

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Институт естественно-научный

Кафедра «Физика»

Утверждено на заседании кафедры  
физики  
« 3 » февраля 2020 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой



Р.Н. Ростовцев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по проведению практических занятий по дисциплине**  
**"Физика"**

**основной профессиональной образовательной программы**  
**высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
**01.03.02 Прикладная математика и информатика**

с направленностью  
**Прикладная математика и информатика**

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 010302-01-20

Тула 2020 год

**Разработчик методических указаний**

Левин Д.М., профессор, д.ф.-м.н., профессор  
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

  
(подпись)

### 1. Цели и задачи практических занятий:

- а) Изучение основных физических явлений и идей, овладение фундаментальными понятиями, законами и теориями современной и классической физики, а также методами физического исследования.
  - б) Формирование научного мировоззрения и современного физического мышления.
  - в) Овладение приемами и методами решения конкретных задач из различных областей физики.
- Объём и сроки выполнения данного вида работ соответствуют учебным планам студентов дневной формы обучения.

### 2. План занятий.

1. Разбор вопросов студентов по домашнему заданию.
2. Решение типовых задач на доске.
3. Самостоятельное решение студентами некоторых задач на занятии и подведение итогов.
4. Формулировка домашнего задания.

### 3. Темы занятий.

№ п/п	Темы практических занятий
<b>3 семестр</b>	
1	Кинематика материальной точки. Кинематические уравнения движения материальной точки. Скорость и ускорение материальной точки. Кинематика движения твёрдого тела. Вращение твёрдого тела вокруг неподвижной оси. Связь между линейными и угловыми величинами. Динамика материальной точки. Законы Ньютона. Центр масс механической системы. Уравнение движения центра масс. Уравнение моментов. Основное уравнение динамики вращательного движения твёрдого тела. Движение материальной точки в поле центральных сил.
2	Закон сохранения импульса. Закон сохранения момента импульса. Работа переменной силы. Потенциальная энергия материальной точки. Кинетическая энергия материальной точки. Закон сохранения полной механической энергии. Гармонический осциллятор. Сложение гармонических колебаний. Затухающие колебания. Вынужденные колебания.
3	Работа и теплота. Внутренняя энергия. Первое начало термодинамики. Цикл Карно. Энтропия. Второе начало термодинамики. Функция распределения вероятностей. Барометрическая формула. Распределение Больцмана. Распределения Максвелла. Явления переноса в газах.
4	Закон Кулона. Напряжённость электростатического поля. Поток вектора напряжённости электростатического поля. Теорема Гаусса. Потенциал электростатического поля. Связь между напряжённостью электростатического поля и его потенциалом. Явление поляризованности диэлектрика. Вектор поляризованности. Электрическая ёмкость проводников. Энергия электрического поля.
5	Электрический ток. Электродвижущая сила.
6	Законы Ома и Джоуля-Ленца. Правила Кирхгофа.
7	Закон Био-Савара-Лапласа. Теорема о циркуляции вектора магнитной индукции. Электрические заряды в магнитном поле. Проводники с током в магнитном поле. Сила Ампера.
8	Закон электромагнитной индукции. Явление самоиндукции. Уравнения Максвелла в интегральной форме. Уравнения Максвелла в дифференциальной форме. Вектор Умова-Пойтинга.
№ п/п	Темы практических занятий
<b>4 семестр</b>	
1	Интерференция в тонких плёнках.
2	Понятие о дифракции Френеля. Дифракция Фраунгофера.
3	Дифракционная решётка. Закон Малюса.

№ п/п	Темы практических занятий
4	Законы теплового излучения. Внешний фотоэффект. Эффект Комптона. Давление света.
5	Волны де Бройля. Соотношения неопределённостей. Волновая функция. Уравнение Шрёдингера.
6	Микрочастица в одномерной потенциальной яме прямоугольной формы.
7	Атом водорода в квантовой механике. Сложные атомы.
8	Основы физики элементарных частиц. Строение атомных ядер. Радиоактивный распад ядер.

### 3 СЕМЕСТР ЗАНЯТИЕ 1

1. Частица движется так, что ее радиус-вектор зависит от времени по закону  $\vec{r}(t) = \vec{i}A\frac{t}{\tau} + \vec{j}B\left(\frac{t}{\tau}\right)^2 + \vec{k}C\left(\frac{t}{\tau}\right)^3$ , где  $A, B, C$  – постоянные величины,  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – единичные орты в декартовой системе координат. На каком расстоянии от оси  $y$  будет находиться частица в момент времени  $t = 1$  с, если  $\tau = 1$  с?  $A = 3$  м,  $B = 2$  м,  $C = 4$  м. Ответ: 5,0 м

2. Частица движется так, что ее радиус-вектор зависит от времени по закону  $\vec{r}(t) = \vec{i}A\left(\frac{t}{\tau}\right)^3 + \vec{j}B + \vec{k}C\left(\frac{t}{\tau}\right)^4$ , где  $A, B, C$  – постоянные величины,  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – единичные орты в декартовой системе координат. Найдите модуль скорости и тангенс угла, под которым будет направлена скорость  $\vec{v}$  к оси  $z$  в момент времени  $t = 1$  с, если  $\tau = 1$  с.  $A = 5$  м,  $B = 4$  м,  $C = 3$  м. Ответ: 19,2 м/с, 1,25

3. Частица движется так, что ее радиус-вектор зависит от времени по закону  $\vec{r}(t) = \vec{i}A\left(\frac{t}{\tau}\right)^3 + \vec{j}\left(B\left(\frac{t}{\tau}\right)^4 - A\left(\frac{t}{\tau}\right)^6\right) + \vec{k}\sin\omega t$ , где  $A, B, \omega$  – постоянные величины,  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – единичные орты в декартовой системе координат. Через сколько секунд скорость частицы окажется перпендикулярной оси  $y$ , если  $\tau = 1$  с?  $A = 4$  м,  $B = 2$  м,  $\omega = \pi/2$  рад/с. Ответ: 0,577 с

4. Частица начала свое движение из начала координат, и ее скорость зависит от времени по закону  $\vec{v}(t) = \vec{i}A\left(\frac{t}{\tau}\right)^3 + \vec{j}B\left(\frac{t}{\tau}\right)^5$ , где  $A, B$  – постоянные величины,  $\vec{i}, \vec{j}$  – единичные орты в декартовой системе координат. На какое расстояние от начала координат удалится частица в момент времени  $t = 1$  с, если  $\tau = 1$  с.  $A = 4$  м/с,  $B = 5$  м/с? Ответ: 1,30 м

5. Частица начала свое движение из начала координат, и ее скорость зависит от времени по закону  $\vec{v}(t) = (\vec{i}A + \vec{j}B)\left(\frac{t}{\tau}\right)^3$ , где  $A, B$  – постоянные величины,  $\vec{i}, \vec{j}$  – единичные орты в декартовой системе координат. Какой путь проделает частица за время  $t = 1$  с, если  $\tau = 1$  с?  $A = 4$  м/с,  $B = 5$  м/с. Ответ: 1,60 м

6. Частица начала свое движение из точки с радиусом-вектором  $\vec{r}_0 = (\vec{j} + \vec{i})C$  со скоростью, которая зависит от времени по закону  $\vec{v}(t) = \vec{i}A\frac{t}{\tau} + \vec{j}B\left(\frac{t}{\tau}\right)^2$ , где  $A, B, C$  – постоянные величины,  $\vec{i}, \vec{j}$  – единичные орты в декартовой системе координат. На какое расстояние от начала координат удалится частица в момент времени  $t = 1$  с, если  $\tau = 1$  с?  $A = 1$  м/с,  $B = 1$  м/с,  $C = 1$  м. Ответ: 2,007 м

7.(1.3.4,6) Частица из состояния покоя начала двигаться по дуге окружности радиуса  $R = 1$  м с угловой скоростью, модуль которой зависит от времени по закону

$\omega = A \left( \frac{t}{\tau} \right)^3$ . Через сколько секунд угол между полным ускорением частицы и ее скоростью будет равен  $45^\circ$ , если  $\tau = 1$  с?  $A = 7$  с<sup>-1</sup>. Ответ: 0,809 с

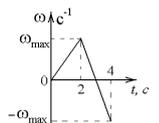
8. Частица из состояния покоя начала двигаться по дуге окружности радиуса  $R = 1$  м так, что угол поворота зависит от времени по закону  $\varphi = A \left( \frac{t}{\tau} \right)^3$ . Найти нормальное и тангенциальное ускорения частицы через время  $t = 1$  с, если  $\tau = 1$  с.  $A = 1$  рад. Ответ: 9 м/с<sup>2</sup>, 6 м/с<sup>2</sup>

9. Частица из состояния покоя начала двигаться по дуге окружности радиуса  $R = 1$  м с угловым ускорением, которое зависит от времени по закону  $\varepsilon = A \cdot \left( \frac{t}{\tau} \right)^5$ . Найти линейную скорость частицы через время  $t = 1$  с, если  $\tau = 1$  с.  $A = 4$  с<sup>-2</sup>. Ответ: 0,667 м/с

10. Диск радиуса  $R = 1$  м вращался вокруг своей оси с угловой скоростью  $\omega_0$ . В момент времени  $t = 0$  он начал тормозить. Модуль его углового ускорения при этом зависел от времени по закону  $\varepsilon = A \left( \frac{t}{\tau} \right)^2$ . Через сколько секунд диск остановится, если  $\tau = 1$  с?  $A = 0,3$  с<sup>-2</sup>,  $\omega_0 = 6,4$  с<sup>-1</sup>. Ответ: 4 с

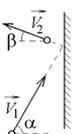
11. Диск радиуса  $R = 1$  м вращался вокруг своей оси с угловой скоростью  $\omega_0$ . В момент времени  $t = 0$  его угловое ускорение стало возрастать по закону  $\varepsilon = A \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 - B \left( \frac{t}{\tau} \right)^6$ . Через сколько секунд диск будет иметь максимальную угловую скорость, если  $\tau = 1$  с?  $A = 11$  с<sup>-2</sup>,  $B = 3$  с<sup>-2</sup>,  $\omega_0 = 1$  с<sup>-1</sup>. Ответ: 1,38 с

12. Диск вращается с угловой скоростью, зависимость от времени которой задается графиком. Найти угол поворота диска (в радианах) за  $t = 4$  с, если  $\omega_{\max} = 4$  с<sup>-1</sup>. Ответ: 4 рад



13. Частица движется в плоскости так, что ее импульс зависит от времени по закону  $\vec{p}(t) = \vec{i}A \frac{t}{\tau} + \vec{j}B \left( \frac{t}{\tau} \right)^4$ , где  $A, B$  – постоянные величины,  $\vec{i}, \vec{j}$  – единичные орты в декартовой системе координат. Найти модуль силы, действующей на частицу в момент времени  $t = 1$  с, если  $\tau = 1$  с.  $A = 5$  кг·м/с,  $B = 2$  кг·м/с. Ответ: 9,43 Н

14. Небольшой шарик массы  $m = 4$  кг летит со скоростью  $V_1 = 10$  м/с под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту и падает на вертикальную стену. После неупругого удара он отскакивает со скоростью  $V_2 = 6$  м/с под углом  $\beta = 30^\circ$  к горизонту. Время соударения  $\tau = 0,01$  с. Найти модуль средней силы трения шарика о стену. Ответ: 2224 Н



15. Частица с начальным импульсом  $\vec{p}_0 = \vec{i}A$  движется в плоскости под действием силы, которая зависит от времени по закону  $\vec{F}(t) = \vec{j}B \left( \frac{t}{\tau} \right)^3$ . Найти модуль импульса

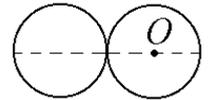
через  $t=\tau=1$  с, если  $A=1$  кг·м/с,  $B=1$  Н.

Ответ: 1,031 кг·м/с

**16.** Маленький шарик поместили в точку с радиусом-вектором  $\vec{r} = \vec{i}A + \vec{j}B + \vec{k}C$ . В некоторый момент на шарик подействовали силой  $\vec{F} = \vec{i}D + \vec{j}E + \vec{k}G$ . Найти проекцию момента силы на ось  $y$  относительно начала координат.  $A, B, C, D, E$  и  $G$  – некоторые постоянные;  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – единичные орты в декартовой системе координат.  $A = 1$  м,  $B = 2$  м,  $C = 3$  м,  $D = 3$  Н,  $E = 4$  Н,  $G = 5$  Н.

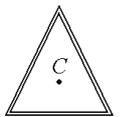
Ответ: 4 Н·м

**17.** Два одинаковых диска массой  $m=1$  кг и радиусом  $R=1$  м каждый положили на плоскость и приварили друг к другу. Найти момент инерции получившейся детали относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости дисков через центр масс одного из дисков  $O$ .



