в вакууме. *
28. Электромагнитные волны в диэлектриках

Примечание: *отмечены вопросы, входящие в список «теоретического минимума».

Раздел 3 «Квантовая теория», 6 семестр

База тестовых вопросов

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
Раздел 1 Введение. Математический аппарат квантовой теории		
1	Объекты, которые изучает квантовая теория.	атомы молекулы кварки электропроводность температуру кристаллов
2	Область применения квантовой теории.	Все тела Макроскопические тела Явления, в которых нельзя пренебречь величинами порядка $\hbar\omega$ и $\hbar\vec{k}$. Объекты меньше 1 нм.
3	Принцип неопределенности.	Некоторые величины нельзя одновременно измерить Физические величины одновременно не измеряются Величина поля и координаты частицы одновременно не измеряются Состояние квантовой системы не определено
4	Статистическая трактовка волновой функции.	Волновая функция пропорциональна вероятности нахождения части в точке Квадрат волновой функции пропорционален вероятности



$$\hat{s} = \frac{1}{2} \hbar \hat{\sigma}, \hat{\sigma}_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \hat{\sigma}_y = \begin{pmatrix} 0 & i \\ -i & 0 \end{pmatrix}, \hat{\sigma}_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (0.1)$$

Задача 6. (1.1.) Рассмотреть следующие операторы ($-\infty < x < \infty$):

а) отражения $\hat{I} : \hat{I}\Psi(x) \equiv \Psi(-x)$;

б) сдвига $\hat{T}_a : \hat{T}_a\Psi(x) \equiv \Psi(x+a)$;

в) изменения масштаба $\hat{M}_c : \hat{M}_c\Psi(x) \equiv \sqrt{c}\Psi(cx)$;

г) комплексного сопряжения $\hat{K}\Psi(x) \equiv \Psi^*(x)$.

Являются ли эти операторы линейными?

Задача 7. (1.2.) Для оператора $i\hbar \frac{d}{dx}$, ($-\infty < x < \infty$), найти операторы, которые по

отношению к нему являются транспонированным, комплексно сопряженным, эрмитово сопряженным, обратным.

Задача 8. (1.3.) Для произвольного линейного оператора \hat{L} показать:

а) $(L^+)^+ = \hat{L}$;

б) операторы $\hat{L}^+\hat{L}$ и $\hat{L}\hat{L}^+$ эрмитовы;

в) операторы $\hat{L}^+ + \hat{L}$ и $i(\hat{L} - \hat{L}^+)$ эрмитовы.

Задача 9. (1.4.) Показать, что если оператор \hat{C} эрмитов, то оператор $\hat{G} = \hat{A}\hat{C}\hat{A}^+$ также является эрмитовым.

Задача 10. (1.5.) Показать, что произвольный оператор \hat{F} можно представить в виде $\hat{F} = \hat{A} + i\hat{B}$, где \hat{A} и \hat{B} – эрмитовы операторы.

Задача 11. (1.6.) Показать, что если операторы \hat{A} и \hat{B} эрмитовы, то операторы $\hat{A}\hat{B} + \hat{B}\hat{A}$ и $i(\hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A})$ также эрмитовы.

Задача 12. (1.7.) Оператор \hat{F} неэрмитов. В каком случае оператор \hat{F}^2 эрмитов.

Задача 13. (1.19.) В состоянии, описываемом волновой функцией вида

$$\Psi(x) = C \exp\left[\frac{ip_0x}{\hbar} - \frac{(x-x_0)^2}{2a^2}\right], \quad (0.2)$$

где p_0 , x_0 , a – вещественные параметры, найти функцию распределения по координатам частицы. Определить средние значения и флуктуации координаты и импульса частицы.



Задача 14. (1.20.) Волновая функция состояния частицы имеет вид

$$\psi(x) = C \exp\left(\frac{ip_0x}{\hbar}\right) \varphi(x), \quad (0.3)$$

$\varphi(x)$ – вещественная функция. Показать, что p_0 – средний импульс частицы в рассматриваемом состоянии.

Задача 15. (1.25.) Найти собственные функции и собственные значения физической величины, представляющей линейную комбинацию одноименных компонент импульса и координаты: $f = \alpha \hat{p} + \beta \hat{x}$. Убедиться в ортогональности полученных функций. Рассмотреть предельные случаи $\alpha \rightarrow 0$; $\beta \rightarrow 0$. Решение искать в виде:

$$\Psi(x) = C \exp\left[-\frac{i(\beta x - f)^2}{2\hbar\alpha\beta}\right]$$

Задача 16. (2.1.) Найти энергетические уровни и нормированные волновые функции стационарных состояний частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме ширины a , т.е.

$$U(x) = \begin{cases} 0, & 0 < x < a, \\ \infty, & x < 0, x > a. \end{cases}$$

Выяснить свойства симметрии полученных функций при инверсии координат относительно центра ямы ($x \rightarrow x' = -x + a$).

Задача 17. (2.2.) В стационарных состояниях частицы из задачи 16 найти функцию распределения по координатам и импульсам частицы, средние значения этих величин и их флуктуации.

Задача 18. (2.3.) Найти среднюю кинетическую энергию и ее флуктуацию в стационарных состояниях частицы из задачи 16.

Задача 19. (2.7.) Найти четные и нечетные энергетические уровни дискретного спектра частицы в симметричной потенциальной яме:

$$U(x) = \begin{cases} -U_0, & |x| < a, \\ 0, & |x| > a. \end{cases}$$

Каково число состояний частицы в дискретном спектре в зависимости от глубины ямы?

Задача 20. (2.11.) Найти уровни энергий и нормированные волновые функции состояния дискретного спектра частицы в поле $U(x) = -\alpha\delta(x)$, $\alpha > 0$. Найти среднее значение кинетической и потенциальной энергии в этих состояниях.

