

<p><b>ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ</b> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования <b>"Мурманский государственный технический университет"</b></p> <p>Кафедра общей и прикладной физики</p> <p><b>Расчётно-графические работы по общей физике</b> Учебно-методические материалы (для студентов технических направлений и специальностей)</p> <p>Мурманск 2017</p>	<p>Составители – Виктор Степанович Гнатюк, докт. филос. наук, профессор кафедры общей и прикладной физики Мурманского государственного технического университета; Николай Николаевич Морозов, доктор техн. наук, профессор кафедры общей и прикладной физики Мурманского государственного технического университета</p> <p>Учебно-методические материалы рассмотрены и одобрены кафедрой общей и прикладной физики от 16 мая 2017 г., протокол № 7.</p> <p>Рецензент – к.ф.-м.н., доцент кафедры общей и прикладной физики З.Ф.Мурашова</p> <p><i>Электронное издание подготовлено в авторской редакции</i></p> <p>Мурманский государственный технический университет 183010, Мурманск, ул. Спортивная д. 13 тел. (8152) 25-40-72 Уч.-изд. п.л. 3,5. Заказ № 2405</p> <p><b>© Мурманский государственный технический университет, 2017</b></p>
--	--

## Содержание

	Стр.
1. Предисловие	3
2. Методические указания к выполнению расчётно – графических работ	4
3. РГР №1 «Физические основы механики»	7
4. РГР №2 «Основы молекулярной физики и термодинамики»	11
5. РГР №3 «Электростатика. Постоянный электрический ток»	16
6. РГР №4 «Электромагнетизм»	21
7. РГР №5 «Колебания и волны. Оптика»	26
8. РГР №6 «Основы квантовой физики. Физика атомного ядра и элементарных частиц»	31

## Предисловие

Выполнение расчётно - графических работ предусмотрено учебными планами для студентов естественно-технических направлений и специальностей, обучающихся в МГТУ.

Настоящие учебно- методические материалы включают шесть РГР, которые в соответствии с рабочими программами по дисциплине физика выполняются в следующем порядке:

I курс, I семестр - РГР №1 «Физические основы механики», РГР №2 «Основы молекулярной физики и термодинамики»;

I курс, II семестр - РГР №3 «Электростатика. Постоянный электрический ток»; РГР №4 «Электромагнетизм»;

II курс, III семестр - РГР №5 «Колебания и волны. Оптика», РГР №6 «Основы квантовой физики. Физика атомного ядра и элементарных частиц».

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ (РГР)

**I.** При выполнении РГР студенту необходимо руководствоваться следующим:

1. РГР выполняются в 12-ти листовой тетради, на обложке которой приводятся сведения по образцу:

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
<b>ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет"</b>
Кафедра общей и прикладной физики
<b>Расчетно-графическая работа по физике № _____</b>
Выполнил студент группы _____ Ф.И.О.
Проверил преподаватель _____ Ф.И.О.
Мурманск – 20__ г.

2. Номер варианта задания соответствует порядковому номеру фамилии студента в журнале учебной группы.

3. РГР выполняются чернилами (шариковой ручкой). Для замечаний преподавателя оставляются поля. Условия заданий записываются полностью. Каждое задание должна начинаться с новой страницы.

4. Решения должны сопровождаться исчерпывающими, но краткими объяснениями, раскрывающими физический смысл употребляемых формул и законов.

5. Задания решать в общем виде, т.е. выражать искомую величину через буквенные обозначения величин, заданных в условии задания. Сопоставить размерности левой и правой частей полученной формулы.

6. Подставить в рабочую формулу все величины, выраженные в СИ. Произвести вычисления и получить численное значение искомой величины. Полученное значение записать в ответ.

Приближенные числа в ответе записывать в нормальной форме: первая значащая цифра ставится в разряд единиц, а остальные - в десятичные

разряды после запятой и полученное число умножается на  $10^n$ , где  $n$  — целое положительное или отрицательное число. Например, число 0,0516 в нормальной форме имеет вид  $5,16 \cdot 10^{-2}$ ; число 2170 -  $2,17 \cdot 10^3$ .

Ответ округлять до второй цифры после запятой.

7. В конце работы указать учебники и учебные пособия, которые использовались при решении задач, в т.ч. интернет – ресурс.

8. Работы, оформленные без соблюдения указанных правил не проверяются.

9. При защите РГР необходимо дать устное объяснение решенных заданий и используемых при решении законов.

10. Готовые РГР предоставляются на проверку преподавателю не менее чем за 7 дней до начала зачётно - экзаменационной сессии.

**II. Критерии и шкала оценивания РГР в соответствии с бально-рейтинговой системой:**

Каждая расчётно-графическая работа содержит по 5 заданий, включающих по 5 пунктов. Выполнение каждого пункта оценивается от 0 до 2-х баллов согласно критериям, представленным в таблице 1.

Таблица 1

Баллы	Критерии оценки РГР
2	<p>I) Записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задания выбранным способом;</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) представлена проверка размерности полученного конечного выражения (если требуется);</p> <p>IV) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу;</p> <p>V) построены правильные графики зависимостей (если требуется);</p> <p>VI) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>

1	<p><u>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев:</u></p> <p>1) Представлены положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данного задания</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>2) В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения задания (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задания.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>3) В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задания (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задания.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>4) Отсутствуют графики зависимостей (если требовалось).</p>
0	<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1 и 2 балла.</p>

Количество баллов, полученные за задания, суммируются. Полученное суммарное значение баллов является оценкой студента за РГР по БРС.

Таблица 2

*Перевод баллов в БРС за выполнение РГР в традиционную шкалу оценивания*

Оценка	отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
Баллы в БРС	50 - 45	44 - 40	39 - 30	29 - 0

# Содержание расчётно-графических работ

## РГР №1 «Физические основы механики»

### Кинематика материальной точки

1. Движение материальной точки задано уравнениями:  $x = At^2 + B$ , м;  $y = Ct^2 - D$ , м;  $Z = 0$ . Определить:
- 1). модули скорости и ускорения точки в момент времени  $t' = E$ , с;
  - 2). путь, пройденный точкой за промежуток времени  $t_1 = F$ , с до  $t_2 = K$ , с;
  - 3). среднюю скорость точки в промежуток времени  $t_1 = F$ , с до  $t_2 = K$ , с;
  - 4). траекторию движения точки.
  - 5). построить графики зависимости скорости, ускорения и пути, пройденного точкой, от времени;

#### Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>A, м</i>	1,0	1,5	2,0	1,0	2,0	2,5	1,0	1,5	3,0	3,5	1,0	4,0	2,0
<i>B, м</i>	1,0	1,5	1,0	2,0	1,5	1,0	2,5	1,0	1,5	1,0	3,0	2,0	3,0
<i>C, м</i>	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,0	5,5	5,0	4,5
<i>D, м</i>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	2,0	1,5	2,0	1,5	2,5	3,0
<i>E, с</i>	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
<i>F, с</i>	0	1,0	1,0	1,0	1,0	0	0	1,0	2,0	2,0	1,0	1,5	0
<i>K, с</i>	3,0	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	6,0	7,0	6,5	7,0	6,5	7,0
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
<i>A, м</i>	2,5	2,0	1,0	1,5	3,0	3,5	4,0	4,5	3,5	5,0	1,0	2,0	5,0
<i>B, м</i>	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,5	3,0	6,0	6,0	1,0
<i>C, м</i>	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	2,0	6,0	6,0	6,0
<i>D, м</i>	1,5	2,0	1,0	0	0	1,0	1,5	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	4,0
<i>E, с</i>	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5
<i>F, с</i>	1,0	2,0	0	0	1,0	2,0	2,0	2,5	3,0	2,0	1,0	3,0	4,0
<i>K, с</i>	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5

2. Радиус-вектор материальной точки относительно начала координат изменяется со временем по закону:  $\vec{r} = b t \vec{i} + c t^2 \vec{j}$ .
- 1). получить уравнение траектории точки;
  - 2). построить график траектории точки в промежуток времени от  $t_0 = 0$  до

$$t = 5 \text{ с};$$

- 3). определить модуль скорости точки в начале координат  $(x_0, y_0)$ ;
- 4). определить модули тангенциального, нормального и полного ускорений точки в начале координат  $(x_0 = 0, y_0 = 0)$ ;
- 5). определить радиус кривизны траектории точки в начале координат  $(x_0, y_0)$ .

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$b, \text{ м/с}$	1,0	2,0	1,5	1,0	1,5	2,0	2,5	1,0	2,5	1,5	2,5	2,0	2,5
$c, \text{ м/с}^2$	2,0	1,0	1,0	1,5	1,5	2,0	1,0	2,5	1,5	2,5	2,0	2,5	3,0
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$b, \text{ м/с}$	3,0	3,0	1,0	3,0	2,0	2,5	3,5	1,0	3,5	2,0	4,0	3,0	4,0
$c, \text{ м/с}^2$	2,5	1,0	3,0	2,0	3,0	3,0	1,0	3,5	2,0	3,5	3,0	4,0	5,0

3. Твёрдое тело вращается вокруг неподвижной оси  $Z$  по закону:  $\varphi = at - bt^2$ :

- 1). каков характер движения этого тела?
- 2). определить модули угловой скорости  $\omega$  и углового ускорения  $\varepsilon$  тела, полное число оборотов  $N$ , совершённых телом за время  $t_1 = 5 \text{ с}$ ;
- 3). определить момент времени  $t_2$ , когда направление вращения тела изменяется на противоположное;
- 4). построить график зависимости угловой скорости и углового ускорения тела от времени;
- 5). указать относительное направление векторов угловой скорости  $\vec{\omega}$  и углового ускорения  $\vec{\varepsilon}$ .