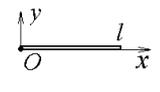
Ответ: 5 кг·м<sup>2</sup>

**18.** Деталь в виде равностороннего треугольника сварили из трех одинаковых однородных тонких стержней массы  $m=1$  кг и длины  $l=1$  м каждый. Ось  $C$  проходит перпендикулярно плоскости детали через центр масс треугольника. Найти момент инерции детали относительно этой оси.



Ответ: 0,5 кг·м<sup>2</sup>

**19.** Тонкий стержень постоянного сечения длиной  $l=1$  м лежит на оси  $x$  и его левый конец совпадает с началом координат  $O$ . Линейная плотность вещества, из которого сделан стержень, зависит от координаты  $x$  по закону  $\rho = \rho_0 \left(\frac{x}{l}\right)^5$ , где



$\rho_0 = 1$  кг/м. Найти координату центра масс стержня.

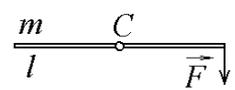
Ответ: 0,857 м

**20.** Некоторое тело вращается вокруг закрепленной оси без трения. Его момент импульса относительно оси вращения зависит от времени по закону  $L = A \left(\frac{t}{\tau}\right)^3$ , где

$A=4 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}$ . Через время  $t=1$  с тело имеет угловое ускорение  $\varepsilon=5$  рад/с<sup>2</sup>. Найти момент инерции тела, если  $\tau=1$  с.

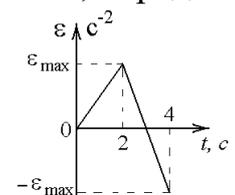
Ответ: 2,4 кг·м<sup>2</sup>

**21.** Тонкий однородный стержень массы  $m=4$  кг и длины  $l=5$  м может вращаться в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси  $C$ , проходящей через середину стержня. В оси действует момент силы трения  $M_{\text{тр}}=1$  Н·м. К концу стержня в плоскости вращения перпендикулярно стержню прикладывают силу  $F=6$  Н. Найдите угловое ускорение стержня в начальный момент времени.



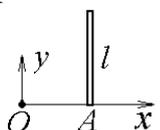
Ответ: 1,68 рад/с<sup>2</sup>

**22.** Тело вращается вокруг закрепленной оси с угловым ускорением, зависимость от времени которого задается графиком. Момент инерции тела относительно оси вращения равен  $I=5$  кг·м<sup>2</sup>. Найти момент импульса тела в момент времени  $t=4$  с, если  $\varepsilon_{\text{max}} = 4$  с<sup>-2</sup>.



Ответ: 20 Н·м·с

**23.** Тонкий стержень постоянного сечения длиной  $l=1$  м расположен параллельно оси  $y$ . Нижний конец стержня лежит на оси  $x$  на расстоянии  $l$  от начала координат. Линейная плотность вещества, из которого сделан стержень,



зависит от координаты  $y$  по закону  $\rho = \rho_0 \left( \frac{y}{1} \right)^4$ , где  $\rho_0 = 1$  кг/м. Рассчитать момент инерции стержня относительно оси  $y$ . Ответ:  $0,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$

## ЗАНЯТИЕ 2

**1.** Небольшое тело начало движение из начала координат вдоль горизонтальной оси  $x$  под действием силы, направленной под углом  $\alpha=30^\circ$  к оси  $x$ . Модуль силы меняется в зависимости от координаты  $x$  по закону  $F = A \left(\frac{x}{b}\right)^3$ , где  $A=4$  Н. Найти работу

этой силы на участке пути от  $0 < x < b$ , где  $b = 5$  м. Ответ: 4,33 Дж

**2.** Небольшое тело начало движение из начала координат вдоль горизонтальной оси  $x$  под действием силы, направленной под углом  $\alpha$  к оси  $x$ . Модуль силы  $F = 5$  Н не меняется, но угол  $\alpha$  зависит от координаты  $x$  по закону  $\alpha = A \frac{\pi x}{b}$ , где  $A = \frac{1}{3}$  Н.

Найти работу этой силы на участке пути от  $0 < x < b$ , где  $b = 4$  м.

Ответ: 16,5 Дж

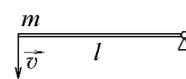
**3.** Массивный диск может вращаться вокруг закрепленной оси без трения. На диск начинает действовать момент сил, который зависит от угла поворота  $\varphi$  по закону

$M = A \left(\frac{\varphi}{\varphi_0}\right)^2$ , где  $A = 4$  Н·м. Найдите работу момента силы при повороте диска на

угол  $\varphi_0 = 5$  рад.

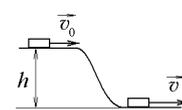
Ответ: 6,67 Дж

**4.** Тонкий однородный стержень массы  $m=1$  кг и длины  $l=1$  м может вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через конец стержня. Стержень привели в горизонтальное положение и толкнули так, что незакрепленный конец стержня приобрел скорость  $v = 1$  м/с. Найдите кинетическую энергию стержня в первый момент времени.



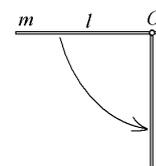
Ответ: 0.167 Дж

**5.** Резиновая шайба массы  $m=4$  кг, двигаясь со скоростью  $v_0=5$  м/с, соскальзывает с горки высоты  $h=6$  м. Найдите кинетическую энергию шайбы у подножия горки, если во время движения над шайбой была совершена работа сил трения  $A_{тр}=7$  Дж.



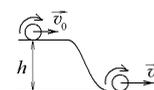
Ответ: 283 Дж

**6.** Тонкий однородный стержень массы  $m=4$  кг и длины  $l=5$  м может вращаться в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси, проходящей через конец стержня  $O$ . Стержень приводят в горизонтальное положение и отпускают без толчка. Найдите скорость нижнего конца стержня в момент прохождения им положения равновесия. Спротивлением воздуха пренебречь.



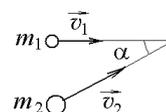
Ответ: 12,2 м/с

**7.** Однородный шар массы  $m=4$  кг и радиуса  $R=5$  м скатывается без проскальзывания с горки высоты  $h=7$  м. Начальная скорость центра масс шара равна  $v_0=6$  м/с. Найдите угловую скорость вращения шара после того, как он скатится с горки. Спротивлением воздуха пренебречь.



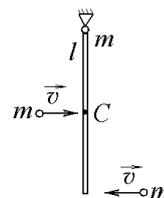
Ответ: 2,33 рад/с

**8.** Маленький пластилиновый шарик массы  $m_1 = 1$  кг движется горизонтально со скоростью  $v_1 = 1$  м/с. Под углом  $\alpha=30^\circ$  к направлению его движения летит второй шарик массы  $m_2 = 2$  кг со скоростью  $v_2 = 2$  м/с и сталкивается с первым. Шарик слипаются и далее движутся вместе. Найдите величину импульса шариков после удара.



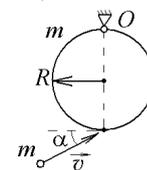
Ответ: 4,89 кг·м/с

9. Тонкий однородный стержень массы  $m=1$  кг и длины  $l=1$  м может вращаться в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси, проходящей через его конец. С разных сторон на стержень горизонтально в той же плоскости налетают два одинаковых пластилиновых шарика той же массы с одинаковыми скоростями  $v=1$  м/с. Первый шарик застревает в центре стержня, второй – в нижнем конце. Найти угловую скорость вращения системы после удара.



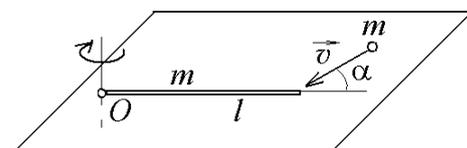
Ответ: 0,316 рад/с

10. Тонкий однородный диск массы  $m=1$  кг и радиуса  $R=1$  м может вращаться в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси, проходящей через его край  $O$ . Под углом  $\alpha=30^\circ$  к горизонтали в плоскости вращения диска движется маленький пластилиновый шарик такой же массы со скоростью  $v=1$  м/с. Шарик прилипает к нижней точке висящего неподвижно диска. Найти угловую скорость вращения системы после удара.



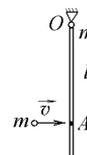
Ответ: 0,315 рад/с

11. На горизонтальной плоскости лежит тонкий однородный стержень массы  $m=1$  кг и длины  $l=1$  м, который может вращаться вокруг вертикальной оси, проходящей через конец стержня  $O$ . Под углом  $\alpha=30^\circ$  к стержню в той же плоскости движется маленький пластилиновый шарик такой же массы со скоростью  $v=1$  м/с. Шарик прилипает к концу стержня. Найти угловую скорость вращения системы после удара.



Ответ: 0,375 рад/с

12. Тонкий однородный стальной стержень массы  $m=4$  кг и длины  $l=5$  м может вращаться в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси, проходящей через его конец  $O$ . Горизонтально в той же плоскости на стержень налетает стальной шарик той же массы со скоростью  $v=6$  м/с. С какой скоростью  $u$  шарик отскочит после абсолютно упругого удара, если стержень начинает вращаться с угловой скоростью  $\omega=2$  рад/с.



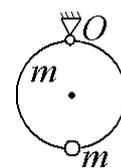
Ответ: 1,63 м/с

13. Два одинаковых диска массы  $m$  и радиуса  $R$  положили на одну плоскость и приварили в одной точке. Затем получившуюся фигуру подвесили на горизонтальной оси, перпендикулярной плоскости фигуры и проходящей через точку  $O$ . Точка  $O$  и центры масс двух дисков лежат на одной прямой. Найдите период малых колебаний фигуры вокруг точки  $O$ . Трением в оси пренебречь. Принять  $g=10$  м/с<sup>2</sup>.  $m=3$  кг,  $R=4$  м.



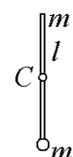
Ответ: 6,59 с

14. Тонкий однородный диск массы  $m$  и радиуса  $R$  подвешен на горизонтальной оси, проходящей перпендикулярно диску через его край  $O$ . К диаметрально противоположному краю диска прикрепили небольшой пластилиновый шарик такой же массы  $m$ . Найдите циклическую частоту малых колебаний такого маятника. Трением в оси пренебречь. Принять  $g=10$  м/с<sup>2</sup>.  $m=3$  кг,  $R=4$  м.



Ответ: 1,17 рад/с

15. Тонкий однородный стержень массы  $m$  и длины  $l$  подвешен на горизонтальной оси, проходящей перпендикулярно стержню через его центр  $C$ . К концу стержня прикрепили небольшой пластилиновый шарик такой же массы  $m$ . Найдите частоту малых колебаний такого маятника. Трением в оси пренебречь. Принять  $g=10$  м/с<sup>2</sup>.  $m=4$  кг,  $l=4$  м.



