Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра технической физики

ФИЗИКА

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ
для студентов специальности
5В071800 – Электроэнергетика

Алматы 2018

СОСТАВИТЕЛИ: Саламатина А. М., Әсембаева Ә. Р. Физика. Методические указания по выполнению расчетно-графических работ для студентов специальности 5В071800 —Электроэнергетика - Алматы: АУЭС, 2018 – 46 с.

Методические указания включают варианты заданий 4-х расчетно-графических работ (РГР), методические рекомендации к их выполнению, требования к оформлению РГР, список рекомендуемой литературы.

Ил. 21, табл. 11, библиогр. – 5 назв.

Рецензент: кандидат физ.-мат. наук, доцент А.К. Искакова

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2018 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2018 г.

Введение

Основные цели изучения обязательной дисциплины «Физика» заключаются в расширении и углублении знаний основных понятий и законов электродинамики, теории колебаний и волн, умений и навыков их применения к решению задач. Известно, что овладение знаниями как важнейший процесс человеческой активности подчиняется законам психологии: развитие и образование ни одному человеку не могут быть даны или сообщены. Всякий, кто желает развиваться и овладевать знаниями, достигает этого своим собственным трудом, собственным напряжением воли, собственной настойчивостью и целеустремленностью; успешная деятельность невозможна без осознания и принятия цели деятельности, четкого представления о результатах и о тех методах и средствах, которые необходимы для достижения поставленной цели.

В настоящем руководстве приведены варианты РГР, разделенные, по мере возрастания сложности их выполнения, на три уровня усвоения знаний: А, В и С. Критерии разделения задач таковы: задания уровня А – это задачи и качественные вопросы, требующие, в основном, умения решать задачи по заданному образцу; задания уровня В требуют умений решать типовые задачи по известному алгоритму; задания уровня С требуют умений выявлять внутренние связи в конкретной, достаточно сложной, физической ситуации и применять знание общих методов. Каждый студент самостоятельно выбирает уровень заданий и получает при распределении старостой группы номер варианта. Это распределение должно быть утверждено преподавателем, ведущим практические занятия в группе.

Общие требования к выполнению и оформлению расчетно-графических работ (РГР).

Каждую расчетно-графическую работу следует выполнить в отдельной школьной тетради, на обложке которой необходимо указать: наименование вуза и кафедры; дисциплину; номер и тему РГР; вариант РГР; ФИО и группу студента, выполнившего работу; дату сдачи на проверку; должность и ФИО преподавателя, проверившего работу.

Пример оформления обложки:

НАО АУЭС Кафедра физики

Электромагнитные волны.

РГР №__Тема «_____» Вариант №__

Выполнил студент ___(Ф.И.О, группа)

Сдана на проверку ___(дата).

Проверил ___(должность и Ф.И.О. преподавателя)

Условие каждой задачи переписывать полностью, без сокращений. Затем записывать с помощью общепринятых символических обозначений в краткой форме, под заглавием «Дано». Если в задаче заданы числовые величины, то необходимо выразить их в системе единиц СИ. Решение

каждой задачи следует сопроводить пояснениями, раскрывающими смысл и значение используемых обозначений. Необходимо указать физические законы, теоремы и принципы, положенные в основу решения. После того как задача решена в общем виде, т.е. получен ответ в виде расчетной формулы, произвести вычисления, руководствуясь при этом правилами приближенных вычислений. Работу выполнять шариковой (или иной) ручкой, рисунки - при помощи карандаша и линейки. Решение каждой задачи начинать с новой страницы, оставляя место для замечаний преподавателя и дополнений, либо исправлений.

1 РГР №1. Физические основы механики. Статистическая физика и термодинамика

Цель: овладеть основными методами решения типовых задач по физическим основам механики, статистической физике и термодинамике.

Задания по расчетно-графической работе № 1.