Задача 21. (2.43.) Для свободной частицы, движение которой ограничено



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 43	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

непроницаемой стенкой, т.е.

$$U(x) = \begin{cases} \infty, & x < 0, \\ 0, & x > 0, \end{cases}$$

найти волновые функции стационарных состояний. Нормировать их на δ -функцию по энергии.

Задача 22. (2.44.) Найти волновые функции стационарных состояний частицы в поле

$$U(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ U_0, & x > 0, (U_0 > 0), \end{cases}$$

для случая, когда энергия частицы E меньше высоты потенциальной стенки U_0 . Нормировать их на δ -функцию по энергии.

Задача 23. (2.47.) Определить коэффициенты прохождения и отражения частиц в случае δ -функционального потенциала $U(x) = \alpha\delta(x)$.

Задача 24. (2.48.) Найти коэффициент прохождения частиц через прямоугольный потенциальный барьер:

$$U(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, x > a, \\ U_0, & 0 < x < a, (U_0 > 0), \end{cases}$$

Исследуйте случаи:

- $E \rightarrow \infty$ ($E \gg U_0$);
- широкий барьер ($(U_0 - E)ma^2 / \hbar^2 \ll 1$);
- очень низкий барьер ($E \rightarrow \infty$).

Задача 25. (4.1.) Найти волновые функции стационарных состояний и уровни энергии плоского ротатора с моментом инерции I .

Какова кратность вырождения уровней?

Ротатор – это вращающаяся система из двух жестко связанных друг с другом частиц. Момент инерции равен $I = ma^2$, m – приведенная масса частиц, a – расстояние между ними.

Задача 26. (4.3.) Найти волновые функции стационарных состояний и уровни энергии пространственного ротатора с моментом инерции I .

Задача 27. (4.8.) Найти энергетические уровни и волновые функции стационарных состояний частицы в бесконечно глубокой двумерной потенциальной яме

$$U(\rho) = \begin{cases} 0, & \rho \leq a, \\ \infty, & \rho > a. \end{cases}$$



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 44	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

Задача 28. (4.9.) Найти энергетические уровни дискретного спектра частицы в двумерной потенциальной яме $U(\rho)$ вида

$$U(\rho) = \begin{cases} -U_0, & \rho < a, \\ 0, & \rho \geq a, \end{cases}$$

отвечающие значению $m=0$ проекции момента частицы на направление, перпендикулярное плоскости движения.

Исследовать случай мелкой ямы $ma^2U_0 / \hbar^2 \ll 1$.

Задача 29. (4.10.) То же, что в задаче 28, но в случае $m \neq 0$. Получить условие существования дискретного спектра.

Задача 30. (4.20.) Как изменяются значения $E_{n,l}$ энергетических уровней частицы в дискретном спектре:

- при фиксированном значении l с увеличением n_r ;
- при фиксированном значении n_r с увеличением l ?

Задача 31. (4.21.) Для частицы, находящейся в центральном поле,

- могут ли быть двукратно вырожденные уровни?
- какую кратность вырождения может иметь первый возбужденный уровень?
- что можно сказать о квантовых числах уровня, если его кратность вырождения равна 7; 9?

Задача 32. (4.23.) Найти уровни энергии и нормированные волновые функции стационарных состояний сферического осциллятора $U(r) = kr^2 / 2$.

Пример варианта контрольной работы

1. Для произвольного линейного оператора \hat{L} показать:

а) $(L^+)^+ = \hat{L}$;

б) операторы $\hat{L}^+ \hat{L}$ и $\hat{L} \hat{L}^+$ эрмитовы;

2. Рассмотреть следующие операторы ($-\infty < x < \infty$):

а) отражения $\hat{I} : \hat{I}\Psi(x) \equiv \Psi(-x)$;

б) сдвига $\hat{T}_a : \hat{T}_a\Psi(x) \equiv \Psi(x+a)$;

в) изменения масштаба $\hat{M}_c : \hat{M}_c\Psi(x) \equiv \sqrt{c}\Psi(cx)$;

г) комплексного сопряжения $\hat{K}\Psi(x) \equiv \Psi^*(x)$.

Являются ли эти операторы линейными?

в) операторы $\hat{L}^+ + \hat{L}$ и $i(\hat{L} - \hat{L}^+)$ эрмитовы.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 45	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

3. Вычислить коммутаторы:

$$\left[\hat{x}, \hat{p}_x \right], \left[\hat{y}, \hat{p}_x \right].$$

Вопросы к экзамену (6 семестр)

1. Область применения квантовой механики. Переход от квантовой к классической механике.
2. Объекты, которые изучает квантовая механика. Их характеристики.
3. Явления, которые не объясняются с помощью классической физики. Явление фотоэффекта. Фотонная теория света.
4. Явления, которые не объясняются с помощью классической физики. Эффект Комптона.
5. Явления, которые не объясняются с помощью классической физики. Опыт Франка-Герца.
6. Дифракция электронов. Гипотеза де Бройля. Волновой пакет.
7. Дуализм: волна – частица. Принцип неопределенности.
8. Периодические граничные условия для свободной частицы.
9. Построение операторов физических величин.
10. Волновая функция. Статистическая трактовка волновой функции.
11. Коммутационные соотношения для операторов физических величин.
12. Свойства операторов физических величин.
13. Собственные функции и собственные значения операторов физических величин.
14. Операторы координаты, импульса, энергии.
15. Простейшие задачи квантовой механики. Уравнение Шредингера, зависящее от времени.
16. Простейшие задачи квантовой механики. Стационарное уравнение Шредингера.
17. Простейшие задачи квантовой механики. Частица в пространстве, свободном от сил.
18. Простейшие задачи квантовой механики. Частица в яме с бесконечно высокими стенками.
19. Простейшие задачи квантовой механики. Частица в прямоугольной потенциальной яме. Дискретный спектр.
20. Простейшие задачи квантовой механики. Частица в прямоугольной потенциальной яме. Непрерывный спектр.
21. Простейшие задачи квантовой механики. Прямоугольный потенциальный барьер.
22. Одномерный гармонический осциллятор.
23. Движение частицы в поле центральных сил. Задача движения двух тел. Сведение к задаче трех переменных.
24. Движение частицы в поле центральных сил. Разделение переменных в сферических координатах.
25. Движение частицы в поле центральных сил. Зависимость волновых функций от углов.
26. Движение частицы в поле центральных сил. Радиальное уравнение.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 46	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