Ответ: 0,308 Гц

**16.** Тонкий однородный стержень длины  $l$  и массы  $m$  совершает гармонические незатухающие колебания под действием силы тяжести относительно горизонтальной оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его конец. В положении равновесия стержень имеет угловую скорость  $\omega$ . Найдите максимальный угол (в радианах), на который отклоняется стержень в процессе движения.  $m = 2$  кг,  $l = 2$  м,  $\omega = 0,3$  рад/с,  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Ответ: 0,110 рад

**17.** Грузик массой  $m$  прикреплен к пружине жесткости  $k$  и совершает незатухающие гармонические колебания в горизонтальной плоскости с амплитудой  $A$ . В начальный момент грузик вышел из положения равновесия. За какое время он пройдет путь, равный  $\frac{\sqrt{3}A}{2}$ ?  $m = 4$  кг,  $k = 5$  Н/м;  $A = 6$  см. Ответ: 0,937 с

**18.** Грузик массой  $m$  прикреплен к пружине жесткости  $k$  и совершает незатухающие гармонические колебания в горизонтальной плоскости. Максимальная скорость, которую может приобрести грузик во время движения равна  $v_0$ . В начальный момент грузик находился в положении равновесия. За какое время его кинетическая энергия уменьшится в  $4/3$  раза?  $m = 4$  кг,  $k = 5$  Н/м;  $v_0 = 6$  м/с. Ответ: 0,468 с

**19.** Грузик массы  $m$  совершает собственные затухающие колебания на пружинке жесткости  $k$  по закону  $x = Ae^{-at} \cos\left(bt + \frac{\pi}{4}\right)$ . Найдите логарифмический декремент затухания.  $k=20$  Н/м,  $m=350$  г,  $A=2$  см,  $b=4$  с<sup>-1</sup>. Ответ: 10,1

**20.** Небольшое тело, подвешенное на длинной нерастяжимой и невесомой нити длины  $l$  совершает собственные затухающие колебания по закону  $\varphi = Ae^{-at} \cos\left(bt + \frac{\pi}{3}\right)$ . Найдите циклическую частоту таких колебаний.  $A = 0,04$  рад,  $l = 0,2$  м,  $a = 6$  с<sup>-1</sup>,  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Ответ: 3,74 с<sup>-1</sup>

**21.** Тонкий однородный стержень массы  $m$  и длины  $l$  совершает собственные затухающие колебания в вертикальной плоскости относительно горизонтальной оси, проходящей через его конец по закону  $\varphi = Ae^{-at} \cos\left(bt + \frac{\pi}{3}\right)$ . Найдите длину стержня.  $A=0,03$  рад,  $a=0,7$  с<sup>-1</sup>,  $b=1$  с<sup>-1</sup>,  $g=10$  м/с<sup>2</sup>. Ответ: 10,1 м

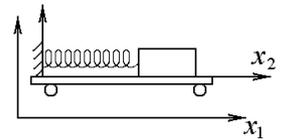
**22.** Тонкий однородный стержень массы  $m$  и длины  $l$  совершает собственные затухающие колебания в вертикальной плоскости относительно горизонтальной оси, проходящей через его конец по закону  $\varphi = Ae^{-at} \cos\left(bt + \frac{\pi}{3}\right)$ . Найдите коэффициент затухания.  $A = 0,04$  рад,  $l = 30$  см,  $b = 4$  с<sup>-1</sup>,  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Ответ: 5,83 с<sup>-1</sup>

**23.** Грузик массы  $m$  подвешен на пружине жесткости  $k$  и совершает собственные затухающие колебания в жидкости по закону  $x = Ae^{-at} \cos\left(bt + \frac{\pi}{3}\right)$ . На сколько увеличится циклическая частота колебаний грузика, если его вытащить из жидкости в воздух. Сопротивлением воздуха и трением в оси пренебречь.  $A = 2$  см,  $m = 300$  г,  $k = 10$  Н/м,  $a = 4$  с<sup>-1</sup>. Ответ: 1,61 с<sup>-1</sup>

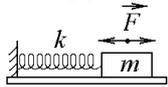
24. Грузик массы  $m$  подвешен на пружине жесткости  $k$  и совершает собственные затухающие колебания в жидкости по закону  $x = Ae^{-at} \cos\left(bt + \frac{\pi}{3}\right)$ . Во сколько раз

увеличится циклическая частота колебаний грузика, если его вытащить из жидкости в воздух. Сопротивлением воздуха и трением в оси пренебречь.  $A = 2$  см,  $m = 300$  г,  $k = 20$  Н/м,  $a = 4$  с<sup>-1</sup>. Ответ: 1,15 раз

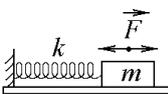
25. Невесомая пружинка одним концом прикреплена к тележке, а другим – к бруску, лежащему на тележке. Брусок совершает горизонтальные гармонические колебания относительно тележки по закону  $x_2 = A \cos(\omega t + \varphi_2)$ . Тележка в свою очередь совершает гармонические колебания с той же частотой в том же направлении относительно земли по закону  $x_1 = B \cos(\omega t + \varphi_1)$ . Найдите амплитуду (в см) колебаний бруска относительно земли.  $A = 4$  см,  $B = 5$  см,  $\varphi_1 = \pi/3$ ,  $\varphi_2 = \pi/4$ . Ответ: 8,92 см



26. Невесомая пружинка жесткости  $k$  одним концом прикреплена к стене, а другим – к бруску массы  $m$ , лежащему на горизонтальной поверхности. Вдоль поверхности на брусок действует гармоническая сила  $F = F_0 \cos(\omega t)$ , которая вынуждает брусок колебаться с амплитудой  $A$ . Найдите жесткость пружины. Диссипативные силы в системе отсутствуют. Собственными колебаниями пренебречь.  $F_0 = 8$  Н,  $m = 6$  кг,  $A = 4$  см,  $\omega = 2$  с<sup>-1</sup>. Ответ: 224 Н/м



27. Невесомая пружинка жесткости  $k$  одним концом прикреплена к стене, а другим – к бруску массы  $m$ , лежащему на горизонтальной поверхности. Вдоль поверхности на брусок действует гармоническая сила  $F = F_0 \cos(\omega t)$ . Найдите амплитуду вынужденных колебаний бруска (в см). Диссипативные силы в системе отсутствуют. Собственными колебаниями пренебречь.  $F_0 = 4$  Н,  $m = 5$  кг,  $k = 6$  Н/м,  $\omega = 7$  с<sup>-1</sup>. Ответ: 1,67 см



### ЗАНЯТИЕ 3

1. В воздушном шарике находится один моль одноатомного идеального газа. Газ расширяется от объема  $V_0$  до объема  $V_1$ , при этом его температура меняется по закону  $T = T_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^8$ . Найти работу (в кДж), совершенную газом в этом процессе. Уни-

версальная газовая постоянная  $R = 8,3 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ .  $T_0 = 600 \text{ К}$ ;  $V_0 = 1 \text{ м}^3$ ;  $V_1 = 2 \text{ м}^3$ .  
Ответ: 159 кДж

2. В воздушном шарике находится один моль одноатомного идеального газа. Газ расширяется от объема  $V_0$  до объема  $V_1$ , при этом его объем меняется по закону

$V = V_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^{1/3}$ . Найти работу (в кДж), совершенную газом в этом процессе. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31 \text{ Дж}/\text{моль} \cdot \text{К}$ .  $T_0 = 600 \text{ К}$ ;  $V_0 = 1 \text{ м}^3$ ;  $V_1 = 2 \text{ м}^3$ .  
Ответ: 11,6 кДж

3. В воздушном шарике находится один моль одноатомного идеального газа. Газ расширяется от объема  $V_0$  до объема  $V_1$ , при этом его давление меняется по закону

$p = p_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^{1/2}$ . Найти работу (в МДж), совершенную газом в этом процессе. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31 \text{ Дж}/\text{моль} \cdot \text{К}$ .  $T_0 = 600 \text{ К}$ ;  $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ ;  $V_0 = 1 \text{ м}^3$ ;  $V_1 = 2 \text{ м}^3$ .  
Ответ: 3,01 МДж

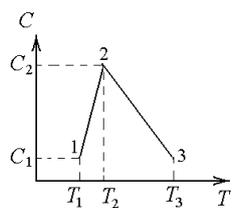
4. Теплоемкость газа зависит от температуры по закону  $C = C_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^4$ . При изменении температуры газа от  $T_0$  до  $T_1$  им была совершена работа  $A$ . Найти изменение внутренней энергии газа.  $C_0 = 1 \text{ Дж}/\text{К}$ ;  $T_0 = 600 \text{ К}$ ;  $T_1 = 2T_0$ ;  $A = 100 \text{ Дж}$ .  
Ответ: 3620 Дж

5. Теплоемкость одного моля идеального двухатомного газа зависит от температуры по закону  $C = C_0 \exp \left( \frac{T}{T_0} \right)$ . Найти работу, совершенную газом, при изменении темпе-

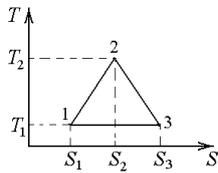
ратуры газа от  $T_0$  до  $T_1$ . Универсальная газовая постоянная  $R = 8,3 \text{ Дж}/\text{моль} \cdot \text{К}$ ;  $C_0 = 1 \text{ Дж}/\text{К}$ ;  $T_0 = 400 \text{ К}$ ;  $T_1 = 2T_0$ .  
Ответ: -6432 Дж

6. Один моль идеального трехатомного газа совершает политропический процесс с теплоемкостью  $C$ . При этом его температура увеличивается на  $\Delta T$ , и газ совершает работу  $A$ . Найти  $\Delta T$ . Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31 \text{ Дж}/\text{моль} \cdot \text{К}$ .  $C = 30 \text{ Дж}/\text{К}$ ;  $A = 400 \text{ Дж}$ .  
Ответ: 78,9 К

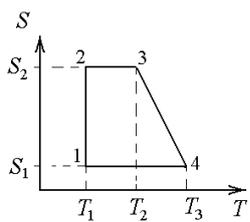
7. Идеальный газ совершает процесс 1–2–3. Его теплоемкость зависит от температуры, как показано на графике. Во сколько раз тепло, полученное на участке 2–3 больше тепла, полученного на участке 1–2.  $T_1 = 300 \text{ К}$ ;  $T_2 = 900 \text{ К}$ ;  $T_3 = 1800 \text{ К}$ .  $C_1 = 1 \text{ Дж}/\text{К}$ ;  $C_2 = 5 \text{ Дж}/\text{К}$ .  
Ответ: 1,5 раза



**8.** Энтропия идеального газа меняется по закону  $S = S_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^2$ . Найти тепло (в кДж), полученное газом при увеличении температуры от  $T_0$  до  $T_1$ .  $S_0 = 100$  Дж/К;  $T_0 = 600$  К;  $T_1 = 2T_0$ . Ответ: 280 кДж



**9.** Тепловая машина совершает циклический процесс 1–2–3–1, изображенный на графике в координатах  $T-S$ . Найти коэффициент полезного действия тепловой машины.  $T_1=600$  К;  $T_2=1200$  К;  $S_1 = 2$  Дж/К;  $S_2 = 4$  Дж/К;  $S_3 = 6$  Дж/К. Ответ: 33,3%



**10.** Тепловая машина совершает циклический процесс 1–4–3–2–1, изображенный на графике в координатах  $S-T$ . Найти коэффициент полезного действия тепловой машины.  $T_1 = 550$  К;  $T_2 = 600$  К;  $T_3 = 650$  К.  $S_1 = 1$  Дж/К;  $S_2 = 5$  Дж/К. Ответ: 12%

**11.** Один моль идеального одноатомного газа нагревается при постоянном объеме от  $T_0$  до  $T_1$ . Найти приращение энтропии газа. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/моль·К;  $T_0=300$  К;  $T_1 = 5T_0$ . Ответ: 20,1 Дж/К

**12.** В закрытом сосуде находится азот (молярная масса  $\mu=28$  г/моль) при температуре  $T$ . Найти относительную долю молекул, скорости которых лежат в интервале от  $v_{\text{кв}}$  до  $v_{\text{кв}} + \Delta v$ , где  $v_{\text{кв}}$  – средняя квадратичная скорость молекул. Функция распределения Максвелла молекул по скоростям имеет следующий вид:  $F(v) = 4\pi \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 \exp\left( -\frac{m_0 v^2}{2kT} \right)$ , где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана;  $m_0$  – масса одной молекулы; число Авогадро  $N_A = 6 \cdot 10^{23}$  моль $^{-1}$ ; универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/моль·К.  $T = 600$  К;  $\Delta v = 0,1$  м/с. Ответ:  $1,27 \cdot 10^{-4}$

**13.** Из маленького отверстия в стенке сосуда выходит пучок молекул, распределение которых по скоростям имеет вид  $F(v) = Av^4 \exp(-Bv^2)$ . Найти наиболее вероятную скорость молекул.  $B = 0,04$  с $^2$ /м $^2$ . Ответ: 7,07 м/с

**14.** В закрытом сосуде при температуре  $T$  находится  $N$  молекул идеального газа с молярной массой  $\mu$ . Сумма квадратов скоростей всех молекул равна  $\sigma = \sum v_i^2$ . Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/моль·К. Найти молярную массу газа.  $N = 10^{23}$ ;  $\sigma = 10^{29}$  м $^2$ /с $^2$ ;  $T = 722$  К. Ответ: 0,018 кг/моль

**15.** На берегу моря концентрация молекул воздуха равна  $n_0$ , а температура  $t^\circ\text{C}$ . Найти потенциальную энергию одной молекулы воздуха на высоте, где концентрация молекул равна  $n$ . Считать температуру одинаковой на разных высотах. Постоянная Больцмана  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;  $n_0 = 10^{25}$  м $^{-3}$ ;  $t = -3^\circ\text{C}$ ;  $n = 6 \cdot 10^{24}$  м $^{-3}$ . Ответ:  $1,90 \cdot 10^{-21}$  Дж

**16.** На берегу моря концентрация молекул воздуха равна  $n_0$ , а температура  $t^\circ\text{C}$ . Найти концентрацию молекул на высоте, где потенциальная энергия одной молекулы равна  $\Pi$ . Считать температуру одинаковой на разных высотах. Постоянная Больцмана  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;  $n_0 = 10^{25}$  м $^{-3}$ ;  $t = 27^\circ\text{C}$ ;  $\Pi = 4 \cdot 10^{-21}$  Дж.