Таблица 1 – Варианты заданий

№	Чертов А.Г., Воробьёв А.А. «Задачник по физике». - М., 2006. – 640 с.	Волькенштейн В.С. «Сборник задач по общему курсу физики».- М., 2003.	Иродов И.Е. «Задачник по общей физике». – М., 2001.	Приложение А
А.1	1.15; 2.4; 3.16; 10.2	3.4; 5.80; 6.12		1
А.2	2.7; 3.13; 4.51; 11.30	1.21; 5.159; 5.196		2
А.3	1.10; 3.9; 8.28; 9.21	2.28; 3.6; 5.195		3
А.4	2.12; 3.18; 4.52; 11.64	1.24; 5.166; 5.198		4
А.5	1.16; 3.8; 8.30; 9.15	2.31; 3.17; 5.221		5
А.6	2.3; 3.20; 4.59; 10.5	1.22; 5.170; 5.201		6
А.7	1.17; 3.11; 8.36; 9.19	2.36; 3.18; 5.222		7
А.8	2.4;4.52; 10.4	1.21; 3.7; 3.21; 5.159		8
А.9	1.19; 3.25; 8.27; 9.13	2.58;3.21; 5.225		9
А.10	1.31; 3.19; 8.31; 9.18	2.59; 3.14; 5.221		10
В.11	1.48; 2.78;8.44; 10.21	3.34; 5.182	1.120	11
В.12	1.49; 2.80; 10.20; 11.55	3.37; 5.191	1.118	12
В.13	2.77;3.30; 10.18; 11.63	1.61;5.225	1.122	13
В.14	2.78; 3.33; 8.44; 11.68	1.63;2.59; 5.182		14
В.15	2.84; 3.35; 8.45; 10.18	1.62;5.183	1.119	15
В.16	1.59;3.37; 9.28; 10.25	2.111; 5.191	1.121	16

B.17	2.82; 3.33; 10.16; 11.68	1.64; 3.37	1.120	17
B.18	2.79; 3.34; 9.29; 10.20; 11.72	1.63	1.118	18
B.19	1.58; 9.33; 11.70	2.93; 3.44	1.21; 1.131	19
B.20	1.48; 3.40; 8.43; 9.25; 11.55	2.110; 3.34		20
B.21	1.59; 9.31; 11.78	2.89; 3.47	1.24; 1.126	21
B.22	1.49; 3.36; 9.32; 10.27	2.109; 5.191	1.121	22
B.23	9.32; 10.23; 11.71	2.88; 3.41	1.9; 1.133	23
B.24	2.78;3.40; 8.45;10.36	1.61; 2.111	1.131	24
B.25	9.33; 10.24; 11.75	2.84; 3.42	1.10; 1.135	25
B.26	9.28; 10.26; 11.67	2.90; 3.40	1.10; 1.126	26
C.27			1.44; 1.102; 1.228; 1.295; 1.327;6.96; 6.35	27
C.28			1.47; 1.95; 1.229; 1.297; 1.324;6.124; 6.34	28
C.29			1.48; 1.90; 1.160;1.227; 1.323; 6.119; 6.47	29
C.30			1.1.53; 1.97; 1.161; 1.230; 1.326; 6.121; 6.51	30

1.1 Методические указания к решению задач и примеры их выполнения

1.1 *Основная прямая задача кинематики* состоит в нахождении любого параметра движения ($\vec{v}$, $\vec{a}$,$\vec{\omega}$,$\vec{\varepsilon}$, v, a, ε, ω, a_τ, a_n) по известному закону движения $\vec{r} = \vec{r}(t)$ или $\varphi = \varphi(t)$.

Метод решения такой задачи кинематики заключается в последовательном применении определений кинематических величин и соотношений, связывающих эти величины. Зная закон движения, можно определить любой параметр движения.

Пример 1.

Радиус-вектор материальной точки изменяется со временем по закону $\vec{r}(t) = 3t^2\vec{i}+5t\vec{j}$ *(м)*. Найти векторы скорости $\vec{v}$ и ускорения $\vec{a}$, а также их модули для произвольного момента времени *t*.

Дано:
$\vec{r}(t) = 3t^2\vec{i}+5t\vec{j}$(*м*).
Найти: $\vec{v}(t)$, $\vec{a}(t)$, $v(t)$, *a*.