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$a, \text{ рад/с}$	5,0	5,0	5,0	3,0	4,0	6,0	6,0	7,0	7,0	7,0	8,0	8,0	8,0
$b, \text{ рад/с}^2$	1,0	2,0	3,0	1,0	1,0	2,0	3,0	2,0	3,0	4,0	1,0	2,0	3,0
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$a, \text{ рад/с}$	8,0	8,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	20,0
$b, \text{ рад/с}^2$	4,0	5,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	1,0



### Динамика материальной точки

4. Имеется длинный тонкий однородный стержень массой  $M$  и длиной  $l$ . Материальная частица массой  $m$  ( $m \ll M$ ) в начальный момент времени находится на оси стержня на расстоянии  $x_0 = l$  от одного из его концов (точка А на рис. 1) и имеет начальную скорость, равную нулю ( $v_0 = 0$ ). Определить:

- 1). напряжённость  $\vec{G}$  гравитационного поля и силу (модуль  $F$  и вектор  $\vec{F}$ ), действующую на материальную частицу в точке А;
- 2). потенциалы  $\varphi$  гравитационного поля в точках А ( $x_0 = l$ ) и В ( $x_1 = b$ ) и значения её потенциальной энергии в этих точках;
- 3). скорость, ускорение и значение кинетической энергии материальной частицы в точке В;
- 4). работу, совершённую силами гравитационного поля при перемещении материальной частицы из точки А ( $x_0 = l$ ) в точку В ( $x_1 = b$ );
- 5). построить графики зависимости напряжённости и потенциала гравитационного поля от расстояния:  $\vec{G} = \vec{G}(\vec{r})$  и  $\varphi = \varphi(\vec{r})$ .

*Примечание:* при решении задания учесть, что напряжённость  $G$  и потенциал  $\varphi$  гравитационного поля, созданного материальной точкой массы  $m$ , удалённой на расстояние  $r$  от этой массы, выражаются формулами:  $G = \frac{\gamma m}{r^2}$ ;  $\varphi = -\frac{\gamma m}{r}$ , где  $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг}\cdot\text{с}^2}$  - гравитационная постоянная.

#### Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$M, \text{ кг}$	50	45	40	35	30	25	20	15	10	15	20	25	30
$m, \text{ г}$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4
$x_0, \text{ м}$	3,0	2,5	2,0	3,5	4,0	0,5	0,4	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$b, \text{ м}$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$M, \text{ кг}$	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100
$m, \text{ г}$	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7
$x_0, \text{ м}$	2,0	1,5	1,0	2,0	3,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,6	1,7	1,8
$b, \text{ м}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	0,4	0,5	0,6

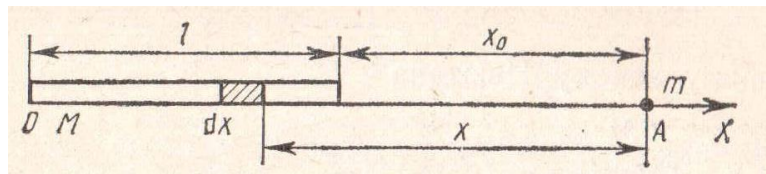


Рис. 1.

5. На обод маховика в форме однородного сплошного диска массой  $m_1$  и радиусом  $R$  намотана лёгкая нить, к концу которой прикреплён груз массой  $m_2$ . Уравнение вращения маховика:  $\varphi = \frac{\varepsilon t^2}{2}$ . До начала вращения маховика высота груза над полом составляла  $h$  (рис. 2). Определить:

- 1). тангенциальное ускорение и линейную скорость, нормальное и полное ускорения точек обода маховика; время опускания груза до пола; кинетическую энергию груза в момент удара о пол;
- 2). угловую скорость и угловое ускорение маховика;
- 3). силу натяжения нити с грузом; работу силы натяжения по опусканию груза на пол;
- 4). момент силы натяжения нити маховика, его момент импульса и момент инерции маховика; кинетическую энергию маховика;
- 5). направления векторов угловой скорости, углового ускорения, момента силы и момента импульса маховика.

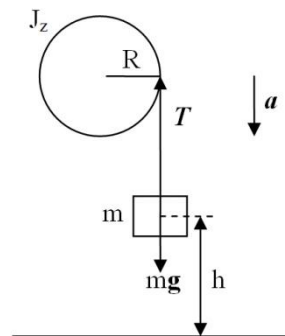


Рис. 2.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$m_1$ , кг	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	1,0	2,0	3,0
$m_2$ , кг	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	10,0	9,0	8,0	7,0	3,0	2,0	1,0
$R$ , м	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	0,2	0,3	0,4
$h$ , м	1,0	1,5	1,0	1,2	1,4	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	2,0	1,0	0,5
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$m_1$ , кг	3,0	2,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	0,5
$m_2$ , кг	3,0	2,0	1,0	2,5	3,5	4,0	5,0	4,0	4,0	3,0	2,0	4,0	0,2

$R, м$	0,25	0,2	0,2	0,25	0,3	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,15
$h, м$	2,0	2,5	1,0	0,5	0,6	0,4	1,0	1,5	1,2	1,5	2,0	2,5	0,5

## РГР №2 «Основы молекулярной физики и термодинамики»

### Основы молекулярной физики

1. В закрытом резервуаре объёмом  $V$  находится газ  $X$ . Начальное состояние газа (состояние 1) характеризуется термодинамическими параметрами: масса газа  $m_1$ , давление газа  $P_1$ , температура газа  $T_1$ . После того, как в резервуар впустили некоторое количество такого же газа, его состояние (состояние 2) стало характеризоваться следующими термодинамическими параметрами: масса газа  $m_2$ , давление газа  $P_2$ , температура газа  $T_2$ . Затем газ изохорно перевели в состояние 3 с термодинамическими параметрами:  $P_3$  и  $T_3 = T_1$ . Считая газ идеальным, а значения термодинамических параметров  $V$ ;  $m_1$ ;  $T_1$ ;  $m_2$  и  $T_2$  известными, найти:

- 1). значения термодинамических параметров газа в состоянии 1:  $P_1$ ; в состоянии 2:  $P_2$  и в состоянии 3:  $P_3$ ; массу  $m_0$  молекулы газа, количество молей  $\nu$  газа, общее число  $N$  и концентрацию  $n$  молекул газа и плотности  $\rho$  газа в состояниях 1 и 2;
- 2). наиболее вероятную  $u_0$ , среднюю  $\langle u \rangle$ , среднюю квадратичную  $\langle u_{кв.} \rangle$  скорости молекул газа в состояниях 1 и 2; среднюю кинетическую энергии поступательного  $\langle \epsilon_{п} \rangle$ , вращательного  $\langle \epsilon_{вр.} \rangle$  движения молекул газа и среднее значение их полной кинетической энергии  $\langle \epsilon \rangle$  в состояниях 1 и 2;
- 3). молярные  $C_v$ ,  $C_p$  и удельные  $c_v$ ,  $c_p$  теплоёмкости газа, показатель адиабаты  $\gamma$  и внутреннюю энергию  $U$  газа в состояниях 1 и 2;
- 4). среднюю длину свободного пробега  $\langle l \rangle$  молекул газа в состояниях 1 и 2, динамическую вязкость  $\eta$  и коэффициент теплопроводности  $\lambda$  газа;
- 5). изобразить термодинамическую диаграмму рассматриваемого изохорного процесса в координатах  $(P, V)$ ,  $(P, T)$  и  $(V, T)$ .