Ответ:  $3,81 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$

**17.** В сосуде с объемом  $V$  находится  $N$  молекул водорода, средняя квадратичная скорость которых равна  $v_{\text{кв}}$ . Найти число ударов молекул о площадку стенки сосуда  $S$  за одну секунду. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ .  $V = 1 \text{ м}^3$ ;  $N = 10^{23}$ ;  $v_{\text{кв}} = 650 \text{ м/с}$ ;  $S = 1 \text{ см}^2$ ;  $\mu = 2 \text{ г/моль}$ . Ответ:  $1,50 \cdot 10^{21}$

**18.** В сосуде с объемом  $V$  находится  $N$  молекул водорода. Сумма величин скоростей всех молекул равна  $\sigma = \sum v_i$ . Сколько молекул вылетит из отверстия в стенке сосуда с площадью  $S$  за одну секунду. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ .  $V = 1 \text{ м}^3$ ;  $N = 10^{24}$ ;  $\sigma = 8 \cdot 10^{26} \text{ м/с}$ ;  $S = 1 \text{ см}^2$ ;  $\mu = 2 \text{ г/моль}$ .

Ответ:  $2 \cdot 10^{22}$

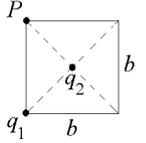
**19.** В первом сосуде с объемом  $V$  находится  $N_1$  молекул водорода ( $\mu_1 = 2 \text{ г/моль}$ ), а во втором таком же сосуде находится  $N_2$  молекул азота ( $\mu_2 = 28 \text{ г/моль}$ ). В первом сосуде сделали отверстие площадью  $S_1$ , а во втором  $S_2$ . Число молекул, вылетающих за одну секунду из первого сосуда в  $n$  раз больше, чем из второго. Во сколько раз температура газа в первом сосуде отличается от температуры газа во втором сосуде.  $V = 1 \text{ м}^3$ ;  $N_1 = 9 \cdot 10^{23}$ ;  $N_2 = 10^{24}$ ;  $S_1 = 1 \text{ см}^2$ ;  $S_2 = 2 \text{ см}^2$ ;  $n = 5$ . Ответ: 8,82 раза

**20.** В первом сосуде с объемом  $V$  находится  $N_1$  молекул водорода ( $\mu_1 = 2 \text{ г/моль}$ ) со средней квадратичной скоростью  $v_{\text{кв}1}$ , а во втором таком же сосуде находится  $N_2$  молекул азота ( $\mu_2 = 0,028 \text{ кг/моль}$ ) со средней вероятной скоростью  $v_{\text{вер}2}$ . В сосудах сделали одинаковые отверстия площадью  $S$ . На сколько отличается число молекул, вылетающих из разных сосудов за одну секунду. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ .  $V = 1 \text{ м}^3$ ;  $N_1 = 10^{23}$ ;  $N_2 = 10^{24}$ ;  $v_{\text{кв}1} = 500 \text{ м/с}$ ;  $v_{\text{вер}2} = 400 \text{ м/с}$ ;  $S = 4 \text{ мм}^2$ . Ответ:  $4,05 \cdot 10^{20}$

**21.** В одном сосуде находится один моль криптона  $Kr$  при температуре  $T_1$ . В другом сосуде – два моля азота  $N_2$  при температуре  $T_2$ . На сколько килоджоулей внутренняя энергия азота больше, чем внутренняя энергия криптона? Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ .  $T_1 = 450 \text{ К}$ ;  $T_2 = 400 \text{ К}$ . Колебательные степени свободы газов не возбуждены. Ответ: 11,0 кДж

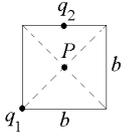
## ЗАНЯТИЕ 4

1. Заряд  $q_1 = 1$  мкКл находится в вершине квадрата со стороной  $b = 1$  м, а заряд  $q_2 = -3$  мкКл – в центре. Найти модуль напряженности электрического поля в точке  $P$ , находящейся в другой вершине этого квадрата (см. рис.).



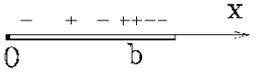
Ответ: 48 кВ/м

2. Заряд  $q_1 = 1$  мкКл находится в вершине квадрата со стороной  $b = 1$  м, а заряд  $q_2 = -3$  мкКл – на середине стороны. Найти величину вертикальной проекции напряженности электрического поля в точке  $P$ , находящейся в центре квадрата (см. рис.).



Ответ: 121 кВ/м

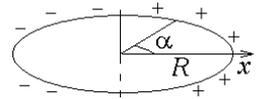
3. Тонкий стержень заряжен неравномерно. Электрический заряд распределен по

нему с линейной плотностью  $\rho = \rho_0 \left(\frac{x}{b}\right)^3$ ,  $\rho_0 = 4$  мкКл/м,  $0 \leq x \leq b$ , 

где  $x$  – координата точки на стержне,  $b = 3$  м – длина стержня. Чему равна величина напряженности электрического поля, создаваемого этим зарядом в начале координат  $O$ , совпадающем с концом стержня? Ответ: 6,0 кВ/м

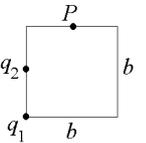
4. Заряд распределен по тонкому кольцу радиуса  $R = 2$  м с линейной плотностью

$$\begin{cases} \rho = \rho_0 \sin^2 \alpha, & -\frac{\pi}{2} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} \\ \rho = -\rho_0 \sin^2 \alpha, & \frac{\pi}{2} \leq \alpha \leq \frac{3\pi}{2} \end{cases},$$

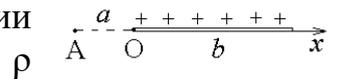


где  $\rho_0 = 3$  мкКл/м. Определить величину проекции на ось  $x$  напряженности электрического поля, создаваемого этим зарядом в центре кольца. Ответ: 18 кВ/м

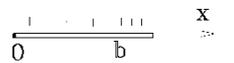
5. Заряд  $q_1 = 1$  мкКл находится в вершине квадрата со стороной  $b = 1$  м, а заряд  $q_2 = -3$  мкКл – на середине стороны. Найти потенциал электрического поля в точке  $P$ , находящейся на середине стороны квадрата (см. рис.). Ответ: -30 кВ



6. Вдоль стержня длины  $b = 2$  м равномерно распределен заряд с линейной плотностью  $\rho = \text{const}$ . Найти потенциал в точке  $A$  на продолжении стержня на расстоянии  $a = 1$  м от его конца (см. рис.). Ответ: 9,9 кВ

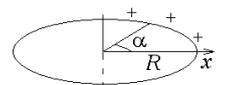


7. Тонкий стержень заряжен неравномерно. Электрический заряд распределен по нему с линейной плотностью  $\rho = \rho_0 \left(\frac{x}{b}\right)$ ,  $\rho_0 = 3$  мкКл/м,  $0 \leq x \leq b$ , где  $x$

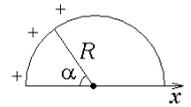


– координата точки на стержне,  $b = 2$  м – длина стержня. Чему равна величина потенциала, создаваемого этим зарядом в начале координат  $O$ , совпадающем с концом стержня? Ответ: 27 кВ

8. Положительный заряд распределен по тонкому кольцу радиуса  $R = 2$  м с линейной плотностью  $\rho = \rho_0 \sin^2 \alpha$  [ $\rho = \rho_0 \cos^2 \alpha$ ],  $0 \leq \alpha \leq 2\pi$ ,  $\rho_0 = 2$  мкКл/м. Определить потенциал, создаваемый этим зарядом в центре кольца. Ответ: 57 кВ [57 кВ]



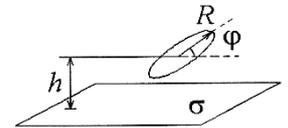
9. Положительный заряд распределен по тонкому полукольцу радиуса  $R = 4$  м с линейной плотностью  $\rho = \rho_0 \left( \frac{\alpha}{\pi} \right)$ ,  $0 \leq \alpha \leq \pi$ ,  $\rho_0 = 2$  мкКл/м. Опреде-



лить потенциал, создаваемый этим зарядом в центре полукольца.

Ответ: 28 кВ

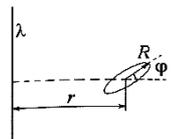
10. Над бесконечной плоскостью, равномерно заряженной с поверхностной плотностью заряда  $\sigma = 1$  нКл/м<sup>2</sup>, расположена круглая пластинка радиуса  $R = 1$  см, центр которой лежит на расстоянии  $h = 5$  м. Плоскости пластинки и поверхности расположены под углом  $\varphi = 30^\circ$ . Найти поток вектора напряженности электрического поля



сквозь поверхность пластинки.

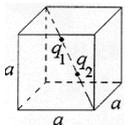
Ответ: 15 мВ·м

11. Электрическое поле создается бесконечной прямой равномерно заряженной нитью с линейной плотностью заряда  $\lambda = 1$  мКл/м. На большом удалении  $r = 12$  м расположена круглая пластинка радиуса  $R = 1$  см. Угол между плоскостью пластинки и перпендикуляром к нити, проходящим через центр пластинки, равен  $\varphi = 30^\circ$ . Найти поток вектора электрического смещения через поверхность пластинки.



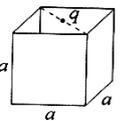
Ответ: 2,1 нКл

12. Заряды  $q_1 = 1$  нКл и  $q_2 = 2$  нКл помещены на диагонали куба со стороной  $a = 1$  см так, что делят эту диагональ на три равные части. Чему равен поток вектора напряженности электрического поля сквозь внешнюю поверхность куба?



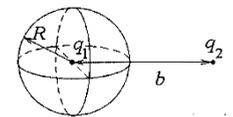
Ответ: 339 В·м

13. Заряд  $q = 1$  нКл помещен в центр верхней грани куба со стороной  $a = 1$  см. Найдите поток вектора электрического смещения через все остальные грани.



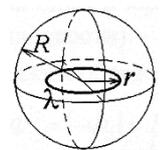
Ответ: 0,50 нКл

14. Заряд  $q_1 = 5$  нКл помещен в центр сферы радиусом  $R = 3$  м, а заряд  $q_2 = 3$  нКл – на расстоянии  $b = 5$  м от центра. Найдите поток вектора напряженности электрического поля сквозь поверхность сферы.



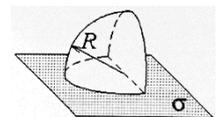
Ответ: 565 В·м

15. Внутри сферы радиуса  $R = 2$  м помещено равномерно заряженное кольцо радиуса  $r = 1$  см и линейной плотностью заряда  $\lambda = 4$  нКл/м. Центр кольца совпадает с центром сферы. Найдите поток вектора напряженности электрического поля сквозь поверхность сферы.



Ответ: 28 В·м.

16. Электрическое поле создается бесконечной равномерно заряженной плоскостью с поверхностной плотностью заряда  $\sigma = 2$  мКл/м<sup>2</sup>. На плоскость положили четверть сферы радиуса  $R = 2$  см. Найти поток вектора электрического смещения через поверхность четверти сферы.



Ответ: 628 нКл

17. Напряженность электростатического поля задается формулой  $\vec{E} = \vec{i}Ax^2 + \vec{j}By^3$ . Используя теорему Гаусса в дифференциальной форме, найдите объемную плотность заряда в точке  $P(x_0, y_0)$ .  $A = 2$  В/м<sup>3</sup>,  $B = 3$  В/м<sup>4</sup>,  $x_0 = 3$  м,  $y_0 = 2$  м.