Решение: запишем компоненты радиус-вектора и кинематические уравнения движения:

$$x(t)=3t^2 \text{ (м)},$$

$$y(t)=5t \text{ (м)}.$$

По определению скорость – это первая производная по времени от радиус-вектора, а ее компоненты – первые производные от соответствующих координат. Следовательно:

$$v_x = \dot{x} = \frac{dx}{dt} = \frac{d(3t^2)}{dt} = 6t \text{ м/с};$$
$$v_y = \dot{y} = \frac{dy}{dt} = \frac{d(5t)}{dt} = 5 \text{ м/с}.$$

Ускорение, согласно определению, есть первая производная по времени от вектора скорости. Соответственно:

$$a_x = 6 \text{ м/с}^2; \qquad a_y = 0.$$

Таким образом:

$$\vec{v}(t) = 6t\vec{\imath} + 5\vec{\jmath}\,; \;\; \vec{a} = 6\vec{\imath}.$$

Модуль вектора находим как корень квадратный из суммы квадратов его компонентов:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{36t^2 + 25} \text{ (м/с)}, \qquad a = 6 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $\vec{v}(t) = 6t\vec{\imath} + 5\vec{\jmath}$; $\vec{a} = 6\vec{\imath}$; $v = \sqrt{36t^2 + 25}$ (м/с); a=6 м/с^2.

1.2 *Обратная задача кинематики* заключается в определении кинематического закона движения по какому-либо известному параметру движения и заданным начальным условиям.

Метод решения обратной задачи также основан на применении определений кинематики, но вместо дифференцирования по времени t теперь выполняется интегрирование дифференциальных уравнений. Появляющиеся при этом константы интегрирования находят из начальных условий.

Пример 2.

Поезд движется прямолинейно со скоростью v_0 =90 км/ч. Внезапно на пути возникает препятствие и машинист включает тормозной механизм. С этого момента скорость поезда изменяется по закону:

$v = v_0 - bt^2$, где b=1 м/с^3.

Каков тормозной путь поезда? Через какое время после начала торможения он остановится?

Дано:
v_0 =90 км/ч=
=25 м/с;
$v = v_0 - bt^2$;
b=1 м/с^3.
Найти: $t_{\text{торм}}$,
$S_{\text{торм}}$.

Решение: По определению мгновенная путевая скорость есть производная от пути по времени:

$$v = \frac{dS}{dt} \qquad (1.1.1)$$

Тогда бесконечно малый отрезок пути dS, проходимый телом за бесконечно малый промежуток времени dt, равен произведению:

$$dS = vdt = (25 - t^2)dt. \qquad (1.1.2)$$

Время торможения можно найти из условия, что скорость равна нулю:

$$t_{\text{торм.}} = \sqrt{\frac{v_0}{b}} = \sqrt{\frac{25}{1}} = 5\ c.$$

Интегрируя уравнение (1.2.2) и подставляя пределы, получим величину тормозного пути:

$$S_{\text{торм}} = \int_0^5 (25\text{-}t^2)dt = \left(25t\text{-}\frac{t^3}{3}\right)\Big|_0^5 = 125\text{-}\frac{125}{3} = 83{,}3 \text{ м}$$

Ответ: $t_{\text{торм}}$=5 с; $S_{\text{торм}}$=83,3 м.

1.3 *Основная задача динамики* заключается в определении механического состояния системы в произвольный момент времени по заданным силам и состоянию системы в начальный момент времени.

Метод решения основной задачи динамики заключается в применении соответствующих рассматриваемой системе основных законов динамики. Интегрированием полученных при этом уравнений движения находят зависимости $\vec{p}(t)$ и $\vec{L}(t)$, которые показывают, как в процессе движения изменяются, соответственно, векторы импульса и момент импульса частицы или твердого тела.

Пример 3.

Частице массой m сообщена начальная скорость $\vec{v}_0$ под некоторым углом к горизонту. Траектория полета частицы лежит в плоскости xy. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найти зависимость от времени импульса частицы $\vec{p}(t)$.

Дано: m; $\vec{v}_0$.

Найти: $\vec{p}(t)$.