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$V, м^3$	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05	0,04	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
$X$	$H_2$	$He$	$O_2$	$N_2$	$NH_3$	$CO_2$	$Ar$	$H_2$	$He$	$O_2$	$N_2$	$NH_3$	$CO_2$
$m_1, кг$	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,50	0,40	0,30	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
$T_1, K$	330	325	320	315	300	350	340	300	320	350	270	300	330
$m_2, кг$	0,10	0,15	0,30	0,35	0,50	0,50	0,40	0,70	0,30	0,50	0,60	0,50	0,40
$T_2, K$	360	330	340	330	250	370	350	320	300	290	300	350	360
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$V, м^3$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05	0,04	0,03	0,025

$X$	$Ar$	$H_2$	$He$	$O_2$	$N_2$	$NH_3$	$CO_2$	$Ar$	$H_2$	$He$	$O_2$	$N_2$	$NH_3$
$m_1, кг$	0,25	0,30	0,40	0,20	0,60	0,25	0,20	0,30	0,40	0,5	0,4	0,3	0,25
$T_1, K$	300	330	250	350	360	300	320	330	340	250	300	330	350
$m_2, кг$	0,25	0,20	0,60	0,80	0,40	0,75	0,80	0,70	0,60	1,00	0,60	0,70	0,75
$T_2, K$	330	340	350	300	280	320	290	340	300	300	350	360	300

2. Газ  $X$  нагревают от температуры  $T_1$  до температуры  $T_2$ . Полагая, что функция

Максвелла имеет вид  $f(v, T) = 4\pi \left(\frac{m_i}{2\pi kT}\right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{m_i v^2}{2kT}}$ :

1). используя закон, выражающий распределение молекул идеального газа по скоростям  $f(v, T)$ :

1.1). вывести формулы средней арифметической  $\langle v \rangle$ , средней квадратичной  $\langle v_{кв.} \rangle$  наиболее вероятной  $v_в$  скоростей и определить их числовые значения для температур  $T_1$  и  $T_2$ ;

1.2). рассчитать для каждой из указанных температур значения функции Максвелла при скоростях: а)  $v = \frac{1}{2}v_в$  б).  $v = v_в$  в).  $v = 2v_в$ ;

1.3). по полученным данным построить график функции  $f(v, T)$  для каждой из температур;

2). используя закон, выражающий распределение молекул идеального газа по скоростям  $f(v, T)$ :

2.1). получит функцию распределения молекул газа по значениям кинетической энергии поступательного движения  $f(\epsilon)$ ;

2.2). используя функцию распределения молекул газа по энергиям  $f(\epsilon)$ , вывести формулы средней кинетической энергии  $\langle \epsilon \rangle$  молекул и наиболее вероятное значение энергии  $\epsilon_в$  молекул и рассчитать их числовые значения для температур  $T_1$  и  $T_2$ ;

3). найти закон, выражающий распределение молекул идеального газа по относительным скоростям  $f(u, T)$ , где  $u = \frac{v}{v_в}$ ;

4). для указанных температур определить долю молекул, скорость которых лежит в интервале от  $v_1$  до  $v_2$  ;

5). ответить на следующие вопросы:

а). что собой представляет абсцисса максимума графика функции  $f(v, T)$  (рис. 3).

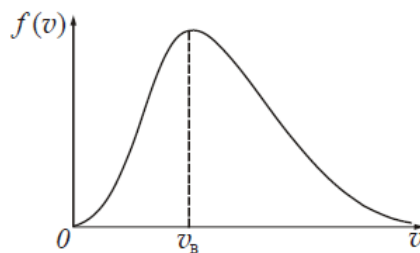


Рис. 3.

б). от чего зависит положение максимума кривой (рис. 3);

в). чему численно равна площадь, ограниченная всей кривой (рис. 3);

з). в какую сторону вдоль оси абсцисс сместится максимум графика функции  $f(v, T)$  (рис. 3), как изменится высота максимума и площадь под кривой с увеличением температуры газа;

д). в какую сторону вдоль оси абсцисс сместится максимум графика функции  $f(v, T)$  (рис. 3) и как изменится площадь под кривой, если взять другой газ с меньшей молярной массой  $\mu$  и таким же числом молекул;

е). как изменится площадь под кривой (рис. 3) с увеличением числа молекул газа?

Газ  $X$  считать идеальным; независимо от характера процесса начальное и конечное состояния газа считать равновесными.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$X$	$H_2$	$He$	$O_2$	$N_2$	$NH_3$	$CO_2$	Воздух	$H_2$	$He$	$O_2$	$N_2$	$NH_3$	$CO_2$
$T_1, K$	250	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380
$T_2, K$	270	290	300	310	320	330	340	360	380	360	370	390	400
$v_1, м/с$	350	400	410	420	430	450	460	480	490	500	510	520	530
$v_2, м/с$	360	410	420	430	440	460	470	490	500	510	520	530	540
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$X$	Воздух	$H_2$	$He$	$O_2$	$N_2$	$NH_3$	$CO_2$	$Ar$	$H_2$	$He$	$O_2$	$N_2$	$NH_3$
$T_1, K$	380	370	360	350	340	330	320	310	300	290	280	270	260
$T_2, K$	400	390	380	370	360	350	340	330	320	310	300	290	280
$v_1, м/с$	550	540	530	510	500	490	480	470	460	450	440	430	420
$v_2, м/с$	560	550	540	520	510	500	490	480	470	460	450	440	410

3.  $\nu$  молей газа  $X$ , занимающего объём  $V_1$  и находящегося под давлением  $P_1$ , подвергается изохорному нагреванию до температуры  $T_2 = 2T_1$ . После этого газ подвергли изотермическому расширению до начального давления, а затем он в результате изобарного сжатия возвращён в первоначальное состояние.

1). построить график цикла и определить:

2). изменение внутренней энергии газа в каждом из рассматриваемых термодинамических процессов и в целом за цикл;

3). работу газа в рассматриваемых термодинамических процессах и в целом за цикл;

4). количество теплоты, сообщённое газу в каждом из рассматриваемых процессов и за цикл в целом;

5). термодинамический КПД цикла.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$X$	$H_2$	$He$	$O_2$	$N_2$	$NH_3$	$CO_2$	<i>Воздух</i>	$H_2$	$He$	$O_2$	$N_2$	$NH_3$	$CO_2$
$\nu$ , моль	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3
$V_1$ , л	5	4	3	2	1	6	7	8	9	10	5	4	3
$P_1 \cdot 10^5$ , Па	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	5,5	1,0	2,0	3,0
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$X$	<i>Воздух</i>	$H_2$	$He$	$O_2$	$N_2$	$NH_3$	$CO_2$	$Ar$	$H_2$	$He$	$O_2$	$N_2$	$NH_3$
$\nu$ , моль	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4
$V_1$ , л	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4
$P_1 \cdot 10^5$ , Па	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	2,0	2,0	4,0	3,0	4,0

4. Идеальная тепловая машина работает по циклу Карно. Рабочим телом является воздух, масса которого  $m$ . При давлении  $P_1$ , воздух занимает объём  $V_1$ . После изотермического расширения воздух занял объём  $V_2$ ; после адиабатического расширения объём стал  $V_3$ . Найти:

- 1). координаты пересечения изотерм и адиабат и построить диаграмму цикла Карно для рассматриваемого термодинамического процесса;
- 2). количество теплоты, полученной от нагревателя и количество теплоты, отданное холодильнику за один цикл;
- 3). работу, совершаемую на каждом участке цикла и полную работу за весь цикл;
- 4). изменение энтропии нагревателя и холодильника;
- 5). КПД цикла, а также холодильный коэффициент машины, если она будет совершать тот же цикл в обратном направлении.

*Примечание:* холодильным коэффициентом называется отношение количества теплоты, отнятого от охлаждаемого тела, к работе двигателя, приводящего в движение машину.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$m$ , кг	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	5	4
$P_1 \cdot 10^5$ , Па	20	15	10	8	5	6	7	8	10	12	20	15	10

$V_1, \text{ м}^3$	0,2	0,1	0,15	0,2	0,1	0,4	0,5	0,5	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4
$V_2, \text{ м}^3$	0,3	0,3	0,25	0,4	0,3	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,4	0,5	0,6
$V_3, \text{ м}^3$	0,5	0,6	0,6	0,8	0,6	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,6	0,7	0,8
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$m, \text{ кг}$	1	2	3	4	5	6	5	4	3	2	1	2	3
$P_1 \cdot 10^5, \text{ Па}$	10	20	30	20	25	30	15	12	9	8	5	6	3
$V_1, \text{ м}^3$	0,5	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,4	0,6	0,3	0,4	0,2	0,5	0,4
$V_2, \text{ м}^3$	0,7	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,4	0,7	0,7
$V_3, \text{ м}^3$	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,6	0,8	0,9

5. В баллоне объёмом  $V$  находится газ  $X$  массой  $m$  при температуре  $T$ .

Рассматривая газ  $X$  как реальный газ, определить:

- 1). внутреннее давление газа;
- 2). давление газа на стенки баллона; сравнить результат с давлением идеального газа при тех же условиях; какую часть давления газа составляет давление, обусловленное силами взаимодействия молекул?
- 3). эффективный диаметр молекулы газа  $X$ ; собственный объём молекул; какую часть объёма баллона составляет собственный объём молекул?
- 4). определить внутреннюю энергию газа и сравнить её с внутренней энергией идеального газа при тех же условиях;
- 5). вычислить критическую температуру  $T_{кр.}$ , критическое давление  $P_{кр.}$ , критический объём  $V_{кр.}$  и критическую плотность  $\rho_{кр.}$  газа  $X$ .