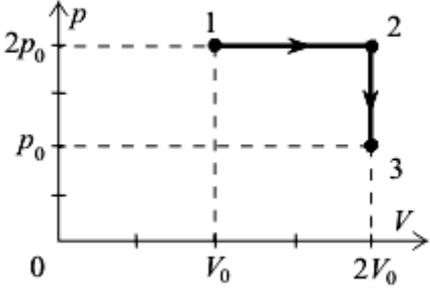
27. Движение частицы в поле центральных сил. Асимптотика радиальной части волновой функции.
28. Движение частицы в поле центральных сил. Движение в кулоновском поле.
29. Движение частицы в поле центральных сил. Классификация уровней энергий.
30. Теория оператора момента импульса.
31. Свойства оператора момента импульса.
32. Условия одновременной измеримости физических величин.
33. Уравнение непрерывности для плотности вероятности нахождения частицы в заданных координатах.
34. Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущения без вырождения уровней энергий.
35. Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущения при наличии вырождения уровней энергий.
36. Приближенные методы квантовой механики. Вариационный принцип.
37. Приближенные методы квантовой механики. Метод канонических преобразований.
38. Теория представлений. Координатное представление.
39. Теория представлений. Энергетическое представление.
40. Теория представлений. Импульсное представление.
41. Теория представлений. Скобочные обозначения Дирака $\langle \text{bra} | \text{ket} \rangle$.
42. Теория представлений. Понятие об унитарных преобразованиях.
43. Теория представлений. Представление Шредингера.
44. Теория представлений. Представление Гейзенберга.
45. Теория представлений. Представление Дирака (Представление взаимодействия).
46. Представление чисел заполнения. Операторы рождения, уничтожения, числа частиц.
47. Нахождение энергетического спектра гармонического осциллятора в представлении чисел заполнения.
48. Нахождение волновых функций гармонического осциллятора в представлении чисел заполнения.
49. Нахождение энергетического спектра ангармонического осциллятора в представлении чисел заполнения.
50. Система гармонических осцилляторов в представлении чисел заполнения.

Раздел 4 «Термодинамика и статистическая физика», 7 семестр

Примеры тестовых вопросов

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
Раздел 1 Введение. Начала термодинамики		
1	Найдите изменение внутренней энергии газа, если ему передано количество теплоты 500 Дж и газ,	1. 200 Дж 2. 300 Дж 3. 500 Дж



	расширяясь, совершил работу 300 Дж.	4. 800 Дж
2	Газ отдал количество теплоты $Q = 100$ кДж, при этом внешние силы совершили над ним работу $A = 50$ кДж. Каково изменение внутренней энергии газа?	1. -100 кДж 2. - 50 кДж 3. 150 кДж 4. 50 кДж
3	Если при теплопередаче изменение внутренней энергии в любой момент времени равно переданному количеству теплоты, то такой процесс является ...	1. адиабатическим 2. изотермическим 3. изохорическим 4. изобарическим 5. такой процесс неосуществим
4	При комнатной температуре отношение C_p/C_v молярных теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме равно $5/3$ для ...	1. воздуха 2. гелия 3. кислорода 4. водяного пара
5.	Газ изотермически расширяется. Укажите правильное утверждение.	1. внутренняя энергия газа увеличивается 2. давление газа увеличивается 3. работа газа положительна 4. работа газа равна нулю 5. работа газа отрицательна
6	Как называется процесс, для которого первое начало термодинамики имеет вид $dU = -\delta A$?	1. политропический 2. изобарический 3. изохорический 4. изотермический 5. адиабатический
7	Идеальный газ переводят из состояния 1 в состояние 3 так, как показано на графике зависимости давления газа от объема. Масса газа постоянна. Работа, совершенная газом, равна ... 	1. $4p_0V_0$ 2. p_0V_0 3. $p_0V_0/2$ 4. $2p_0V_0$
8	Состояние данной массы идеального газа изменилось в соответствии с графиками зависимости давления идеального газа от	1. работа газа меньше в первом случае 2. работа газа меньше во втором



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

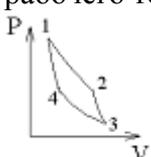
Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 49

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

		система 2. невозможен круговой процесс, единственным результатом которого было бы совершение работы за счёт охлаждения теплового резервуара 3. энтропия любой системы обращается в нуль при абсолютном нуле температуры 4. тепло, полученное системой, идёт на приращение её внутренней энергии и на совершение внешней работы 5. вне зависимости от начального состояния изолированной системы в конце концов в ней установится термодинамическое равновесие, при котором все части системы будут иметь одинаковую температуру
16	Один моль газа нагревают в закрытом сосуде. Сравните приращения энтропии, если газ: 1) одноатомный; 2) двухатомный. Начальные и конечные температуры газа в обоих случаях одинаковы	1. $\Delta S_1 < \Delta S_2$ 2. $\Delta S_1 = \Delta S_2$ 3. $\Delta S_1 > \Delta S_2$
17	В процессе плавления вещества его энтропия:	1. возрастает 2. сначала остается постоянной, затем убывает 3. не изменяется 4. уменьшается
18	Идеальная тепловая машина работает по циклу Карно. В процессе 2-3 энтропия рабочего тела ... 	1. не изменяется 2. возрастает 3. уменьшается
19	Какие из приведенных ниже формулировок выражает содержание второго начала термодинамики: 1. невозможен процесс, единственным результатом которого была бы передача энергии путем теплообмена от холодного тела к горячему	1. все три 2. первая и вторая 3. только вторая 4. только первая 5. вторая и третья