Решение: основной закон динамики материальной точки имеет вид:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}. \qquad (1.1.3)$$

Единственная сила, действующая на частицу в данном случае – это сила тяжести, направленная вертикально вниз и равная:

$$\vec{F} = m\vec{g}. \qquad (1.1.4)$$

Подставим (1.1.4) в (1.1.3), получим для бесконечно малого приращения вектора импульса частицы $d\vec{p}(t)$, которое она приобретает за бесконечно малый промежуток времени dt:

$$d\vec{p} = m\vec{g}dt. \qquad (1.1.5)$$

Проинтегрируем (1.1.5) и получим:

$$\vec{p}(t) = m\vec{g}t + \vec{C}, \qquad (1.1.6)$$

где $\vec{C}$ – постоянная интегрирования.

Для нахождения постоянной интегрирования применим начальные условия: при t=0 импульс $\vec{p}_0 = m\vec{v}_0$. Выходит: $\vec{C}$= $m\vec{v}_0$.

Таким образом, решение задачи имеет вид:

$$\vec{p}(t) = m\vec{v}_0 + m\vec{g}t. \qquad (1.1.7)$$

Ответ: $\vec{p}(t) = m\vec{v}_0 + m\vec{g}t$.

1.4 Общий *метод решения* задач динамики состоит в определении ускорения частицы или центра масс твердого тела. В этом случае следует:

- выяснить, с какими телами взаимодействует рассматриваемое тело, найти величину, направление и точку приложения каждой из сил;
- сделать схематический рисунок и указать на нем с помощью векторов все приложенные силы и ускорение;
- выбрать инерциальную систему отсчета и записать для рассматриваемого тела уравнение динамики в векторной форме:

$$m\boldsymbol{a} = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2 + \ldots + \boldsymbol{F}_N.$$

Если силы действуют не по одной прямой, то выбирают две взаимноперпендикулярные оси OX и OY. Спроектировав все векторы, входящие в векторное уравнение на эти оси, записывают второй закон Ньютона в виде двух скалярных уравнений:

$$ma_x = \Sigma F_{ix};$$

$$ma_y = \Sigma F_{iy}.$$

Если задано криволинейное движение, то одну из осей направляют вдоль касательной к траектории, а другую – по нормали к ней.

Если в задаче рассматривается движение системы связанных между собой тел, то следует уравнение движения записать для каждого тела в отдельности. Затем записывают в виде уравнений кинематические условия, связывающие ускорения отдельных тел системы.

Проверив, совпадает ли число неизвестных с числом уравнений, решают полученную систему уравнений.

После того, как найдено ускорение частицы (или центра масс твердого тела), определение скорости (импульса) и закона движения сводится к решению обратной задачи кинематики.

1.5 *Законы сохранения* в механике позволяют рассматривать общие свойства движения без решения дифференциальных уравнений и детальной информации о развитии процессов во времени.

Общим для всех законов сохранения является утверждение о сохранении какой-то физической величины, обозначим ее *A,* при определенных условиях. Набор этих условий обозначим через *B.*

Метод применения законов сохранения в самом общем виде предполагает:

выяснить, какие тела следует включить в рассматриваемую физическую систему;

рассмотреть процесс взаимодействия тел в данной системе, выделив:

а) состояние системы до взаимодействия;

б) состояние тел после их взаимодействия;

в) сам процесс взаимодействия;

проверить, выполняются ли условия *В* в данной системе, то есть, в случае применения закона сохранения механической энергии следует убедиться, что все силы, действующие в данной механической системе, являются консервативными;

- выбрать инерциальную систему отсчета, относительно которой определяют значение величины A_1 (до взаимодействия);

- определить значение величины A_2 в конце взаимодействия;

- записать закон сохранения в виде уравнения:

$$A_1 = A_2$$

и решить его относительно искомой величины;

- если сохраняющаяся величина векторная, то полученное векторное уравнение спроецировать на соответствующие оси координат. Решить совместно полученную систему уравнений.

1.6 *Основная задача* термодинамики равновесных процессов заключается в нахождении всех термодинамических состояний системы. Если известны начальное и все промежуточные состояния системы, то можно определить изменение внутренней энергии, найти работу, совершенную системой, рассчитать количество теплоты, полученное (или отданное) системой и т.д.