Ответ: 0,42 нКл/м<sup>3</sup>

18. Напряженность электростатического поля задается формулой  $\vec{E} = \vec{i}A \exp(-Bx) + \vec{j}C \cos(Dy)$ . Используя теорему Гаусса в дифференциальной

форме, найдите объемную плотность заряда в точке  $P(x_0, y_0)$ .  $A = 1 \text{ В/м}$ ,  $B = 2 \text{ м}^{-1}$ ,  $C = 3 \text{ В/м}$ ,  $D = 4 \text{ рад/м}$ ,  $x_0 = 2 \text{ м}$ ,  $y_0 = 2 \text{ м}$ .  
Ответ:  $-105 \text{ пКл/м}^3$

**19.** Потенциал электростатического поля зависит от координат по закону  $\varphi = Ax^3y^3$ . Найти величину напряженности электрического поля в точке  $P(x_0, y_0)$ .  $A = 2 \text{ В/м}^6$ ,  $x_0 = 2 \text{ м}$ ,  $y_0 = 2 \text{ м}$ .  
Ответ:  $272 \text{ В/м}$

**20.** Потенциал электростатического поля зависит от координат по закону  $\varphi = A \cdot \sin(Bx) + C \cdot \cos(Dy)$ . Найти величину напряженности электрического поля в точке  $P(x_0, y_0)$ .  $A = 2 \text{ В}$ ,  $B = 2 \text{ рад/м}$ ,  $C = 3 \text{ В}$ ,  $D = 4 \text{ рад/м}$ ,  $x_0 = 2 \text{ м}$ ,  $y_0 = 2 \text{ м}$ .  
Ответ:  $12 \text{ В/м}$

**21.** В заряженном плоском воздушном конденсаторе запасена энергия  $W = 4 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}$ . Объем пространства внутри конденсатора равен  $V = 1 \text{ см}^3$ . Найти напряженность электрического поля. Считать, что расстояние между обкладками конденсатора намного меньше геометрических размеров самих обкладок.  
Ответ:  $950 \text{ В/м}$

**22.** Заряд на обкладках плоского воздушного конденсатора равен  $q = 2 \text{ Кл}$ . Разность потенциалов на обкладках равна  $U = 2 \text{ В}$ . Найти энергию, запасенную в этом конденсаторе.  
Ответ:  $2 \text{ Дж}$

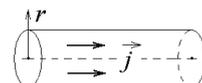
## ЗАНЯТИЕ 5,6

1. По проводу сопротивлением  $R_1=1$  Ом течет переменный электрический ток. Сила тока изменяется по закону  $I=At^6+Bt^3$ . Чему равен заряд, прошедший через поперечное сечение провода за время  $t_1=1$  с?  $A=12$  А/с<sup>6</sup>,  $B=7$  А/с<sup>3</sup>. Ответ: 3,5 Кл

2. По проводу сопротивлением  $R_1=6$  Ом течет переменный электрический ток. Сила тока изменяется по закону  $I=Asin^2(\omega t)$ . Чему равен заряд, прошедший через поперечное сечение провода за время  $t_1=1$  с?  $A=4$  А/с<sup>6</sup>,  $\omega = \frac{\pi}{2}$  рад/с. Ответ: 2,0 Кл

3. По неоднородному цилиндрическому проводу радиуса  $R=1$  м течет ток, плотность которого зависит от расстояния  $r$  до оси по закону

$j(r) = j_0 \left( \frac{r}{R} \right)^5$ . Найдите силу тока, протекающего через поперечное

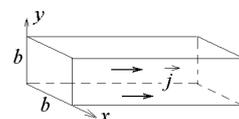


сечение проводника.  $j_0 = 4$  А/м<sup>2</sup>.

Ответ: 3,59 А

4. По неоднородному проводу квадратного сечения  $b \times b$  течет ток, плотность которого зависит от расстояния  $x$  от одной из боковых граней по закону

$j(x) = j_0 \left( \frac{x}{b} \right)^4$ . Найдите силу тока, протекающего через попереч-

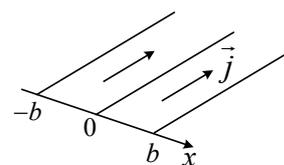


ное сечение проводника.  $j_0 = 2$  А/м<sup>2</sup>,  $b = 1$  м.

Ответ: 0,4 А

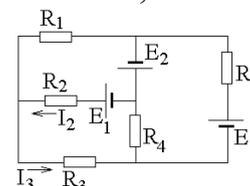
5. Вдоль средней линии проводящей полосы шириной  $2b$  течет ток, линейная плотность которого зависит от расстояния  $x$  до

средней линии по закону  $i(x) = i_0 \left| \frac{x}{b} \right|^3$ . Найдите силу тока, протекающего по всей полосе.  $i_0=3$  А/м;  $b=1$  м

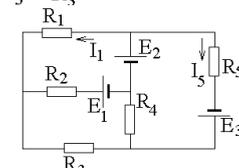


Ответ: 1,5 А

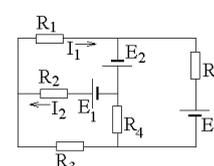
6. Найти величину силы тока  $I_4$ , протекающего через сопротивление  $R_4$ .  $R_2=2$  Ом,  $R_3=3$  Ом,  $R_4=6$  Ом,  $E_1=1$  В,  $E_2=3$  В,  $I_2=1$  А,  $I_3=2$  А. Внутренними сопротивлениями источников тока пренебречь. Ответ: 1,2 А



7. Найти величину силы тока, протекающего через сопротивление  $R_4$ .  $R_1=4$  Ом,  $R_4=5$  Ом,  $R_5=7$  Ом,  $E_2=4$  В,  $E_3=4$  В,  $I_1=3$  А,  $I_5=2$  А. Внутренними сопротивлениями источников тока пренебречь. Ответ: 1,2 А



8. Найти сопротивление  $R_2$ .  $R_1=2$  Ом,  $R_3=3$  Ом,  $R_4=4$  Ом,  $E_1=1$  В,  $E_2=8$  В,  $I_1=2$  А,  $I_2=3$  А. Внутренними сопротивлениями источников тока пренебречь. Ответ: 1,7 Ом

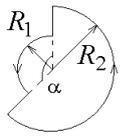
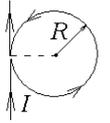


9. По проводу сопротивлением  $R_1$  течет переменный электрический ток. Сила тока изменяется по закону  $I = A \cos \omega t$ . Чему равно количество теплоты, выделившейся в проводе за время  $t_1$ ?  $A=2$  А,  $R_1=2$  Ом,  $\omega = \frac{\pi}{2}$  рад/с,  $t_1=1$  с. Ответ: 4,0 Дж

10. По проводу сопротивлением  $R_1$  течет переменный электрический ток. Сила тока изменяется по закону  $I = A \exp(-Bt)$ . Чему равно количество теплоты, выделившейся в проводе за время  $t_1$ ?  $A=7$  А,  $R_1=2$  Ом,  $B=4$  с<sup>-1</sup>,  $t=1$  с. Ответ: 12 Дж

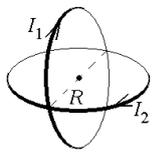
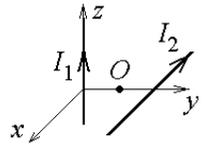
## ЗАНЯТИЕ 7

**1.** Электрический ток течет по длинному проводу, изогнутому так, как показано на рисунке. Найдите индукцию магнитного поля, созданного этим током в центре окружности.  $I = 4 \text{ А}$ ,  $R = 1 \text{ м}$ . Ответ:  $1,712 \text{ мкТл}$



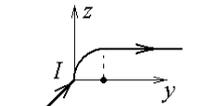
**2.** Электрический ток течет по длинному проводу, изогнутому так, как показано на рисунке. Найдите индукцию магнитного поля, созданного этим током в центре дуг.  $I=4 \text{ А}$ ,  $R_1=1 \text{ м}$ ,  $R_2=2 \text{ м}$ ,  $\alpha=120^\circ$ . Ответ:  $1,675 \text{ мкТл}$

**3.** Ток  $I_1 = 4 \text{ А}$  течет по прямому проводу вдоль оси  $z$ . В плоскости  $xy$  антипараллельно оси  $x$  на расстоянии  $2R$  ( $R = 1 \text{ м}$ ) от начала координат течет прямой ток  $I_2 = 8 \text{ А}$ . Найдите индукцию магнитного поля, созданного этими токами в точке  $O$ , расположенной посередине между проводами. Ответ:  $1,789 \text{ мкТл}$

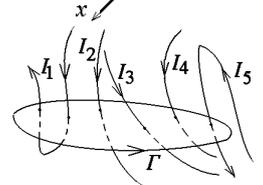


**4.** Токи  $I_1 = 2 \text{ А}$  и  $I_2 = 4 \text{ А}$  текут по двум одинаковым виткам радиуса  $R = 1 \text{ м}$  с общим центром в перпендикулярных плоскостях. Найдите индукцию магнитного поля, созданного этими токами в центре витков. Ответ:  $2,80 \text{ мкТл}$

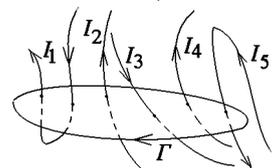
**5.** Ток  $I = 4 \text{ А}$  течет по длинному проводу, изогнутому так, как показано на рисунке. Найдите индукцию магнитного поля, созданного этим током в центре дуги радиуса  $R=1 \text{ м}$ . Ответ:  $1,103 \text{ мкТл}$



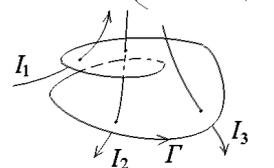
**6.** По длинным проводам различной конфигурации текут разные токи. Найдите циркуляцию вектора индукции магнитного поля, созданного этими токами, по замкнутому контуру  $\Gamma$ .  $I_1=1 \text{ А}$ ,  $I_2=3 \text{ А}$ ,  $I_3=4 \text{ А}$ ,  $I_4=5 \text{ А}$ ,  $I_5=5 \text{ А}$ . Ответ:  $-21,35 \text{ мкТл}\cdot\text{м}$



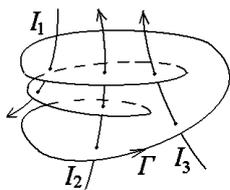
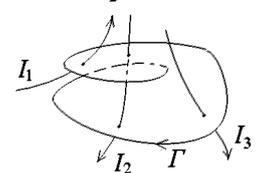
**7.** По длинным проводам различной конфигурации текут разные токи. Найдите циркуляцию вектора индукции магнитного поля, созданного этими токами, по замкнутому контуру  $\Gamma$ .  $I_1=1 \text{ А}$ ,  $I_2=3 \text{ А}$ ,  $I_3=3 \text{ А}$ ,  $I_4=4 \text{ А}$ ,  $I_5=5 \text{ А}$ . Ответ:  $1,26 \text{ мкТл}\cdot\text{м}$



**8.** По длинным проводам различной конфигурации текут разные токи. Найдите циркуляцию вектора индукции магнитного поля, созданного этими токами, по замкнутому контуру  $\Gamma$ .  $I_1=2 \text{ А}$ ,  $I_2=3 \text{ А}$ ,  $I_3=4 \text{ А}$ . Ответ:  $-10,05 \text{ мкТл}\cdot\text{м}$



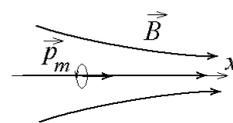
**9.** По длинным проводам различной конфигурации текут разные токи. Найдите циркуляцию вектора индукции магнитного поля, созданного этими токами, по замкнутому контуру  $\Gamma$ .  $I_1=2 \text{ А}$ ,  $I_2=3 \text{ А}$ ,  $I_3=4 \text{ А}$ . Ответ:  $10,05 \text{ мкТл}\cdot\text{м}$



**10.** По длинным проводам различной конфигурации текут разные токи. Найдите циркуляцию вектора индукции магнитного поля, созданного этими токами, по замкнутому контуру  $\Gamma$ .  $I_1 = 6 \text{ А}$ ,  $I_2 = 2 \text{ А}$ ,  $I_3 = 5 \text{ А}$ . Ответ:  $5,02 \text{ мкТл}\cdot\text{м}$

## ЗАНЯТИЕ 8

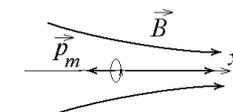
1. Небольшой виток с током, обладающий магнитным моментом  $\vec{p}_m$  ( $p_m=1 \text{ А}\cdot\text{м}^2$ ), удерживают в неоднородном магнитном поле на оси  $x$  в точке с координатой  $x_0 = 1 \text{ м}$ . Направление магнитного момента витка совпадает с направлением индукции магнитного поля, величина которой на оси  $x$  меняется по закону  $B(x) = B_0 \left(\frac{x}{b}\right)^4$ , где  $B_0=2 \text{ Тл}$ ;  $b=1 \text{ м}$ .



Определите проекцию силы  $F_x$ , действующей на виток.

Ответ: 8 Н

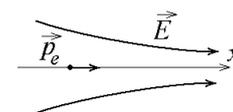
2. Небольшой виток с током, обладающий магнитным моментом  $\vec{p}_m$  ( $p_m=1 \text{ А}\cdot\text{м}^2$ ), удерживают в неоднородном магнитном поле на оси  $x$  в точке с координатой  $x_0 = 1 \text{ м}$ . Направление магнитного момента витка противоположно направлению индукции магнитного поля, величина которой на оси  $x$  меняется по закону  $B(x) = B_0 \left(\frac{x}{b}\right)^2$ , где  $B_0=2 \text{ Тл}$ ;  $b=1 \text{ м}$ . Определите



проекцию силы  $F_x$ , действующей на виток.