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 50

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

	<p>2. в циклически действующей тепловой машине невозможен процесс, единственным результатом которого было бы преобразование в механическую работу всего количества тепла, полученного от нагревателя</p> <p>3. самопроизвольные процессы в изолированной системе всегда происходят в направлении перехода от маловероятного состояния в более вероятное</p>	
20	КПД тепловой машины, работающей без потерь энергии, является максимальным, если её рабочий цикл включает ...	<p>1. две изобары, две изохоры</p> <p>2. две адиабаты, две изохоры</p> <p>3. две изотермы, две адиабаты</p> <p>4. две изохоры, две изотермы</p>
21	В ходе необратимого процесса при поступлении в изолированную термодинамическую систему тепла для приращения энтропии верным будет соотношение ...	<p>1. $dS = \frac{\delta Q}{T}$</p> <p>2. $dS > \frac{\delta Q}{T}$</p> <p>3. $dS < \frac{\delta Q}{T}$</p> <p>4. $dS \leq \frac{\delta Q}{T}$</p> <p>5. $dS \geq \frac{\delta Q}{T}$</p>
22	Выберите правильные утверждения, относящиеся к понятию "энтропия":	<p>1. в изолированной системе энтропия не изменяется</p> <p>2. в изолированной системе энтропия не может возрастать</p> <p>3. энтропия - это функция состояния</p> <p>4. в изолированной системе энтропия не может убывать</p> <p>5. энтропия - это функция процесса</p>
Раздел 2 Методы термодинамики		
1	Какие из перечисленных термодинамических функций являются функциями процесса:	<p>1. теплота и свободная энергия</p> <p>2. энтальпия и работа</p> <p>3. энтальпия и свободная энергия</p> <p>4. теплота и энтропия</p> <p>5. работа и теплота</p>
2	Выражение для свободной энергии через другие переменные имеет вид:	<p>1. $F=U-TS$</p> <p>2. $F=U-TS+pV$</p> <p>3. $F=U+pV$</p> <p>4. $F=U-TV$</p>
3	Функция состояния, приращение которой в	1. Энтропия



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 51

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

	квазистатическом процессе при постоянном давлении даёт количество тепла, полученного системой:	2. Энтальпия 3. Свободная энергия 4. Энергия Гиббса
4	Химический потенциал – это, приходящаяся на одну частицу	1. энергия Гиббса 2. свободная энергия 3. внутренняя энергия 4. энтальпия 5. энтропия
5	Все термодинамические потенциалы являются функциями	состояния
6	Независимыми переменными у потенциала Гиббса являются	1. p, T 2. T, V 3. S, V 4. S, p
7	Выражение для энтальпии через другие переменные имеет вид:	1. $H=U-TS$ 2. $H=U-TS+pV$ 3. $H=U+pV$ 4. $H=U-pS$
8	Функция состояния, приращение которой в квазистатическом процессе при постоянной температуре даёт работу, совершенную над системой:	1. Энтропия 2. Энтальпия 3. Свободная энергия 4. Энергия Гиббса
Раздел 3. Равновесие и устойчивость термодинамических систем. Фазовые переходы		
1	Указать, при каких условиях равновесное состояние системы соответствует минимальному значению энергии Гиббса	1. $V=\text{const}, U=\text{const}, N=\text{const}$ 2. $p=\text{const}, T=\text{const}, N=\text{const}$ 3. $T=\text{const}, V=\text{const}, N=\text{const}$ 4. $p=\text{const}, S=\text{const}, N=\text{const}$
2	Указать, при каких условиях равновесное состояние системы соответствует минимальному значению свободной энергии	1. $T=\text{const}, U=\text{const}, N=\text{const}$ 2. $p=\text{const}, T=\text{const}, N=\text{const}$ 3. $T=\text{const}, V=\text{const}, N=\text{const}$ 4. $p=\text{const}, S=\text{const}, N=\text{const}$
3	Равновесное состояние изолированной системы соответствует максимальному значению	энтропии
4	Какие из перечисленных фазовых переходов являются фазовыми переходами первого рода?	1. плавление 2. сублимация 3. ферромагнитный переход 4. переход гелия в сверхтекучее состояние
5	При фазовых переходах второго рода изменяются:	1. удельная энтропия 2. удельный объем 3. удельные теплоемкости



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 52

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

		4. термические коэффициенты
6	При фазовых переходах первого рода изменяются:	1. удельная энтропия 2. удельный объем 3. удельные теплоемкости 4. термические коэффициенты
7	Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется ...	насыщенным
8	Чему равна теплоёмкость при постоянном давлении C_p при фазовых переходах первого рода?	1. $C_p = 0$ 2. $C_p = R$ 3. $C_p = 3R$ 4. $C_p = \infty$
Раздел 4. Общие методы равновесной статистической механики		
1	Для какой из указанных систем справедливы законы статистической физики:	1. группа студентов, в которой Вы учитесь 2. атмосфера вокруг земли, считая последнюю шаром 3. равновесная система частиц, количество которых сравнимо с постоянной Авогадро 4. равновесная система из 100 частиц
2	В классическом подходе состояние системы определяется:	1. матрицей плотности 2. гамильтонианом системы 3. температурой 4. фазовой плотностью вероятностей
3.	В квантовом подходе состояние системы определяется:	1. гамильтонианом системы 2. фазовой плотностью вероятностей 3. диагональными элементами матрицы плотности 4. средней энергией системы
4.	Основной постулат классической статистики гласит:	1. положение системы в каждый момент времени является случайным и определяется фазовой плотностью распределения 2. положение системы в каждый момент времени описывается уравнениями Гамильтона 3. положение системы в каждый момент времени описывается средней энергией системы
5.	Какое выражение передает смысл теоремы Лиувилля :	1. сохранение фазового объема 2. положение системы в каждый момент времени является случайным