Метод решения типовых задач термодинамики основан на применении уравнения состояния (например, идеального газа), первого и второго законов термодинамики, соотношений для внутренней энергии и теплоемкостей, которые дает классическая теория. Но, прежде всего, приступая к решению задачи, необходимо выяснить характер процесса, протекающего в газе (если об этом не оговорено в условии).

Пример 4.

Баллон емкостью *V* с известным газом, находящимся при давлении P_1 и температуре T_1, нагревают до T_2. Какое количество теплоты при этом поглощает газ?

Дано: V, P_1, T_1, T_2, i.

Найти: Q.

Решение: объем *V* баллона постоянный, поэтому процесс нагревания газа является изохорным. При изохорном процессе работа не совершается. Поэтому первое начало термодинамики для изохорного процесса:

$$Q = \Delta U.$$

Внутренняя энергия идеального газа равна:

$$U = C_V \frac{m}{\mu} T = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT = \frac{i}{2} PV,$$

здесь использовано уравнение Менделеева-Клапейрона и выражение для молярной теплоемкости идеального газа (по классической теории теплоемкости) при постоянном объеме.

Таким образом, искомое количество теплоты равно:

$$Q = U_2 - U_1 = \frac{i}{2} V(P_2 - P_1) = \frac{i}{2} P_1 V(\frac{T_2}{T_1} - 1).$$

Здесь мы применили закон Шарля для изохорного процесса:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Ответ: $Q = \frac{i}{2} P_1 V \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right)$.

Приложение А

А.1 Какие системы отсчета называются инерциальными? Перечислите основные кинематические характеристики движения материальной точки и систематизируйте их в две группы: а) инвариантные величины; б) неинвариантные. (Для случая нерелятивистских движений υ<<с).

А.2 Тело брошено с начальной скоростью υ_0 под углом α к горизонту. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало: а) нарисовать траекторию тела. Изобразить на рисунке векторы мгновенной скорости, ускорения $\vec{a}$, нормального a_n и тангенциального a_τ ускорений в точках траектории, соответствующих: а) началу движения (сразу после броска); б) наивысшей точке подъема; в) концу движения (непосредственно перед падением).

А.3 Что можно сказать о скорости и ускорении точки, если ее траектория – винтовая линия? Ответ поясните рисунком.

А.4 Точка движется по расширяющейся спирали так, что ее нормальное ускорение остается постоянным. Как изменяются при этом линейная v и угловая ω скорости?

А.5 Шар массы m_2, имеющий скорость $\vec{\upsilon}$, налетает на покоящийся шар массы m_1. Могут ли после соударения скорости шаров $\vec{\upsilon}_1$ и $\vec{\upsilon}_2$ иметь направления, показанные на рисунке А.1. В случае положительного ответа, сформулируйте условия для угла α.

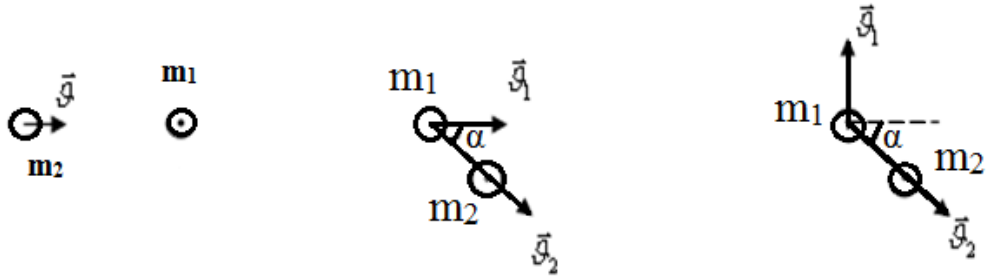

Рисунок А.1

А.6 Нормальное ускорение частицы постоянно по модулю. Что можно сказать о форме траектории частицы в случаях, когда проекция тангенциального ускорения на направление движения: а) равна нулю; б) положительная; в) отрицательная?

А.7 Движение материальной точки задано уравнениями $x=R\cdot sin\,\omega t$, $y=R\cdot cos\,\omega t$, где R–положительная постоянная. Найдите уравнение траектории движения этой материальной точки. Изобразите на рисунке траекторию и покажите для двух ее произвольных точек направления векторов скорости и ускорения. Изменяется ли сила, действующая на материальную точку: а) по модулю; б) по направлению?