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$X$	$N_2$	$Ar$	$H_2$	воздух	$He$	$O_2$	$CO_2$	$Cl_2$	$N_2$	$Ar$	$H_2$	воздух	$He$
$V \cdot 10^{-2}, \text{ м}^3$	2	4	3	4	5	3	4	5	6	5	4	3	2
$m, \text{ кг}$	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,5	0,6	0,2	0,2	0,6	0,1
$T, \text{ К}$	280	290	300	320	350	300	340	300	330	320	300	290	280
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$X$	$N_2$	$Ar$	$H_2$	воздух	$He$	$O_2$	$CO_2$	$Cl_2$	$N_2$	$Ar$	$H_2$	воздух	$He$
$V \cdot 10^{-2}, \text{ м}^3$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3
$m, \text{ кг}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3

$T, K$	350	340	330	320	310	300	290	280	290	300	310	320	330
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

### РГР №3 «Электростатика. Постоянный электрический ток»

#### Электростатика

1. Зависимость вектора напряжённости электростатического поля, созданного объёмным электрическим зарядом, выражается уравнением:

$$\vec{E} = ax^{-2}\vec{i} + by^{-2}\vec{j} + cz^{-2}\vec{k},$$

где  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – единичные орты осей  $X, Y, Z$ ;  $a, b, c$  – постоянные. Определить:

1). объёмную плотность электрического заряда  $\rho$  в точке пространства  $A$  с координатами  $x_1, y_1, z_1$ :  $A(x_1, y_1, z_1)$ ;

2). модуль и направление вектора напряжённости  $\vec{E}$  в точке  $A$ ;

3). силу  $F$  взаимодействия точечного заряда  $q_0$  с объёмным зарядом в точке  $A$ ;

4). значение потенциала  $\varphi$  этого поля в точках:  $B(x_1, 0, 0)$ ;  $C(0, y_1, 0)$ ;  $D(0, 0, z_1)$ ;

5). потенциальную энергию взаимодействия точечного заряда  $q_0$  с объёмным зарядом в точках электростатического поля  $B(x_1, 0, 0)$ ;  $C(0, y_1, 0)$ ;  $D(0, 0, z_1)$  и работу, совершаемую электрическим полем при перемещении точечного заряда  $q_0$  из точки  $B(x_1, 0, 0)$  в точку  $C(0, y_1, 0)$ , из точки  $B(x_1, 0, 0)$  в точку  $D(0, 0, z_1)$ , из точки  $C(0, y_1, 0)$  в точку  $D(0, 0, z_1)$ . Значение потенциала поля в точке начала координат принять равным нулю:  $\varphi_0 = 0$ .

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$a$	2	1	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3
$b$	1	2	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1
$c$	3	4	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
$q_0 \cdot 10^{-6},$ $Кл$	3	4	5	2	1	2	3	4	5	1	2	3	4
$x_1, м$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,1
$y_1, м$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4
$z_1, м$	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,2
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$a$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3
$b$	2	1	2	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5



<i>c</i>	4	3	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1
$q_0 \cdot 10^{-6}$ , <i>Кл</i>	3	4	5	2	1	2	3	4	5	1	2	3	4
$x_1, м$	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,1
$y_1, м$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4
$z_1, м$	0,4	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,2

2. Площадь обкладок плоского конденсатора  $S$ , а расстояние между обкладками равно  $d$ . Конденсатор зарядили до разности потенциалов  $U_1$  и отключили от источника напряжения, после чего вплотную к обкладкам вдвинули пластину диэлектрика с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . Определить:

1). следующие параметры конденсатора:

- ёмкости конденсатора  $C_1$  и  $C_2$  до и после введения диэлектрика;
- электрический заряд на обкладках конденсатора;
- разность потенциалов  $U_2$  между обкладками конденсатора после введения диэлектрика;
- напряжённость электростатического поля внутри конденсатора до и после введения пластины диэлектрика;
- поверхностную плотность заряда на обкладках конденсатора до и после введения пластины диэлектрика;
- энергию конденсатора до и после введения диэлектрика;

2). следующие параметры диэлектрика:

- диэлектрическую восприимчивость диэлектрика;
- поляризованность пластины диэлектрика;
- поверхностную плотность связанных зарядов на диэлектрике;
- электрическое смещение внутри пластины диэлектрика;

3).давление, испытываемое пластиной диэлектрика со стороны обкладок конденсатора;

4).работу, которую нужно совершить против сил электрического поля, чтобы вынуть диэлектрик;

5). определить общую ёмкость батареи конденсаторов, если к конденсатору  $C_1$  присоединить последовательно два таких же конденсатора, соединённых между собой параллельно (рис. 1).

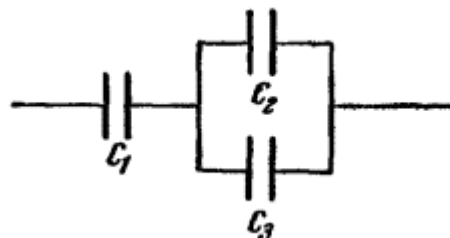


Рис. 1.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$S, м^2$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,05
$d \cdot 10^{-3}, м$	5	6	5	4	5	6	7	5	3	2	3	5	2
$U_1, В$	300	200	100	400	250	300	200	400	100	200	300	400	500
$\varepsilon$	7	2	5	2	5	3	7	5	3	2	3	5	2
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$S, м^2$	0,05	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,05	0,03	0,04	0,06	0,05	0,05
$d \cdot 10^{-3}, м$	5	6	5	4	5	6	7	5	3	2	3	5	2
$U_1, В$	200	100	400	250	300	200	400	100	200	300	400	500	100
$\varepsilon$	2	5	7	5	3	2	5	5	2	3	2	5	5

**3. Два металлических шара соединены проволочкой, ёмкостью которой можно пренебречь. Радиус первого шара  $R_1$ , а заряд  $q_1$ , радиус второго шара  $R_2$ , а потенциал  $\varphi_2$ . Найти:**

- 1). потенциал  $\varphi_1$  первого шара и заряд  $q_2$  второго шара до разряда;
- 2). энергии  $W_1$  и  $W_2$  каждого шара до разряда;
- 3). заряд  $q_1'$  и потенциал  $\varphi_1'$  первого шара после разряда;
- 4). заряд  $q_2'$  и потенциал  $\varphi_2'$  второго шара после разряда;
- 5). энергию  $W$  соединённых проводником шаров и работу  $A$  разряда.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$R_1, см$	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	8	7
$q_1, нКл$	10	9	8	6	5	4	6	5	5	6	7	8	8
$R_2, см$	2	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	7	6
$\varphi_2, кВ$	9	8	7	6	5	4	3	4	4	5	6	7	8
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$R_1, см$	6	5	4	3	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$q_1, нКл$	7	6	5	4	3	4	5	6	7	8	9	10	9
$R_2, см$	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	7

$\varphi_2, \text{кВ}$	4	3	2	1	2	3	3	2	3	4	5	6	8
------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

**Постоянный электрический ток**

4. Однородный участок цепи состоит из проводника в виде металлической проволоки молярной массой  $\mu$ , плотностью  $\rho$ , длиной  $l$ , диаметром  $d$  и удельной электропроводностью  $\sigma$ . Напряжение на концах участка цепи  $U$ . Определить:

- 1). сопротивление  $R$  участка цепи; силу  $I$  и плотность тока  $j$  в цепи, заряд  $q$  прошедший по проводнику за время  $t$ ;
- 2). среднюю скорость упорядоченного движения  $\langle v \rangle$  электронов вдоль проволоки (скорость дрейфа), полагая, что на каждый атом материала проводника приходится один электрон проводимости;
- 3). напряжённость  $E$  электрического поля и суммарный импульс электронов проводимости в проводнике;
- 4). количество теплоты  $Q$ , выделяемое в проводнике при прохождении тока за время  $t$ ; объёмную плотность тепловой мощности тока  $w$ ;
- 5). какой заряд пройдёт по проводнику за время  $t$ , если напряжение на концах проводника равномерно возрастает от 0 до  $U_{max}$ ; построить для рассматриваемого случая график зависимости силы тока от напряжения (вольт -амперную характеристику проводника):  $I = f(U)$ .

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\mu \cdot 10^{-3}, \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	27	184	56	64	108	197	27	184	56	64	108	197	27
$\rho \cdot 10^3, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	27	19,3	7,9	8,9	10,5	19,3	27	19,3	7,9	8,9	10,5	19,3	27
$l, \text{м}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4
$d, \text{мм}$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	0,5	0,6	0,7
$\sigma \cdot 10^6, \frac{\text{См}}{\text{м}}$	38	18,2	10	59,5	62,5	45,5	38	18,2	10	59,5	62,5	45,5	38
$U, \text{В}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4
$t, \text{с}$	3	4	5	6	7	8	9	10	9	8	7	6	5
$U_{max}, \text{В}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$\mu \cdot 10^{-3}, \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	27	184	56	64	108	197	27	184	56	64	108	197	27
$\rho \cdot 10^3, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	27	19,3	7,9	8,9	10,5	19,3	27	19,3	7,9	8,9	10,5	19,3	27

$l, м$	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7
$d, мм$	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0	2,2	2,4	2,5	3,0	3,5
$\sigma \cdot 10^6, \frac{См}{м}$	38	18,2	10	59,5	62,5	45,5	38	18,2	10	59,5	62,5	45,5	38
$U, В$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$t, с$	4	5	6	7	8	9	10	9	8	7	6	5	4
$U_{max}, В$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

5. К источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутренним сопротивлением  $r$  присоединены три сопротивления  $R_1, R_2$  и  $R_3$  как показано на схеме (рис. 2). Определить:

- силу тока короткого замыкания  $I_{кз.}$ ; общее сопротивление  $R$  внешней цепи;
- силу тока  $I$  во внешней цепи, напряжение  $U_r$  во внутренней цепи, напряжение  $U$  во внешней цепи при замкнутом ключе  $K$ ; силы тока  $I_1, I_2, I_3$  и падение напряжений  $U_1, U_2, U_3$  соответственно на сопротивлениях  $R_1, R_2$  и  $R_3$ ;
- показания вольтметра сопротивлением  $R_v$  при разомкнутом ключе  $K$ ; относительную погрешность в показаниях вольтметра без учёта тока, идущего через вольтметр;
- полную мощность  $P$  источника тока; полезную мощность  $P_n$  во внешней цепи; максимальную полезную мощность  $P_{max}$  в режиме согласования источника ток с его нагрузкой; КПД  $\eta$  источника тока; количество теплоты  $Q_1, Q_2, Q_3$ , выделяемое в секунду при прохождении тока соответственно на сопротивлениях  $R_1, R_2$  и  $R_3$ ;
- построить график зависимости падения напряжения  $U$  во внешней цепи от внешнего сопротивления  $R$ ; сопротивление  $R$  взять в пределах  $R'' \leq R \leq R'$  через каждые 2 Ом.