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1

стр. 54

Первый экземпляр _____

КОПИЯ № _____

	нормировочного множителя для этого распределения.	
6.	Укажите название параметра, задаваемого соотношением $\int e^{-\beta H(x)} dx$	Статистический интеграл
7.	Укажите название параметра большого канонического распределения, который позволяет вычислить большой термодинамический потенциал.	Статистическая сумма

Задачи к практическим занятиям

Раздел 1. Введение, начала термодинамики

Практическое занятие 1. Работа и теплота. Уравнения состояний

- Оценить работу испарения 1 моля воды при переходе её в пар при $t=100^\circ\text{C}$ и нормальном давлении.
- Найти работу идеального газа при адиабатическом расширении от V_1 до V_2 . Даны также начальная температура T_1 и показатель адиабаты.
- Найти работу при изотермическом расширении газа Ван-дер-Ваальса.
- Показать, что дифференциальное выражение для элементарной работы $\delta W = \sum_i A_i da_i$ не является полным дифференциалом от совокупности независимых параметров, определяющих состояние системы.
- Установить, что для простой системы справедливы тождества:

$$\left(\frac{\partial A}{\partial a}\right)_T \left(\frac{\partial a}{\partial A}\right)_T = 1; \quad \left(\frac{\partial T}{\partial A}\right)_a \left(\frac{\partial A}{\partial a}\right)_T \left(\frac{\partial a}{\partial T}\right)_A = -1;$$

- Показать, что связь между термическими коэффициентами растяжения $\alpha = \frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$, сжатия $\beta = -\frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T$ и упругости $\gamma = \frac{1}{p_0} \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$ можно представить как $\alpha = p_0 \beta \gamma$.
- Получить приведенное уравнение состояния газа Ван-дер-Ваальса.

Практическое занятие 2. Первое начало термодинамики. Определение теплоемкостей при различных процессах

- Доказать, что тепловой эффект химической реакции, протекающей при $V = \text{const}$, или при $p = \text{const}$, не зависит от промежуточных реакций, а определяется только начальным и конечным состояниями реагирующих веществ.
- Найти $C_p - C_v$ для идеального газа.
- Найти $C_p - C_v$ для газа Ван-дер-Ваальса.
- Найти удельную теплоту изотермического расширения газа Ван-дер-Ваальса.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 55	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

5. Определить теплоемкость идеального газа в следующих процессах: а) $pV^2 = const$, б) $p^2V = const$, в) $\frac{p}{V} = const$.
6. Известно, что $C_v = a(V)T^3$. Какое количество теплоты нужно передать системе, чтобы нагреть её изохорически от T_1 до T_2 ?
7. Является ли процесс релаксации квазистатическим и почему?

Практическое занятие 3. Второе начало термодинамики. Вычисление энтропии

1. Могут ли адиабаты пересекаться и почему?
2. Термическое и калорическое уравнения состояния электронного газа связаны соотношением: $pV = \frac{2}{3}U$. Найти уравнение адиабаты в переменных p - V .
3. В изобарическом процессе температура идеального газа увеличилась вдвое. Как изменилась энтропия?
4. Найти изменение энтропии газа Ван-дер-Ваальса при переходе $T_1, V_1 \rightarrow T_2, V_2$.
5. Термический коэффициент расширения α для воды в интервале температур от 0°C до 4°C является величиной отрицательной. Нагревается или охлаждается вода при адиабатическом сжатии в этом интервале температур?
6. Найти работу идеального газа в цикле Карно. Известны температура холодильника и нагревателя и интервалы изменения объема.
7. Показать, что если теплоемкость $C_v \sim T^\alpha$, то энтропия системы имеет тот же характер зависимости от температуры.

Раздел 2. Методы термодинамики.

Практическое занятие 4, 5. Методы термодинамики

8. Найти свободную энергию газа Ван – дер – Ваальса.
9. Известна энтальпия: $H = H(S, p)$. Найти $\beta_S = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_S$.
10. Известна свободная энергия некоторой системы: $F = -\frac{3}{2} RT \ln[a(V)T]$. Найти C_v .
11. Известен потенциал Гиббса некоторой системы:
$$G = aT(1 - \ln T) + RT \ln P - TS_0 + U_0. \quad (a, S_0, R, U_0 - const).$$

Найти термическое и калорическое уравнения состояния. Какой системе соответствует данный потенциал? Каков физический смысл постоянной a ?

12. Получить выражение для энтальпии 1 моля идеального газа.
13. Записать соотношение Максвелла для термодинамического потенциала, собственными переменными которого являются энтальпия H и давление p .



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 56	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

14. Получить энергию Гельмгольца смеси идеальных газов, состоящих из ν_1 молей одного и ν_2 другого компонента. Найти изменение энергии Гельмгольца при изотермической диффузии газа.
15. При низкой температуре энтропия электронного газа в металлах пропорциональна температуре. Найти температурную зависимость разности теплоемкостей $C_p - C_V$.

Указание: Не забывайте, что все выражения для термодинамических потенциалов необходимо записывать в собственных переменных.

Раздел 4. Общие методы равновесной статистической механики.

Практическое занятие 6. Основы статистической механики

1. Для частицы, движущейся в однородном гравитационном поле Земли (начальное направление движения – вертикально вверх), найти и начертить фазовую траекторию, проверить выполнимость теоремы Лиувилля, записать уравнение Лиувилля.
2. На фазовой плоскости (q, v) , где $q = \dot{v}$ – скорость, найти фазовую траекторию и вычислить изменение со временем фазового объема $dqdv$ для свободной частицы, сила трения которой о среду пропорциональна скорости.
3. Для классического одномерного гармонического осциллятора найти и начертить фазовые траектории, проверить выполнимость теоремы Лиувилля, записать уравнение Лиувилля.
4. Для классического одномерного гармонического осциллятора найти объем фазового пространства, отвечающего значения энергии, меньше E . Записать микроканоническое распределение.
5. Проверить справедливость теоремы Лиувилля для случая упругого соударения двух частиц, движущихся по одной прямой.