А.8 Движение материальной точки задано уравнениями $x=\alpha t^2$, $y=\beta t$, где α и β - положительные постоянные. Найдите уравнение траектории движения этой материальной точки. Изобразите на рисунке траекторию и покажите для двух ее произвольных точек направления векторов скорости и ускорения. Изменяется ли сила, действующая на материальную точку: а) по модулю; б) по направлению?

А.9 Частица движется равномерно по окружности против часовой стрелки. Изобразите на рисунке траекторию движения и укажите:

а) направление импульса $\vec{p}$ частицы для двух моментов времени, разделенных промежутком времени, равным $\Delta t=T/4$ (T – период обращения);

б) вектор приращения $\Delta\vec{p}$ импульса за указанный промежуток времени. Чему равен его модуль $|\Delta\vec{p}|$, если модуль импульса равен $|\vec{p}| = 0{,}5\ \frac{кг \cdot м}{с}$?

А.10 Сравните модуль силы натяжения нити математического маятника в крайнем положении с модулем силы натяжения нити конического маятника. Длины нитей, массы грузов и углы отклонения маятников одинаковы.

А.11 Прыгун, отталкиваясь от трамплина, выполняет в воздухе несколько полных оборотов, при этом свертывается клубком, а затем при входе в воду снова выпрямляет тело: а) какую траекторию описывает при этом его центр масс? б) какие законы сохранения выполняются при этом? в) опишите кинематику движения (характер изменения линейной скорости центра масс и угловой скорости вращения).

А.12 Выведите формулы для скоростей тел после абсолютно неупругого удара для случая, когда тело массы m_1 налетает со скоростью $\vec{\upsilon}_1$ на покоящееся тело массы m_2. Проанализируйте полученные результаты для случаев: а) $m_1 >> m_2$; б) $m_1 << m_2$.

А.13 Человеку, стоящему на неподвижной скамье Жуковского, дали в руки вращающееся колесо с вертикально ориентированной осью. Сначала человек держал вращающееся колесо над головой, затем повернул ось колеса на 180°. В каком направлении будет вращаться скамья? Какой закон следует применить, чтобы дать ответ на вопрос?

А.14 Горный ручей с сечением потока S образует водопад высотой h. Скорость течения воды в ручье v. Найти мощность водопада. Подобрать числовые параметры задачи для мощности N=10 *кВт*.

А.15 Предположим, что вниз по наклонной плоскости скатываются три тела одинаковой массы, имеющие одинаковые радиусы: полый цилиндр, шар и сплошной цилиндр. Какое тело скатится быстрее? Что изменится, если у тел будут разные массы? Разные радиусы? Ответы обоснуйте.

А.16 Начертите и объясните графики зависимости плотности ρ идеального газа в зависимости от температуры T при изотермическом, изобарном и изохорном процессах.

А.17 Почему как бы велика ни была скорость воздуха, образующего сильный ветер, она не сделает его горячим?

А.18 Обсудите и перечислите факторы, которые не позволяют реальным двигателям достигать предельного КПД двигателя Карно.

А.19 Давление газа $p \sim n \langle \varepsilon_{пост} \rangle$. В каком изопроцессе одновременно с возрастанием n увеличивается и $\langle \varepsilon_{пост} \rangle$? Объясните ответ.

А.20 Некоторый газ с неизменной массой переводится из одного равновесного состояния в другое. Изменяется ли в распределении молекул по скоростям: а) положение максимума кривой Максвелла; б) площадь под этой кривой? Если изменяется, то почему?

А.21 Имеются два разных газа в цилиндрах, находящихся при одинаковых параметрах состояния. Один газ одноатомный, другой – двухатомный. Сначала они в одинаковой степени расширяются изотермически, а затем адиабатически. Какой из них совершил большую работу при изотермическом расширении? Почему? Какой – при адиабатическом расширении? Почему? Покажите процессы на *p, V* – диаграмме.