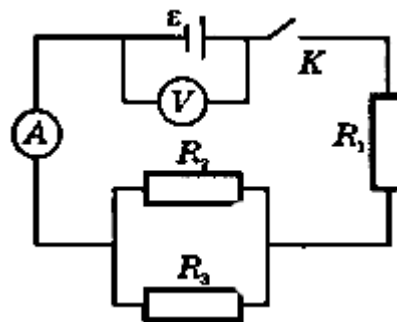


Рис. 2.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\mathcal{E}, В$	6	5	4	3	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r, Ом$	0,5	0,4	0,3	0,2	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
$R_1, Ом$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	9	8	7

$R_2, Ом$	2	1	4	3	4	5	6	7	8	9	10	9	8
$R_3, Ом$	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	9
$R_{\nu}, кОм$	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0
$R', Ом$	5	6	8	10	5	6	8	10	5	6	8	10	5
$R'', Ом$	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5	2
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$\epsilon, В$	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	8
$r, Ом$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
$R_1, Ом$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4
$R_2, Ом$	5	4	4	3	3	2	2	3	4	5	6	7	8
$R_3, Ом$	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	9
$R_{\nu}, кОм$	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	1,5	1,6	1,7	1,8
$R', Ом$	5	6	8	10	5	6	8	10	5	6	8	10	5
$R'', Ом$	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	4	5	2

#### РГР №4 «Электромагнетизм»

1. Электрон в водородоподобном ионе  $\frac{A}{Z}X$  движется по круговой орбите, радиус которой определяется соотношением  $r_n = \frac{r_1}{Z} n^2$ , где  $r_1 = 0,53 \cdot 10^{10} м$  – радиус первой боровской орбиты электрона,  $Z$  – порядковый номер атома в периодической системе элементов Д.И.Менделеева,  $n$  – номер орбиты электрона в атоме (главное квантовое число). Считая заряд и массу электрона известными ( $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} кг$ ,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} Кл$ ), определить:

- 1). силу  $I$  эквивалентного кругового тока при движении электрона вокруг ядра атома;
- 2). магнитный момент  $P_m$  эквивалентного кругового тока; орбитальный механический момент  $L_e$  электрона; гиромагнитное отношение  $g$  орбитальных моментов (отношение числового значения орбитального магнитного момента  $P_m$  электрона к числовому значению его орбитального механического момента  $L_e$ );
- 3). магнитную индукцию  $B_1$  поля, создаваемого электроном в центре круговой орбиты;
- 4). изменение  $\Delta\omega$  угловой скорости электрона при помещении атома в однородное магнитное поле с индукцией  $B_2$ , перпендикулярной плоскости орбиты (рис. 24),

учитывая, что  $\Delta\omega \ll \omega_0$ , где  $\omega_0$  – угловая скорость обращения электрона по круговой орбите вокруг ядра в отсутствии поля  $B_2$ ;

5). изменение магнитного момента электрона  $\Delta P_m$ , обусловленное изменением его угловой скорости  $\Delta\omega$ ; направление вектора  $\Delta\vec{P}_m$  в обоих случаях.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\frac{A}{Z}X$	${}^{20}_{10}Ne$	${}^{19}_9F$	${}^{16}_8O$	${}^{14}_7N$	${}^{12}_6C$	${}^{10}_5B$	${}^9_4Be$	${}^7_3Li$	${}^4_2He$	${}^1_1H$	${}^{23}_{11}Na$	${}^{24}_{12}Mg$	${}^4_2He$
$n$	3	3	2	1	2	3	2	3	2	1	2	3	1
$B_2, Tл$	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$\frac{A}{Z}X$	${}^4_2He$	${}^{24}_{12}Mg$	${}^{23}_{11}Na$	${}^1_1H$	${}^4_2He$	${}^{20}_{10}Ne$	${}^{19}_9F$	${}^{16}_8O$	${}^{14}_7N$	${}^{12}_6C$	${}^{10}_5B$	${}^9_4Be$	${}^7_3Li$
$n$	1	2	3	1	2	3	3	2	3	1	2	3	2
$B_2, Tл$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

2. По квадратной проволочной рамке со стороной  $a$  и сопротивлением  $R$  течёт электрический ток силой  $I$ .

1.1. Определить:

1). напряжённость  $H_1$  и индукцию  $B_1$  магнитного поля в центре рамки;

2). магнитный момент  $P_m$  рамки с током;

Рассматриваемая рамка помещена в однородное магнитное поле с индукцией  $B_2$ .

Нормаль к плоскости рамки составляет с направлением магнитного поля угол  $\varphi$ .

Определить:

3). магнитный поток  $\Phi_m$ , пронизывающий рамку;

4). вращающий момент  $M$ , действующий на рамку; работу  $A$ , которую необходимо затратить для поворота рамки относительно оси, проходящей через середину её противоположных сторон, на угол  $\varphi$ ;

5). заряд  $Q$ , который пройдет по рамке при изменении угла между нормалью к рамке и линиями магнитной индукции от  $0$  до  $\varphi$ , в случае, если по ней не течёт ток  $I$ .

Действием магнитного поля Земли пренебречь.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$a, м$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7

$I, A$	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5
$R, Ом$	2	1	2	3	4	5	6	7	8	10	9	8	7
$\varphi^0$	30	45	60	90	0	30	45	60	90	0	30	45	60
$B_2, Тл$	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$a, м$	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$I, A$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0
$R, Ом$	3	4	5	6	5	4	3	2	3	4	5	6	5
$\varphi^0$	90	60	45	30	0	30	45	60	90	0	30	45	60
$B_2, Тл$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7

3. В соленоиде длиной  $l$ , диаметром  $D$  и с числом витков  $N$  течёт ток силой  $I$ .  
Определить:

- 1). напряжённость  $H_1$  и индукцию магнитного поля  $B_1$  внутри соленоида; индуктивность  $L_1$  соленоида;
- 2). потокосцепление  $\psi_1$ ; магнитный момент  $P_m$  этого соленоида; энергию  $W_1$  и объёмную плотность энергии  $w_1$  магнитного поля внутри соленоида; магнитодвижущую силу  $F_m$ ;
- 3). ошибку  $\delta$ , которую допускаем при нахождении напряжённости  $H_1$  магнитного поля в центре соленоида, принимая соленоид за бесконечно длинный;
- 4). индукцию магнитного поля  $B_2$ , индуктивность  $L_2$ , потокосцепление  $\psi_2$ , энергию  $W_2$  и объёмную плотность энергии  $w_2$  магнитного поля внутри соленоида, когда в него вставлен железный сердечник, магнитную проницаемость  $\mu_2$  и намагничённость  $J_2$  сердечника (график зависимости индукции магнитного поля от напряжённости представлен на рис. 3);
- 5). построить для соленоида с сердечником график зависимости потокосцепления  $\psi_2$  от тока  $I$  в интервале  $0 \leq I \leq I_1$  через каждый 1 А.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$l, м$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5
$D, см$	3	4	5	6	5	4	3	4	5	6	7	6	5
$N$	150	200	250	300	400	300	200	250	300	350	400	300	200

$I, A$	3	4	5	4	5	4	3	5	6	6	7	5	4
$I_1, A$	3	4	5	4	5	4	3	5	6	6	7	5	4
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$l, м$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$D, см$	5	4	3	4	5	6	4	5	3	4	5	6	5
$N$	500	450	400	350	300	250	200	200	250	300	350	400	450
$I, A$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4
$I_1, A$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4