Раздел 5. Равновесные ансамбли. Канонические распределения.

Практические занятия 7,8. Канонические распределения.

1. Найти статистический интеграл A и статистическую сумму Z для одномерного гармонического осциллятора с частотой ω , помещенного в термостат. Записать классическое и квантовое каноническое распределение.
2. Вычислить среднюю по каноническому распределению энергию гармонического осциллятора, погруженного в термостат. Рассмотреть классический и квантовый случаи.
3. Исходя из распределения Максвелла по импульсам, записать плотность распределения вероятностей для кинетической энергии $E = p^2/2m$ и модуля скорости $v = |\vec{p}|/m$ частиц в канонической системе.
4. Вычислить средние и наиболее вероятные значения энергии и модуля скорости в распределении Максвелла.
5. N частиц идеального газа заключены в объем V и подчиняются микроканоническому



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 57	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

распределению с энергией E . Вычислить для этой системы фазовый объем и энтропию. Получить уравнение состояния.

Пример варианта контрольной работы (Разделы 1,2)

4. Как внутренняя энергия зависит от объема в изотермическом процессе, если
$$pV = RT \left(1 + \frac{b}{V} \right).$$
5. Известно, что $C_V = a(V)T$. Как изменится энтропия системы при ее изохорическом нагревании от T_1 до T_2 ?
6. Найти энергию Гиббса для 1 моля идеального газа.

Вопросы к экзамену (7 семестр)

1. Предмет и задачи термодинамики (ТД) и статистической физики*.
2. Нулевое начало ТД*. Уравнения состояния*.
3. Первое начало ТД*.
4. Теплоемкости*, термические коэффициенты.
5. Основные ТД процессы и их уравнения*.
6. Словесные формулировки 2-го начала ТД*.
7. Энтропия*.
8. Температура*, связь эмпирической и абсолютной температур.
9. Основное уравнение ТД и следствия из него*.
10. Вычисление энтропии*.
11. Второе начало ТД для необратимых процессов*.
12. Третье начало ТД* и следствия из него*.
13. Цикл Карно*. Теоремы Карно*.
14. ТД потенциалы простых систем*.
15. ТД потенциалы систем с переменным числом частиц*.
16. Метод круговых процессов.
17. Общие условия ТД равновесия*.
18. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы.
19. Условия устойчивости равновесия однородной системы. Принцип Ле–Шателье–Брауна.
20. Химическое равновесие в однородной системе.
21. Равновесие гетерогенных систем. Правило фаз Гиббса.
22. Классификация фазовых переходов*.
23. Уравнение Кларпейрона-Клаузиуса.
24. Уравнения Эренфеста.
25. Основные постулаты классической статистики*.
26. Уравнение Лиувилля*.
27. Основные постулаты квантовой статистической физики. Матрица плотности.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 58	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

28. Уравнение Неймана.
29. Микроканоническое распределение*.
30. Термодинамический смысл параметров микроканонического распределения.
31. Каноническое распределение*.
32. Термодинамический смысл параметров канонического распределения.
33. Распределение Максвелла и Максвелла-Больцмана.
34. Теорема о равномерном распределении средней кинетической энергии по степеням свободы.
35. Теорема о вириале.
36. Большое каноническое распределение*.
37. Термодинамический смысл параметров большого канонического распределения.
38. Термодинамическая эквивалентность МКР и КР.
39. Термодинамическая эквивалентность КР и БКР.

Примечание: *отмечены вопросы, входящие в список вопросов «теоретического минимума».

4. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Раздел 1 «Теоретическая механика», 4 семестр

Задания к практическим занятиям студенты выполняют в течение семестра на практических занятиях и дома. Задачи сгруппированы по темам практических занятий. В течение семестра студент должен сдать отчет по каждой теме. Отчет по теме считается сданным вовремя, если он сдан в течение месяца после изучения темы на практическом занятии. Отчет подразумевает решение задач из предложенного списка задач и умение объяснить ход решения 1-2 задач из темы. Максимальный балл за сдачу всех тем – 42 баллов. Максимальный балл за посещение лекционных занятий – 6 баллов, за посещение практических занятий – 3 балла.

Критерии оценивания:

Характеристики ответа	Баллы
Решено > 80% задач, тема сдана вовремя.	6-7
Решено >80% задач, тема сдана не вовремя.	3-5
Решено <80% задач, тема сдана не вовремя.	1-3
Задачи не решены	0

Также в течение семестра проводится одна контрольная работа по разделам «Уравнения движения» и «Законы сохранения». На контрольной работе студенту предлагается решить 3 задачи. Максимальный балл за контрольную работу – 9 баллов.

Критерии оценивания:

Характеристики ответа	Баллы
Правильно и с пояснениями решены три задачи	9
Решены три задачи, но есть ошибки	8-7



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 59	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

Правильно и с пояснениями решены две задачи	6
Решены две задачи, но есть ошибки	5-4
Правильно решена одна задача	3
Частично решена одна задача	2-1

Таким образом, за работу в семестре студент может получить максимум 60 баллов. Экзамен проходит в письменно-устной форме по билетам. В билете два теоретических вопроса (один из базового уровня, второй – из продвинутого уровня) и одна задача. Максимальный балл за ответы по билету – 40 баллов.

Критерии оценивания:

Характеристики ответа	Баллы
Ответил на оба вопроса билета, воспроизведя соответствующие математические выкладки и логические рассуждения, задача полностью решена, студент правильно обосновывает принятые решения. Возможны несущественные ошибки.	35-40
Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, но при этом допускаются негрубые ошибки при выводе формул и решении задачи или отсутствие некоторых элементов вывода.	25-35
Знает «теоретический минимум», т.е. отвечает на вопрос базового уровня и знает основные понятия, соотношения (без вывода), название и физический смысл величин по другим вопросам билета.	10-20
Не может ответить на вопрос базового уровня	0

Если студент за время работы в семестре набрал 55-60 баллов, он освобождается от решения задачи на экзамене.