Ответ: -4 Н

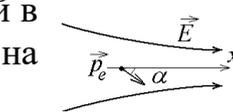
3. Электрический диполь с дипольным моментом  $\vec{p}_e$  ( $p_e=1 \text{ Кл}$ ), удерживают в неоднородном электрическом поле на оси  $x$  в точке с координатой  $x_0 = 1 \text{ м}$ . Направление дипольного момента совпадает с направлением напряженности электрического поля, величина которой на оси  $x$  меняется по закону  $E(x) = E_0 \left(\frac{x}{b}\right)^3$ , где  $E_0 = 2 \text{ В/м}$ ;  $b = 1 \text{ м}$ . Определите проекцию



силы  $F_x$ , действующей на диполь.

Ответ: 6 Н

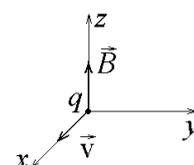
4. Электрический диполь с дипольным моментом  $\vec{p}_e$  ( $p_e = 1 \text{ Кл}\cdot\text{м}$ ), удерживают в неоднородном электрическом поле на оси  $x$  под углом  $\alpha = 60^\circ$  к ней в точке с координатой  $x_0 = 1 \text{ м}$ . Напряженность электрического поля на оси  $x$  меняется по закону  $E(x) = E_0 \left(\frac{x}{b}\right)^2$ , где  $E_0 = 2 \text{ В/м}$ ;  $b = 1 \text{ м}$ . Опре-



делите проекцию силы  $F_x$ , действующей на диполь.

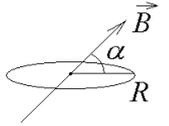
Ответ: 2 Н

5. В однородном магнитном поле с индукцией  $B=2 \text{ Тл}$  по окружности летает отрицательно заряженная частица с зарядом  $q = -3 \text{ мкКл}$  и массой  $m=10^{-11} \text{ кг}$  со скоростью  $v=500 \text{ м/с}$ . Индукция магнитного поля  $\vec{B}$  направлена вдоль оси  $z$ . В начальный момент времени скорость частицы  $\vec{v}$  была направлена вдоль оси  $x$ . Найти: 1) минимальное время  $t$ , через которое скорость частицы будет направлена вдоль оси  $y$ ; 2) минимальный путь, который пройдет частица до момента, когда ее скорость будет направлена вдоль оси  $y$ ; 3) наибольшее удаление частицы от оси  $y$ ; 4) наибольшее удаление частицы от оси  $x$ ; 5) минимальное время  $t$ , через которое скорость частицы будет направлена против оси  $y$ ; 6) минимальный путь, который пройдет частица до момента, когда ее скорость будет направлена против оси  $y$ .



Ответ: 1) 2,62 мкс; 2) 1,31 мм; 3) 0,833 мм; 4) 1,67 мм; 5) 7,85 мкс; 6) 3,93 мм

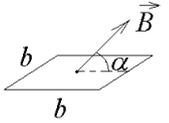
6. Круговой проводящий виток радиуса  $R = 1$  м пронизывает однородное магнитное поле под углом  $\alpha = 30^\circ$  к плоскости витка. Индукция магнитного поля



меняется со временем по закону  $B(t) = B_0 \left( \frac{t}{\tau} \right)^5$ , где  $B_0 = 2$  Тл;  $\tau = 1$  с. Найти модуль ЭДС индукции в контуре в момент времени  $t = 1$  с.

Ответ: 15,7 В

7. Квадратный проводящий контур со стороной  $b = 1$  м пронизывает однородное магнитное поле под углом  $\alpha = 30^\circ$  к плоскости контура. Индукция магнитного поля



меняется со временем по закону  $B(t) = B_0 \left( \frac{t}{\tau} \right)^3$  где  $B_0 = 3$  Тл;  $\tau = 1$  с. Найти модуль ЭДС индукции в кон-

туре в момент времени  $t = 1$  с.

Ответ: 4,5 В

8. По проводящему контуру индуктивностью  $L$  течет ток  $I$ . И ток и индуктивность изменяются со временем по законам  $L(t) = L_0 \left( \frac{t}{\tau} \right)^4$ ,  $I(t) = I_0 \frac{t}{\tau}$ , где  $L_0 = 2$  Гн,  $I_0 = 1$  А,

$\tau = 1$  с. Найти модуль ЭДС самоиндукции в контуре в момент времени  $t = 1$  с.

Ответ: 10 В

**4 СЕМЕСТР**  
**ЗАНЯТИЕ 1**

1. В опыте Юнга расстояние между отверстиями  $d$ , а расстояние от отверстий до экрана  $l$ . Определить положение  $m$ -ой светлой полосы, если отверстия освещены монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda$ .  $l = 1$  м;  $d = 1$  мм;  $m = 2$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.

Ответ: 1 мм

2. В опыте Юнга расстояние между отверстиями  $d$ , а расстояние от отверстий до экрана  $l$ . Определить положение  $m$ -ой темной полосы, если отверстия освещены монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda$ .  $l = 1$  м;  $d = 1$  мм;  $m = 2$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.

Ответ: 1,25 мм

3. В опыте Юнга расстояние между отверстиями  $d$ , а расстояние от отверстий до экрана  $l$ . Отверстия освещены монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda$ . Ширина интерференционной полосы  $\Delta x$ . Определить расстояние от отверстия до экрана.  $d = 1$  мм;  $\Delta x = 1$  мм;  $\lambda = 0,4$  мкм.

Ответ: 2,5 м

4. В опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей перпендикулярно к нему поместили тонкую стеклянную пластинку с показателем преломления  $n = 1,5$ . При этом центральная светлая полоса сместилась на  $m$  полос. Длина волны  $\lambda$ . Найти толщину пластинки (в мкм).  $m = 4$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм.

Ответ: 4 мкм

5. На плоскопараллельную пленку с показателем преломления  $n$ , находящуюся в воздухе, падает нормально пучок лучей белого света. При какой наименьшей толщине пленки (в мкм) отраженный свет с длиной волны  $\lambda$  окажется максимально усиленным?  $\lambda = 0,5$  мкм;  $n = 1,3$ .

Ответ: 0,096 мкм

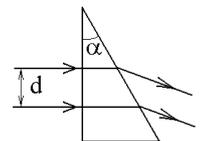
6. На плоскопараллельную пленку толщиной  $d$  с показателем преломления  $n$ , находящуюся в воздухе, падает под углом  $\alpha$  параллельный пучок лучей белого света. Определить при каком угле  $\alpha$  отраженный свет наиболее сильно окрасится в синий свет ( $\lambda = 0,5$  мкм).  $n = 1,3$ ;  $d = 0,1$  мкм.

Ответ: 20,9 град

7. На поверхности стекла ( $n_c = 1,5$ ) находится пленка с показателем преломления  $n$ . На нее падает свет с длиной волны  $\lambda$  под углом  $\alpha$  к нормали. Найти  $\lambda$  (в мкм), если при минимальной толщине пленки  $d$  отраженный свет максимально усилен.  $n = 1,3$ ;  $\alpha = 30^\circ$ ;  $d = 0,1$  мкм.

Ответ: 0,24 мкм

8. Два параллельных световых пучка, отстоящие друг от друга на расстоянии  $d$ , падают нормально на призму с углом  $\alpha$ . Показатель преломления материала призмы  $n$ . Оптическая разность хода этих пучков на выходе из призмы равна  $\Delta$ . Определить угол призмы.  $d = 1$  см;  $n = 1,5$ ;  $\Delta = 1,5$  см.



Ответ:  $45^\circ$

9. Плосковыпуклая линза радиусом кривизны  $R$  выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Радиус  $m$ -ого темного кольца в отраженном (в проходящем) свете  $r$ . Определить порядковый номер кольца, если длина волны падающего монохроматического света  $\lambda$ .  $\lambda = 0,4$  мкм;  $R = 3$  м;  $r = 1,9$  мм.  $\lambda = 0,4$  мкм;  $R = 3$  м;  $r = 2,1$  мм.

Ответ: 3 (4)

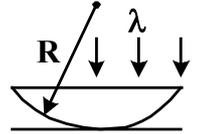
10. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda$ , падающим нормально. Пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполнено жидкостью. Радиус кривизны линзы  $R$ . Определить

показатель преломления жидкости, если радиус  $m$ -ого светлого кольца в проходящем свете  $r$ .  $\lambda = 0,4$  мкм;  $m = 3$ ;  $r = 2$  мм;  $R = 4$  м. Ответ: 1,2

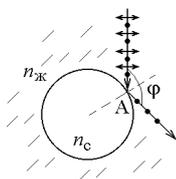
**11.** На установке для наблюдения колец Ньютона был измерен в отраженном свете радиус  $m$ -ого темного кольца. Когда пространство между пластинкой и линзой заполнили жидкостью, то тот же радиус стало иметь темное кольцо с номером, большим на единицу. Определить показатель преломления жидкости.  $m = 4$ .

Ответ: 1,25

**12.** Найти радиус первого светлого (синего) кольца Ньютона в установке, в которой интерференция наблюдается в отраженном свете. Стекло́нная линза радиусом  $R = 7,8$  м лежит на стекляннóй пластинке и пространство между ними заполнено жидкостью с показателем преломления  $n = 1,3 < n_{\text{стекла}}$ . На линзу нормально падает синий свет с длиной волны  $\lambda = 480$  нм. Ответ:  $1,2 \cdot 10^{-3}$  м



### ЗАНЯТИЕ 2,3

1. Точечный источник света (с длиной волны  $\lambda$ ) расположен на расстоянии  $a$  перед диафрагмой с круглым отверстием диаметра  $d$ , открывающим  $m$  зон Френеля. Расстояние от диафрагмы до точки наблюдения  $b$ . Определите  $d$  (в мм).  $a=2$  м;  $b=2$  м;  $m = 1$ ;  $\lambda = 0,5$  мкм. Ответ: 1,41 мм
2. На экран с круглым отверстием радиусом  $r$  нормально падает параллельный пучок монохроматического света с длиной волны  $\lambda=0,5$  мкм. При каком минимальном  $r$  (в мм) в центре дифракционной картины на расстоянии  $b=2$  м от отверстия можно наблюдать минимум освещенности? Ответ: 1,41 мм
3. Определите номер  $m$ -й зоны Френеля, если радиусы  $m$ -й и  $(m - 1)$ -й зон Френеля для плоского волнового фронта равны  $r_1$  и  $r_2$  соответственно.  $r_1=2$  мм;  $r_2 = \sqrt{3}$  мм  
Ответ: 4
4. Определите длину  $l$  дифракционной решетки с  $N$  штрихами, если углу  $\varphi$  соответствует максимум  $m$ -ого порядка для монохроматического света с длиной волны  $\lambda$ .  $\varphi=30^\circ$ ;  $m = 2$ ;  $\lambda = 0.5$  мкм;  $N = 2 \cdot 10^4$ . Ответ: 4 см
5. Определите разрешающую способность дифракционной решетки, если она в первом порядке разрешает две спектральные линии с  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ .  $\lambda_1 = 0,396$  мкм;  $\lambda_2 = 0,4$  мкм. Ответ: 99
6. За узкой щелью, на которую падает нормально плоская монохроматическая волна, на экране наблюдается дифракционная картина, причем координаты трех соседних главных минимумов равны  $x_1, x_2, x_3$ . Найти координату следующего минимума.  $x_1=10$  мм,  $x_2 =12$  мм;  $x_3 = 16$  мм. Ответ: 18 мм
7. На узкую щель шириной  $a$  падает нормально плоская монохроматическая волна с длиной  $\lambda$ . На экране, расположенном на расстоянии  $l$  от щели, наблюдается дифракционная картина. Определите ширину центрального максимума (ширину дифракционного изображения щели).  $l = 4$  м;  $\lambda = 0,5$  мкм;  $a = 0,4$  мм. ( $l = 6$  м;  $\lambda = 0,6$  мкм;  $a = 0,2$  мм) Ответ: 0,01 м (3,6 см)
8. Пучок света, идущий в воздухе, падает на поверхность жидкости под углом  $\alpha=42^\circ$  Определить угол преломления пучка, если отраженный пучок полностью поляризован. Ответ:  $48^\circ$
9. Стекланный шар с показателем преломления  $n_c$  находится в жидкости с показателем преломления  $n_{ж}$ . В точку А шара падает луч естественного света и отражается полностью поляризованный. Найти угол  $\varphi$  между падающим и отраженным и лучами.  $n_c = 1,6$ ;  $n_{ж} = 1,3$    
Ответ:  $102^\circ$
10. Естественный свет с интенсивностью  $I_0$  проходит последовательно поляризатор и анализатор. Угол между плоскостями поляризатора и анализатора равен  $\alpha=50^\circ$ . Во сколько раз уменьшилась интенсивность света? Ответ: 4,8

## ЗАНЯТИЕ 4

1. Определить длину волны фотона, импульс которого равен импульсу электрона, движущегося со скоростью  $v = 100 \text{ м/с}$ . Ответ дать в мкм. Ответ: 7,285 мкм

2. Фотоэлектроны, вырываемые с поверхности металла, полностью задерживаются при приложении обратного напряжения  $U = 1 \text{ В}$ . Фотоэффект для этого металла начинается при частоте падающего монохроматического света  $\nu_0 = 10^{14} \text{ Гц}$ . Определите частоту применяемого излучения. Ответ:  $3,41 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$

3. Фотон с длиной волны  $\lambda = 100 \text{ нм}$  вырывает из металла нерелятивистский электрон. Чему равна работа выхода для этого металла, если электрон вылетает с импульсом  $P = 10^{-24} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ ? Ответ: 9 эВ

4. Фотон с энергией  $E = 1 \text{ МэВ}$  рассеялся на первоначально покоящемся свободном электроне. Определите угол рассеяния фотона, если длина волны рассеянного фотона оказалась равной комптоновской длине волны. Ответ:  $59,21^\circ$

5. Фотон с энергией  $E = 0,1 \text{ МэВ}$  рассеялся на первоначально покоящемся свободном электроне. Определите кинетическую энергию электрона отдачи, если длина волны рассеянного фотона изменилась на  $x = 10\%$ . Ответ дать в кэВ.