А.22 Для газа дано: p, V, i=5. Что можно вычислить по этим данным: а) внутреннюю энергию газа; б) энергию поступательного движения всех молекул; в) удельные теплоемкости C_v и C_p? Ответы поясните.

А.23 Газ расширяется изотермически, затем сжимается адиабатно до начального объема. Объясните, как изменилась энтропия газа.

А.24 Газ расширяется обратимо: а) изотермически; б) изобарно; в) адиабатно. Начальные и конечные объемы во всех процессах совпадают. В каких случаях прирост энтропии газа минимален и максимален?

А.25 Газ переходит из состояния 1 в состояние 2 (рисунок А.2) в одном случае непосредственно, во втором – через состояния 3 и 4. Что можно сказать о приращении энтропии в этих случаях? Ответ доказать прямым расчетом.

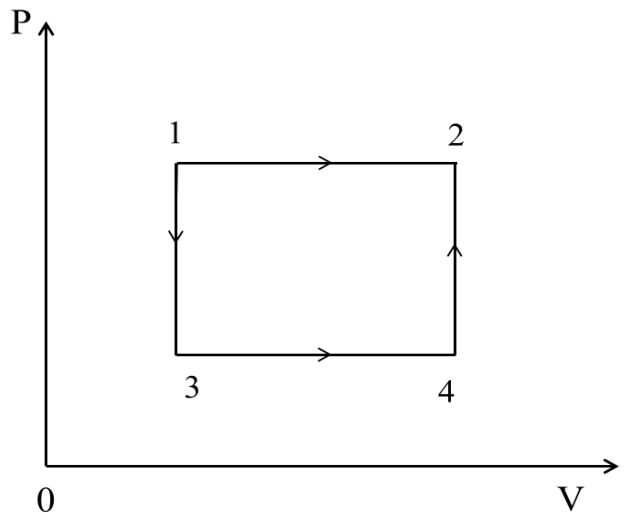

Рисунок А.2

А.26 В равновесном процессе в газе, представленном графиком АВС (рисунок А.3). Точки А и С лежат на адиабате. Отличны ли от нуля в этом процессе: а) количество поглощенной газом теплоты; б) изменение энтропии?

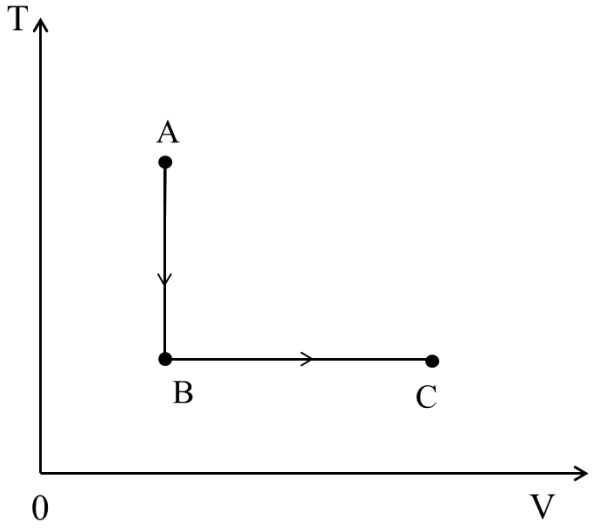

Рисунок А.3

А.27 Можно ли вычислить: а) массу m_0 молекулы газа по данному значению его молярной массы *M*; б) концентрацию молекул по данным значениям плотности ρ и молярной массы *M*; в) среднее расстояние между молекулами по данным значениям *M, V, m*? Ответы обоснуйте.

А.28 До какой температуры при нормальном атмосферном давлении надо нагреть кислород, чтобы его плотность стала равна плотности азота при нормальных условиях?

А.29 Что такое вечный двигатель второго рода? Почему невозможно осуществить периодически действующий вечный двигатель, комбинируя изотермическое расширение с адиабатическим процессом сжатия?

А.30 Что такое вечный двигатель второго рода? Может ли вечный двигатель второго рода в качестве нагревателя использовать воду океанов и морей, забирая из нее внутреннюю энергию в форме теплоты и непрерывно преобразовывая ее в работу?