Если студент за время работы в семестре набрал менее 25 баллов, для него экзамен проходит в два этапа.

На первом этапе студент выполняет тест из 10 вопросов. Продолжительность – 20 минут. Критерии оценивания: каждый правильный ответ – 3 балла. Максимальное количество баллов – 30. Чтобы тест был зачтен, студент должен дать правильные ответы по крайней мере на 6 вопросов из 10.

Итоговый балл рассчитывается по формуле $S=S_1+S_2$, где S_1 , – баллы, в течение семестра, S_2 – баллы, полученные на экзамене, S – итоговый балл.

Критерии оценивания экзамена:

[0–50] баллов – неудовлетворительно; [51–70] – удовлетворительно; [71– 90] – хорошо; [91–100] – отлично.

Особенности проведения процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья обозначены в рабочей программе дисциплины (модуля).

Раздел 2 «Электродинамика», 5 семестр



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 60	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

Промежуточная аттестация, основанная на балльно-рейтинговой системе, состоит из подведения итогов текущего контроля и проведения письменно-устного экзамена.

Текущий контроль осуществляется, в основном, на практических занятиях в виде контрольных работ и отчётов о самостоятельном решении задач. Контрольная работа рассчитана на 45 минут и охватывает несколько тем практических занятий. Номер варианта работы назначается преподавателем. Отчёт о решении задачи состоит из предъявления письменного решения, его объяснения и ответа на вопросы преподавателя.

Вспомогательными средствами текущего контроля являются:

- учёт посещаемости лекционных и практических занятий,
- проверка конспектов лекций,
- досрочная (до экзамена) сдача избранных глав во время еженедельных консультаций.

Итоги текущего контроля сообщаются студентам до начала экзаменационной сессии.

На экзамене студент отвечает на вопросы билета, содержащего два теоретических вопроса и задачу. Время подготовки к ответу 60 минут. Использовать справочные материалы во время подготовки не разрешается.

Балльно-рейтинговая система:

- 1) Посещение лекции: 0.5 балла, в сумме до 8 баллов;
- 2) Конспект лекции: 1 балл, в сумме до 16 баллов;
- 3) Посещение практического занятия: 0.5 балла, в сумме до 4 баллов;
- 4) Самостоятельное выполнение домашнего задания: 1-3 балла, в сумме до 31 балла;
- 5) Самостоятельное решение задач контрольной работы: 1-3 балла, в сумме до 9 баллов за семестр;
- 6) Изучение лекционного материала: 2-8 баллов за главу (раздел) в зависимости от объёма и сложности, в сумме до 32 баллов.

Суммы баллов, оценки и уровни освоения проверяемых компетенций:

Баллы	Оценка	Уровень освоения проверяемых компетенций
0-39	неудовлетворительно	недостаточный
40-59	удовлетворительно	базовый
60-79	хорошо	средний
80-100	отлично	высокий

Критерии оценивания контрольной работы:

Характеристики решений	Баллы	Уровень освоения проверяемых компетенций
Правильно и с пояснениями решены все задачи	3	высокий



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 61	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

Задачи решены с небольшими ошибками	2	средний
Решена половина задач или задачи решены наполовину	1	базовый
Решений нет	0	недостаточный

Критерии оценивания ответа на экзамене:

Характеристики ответа студента	Баллы	Уровень освоения проверяемых компетенций
Ответил на оба вопроса билета, воспроизведя соответствующие математические выкладки и логические рассуждения, решил задачу полностью, может пояснить решение. Возможны несущественные ошибки.	25-32	высокий
Твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, но при этом допускаются негрубые ошибки или пробелы при выводе формул и решении задачи.	15-24	средний
Знает «теоретический минимум», т.е. отвечает на вопрос базового уровня и знает основные понятия, соотношения (без вывода), название и физический смысл величин.	5-14	базовый
Не может ответить на большинство вопросов базового уровня.	0-4	недостаточный

Особенности аттестации инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья обозначены в рабочей программе дисциплины (модуля).

Раздел 3 «Квантовая теория», 6 семестр

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена в два этапа.

На первом этапе студент выполняет тест из 5 вопросов. Продолжительность – 20 минут.

На втором этапе студент отвечает на вопросы экзаменационного билета. Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса и задачу. Время подготовки к ответу на вопросы билета – 60 минут. Во время подготовки можно использовать справочные материалы.

Максимальный балл за посещение лекционных занятий – 1 балл, за посещение практических занятий – 1 балл.

Задания к практическим занятиям студенты выполняют в течение семестра на практических занятиях и в форме самостоятельной работы. Задачи сгруппированы по темам практических занятий. Максимальный балл по результатам работы на практических занятиях – 24 баллов.

Также в течение семестра проводится одна контрольная работа. На контрольной работе



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 62	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

студенту предлагается решить 3 задачи. Максимальный балл за контрольную работу – 9 баллов.

Критерии оценивания контрольной работы:

Характеристики ответа	Баллы	Уровень освоения проверяемых компетенций
Правильно и с пояснениями решены три задачи	9	высокий
Решены три задачи, но есть ошибки	8-7	средний
Правильно и с пояснениями решены две задачи	6	
Решены две задачи, но есть ошибки	5-4	базовый
Правильно решена одна задача	3	
Частично решена одна задача	2-1	недостаточный

Таким образом, за работу в семестре студент может получить максимум 60 баллов.

Если студент за время работы в семестре набрал менее 25 баллов, для него экзамен проходит в два этапа; если 25 баллов и более – только второй этап в письменно-устной форме по билетам.

На первом этапе экзамена студент выполняет тест из 5 вопросов. Продолжительность – 20 минут. Критерии оценивания теста: каждый правильный ответ – 6 балла. Максимальное количество баллов – 30.