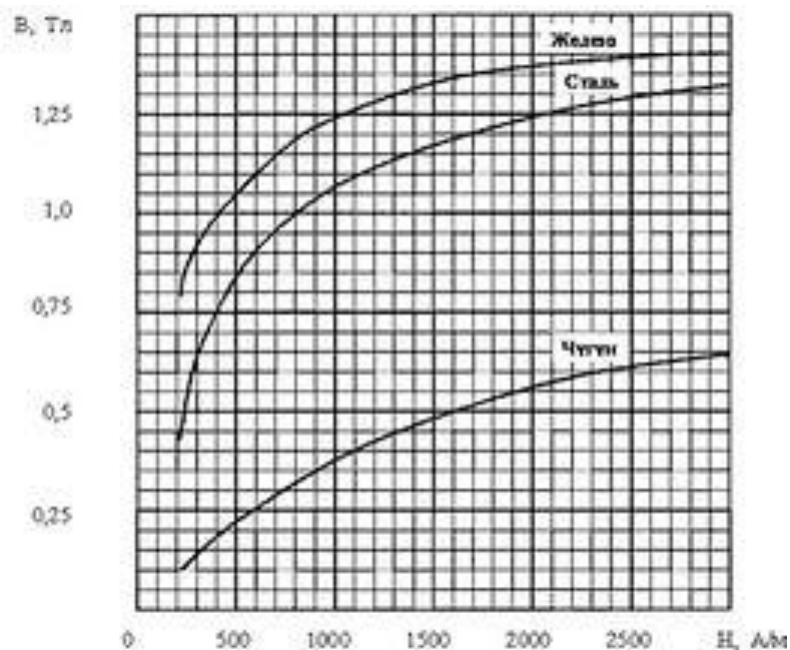


Рис. 3

4. В магнитном поле находится квадратная проволочная рамка со стороной  $l$  и сопротивлением  $R$ . Определить:

I. В случае однородного магнитного поля индукцией  $B$ :

- 1). электрический заряд  $q$ , который пройдёт через рамку, при её повороте на угол  $\alpha$ ;
- 2). ЭДС индукции  $\mathcal{E}_i$ , которая возникнет в рамке в случае, если одна её сторона подвижная и перемещается перпендикулярно линиям магнитной индукции со скоростью  $v$ ;
- 3). среднюю ЭДС индукции  $\langle \mathcal{E} \rangle$ , возникающую в рамке при включении магнитного поля в течение времени  $\Delta t$ , если её плоскость перпендикулярна к направлению магнитного поля;



4). максимальную ЭДС индукции  $\mathcal{E}_{max}$ , если рака равномерно вращается в магнитном поле с угловой скоростью  $\omega$ , а ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям магнитной индукции.

II. Индукция магнитного поля меняется по закону  $B = B_0 \sin \omega t$ , плоскость рамки перпендикулярна к направлению магнитного поля:

5). магнитный поток  $\Phi_m$ , пронизывающий рамку; ЭДС индукции  $\mathcal{E}_i$ , возникающую в рамке; силу тока  $I$ , текущего в рамке в момент времени  $t$ .

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$l, м$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$R, Ом$	2	1	3	4	5	4	3	2	2	1	3	4	5
$B, Тл$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
$\alpha^0$	30	45	60	90	0	30	45	60	90	0	30	45	60
$v, \frac{м}{с}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4
$\Delta t, мс$	10	9	8	7	6	5	4	3	4	5	6	7	8
$\omega, рад.$	314	628	942	157	314	628	942	1256	157	314	628	942	1256
$B_0, Тл$	0,0 1	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,08	0,07	0,06
$t, с$	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$l, м$	0,5	0,6	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$R, Ом$	5	6	7	5	4	3	2	3	4	5	6	7	8
$B, Тл$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4
$\alpha^0$	0	30	45	60	90	0	30	45	60	90	0	30	45
$v, \frac{м}{с}$	10	9	8	7	6	5	3	2	1	2	3	4	5
$\Delta t, мс$	10	9	8	7	6	5	3	2	1	2	3	4	5
$\omega, рад.$	157	314	628	942	1256	157	314	628	942	1256	157	314	628
$B_0, Тл$	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,02	0,08	0,07	0,06	0,05
$t, с$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3

**5. Рассматриваем систему уравнений Максвелла:**

- 1). запишите полную систему уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной формах и объясните их физический смысл; зачем необходима дифференциальная форма уравнений Максвелла?
- 2). запишите полную форму уравнений Максвелла для стационарных полей ( $E = const$ ;  $B = const$ ) в интегральной и дифференциальной формах и объясните их физический смысл;
- 3). запишите уравнения Максвелла через поток вектора электрического смещения  $\Phi_D$ , поток вектора магнитной индукции  $\Phi_B$ , заряд  $q$  и силу тока  $I$ ;
- 4). докажите с помощью одного из уравнений Максвелла, что переменное во времени магнитное поле не может существовать без электрического поля;
- 5). из уравнений Максвелла выведите дифференциальную форму уравнения непрерывности.

**РГР №5 «Колебания и волны. Оптика»**

1. Материальная точка массой  $m$  совершает гармонические колебания по закону синуса с амплитудой  $A$ , периодом  $T$ , начальной фазой  $\varphi_0$ .

Написать:

1). уравнения гармонических колебаний точки, её скорости  $u$ , ускорения  $a$  и возвращающей силы  $F$ .

Определить:

- 2). смещение  $x_1$  точки через время  $t_1$  от начала колебания;
- 3). максимальные скорость  $u_{max}$ , ускорение  $a_{max}$ , значение возвращающей силы  $F_{max}$ , действующей на точку и её полную энергию  $E$ ;
- 4). средние значения скорости  $\langle u \rangle$  и ускорения  $\langle a \rangle$  точки на пути от её крайнего положения до положения равновесия;
- 5). начертить график колебаний точки и построить векторную диаграмму для момента времени  $t_0 = 0$ .

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$m, кг$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,15	0,20	0,30
$A, м$	0,05	0,04	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,20	0,30	0,35
$T, с$	3,0	2,5	2,0	2,0	2,5	3,0	3,0	3,5	3,0	4,0	1,5	2,0	2,5
$\varphi_0, рад.$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{6}$	0	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{6}$	0	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{4}$
$t_1, с$	1,5	2,0	1,5	1,5	2,0	1,5	2,0	3,0	2,5	2,0	1,0	1,0	2,0
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$m, кг$	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,15	0,20	0,30	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$A, м$	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,20	0,30	0,35	0,06	0,01	0,02	0,03	0,04

$T, c$	3,0	2,5	2,0	2,0	2,5	3,0	3,0	3,5	3,0	4,0	1,5	2,0	2,5
$\varphi_0, рад.$	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$
$t_1, c$	2,0	2,0	1,5	1,0	2,0	2,5	1,5	3,0	2,5	2,0	1,0	1,0	2,0

1. От источника колебаний в однородной и изотропной не поглощающей упругой среде плотностью  $\rho$  вдоль прямой линии, совпадающей с положительным направлением оси  $x$ , со скоростью  $v$  распространяется плоская синусоидальная волна заданная уравнением  $\xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx)$ , где  $A$  – амплитуда волны,  $\omega$  – циклическая частота волны. Определить:

- 1). период  $T$ , частоту  $\nu$ , волновое число  $k$ , длину  $\lambda$  и интенсивность  $I$  волны;
- 2). фазу колебаний  $\varphi_1$ , смещение  $\xi(x_1, t_1)$ , скорость  $\dot{\xi}$  и ускорение  $\ddot{\xi}$  точки, расположенной на расстоянии  $x_1$  от источника колебаний в момент времени  $t_1$ ;
- 3). максимальные значения скорости  $\dot{\xi}_{max}$  и ускорения  $\ddot{\xi}_{max}$  колебаний частиц среды;
- 4). разность фаз  $\Delta\varphi$  колебаний двух точек среды, отстоящих друг от друга на расстоянии  $\Delta x$ ;
- 5). написать и изобразить графически уравнение колебания для точек волны в момент времени  $t_1$  после начала колебаний.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\rho \cdot 10^3, \frac{кг}{м^3}$	8,55	0,90	9,00	2,70	7,87	8,55	8,80	11,30	7,30	2,20	2,70	7,87	8,55
$v \cdot 10^3, \frac{м}{с}$	3,5	3,3	3,7	5,0	5,2	3,5	4,8	2,6	2,7	5,4	5,0	5,2	3,5
$A \cdot 10^{-4}, м$	2,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	8,0	7,0	6,0
$\omega, \frac{рад.}{с}$	3,14	6,28	9,42	12,56	18,84	3,14	6,28	9,42	6,28	18,84	3,14	6,28	9,42
$x_1, м$	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$t_1 \cdot 10^{-4}, c$	1,4	1,2	0,8	0,5	0,2	0,6	0,6	1,5	1,9	1,1	1,5	1,6	2,6
$\Delta x, м$	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$\rho \cdot 10^3, \frac{кг}{м^3}$	8,55	8,80	9,00	8,55	0,9	2,7	7,30	2,20	11,3	2,70	7,87	2,20	9,00
$v \cdot 10^3, \frac{м}{с}$	3,0	5,0	3,7	3,5	3,3	4,5	2,7	5,4	2,6	5,2	5,3	5,4	3,7

$A \cdot 10^{-4}, м$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	4,0	3,5	3,0	2,5
$\omega, \frac{рад.}{с}$	3,14	6,28	9,42	6,28	18,84	3,14	6,28	9,42	3,14	6,28	9,42	12,56	18,84
$x_{1, м}$	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,6	0,7	0,8	0,7
$t_1 \cdot 10^{-4}, с$	1,6	0,8	0,8	0,6	0,3	0,5	1,1	0,7	4,2	1,2	1,3	1,5	1,9
$\Delta x, м$	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50

2. В цепь переменного тока с внешним напряжением  $U = 220 В$  и частотой  $\nu = 50 Гц$  включены последовательно ёмкость  $C$ , резистор сопротивлением  $R$  и катушка индуктивностью  $L$  (рис. 1). Определить:

- 1). ёмкостное  $X_C$ , индуктивное  $X_L$  и полное (импеданс)  $Z$  сопротивления цепи;
- 2). амплитудные значения внешнего напряжения  $U_m$ , силы тока  $I_m$ , напряжения на активном сопротивлении  $U_{Rm}$ , напряжения на конденсаторе  $U_{Cm}$ , напряжения на катушке индуктивности  $U_{Lm}$ ; действующее значение силы тока  $I_d$  в цепи;
- 3). определить частоту  $\omega_p$  внешнего напряжения  $U$ , при которой в цепи наступит резонанс; действующие значения силы тока и напряжения на всех элементах цепи при резонансе;
- 4). разность фаз  $\phi$  между силой тока и внешним напряжением; среднюю мощность  $\langle P \rangle$ , выделяемую в цепи;
- 5). построить векторную диаграмму тока и напряжений в цепи.