Ответ: 9,09 кэВ

6. Фотон с частотой  $\nu = 10^{19} \text{ Гц}$  рассеялся на первоначально покоящемся электроне, и при этом частота изменилась на  $x = 10\%$ . Определите угол рассеяния фотона. Ответ:  $112^\circ$

7. Черное тело находится при температуре  $T_1$ . При остывании тела длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на  $\Delta\lambda$ . Определить температуру  $T_2$  до которой тело охладилось. (Ответ дать в  $^\circ\text{C}$ ).  $T_1 = 9000 \text{ К}$ ;  $\Delta\lambda = 1,5 \text{ мкм}$ ;  $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ ;  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{К}^4)$

Ответ:  $1318^\circ$

8. На сколько увеличится энергетическая светимость абсолютно черного тела, если его температуру увеличить на  $x\%$ . (Ответ дать в  $\%$ ).  $x = 3\%$ ;  $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ ;  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{К}^4)$

Ответ: 12,6%

9. Определить диаметр нити накала электрической лампы, если мощность электрического тока, питающего лампу равна  $P$ , длина нити –  $l$ , температура –  $T$ . Считать, что излучение нити соответствует излучению абсолютно черного тела. (Ответ дать в мм).  $P = 950 \text{ Вт}$ ;  $l = 12 \text{ см}$ ;  $T = 3000 \text{ К}$ ;  $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ ;  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{К}^4)$

Ответ: 0,55 мм

10. Какой поток энергии получает комната через открытую дверцу печи в которой поддерживается температура  $T$ ? Размер дверцы  $a \times d$ . Считать, что отверстие печи излучает как черное тело.  $a = 12 \text{ см}$ ;  $d = 17 \text{ см}$ ;  $T = 900 \text{ К}$ ;  $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ ;  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{К}^4)$

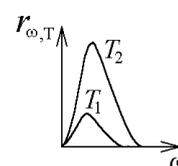
Ответ: 759 Вт

11. Мощность излучения шара радиусом  $R$  при некоторой постоянной температуре равен  $P$ . Найти эту температуру  $T$ , считая шар серым телом с коэффициентом черноты  $\alpha_T$ . (Ответ дать в К).  $R = 15 \text{ см}$ ;  $P = 0,8 \text{ кВт}$ ;  $\alpha_T = 0,2$ ;  $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ ;  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{К}^4)$ .

Ответ: 707 К

12. Площадь, ограниченная графиком спектральной плотности энергетической светимости  $r_{\omega,T}$  черного тела, при переходе от термодинамической температуры  $T_1$  к температуре  $T_2$  увеличилась в  $n$  раз. Во сколько раз возросла температура?  $n = 81$

Ответ: 3



**13.** Определить длину цилиндра радиуса  $R$ , если с его поверхности за время  $t$  излучается энергия  $W$ . Длина волны на которую приходится максимум излучения равна  $\lambda$ . Считать цилиндр серым телом с коэффициентом черноты  $\alpha_T$ .  $R = 10$  см;  $t = 2$  с;  $W = 100$  Дж,  $\lambda = 10$  мкм;  $\alpha_T = 0,5$ ;  $b = 2,9 \cdot 10^{-3}$  м·К;  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>)

Ответ: 0,29 м

**14.** Энергетическая светимость черного тела  $R$ . Определить длину волны, соответствующую максимуму спектральной плотности энергетической светимости этого тела. (Ответ дать в нм).  $R = 120$  МВт/м<sup>2</sup>;  $b = 2,9 \cdot 10^{-3}$  м·К;  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>)

Ответ: 427,6 нм

## ЗАНЯТИЕ 5

1. Микрочастица с массой  $m$  и зарядом  $q$  ускорена разностью потенциалов  $\Delta\varphi$  из состояния покоя. Найти длину волны де Бройля этой микрочастицы (в пм). Принять  $\hbar = 10^{-34}$  Дж·с;  $m=6,4 \cdot 10^{-27}$  кг;  $q=3,2 \cdot 10^{-19}$  Кл;  $\Delta\varphi=2$  В. Ответ: 6,94 пм

2. Электрон находится на третьей боровской орбите атома, радиус которой  $r = 0,24$  нм. Найти длину волны де Бройля этого электрона (в нм). Чему равна скорость этого электрона (в км/с)? Чему равен импульс этого электрона? Чему станет равен импульс этого электрона при переходе на четвертую орбиту?  $\hbar = 10^{-34}$  Дж·с;  $m=9,1 \cdot 10^{-31}$  кг. Ответ: 0,503 нм; 1374 км/с;  $1,25 \cdot 10^{-24}$  кг·м/с;  $9,375 \cdot 10^{-25}$  кг·м/с

3. Электрон находится на третьей боровской орбите атома, радиус которой  $r = 0,24$  нм. Во сколько раз уменьшится кинетическая энергия этого электрона при переходе на четвертую орбиту? На сколько электрон-вольт уменьшится кинетическая энергия этого электрона при переходе на четвертую орбиту? На сколько увеличится момент импульса этого электрона при переходе на четвертую орбиту? Принять  $\hbar = 10^{-34}$  Дж·с;  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг. Ответ: 1,78 раз; 2,35 эВ;  $10^{-34}$  Дж·с

4. Волновая функция микрочастицы имеет вид  $\psi = \frac{A}{r} e^{-r/\alpha}$ , где  $r$  – расстояние от частицы до начала координат;  $\alpha = 10^{-10}$  м;  $A = \sqrt{\frac{1}{2\pi\alpha}}$ . Определить объемную плот-

ность вероятности нахождения этой частицы на расстоянии  $r = 2 \cdot 10^{-10}$  м от начала координат. Ответ:  $7,29 \cdot 10^{26}$  м<sup>-3</sup>

5. Волновая функция некоторой частицы имеет вид  $\psi = Ae^{-r/\alpha}$ , где  $r$  – расстояние от этой частицы до начала координат;  $\alpha = 2 \cdot 10^{-10}$  м. На каком удалении  $r$  от начала координат (в нм) вероятность нахождения микрочастицы максимальна? Ответ: 0,2 нм

6. Волновая функция некоторой частицы имеет вид  $\psi = A \sin \frac{\pi x}{a}$ , где ширина ямы  $a = 2 \cdot 10^{-9}$  м. Используя условие нормировки, определите коэффициент  $A$ . Ответ:  $3,16 \cdot 10^4$  м<sup>-1/2</sup>

7. Микрочастица в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечными стенками имеет волновую функцию  $\psi = Ax(a-x)$ , где  $A^2 = 3 \cdot 10^{46}$  м<sup>-5</sup>. Найти ширину ямы  $a$ . Ответ: 1 нм

8. Волновая функция микрочастицы имеет вид  $\psi = A \frac{e^{-\alpha r}}{r}$ , где  $\alpha = 10^{10}$  м<sup>-1</sup>;  $A = \sqrt{\frac{\alpha}{2\pi}}$ . Определить плотность вероятности нахождения этой частицы на расстоянии  $r = 2 \cdot 10^{-10}$  м от начала координат. Ответ:  $7,29 \cdot 10^{26}$  м<sup>-3</sup>

9. Найти максимальную плотность вероятности нахождения микрочастицы в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечными стенками, если волновая функция имеет вид  $\psi = Ax^2(a-x)^2$ . Ширина ямы  $a=10^{-9}$  м;  $A^2 = 6,3 \cdot 10^{83}$  м<sup>-9</sup>. Ответ:  $2,46 \cdot 10^9$  м<sup>-1</sup>

10. Частица находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной

$a = 2 \cdot 10^{-9}$  м с бесконечными стенками. Волновая функция микрочастицы имеет вид  $\psi = A \sin \frac{2\pi x}{a}$ . Найти максимальное расстояние между точками (в нм), в которых

вероятность обнаружения частицы максимальна.

Ответ: 1 нм

**11.** Микрочастица имеет сферически симметричную волновую функцию  $\psi = Ae^{-r/\alpha}$ , где  $A = \frac{1}{\sqrt{\pi\alpha^3}}$ ,  $\alpha = 10^{-10}$  м. Определить расстояние  $r$  от начала координат (в нм) до

точки, где объемная плотность вероятности нахождения микрочастицы равна  $8 \cdot 10^{27}$  м<sup>-3</sup>.

Ответ: 0,184 нм

**12.** Волновая функция микрочастицы с массой  $m$  имеет вид:  $\psi = Ae^{-\alpha x} \sin(\beta y) \cos(\gamma z)$ . Найти полную энергию частицы (в эВ), считая потенциальную энергию равной нулю. Принять  $\hbar = 10^{-34}$  Дж·с;  $m = 2,5 \cdot 10^{-29}$  кг;  $\alpha = 4 \cdot 10^{10}$  м<sup>-1</sup>;  $\beta = 6 \cdot 10^{10}$  м<sup>-1</sup>;  $\gamma = 3 \cdot 10^{10}$  м<sup>-1</sup>.

Ответ: 3,625 эВ

**13.** Волновая функция микрочастицы с массой  $m$  имеет вид:  $\psi = Ae^{-\alpha x - \beta y - \gamma z}$ . Найти полную энергию частицы (в эВ), считая потенциальную энергию равной  $U = 8$  эВ. Принять  $\hbar = 10^{-34}$  Дж·с;  $m = 2,5 \cdot 10^{-29}$  кг;  $\alpha = 4 \cdot 10^{10}$  м<sup>-1</sup>;  $\beta = 5 \cdot 10^{10}$  м<sup>-1</sup>;  $\gamma = 2 \cdot 10^{10}$  м<sup>-1</sup>.

Ответ: 2,375 эВ

**14.** Волновая функция микрочастицы с массой  $m$  имеет вид:  $\psi = Ae^{-\alpha x} \sin(\beta y) \cos(\gamma z)$ . Кинетическая энергия частицы равна  $E$ . Найти массу частицы. Принять  $\hbar = 10^{-34}$  Дж·с;  $E = 5$  эВ;  $\alpha = 4 \cdot 10^{10}$  м<sup>-1</sup>;  $\beta = 7 \cdot 10^{10}$  м<sup>-1</sup>;  $\gamma = 2 \cdot 10^{10}$  м<sup>-1</sup>.

Ответ:  $2,31 \cdot 10^{-29}$  кг

**15.** Волновая функция микрочастицы с массой  $m$  имеет вид:  $\psi = A \exp(-i\alpha x + i\beta y) \cos(\gamma z)$ , где  $i$  – мнимая единица. Кинетическая энергия частицы равна  $E$ . Найти массу частицы. Принять  $\hbar = 10^{-34}$  Дж·с;  $E = 5$  эВ;  $\alpha = 8 \cdot 10^{10}$  м<sup>-1</sup>;  $\beta = 6 \cdot 10^{10}$  м<sup>-1</sup>;  $\gamma = 2 \cdot 10^{10}$  м<sup>-1</sup>.

Ответ:  $6 \cdot 10^{-29}$  кг

**16.** Волновая функция микрочастицы с массой  $m$  имеет вид:  $\psi = A(\cos \alpha x + \sin \alpha x)$ . а) Найти кинетическую энергию частицы. Принять  $\hbar = 10^{-34}$  Дж·с;  $m = 2,5 \cdot 10^{-29}$  кг;  $\alpha = 4 \cdot 10^{10}$  м<sup>-1</sup>. б) Найти массу частицы. Принять  $E = 5$  эВ;  $\alpha = 4 \cdot 10^{10}$  м<sup>-1</sup>. в) Кинетическая энергия частицы равна  $E$ . Найти константу  $\alpha$ . Принять  $E = 3$  эВ;  $m = 2,5 \cdot 10^{-29}$  кг.