Оценка	Зачтено	Незачтено
Баллы	30-18 балл	12-0 баллов
Уровень освоения проверяемых компетенций	базовый	недостаточный

При оценке за тест незачтено за экзамен студент получает оценку неудовлетворительно.

Второй этап экзамена: в билете два теоретических вопроса и одна задача. Если студент за время работы в семестре набрал 55-60 баллов, он освобождается от решения задачи на экзамене.

Максимальный балл за ответы по билету – 40 баллов.

Критерии оценивания теоретических вопросов:

Характеристики ответа	Баллы	Уровень освоения проверяемых компетенций
Ответил на оба вопроса билета, воспроизведя соответствующие математические выкладки и логические рассуждения, задача полностью решена, студент правильно обосновывает принятые решения. Возможны несущественные ошибки.	35-40	высокий
Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, но при этом допускаются негрубые ошибки	25-35	средний



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 63	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

при выводе формул и решении задачи или отсутствие некоторых элементов вывода.		
Знает «теоретический минимум», т.е. отвечает на вопрос базового уровня и знает основные понятия, соотношения (без вывода), название и физический смысл величин по другим вопросам билета.	10-20	базовый
Не может ответить на вопрос базового уровня	0	недостаточный

При подведении итогов учитываются результаты текущей аттестации. Полученные за текущую аттестацию баллы суммируются с баллами, полученными за каждый этап при прохождении промежуточной аттестации:

Критерии оценивания экзамена:

0-50 баллов - неудовлетворительно (2);

51-70 баллов - удовлетворительно (3);

71-90 баллов - хорошо (4);

91-100 баллов - отлично (5).

Особенности проведения процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья обозначены в рабочей программе дисциплины (модуля).

Раздел 4 «Термодинамика и статистическая физика», 7 семестр

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена в два этапа.

На первом этапе студент выполняет компьютерный тест из 10 вопросов. Продолжительность – 20 минут.

На втором этапе студент отвечает на вопросы экзаменационного билета. Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса и задачу. Время подготовки к ответу на вопросы билета – 60 минут. Во время подготовки можно использовать справочные материалы.

Максимальный балл за **посещение лекционных занятий** – 6 баллов, за **посещение практических занятий** – 3 балла.

Задания к практическим занятиям студенты выполняют в течение семестра на практических занятиях и в форме самостоятельной работы. Задачи сгруппированы по темам практических занятий. В течение семестра студент должен сдать отчет по каждой теме. Отчет по теме считается сданным вовремя, если он сдан в течение месяца после изучения темы на практическом занятии. Отчет подразумевает решение задач из предложенного списка задач и умение объяснить ход решения 1-2 задач из темы. Максимальный балл за сдачу всех тем – 42 баллов.

Критерии оценивания отчета по темам практических занятий:



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 65	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

Уровень освоения проверяемых компетенций	базовый	недостаточный
--	---------	---------------

Второй этап экзамена: в билете два теоретических вопроса (один из базового уровня, второй – из продвинутого уровня) и одна задача. Если студент за время работы в семестре набрал 55-60 баллов, он освобождается от решения задачи на экзамене.

Максимальный балл за ответы по билету – 40 баллов.

Критерии оценивания теоретических вопросов:

Характеристики ответа	Баллы	Уровень освоения проверяемых компетенций
Ответил на оба вопроса билета, воспроизведя соответствующие математические выкладки и логические рассуждения, задача полностью решена, студент правильно обосновывает принятые решения. Возможны несущественные ошибки.	35-40	высокий
Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, но при этом допускаются негрубые ошибки при выводе формул и решении задачи или отсутствие некоторых элементов вывода.	25-35	средний
Знает «теоретический минимум», т.е. отвечает на вопрос базового уровня и знает основные понятия, соотношения (без вывода), название и физический смысл величин по другим вопросам билета.	10-20	базовый
Не может ответить на вопрос базового уровня	0	недостаточный

При подведении итогов учитываются результаты текущей аттестации. Полученные за текущую аттестацию баллы суммируются с баллами, полученными за каждый этап при прохождении промежуточной аттестации:

Критерии оценивания экзамена:

- 0-50 баллов - неудовлетворительно (2);
- 51-70 баллов - удовлетворительно (3);
- 71-90 баллов - хорошо (4);
- 91-100 баллов - отлично (5).

Особенности проведения процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья обозначены в рабочей программе дисциплины (модуля).

Уровни сформированности компетенций определяется следующим образом:

1. Высокий уровень сформированности компетенций соответствует оценке отлично:



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)
Физический факультет
Кафедра общей и теоретической физики

Фонд оценочных средств по дисциплине «Теоретическая физика»
по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия» направленность (профиль) Нанотехнологии в материаловедении
ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Версия документа - 1	стр. 66	Первый экземпляр _____	КОПИЯ № _____
----------------------	---------	------------------------	---------------

предполагает формирование компетенций на высоком уровне: студент свободно владеет основной терминологией и понятийным аппаратом теоретической физики, что позволяет формулировать выводы и участвовать в дискуссии по учебным вопросам данной дисциплины; полностью сформировано умение применять полученную теоретическую базу для решения конкретных практических задач и уверенно владеть навыком их решения;

2. Средний уровень соответствует оценке хорошо:
предполагает формирование компетенций на среднем уровне: студент хорошо владеет основной терминологией и понятийным аппаратом теоретической физики; сформировано умение применять полученную теоретическую базу для решения конкретных практических задач и владеть навыками решения базовых задач по теоретической физике;
3. Базовый уровень соответствует оценке удовлетворительно:
предполагает формирование компетенций на начальном уровне: студент знает «теоретический минимум» и недостаточно владеет методами решения базовых задач по теоретической физике;
4. Низкий уровень соответствует оценке неудовлетворительно:
студент не владеет основной терминологией и понятийным аппаратом теоретической физики; не владеет навыками решения базовых задач по теоретической физике.