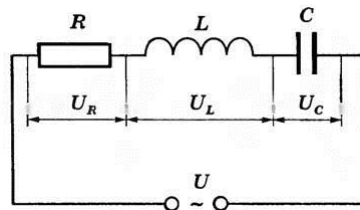


Рис. 1.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$C, мкФ$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90
$R, Ом$	100	90	80	70	60	50	40	50	60	70	80	90	100
$L, Гн$	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$C, мкФ$	100	90	80	70	60	50	40	50	60	70	80	90	100

$R, \text{ Ом}$	90	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	20	30
$L, \text{ Гн}$	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9

3. В однородной изотропной и немагнитной ( $\mu = 1$ ) среде с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  вдоль оси  $X$  распространяется плоская электромагнитная волна, электрическое поле которой описывается уравнением  $E = E_0 \cos(\omega t - kx)$ , и падает на поверхность тела, полностью её поглощающего. Считая амплитудное значение напряжённости  $E_0$  электрического поля и частоту  $\nu$  волны известными, определить:

- 1). показатель преломления  $n$  среды, фазовую скорость  $u$ , волновое число  $k$  и длину  $\lambda$  волны;
- 2). амплитуду напряжённости  $H_0$  магнитного поля волны; написать уравнение её магнитной составляющей;
- 3). интенсивность волны  $I$ ; давление  $P$ , оказываемое волной на тело;
- 4). изменение длины волны  $\Delta\lambda$  в случае, если бы рассматриваемая электромагнитная волна переходила из немагнитной среды с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  в вакуум;
- 5). изобразить графически взаимное расположение векторов  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$  и  $\vec{u}$  в волне.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\epsilon$	2,0	2,2	3,0	5,0	7,0	1,0	2,0	3,0	7,0	2,2	5,0	1,0	2,0
$E_0, \frac{B}{m}$	10	9	8	7	6	5	6	7	8	9	10	11	12
$\nu, \text{ МГц}$	5	6	7	8	9	10	11	10	9	8	7	6	5
$S, \text{ см}^2$	10	9	8	7	6	5	6	7	8	9	10	9	8
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$\epsilon$	7,0	5,0	3,0	2,2	2,0	1,0	2,0	2,2	3,0	5,0	7,0	5,0	3,0
$E_0, \frac{B}{m}$	6	7	8	9	10	11	12	10	9	8	7	6	5
$\nu, \text{ МГц}$	11	10	9	8	7	6	5	5	6	7	8	9	10
$S, \text{ см}^2$	6	7	8	9	10	9	8	10	9	8	7	6	5

4. На дифракционную решётку длиной  $l_1$ , содержащую  $N_1$  штрихов, нормально к её поверхности падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$ . На экран, изготовленный из диэлектрика, находящийся от решётки на расстоянии  $L$ , с помощью линзы, расположенной вблизи решётки, проецируется дифракционная картина, причём первый главный максимум находится на расстоянии  $l$  от центрального (рис. 2).

Определить:

- 1). период  $d$  дифракционной решётки; число штрихов  $n_0$  на 1 мм её длины;
- 2). наибольший порядок  $k_{max}$  спектра; общее число  $N$  главных максимумов, даваемых решёткой; угол дифракции  $\varphi_{max}$ , соответствующий последнему максимуму;
- 3). максимальный угол дифракции  $\varphi'_{max}$  в случае, если свет падает под углом  $\vartheta$  к её нормали (рис. 41);
- 4). максимальную разрешающую способность  $R_{max}$  дифракционной решётки; разность длин волн  $\delta\lambda$ , разрешаемую этой решёткой в спектре второго порядка; её угловую дисперсию  $D_\varphi$  для наибольшего порядка  $k_{max}$  спектра и угла дифракции  $\varphi_{max}$ ;
- 5). показатель преломления диэлектрика  $n$ , если отражённый от него под углом  $\varphi_{max}$  луч полностью поляризован.

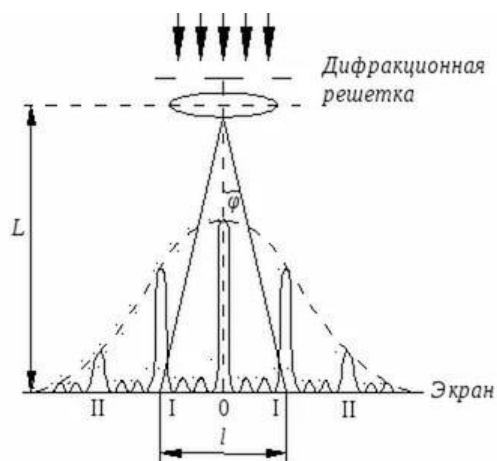


Рис. 2.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$l_1, мм$	15	20	25	30	35	40	45	50	45	40	30	20	15
$N_1 \cdot 10^3$	3	3,5	4	4,5	3,5	4	4,5	5	4,5	4	3	2	1,5
$\lambda, нм$	550	600	650	700	750	380	400	450	500	550	600	650	700
$L, м$	1,0	0,5	1,0	1,5	0,5	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70
$l, м$	0,10	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
$\vartheta^0$	60	45	30	0	60	45	30	0	60	45	30	0	60
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$l_1, мм$	40	45	50	45	40	30	20	15	15	20	25	30	35
$N_1 \cdot 10^3$	5	4	5	4	4	3	3	2	1,5	1	2	2,5	3,5

$\lambda, \text{нм}$	380	400	450	500	550	600	650	700	550	600	650	700	750
$L, \text{м}$	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	1,0	0,5	1,0	1,5	0,5
$l, \text{м}$	0,09	0,10	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,05	0,06	0,07	0,08
$\vartheta^0$	60	45	30	0	60	45	30	0	60	45	30	0	60

**РГР №6 «Основы квантовой физики. Физика атомного ядра и элементарных частиц»**

**1. Поглощательная способность тела площадью поверхности  $S$  при температуре  $T$  равна  $A_T$ . Определить:**

- 1). энергетическую светимость  $R_T$  тела и его радиационную температуру  $T_p$ ;
- 2). поток энергии  $\Phi$  и энергия  $W$ , излучаемая телом в виде электромагнитных волн за время  $t$ ;
- 3). длину волны  $\lambda_{max}$ , соответствующую максимальной спектральной плотности энергетической светимости  $(r_{\lambda,T})_{max}$ , считая  $A_T = 1$ ;
- 4). как изменится длина волны  $\lambda_{max}$ , соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости тела, если площадь, ограниченная графиком спектральной плотности энергетической светимости  $r_{\lambda,T}$  тела, при переходе от температуры  $T_1 = T$  до температуры  $T_2$  увеличилась в  $n$  раз при  $A_T = 1$ ;
- 5). объёмную плотность  $u(T)$  энергии электромагнитного излучения тела и давление  $P$  теплового излучения.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$S, \text{м}^2$	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,50	0,45
$T, \text{K}$	290	300	350	400	450	500	290	300	350	400	450	500	450
$A_T$	0,15	0,35	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
$t, \text{с}$	10	15	20	30	35	40	45	50	55	60	55	50	45
$(r_{\lambda,T})_{max} \times 10^{11} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	1,3	1,2	1,1	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,6	1,5
$T_2, \text{K}$	300	310	360	450	500	550	300	350	400	450	500	550	500
$n$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,3	1,2	1,4	1,5
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$S, \text{м}^2$	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,50	0,45	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45

$T, K$	290	300	350	400	450	500	450	290	300	350	400	450	500
$A_T$	0,50	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,15	0,35	0,30	0,35	0,40	0,45
$t, c$	45	50	55	60	55	50	45	10	15	20	30	35	40
$(r_{\lambda, T})_{max} \times 10^{11} \frac{Bm}{M^3}$	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,6	1,5	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,6
$T_2, K$	300	320	400	420	500	520	500	320	320	400	450	500	520
$n$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,3	1,2	1,4	1,5

2. На плоскую металлическую пластину площадью  $S$  с коэффициентом отражения  $\rho$  и работой выхода  $A$ , служащую фотокатодом вакуумного фотоэлемента, падает нормально параллельный монохроматический пучок света интенсивностью  $I$  и длиной волны  $\lambda$ . Считая фотоэффект линейным, определить:

- 1). частоту  $\nu$ , энергию  $\epsilon_\gamma$ , массу  $m_\gamma$  и импульс  $P_\gamma$ , падающих на пластину фотонов;
- 2). красную границу фотоэффекта  $\nu_0$ , максимальную кинетическую энергию  $K_{max}$  фотоэлектронов и задерживающую разность потенциалов  $U_3$ , при которой прекратится фотоэффект;
- 3). световое давление  $P$  на пластину, величину светового потока  $\Phi_e$  и число фотонов  $n_{погл.}$ , поглощаемых каждую секунду пластиной;
- 4). максимальный импульс  $P_{max}$ , передаваемый пластине при вылете электрона; силу фототока насыщения  $I_{фн}$ , полагая что каждый поглощённый пластиной фотон вырывает фотоэлектрон;
- 5). на рисунках 3 (а, б) представлены вольт – амперные характеристики фотоэффекта:

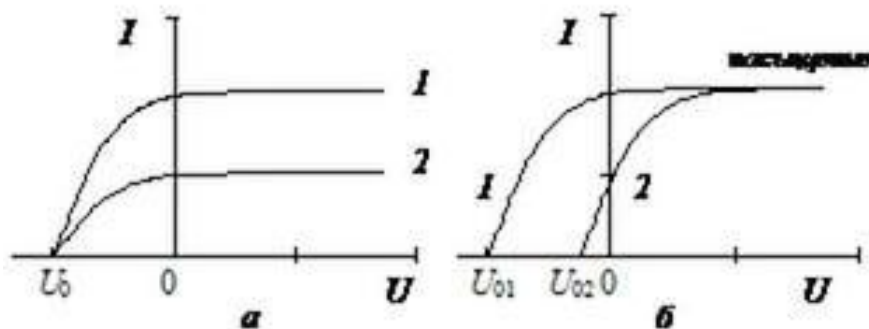


Рис. 3.

Объясните причины отличия этих кривых.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$S \cdot 10^{-4} M^2$	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	2,5	3,0



$\rho$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0	0,2	0,3	0,4	0,5
$A, \text{эВ}$	2,2	2,3	2,5	4,0	4,7	6,3	4,7	4,0	2,5	2,3	2,2	2,3	2,5
$I, \frac{Bm}{M^2}$	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
$\lambda, \text{нм}$	400	450	500	550	600	650	700	750	700	650	600	550	500
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$S \cdot 10^{-4} M^2$	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	2,5	3,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	4,5
$\rho$	0,9	1,0	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$A, \text{эВ}$	4,7	4,0	2,5	2,3	2,2	2,3	2,5	2,2	2,3	2,5	4,0	4,7	6,3
$I, \frac{Bm}{M^2}$	400	450	500	550	600	650	700	100	150	200	250	300	350
$\lambda, \text{нм}$	700	750	700	650	600	550	500	400	450	500	550	600	650

**3. Водородоподобный ион с порядковым номером  $Z$  в периодической системе элементов находится в возбуждённом состоянии с главным квантовым числом  $n$ . Определить:**

**I. На основе боровской модели атома:**

- 1). радиус  $n$  – ой боровской орбиты  $r_n$  электрона; орбитальный момент импульса  $L_e$  электрона, скорость  $v_n$  его движения; частоту  $f$  вращения по орбите, силу эквивалентного тока  $I_e$ ; магнитный момент  $P_{me}$ ;
- 2). потенциальную  $E_n$ , кинетическую  $E_k$  и полную  $E$  энергию электрона (в электрон-вольтах); на сколько изменится энергия  $\Delta E$  и орбитальный момента импульса  $\Delta L_e$  электрона при излучении атомом фотона с длиной волны  $\lambda$ ; энергию ионизации  $E_i$  атома;
- 3). наибольшие и наименьшие длины волн спектральных линий атома, соответствующие переходу электрона в атоме с  $n$ –ой орбиты на  $m$ - ную орбиту, где  $m = n - k$ ; изобразить эти электронные переходы на диаграмме энергетических уровней атома;

**II. На основе квантово - механической модели атома;**

- 4). длину волны  $\lambda_{\text{б}}$  де Бройля для электрона на рассматриваемой орбите; сколько длин волн де Бройля уложится на длине этой стационарной орбиты электрона; буквенное обозначение соответствующего энергетического уровня (электронной орбитали, электронной оболочки), возможные значения орбитального  $l$  и магнитного  $m_l$  квантовых чисел и соответствующие им квантовые состояния электрона (электронные подуровни, электронные подоболочки), движущегося по этой орбите; пространственную форму атомной орбитали; значения его момента импульса  $L_e$  и проекции момента импульса  $L_z$  на какое-либо заданное направление в пространстве  $Z$  (в единицах  $\hbar$ );

5). зная значение кинетической энергии  $E_k$  электрона в атоме, используя соотношение неопределённостей, оценить линейные размеры атома  $d$ , неопределённость энергии  $\Delta E$  электрона (в электрон-вольтах); отношение естественной ширины  $n$ -ого энергетического уровня к энергии, излучённой атомом, если длина волны излучённого атомом фотона  $\lambda$ , а время жизни в возбуждённом состоянии атома составляет  $\Delta t = 10$  нс.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$Z$	5	4	3	2	1	2	3	4	5	4	3	2	1
$n$	5	4	3	2	5	4	3	2	3	4	5	2	3
$\lambda, \text{нм}$	450	500	550	600	650	700	750	600	550	500	450	400	350
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$Z$	2	3	4	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
$n$	450	500	550	600	650	450	500	550	5	4	3	2	5
$\lambda, \text{нм}$	700	750	600	550	500	450	400	350	450	500	550	600	650

4. Микрочастица (электрон) находится в одномерной прямоугольной «потенциальной яме» шириной  $l$  с бесконечно высокими «стенками» в возбуждённом состоянии с главным квантовым числом  $n$ . Волновая функция, описывающая состояние микрочастицы, имеет вид  $\psi(x) = A \sin kx$ . Определить:

- 1). вид собственной волновой функции  $\psi_n(x)$ ; коэффициент  $A$ , исходя из условия нормировки вероятностей;
- 2). среднее значение координаты  $\langle x \rangle$ , собственное значение энергии  $E_n$  и минимальную энергию  $E_{min}$  электрона (в электронвольтах);
- 3). энергию, излучаемую при переходе электрона с  $n$ -го на  $m$ -ый энергетический уровень;
- 4). наименьшую разность  $\Delta E$  двух соседних энергетических уровней электрона (в электронвольтах);
- 5). в каких точках «ям» вероятность  $W$  (плотность вероятности) обнаружения электрона будет максимальной и минимальной; полученный результат пояснить графически.

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$l, \text{нм}$	0,2	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$n$	2	3	4	4	3	2	2	3	4	3	2	2	3

<i>m</i>	1	2	3	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
<i>l</i> , нм	0,6	0,7	0,8	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,1	0,3	0,4	0,5
<i>n</i>	2	2	3	4	3	2	2	3	2	3	4	4	3
<i>m</i>	1	1	2	2	1	1	1	2	1	2	3	2	1

5. Период полураспада радиоактивного нуклида  ${}^A_ZX$  равен  $T_{1/2}$ . Определить:

- используя Периодическую систему химический элемент соответствующего нуклида; число протонов  $Z$  и нейтронов  $N$  в составе нуклида;
- дефект массы  $\Delta m$ , энергию связи  $E_{св.}$  и удельную энергию связи  $\epsilon_{св.}$  (в электронвольтах) этого нуклида;
- постоянную распада  $\lambda$  и среднюю продолжительность жизни  $\tau$  нуклида; активность  $a$  этого изотопа по истечению промежутка времени, равного половине периода полураспада  $t = \frac{T_{1/2}}{2}$ , если его активность в начальный момент времени  $a_0$ ; какая доля  $k$  первоначального количества ядер изотопа распадет за это время;
- конечный продукт деления после одного акта  $\alpha$  - распада и одного акта  $\beta$  - распада; энергию  $\beta$  - распада ядра (в электронвольтах);
- энергию ядерной реакции  ${}^A_ZX + {}^1_1H \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}Y + {}^1_0n$ ; является эта реакция экзотермической или эндотермической?

Числовые значения параметров задачи

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$Z$	89	53	77	27	12	88	86	38	15	11	20	84	88
$A$	225	131	192	60	27	219	222	90	32	22	45	210	226
$T_{1/2}$	10 сут.	8 сут.	75 сут.	5,3 года	10 мин.	$10^{-3}$ с	3,8 сут.	28 лет	14 сут.	2,6 года	164 сут.	138 сут.	1590 лет
$a_0$ , Бк	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	450	400	100
№ варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$Z$	89	53	77	27	12	88	86	38	15	11	20	84	88
$A$	225	131	192	60	27	219	222	90	32	22	45	210	226
$T_{1/2}$	10 сут.	8 сут.	75 сут.	5,3 года	10 мин.	$10^{-3}$ с	3,8 сут.	28 лет	14 сут.	2,6 года	164 сут.	138 сут.	1590 лет

$a_0, \text{Бк}$	350	400	450	500	450	400	100	50	100	150	200	250	300
------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	-----	-----	-----	-----	-----