Ответ: а) 2 эВ; б)  $10^{-29}$  кг; в)  $6,32 \cdot 10^{10}$  м<sup>-1</sup>

### ЗАНЯТИЕ 6,7,8

**1.(А)** Микрочастица с массой  $m$  находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками шириной  $a$ . Разрешенные значения энергии микрочастицы определяются формулой  $E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ma^2}$ , где  $n=1,2,3\dots$ . Энергия

микрочастицы на третьем возбужденном уровне равна  $E=48$  эВ. Найти энергию излученного фотона (в эВ) при переходе микрочастицы в основное состояние. **(Б)**

Микрочастица с массой  $m$  находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками шириной  $a$ . Разрешенные значения энергии

микрочастицы определяются формулой  $E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ma^2}$ , где  $n=1,2,3\dots$ . Энергия микро-

частицы на третьем возбужденном уровне равна  $E=48$  эВ. При переходе в основное состояние микрочастица излучает фотон. Найти длину волны этого фотона (в нм).

Постоянная Планка  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с. **(В)** Микрочастица с массой  $m$  находится в

одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками шириной  $a$ . Разрешенные значения энергии микрочастицы определяются формулой

$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ma^2}$ , где  $n=1,2,3\dots$ . Энергия микрочастицы на третьем уровне равна  $E=45$

эВ. При переходе в основное состояние микрочастица излучает фотон. Найти длину волны этого фотона (в нм).  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.

Ответ: **(А)** 45 эВ; **(Б)** 27,6 нм; **(В)** 31,1 нм

**2.(А)** Микрочастица с массой  $m$  находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками шириной  $a$ . Разрешенные значения

энергии микрочастицы определяются формулой  $E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ma^2}$ , где  $n=1,2,3\dots$ . Нахо-

дясь в основном состоянии, микрочастица поглотила фотон с энергией  $E=30$  эВ и перешла в третье возбужденное состояние. Найти наименьший импульс фотона, ко-

торый может быть излучен этой частицей. **(Б)** Микрочастица с массой  $m$  находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками

шириной  $a$ . Разрешенные значения энергии микрочастицы определяются формулой

$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ma^2}$ , где  $n = 1,2,3\dots$ . Находясь в основном состоянии, микрочастица погло-

тила фотон с энергией  $E = 32$  эВ и перешла на третий энергетический уровень.

Найти наименьший импульс фотона, который может быть излучен этой частицей.

Ответ: **(А)**  $7,47 \cdot 10^{-27}$  кг·м/с; **(в+Б)**  $10,7 \cdot 10^{-27}$  кг·м/с

**3.(а)** Разрешенные значения энергии одномерного квантового гармонического осциллятора определяются формулой  $E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega_0$ , где  $n=0, 1, 2, 3\dots$ . Находясь в

основном состоянии, осциллятор поглотил фотон с энергией  $E=9$  эВ и оказался во втором возбужденном состоянии. Найти наибольшую длину волны фотона (в нм),

который может быть излучен этим осциллятором. **(б)** Разрешенные значения энергии одномерного квантового гармонического осциллятора определяются формулой

$E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega_0$ , где  $n=0, 1, 2, 3...$  Находясь в основном состоянии, осциллятор поглотил фотон с энергией  $E=12$  эВ и оказался в третьем возбужденном состоянии. Найти наибольшую длину волны фотона (в нм), который может быть излучен этим осциллятором. Постоянная Планка  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.

Ответ: **а)** 276 нм; **б)** 311 нм

**4.(А)** В некотором водородоподобном атоме электрон может иметь разрешенные значения энергии, определяемые формулой  $E_n = -\frac{|E_1|}{n^2}$ , где  $n=1, 2, 3...$  Найти наибольшую частоту фотона из серии Пашена спектра излучения этого атома. **(Б)** В некотором водородоподобном атоме электрон может иметь разрешенные значения энергии, определяемые формулой  $E_n = -\frac{|E_1|}{n^2}$ , где  $n=1, 2, 3...$  Найти наименьшую частоту фотона из серии Бальмера спектра излучения этого атома. Постоянная Планка  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.  $E_1 = 54,4$  эВ.

Ответ: **(А)**  $1,46 \cdot 10^{15}$  Гц; **(Б)**  $1,82 \cdot 10^{15}$  Гц

**5.** В некотором водородоподобном атоме электрон может иметь разрешенные значения энергии, определяемые формулой  $E_n = -\frac{|E_1|}{n^2}$ , где  $n = 1, 2, 3...$  Во сколько раз минимальная частота фотона из серии Лаймана больше максимальной частоты фотона из серии Бальмера в спектре излучения этого атома? Ответ: в 3 раза

**6.** В некотором атоме конфигурация электронных оболочек имеет вид:  $1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^6 d^{10} 4s^2 p^6 d^{10} f^5 5s^2 p^6$ . Определить максимальную возможную величину суммарной проекции орбитальных моментов импульса всех его электронов на выделенное направление. Принять  $\hbar = 10^{-34}$  Дж·с. Ответ:  $11 \cdot 10^{-34}$  Дж·с

**7.** Максимальная величина проекции орбитального момента импульса некоторого электрона в атоме была равна  $3\hbar$ . Чему равняется модуль орбитального момента импульса этого электрона. Принять  $\hbar = 10^{-34}$  Дж·с.  $\mu_B = 9,27 \cdot 10^{-24}$  А·м<sup>2</sup>.

Ответ:  $3,46 \cdot 10^{-34}$  Дж·с

**8.** В некоторой подоболочке (А) некоторой полностью заполненной оболочки атома находится в  $k$  раз больше электронов, чем в соседней подоболочке (В) из этой же оболочки. Найти максимальную возможную проекцию орбитального момента импульса электрона из подоболочки А (В). Принять  $\hbar = 10^{-34}$  Дж·с;  $k = 1,286$ .

Ответ:  $4 \cdot 10^{-34}$  Дж·с ( $3 \cdot 10^{-34}$  Дж·с)

**9.** В некоторой подоболочке (А) некоторой полностью заполненной оболочки атома находится в  $k$  раз больше электронов, чем в соседней подоболочке (В) из этой же оболочки. Найти минимальное возможное количество электронов во всей оболочке.  $k = 1,286$ . Ответ: 50

**10.** В d-подоболочке некоторой полностью заполненной оболочки атома находится  $k\%$  электронов из всей оболочки. Найти максимальную возможную величину орбитального: **(А)** момента импульса электрона в этой оболочке; **(Б)** магнитного момента электрона в этой оболочке. Принять  $\hbar = 10^{-34}$  Дж·с;  $\mu_B = 9,27 \cdot 10^{-24}$  А·м<sup>2</sup>;  $k = 13,89\%$ . Ответ: **(А)**  $5,48 \cdot 10^{-34}$  Дж·с; **(Б)**  $5,08 \cdot 10^{-23}$  А·м<sup>2</sup>



11. Ширина запрещенной зоны у алмаза  $\Delta E_A = 7$  эВ. Первоначальная температура алмаза  $0^\circ\text{C}$ . До какой температуры (в  $^\circ\text{C}$ ) его нагрели, если его электропроводность возросла в 400 раз? Постоянная Больцмана  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К.

Ответ:  $11,5^\circ\text{C}$

12. Найти ширину запрещенной зоны у собственного полупроводника, если натуральный логарифм его удельной проводимости ( $\ln \sigma$ ) при нагревании от  $0^\circ\text{C}$  до  $+10^\circ\text{C}$  увеличился на  $n=6$ ? Постоянная Больцмана  $k=1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К.

Ответ:  $8,00$  эВ

13. На каком расстоянии (в эВ) от нижнего уровня зоны проводимости лежит уровень Ферми в собственном полупроводнике, если электропроводность этого полупроводника при нагревании от  $0^\circ\text{C}$  до  $+10^\circ\text{C}$  возрастает в  $n=5$  раз? Постоянная Больцмана  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К.

Ответ:  $1,07$  эВ

14. Ширина запрещенной зоны полупроводника р-типа равна  $\Delta E_3 = 1$  эВ. Акцепторные уровни лежат на расстоянии  $\Delta E_a = 0,01$  эВ выше валентной зоны. Концентрация основных носителей заряда в таком полупроводнике при низкой температуре  $T_1$  равна  $n_1$ . Найти концентрацию атомов примеси. Считать, что валентность атома примеси на единицу меньше валентности полупроводника. Постоянная Больцмана  $k=1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;  $T_1=30$  К;  $n_1=10^{10}$  м $^{-3}$ .

Ответ:  $4,77 \cdot 10^{11}$  м $^{-3}$

15. Распределение Ферми-Дирака для электронного газа в металлах при температуре  $T=0$  К задается формулой:  $dn = A\sqrt{E}dE$ . Найти  $\langle E^3 \rangle$  среднее значение куба энергии электрона из зоны проводимости проводника при  $T = 0$  К. Энергия Ферми металла равна  $E_\phi = 4$  эВ.

Ответ:  $8,74 \cdot 10^{-56}$  Дж $^3$

16. Распределение Ферми-Дирака для электронного газа в металлах при температуре  $T=0$  К задается формулой:  $dn = A\sqrt{E}dE$ . Найти  $\sqrt{\langle E^{12} \rangle} / \langle E^3 \rangle^2$  для свободных электронов из зоны проводимости проводника при  $T=0$  К.

Ответ:  $3$

17. Радиоактивный образец, содержащий  $N$  ядер радиоактивного изотопа, поместили в герметичный сосуд. Период полураспада этого изотопа равен  $T$ . Сколько ядер образца распадется к моменту времени  $t_1$ ?  $N = 7 \cdot 10^{20}$ ;  $t_1 = 1$  мин;  $T = 2$  мин.

Ответ:  $2,05 \cdot 10^{20}$

18. Радиоактивный образец, содержащий  $N$  ядер радиоактивного изотопа, поместили в герметичный сосуд. Постоянная распада этого изотопа равна  $\lambda$ . Сколько ядер образца распадется за промежуток времени от  $t_1$  до  $t_2$ ?  $N=7 \cdot 10^{20}$ ;  $t_1=1$  мин;  $t_2=3$  мин;  $\lambda=0,03$  с $^{-1}$ .

Ответ:  $1,13 \cdot 10^{20}$

19. Концентрация ядер одного изотопа с периодом полураспада  $T_1$  в 2 раза превышала концентрацию ядер другого изотопа с периодом полураспада  $T_2$ . Через какой промежуток времени (в мин) концентрация ядер первого изотопа станет в 2 раза меньше концентрации ядер второго изотопа?  $T_1 = 3$  мин;  $T_2 = 6$  мин.

Ответ:  $12$  мин

20. Энергетический выход реакции деления ядра некоторого нестабильного изотопа  $E_B$ . Сколько тепла (в Дж) выделилось за время  $t$ , если первоначальное число ядер

этого изотопа  $N_0$ , а постоянная распада равна  $\lambda$ .  $E_B = 100$  МэВ;  $N_0 = 4 \cdot 10^{10}$ ;  $\lambda = 0,08$  с<sup>-1</sup>;  $t = 2$  мин. Ответ: 0,640 Дж

**21.** Энергетический выход реакции деления ядра некоторого нестабильного изотопа  $E_B$ . Сколько тепла (в Дж) выделилось за время  $t$ , если первоначальное число ядер этого изотопа  $N_0$ , а среднее время жизни ядра равно  $\tau$ .  $E_B = 100$  МэВ;  $N_0 = 4 \cdot 10^{10}$ ;  $\tau = 5$  мин;  $t = 2$  мин. Ответ: 0,211 Дж

**22.** При распаде ядер радиоактивного изотопа выделилось  $Q$  тепла за время  $t$ . Первоначальное число ядер этого изотопа  $N_0$ , а постоянная распада равна  $\lambda$ . Найти энергетический выход (в МэВ) реакции деления одного ядра.  $Q = 0,2$  Дж;  $N_0 = 4 \cdot 10^{10}$ ;  $\lambda = 0,05$  с<sup>-1</sup>;  $t = 2$  мин. Ответ: 31,3 МэВ

**23.** Радиоактивный образец, содержащий изотоп с периодом полураспада  $T$ , поместили в герметичный сосуд. Через какое время  $t_1$  в образце останется 40% радиоактивных ядер этого изотопа?  $T = 2$  мин. Ответ: 159 с

**24.** Радиоактивный образец, содержащий изотоп с периодом полураспада  $T$ , поместили в герметичный сосуд. Через какое время  $t_1$  распадется 40% радиоактивных ядер этого изотопа?  $T = 2$  мин. Ответ: 88,4 с