2 РГР №2. Электродинамика

Цель: изучить основные законы электростатики, постоянного тока и электромагнетизма, научиться применять их при решений типовых задач по теме.

Задания по расчетно–графической работе № 2.

Таблица 2 – Варианты заданий

№	Чертов А.Г., Воробьёв А.А. «Задачник по физике». - М.,2006. – 640 с.	Волькенштейн В.С. «Сборник задач по общему курсу физики».- М., 2003.	Иродов И.Е. «Задачник по общей физике». – М., 2001.	Приложение В
А.1	15.41; 17.6; 23.4; 25.6; 26.8	10.8; 11.3		1
А.2	18.4, 19.25; 21.5; 22.5	9.45; 11.117; 1.94		2
А.3	23.1; 25.7; 26.3	9.24; 9.53; 10.36; 11.7		3
А.4	14. 6; 21.7; 22.6	9.103; 10.22; 11.93; 11.114		4
А.5	14.4; 19.27; 21.10; 22.3; 25.8; 26.4	9.43		5
А.6	10.37;15.41; 17.4; 23.2	11.17; 11.95; 11.109		6
А.7	14.5; 18.2; 19.26; 22.4; 26.6	9.46; 11.98		7
А.8	15.42; 17.7; 21.9; 22.8	9.13; 11.112		8
А.9	14.7; 19.29; 22.7; 26.9	9.42 ; 11.9; 11.97		9
В.10	14.17; 15.43; 21.18; 25.10; 26.10	10.25; 11.79		10
В.11	14.8; 15.44; 17.11; 21.24; 23.21 25.9	11.130		11
В.12	15.46; 17.13; 21.27; 25.27; 26.14	9.31; 11.81		12
В.13	14.9; 15.47; 17.9; 21.19; 23.24, 25.21	11.129		13
В.14	14.24; 15.45; 23.26; 25.15; 26.11	9.69; 11.23		14
В.15	14.22; 17.12; 21.20; 23.20; 23.27, 25.24; 26.20			15
В.16	14.10; 18.14; 23.19; 23.30; 25.23	11.26; 11.127		16
В.17	14.13; 15.49; 18.11; 21.32; 25.28; 26.17	11.87		17
В.18	14.11; 15.48; 17.10; 19.31; 23.22; 26.13	11.25		18
В.19	14.18; 15.45; 17.15; 20.6; 21.26; 23.18; 26.22			19
В.20	14.25; 15.47; 18.5; 19.33; 25.29; 26.12	11.83		20
В.21	14.12; 15.50; 20.9; 23.28;	9.101; 11.129		21

	25.18			
B.22	14.20; 15.46; 18.9; 19.34; 21.29; 23.29; 25.17			22
B.23	14.19; 15.49; 18.6; 20.11; 25.11; 26.24	11.85		23
B.24	14.15; 15.42; 18.7; 20.5; 21.31; 23.25; 25.20			24
B.25	14.26; 15.50; 18.10; 19.32; 21.27; 25.26	11.86		25
B.26	14.16; 15.48; 18.8; 21.30; 23.15; 26.18	10.49		26
C.27	23.33		3.7; 3.193; 3.222; 3.331; 3.290	27
C.28	23.37		3.8; 3.101; 3.189; 3.227; 3.334; 3.302	28
C.29	23.40		3.10; 3.103; 3.185; 3.236; 3.335; 3.294	29
C.30	23.36		3.13; 3.131; 3.186; 3.221; 3.330; 3.305	30

2.2 Методические указания и примеры решения задач по теме РГР №2

Основная задача электростатики заключается в расчете электрического поля, созданного произвольным распределением зарядов. Рассчитать электростатическое поле - это значит в каждой его точке определить вектор напряженности E или потенциал φ.

Общий универсальный метод расчета электростатического поля в вакууме основан: а) на применении принципа суперпозиции и б) решении уравнения Пуассона (или Лапласа).

Обратить внимание на то, что применение теоремы Гаусса в интегральной форме для расчета полей эффективно в тех случаях, когда поле обладает специальной симметрией. Симметрия, а следовательно, и конфигурация поля должны быть такими, чтобы можно было подобрать сферическую или цилиндрическую замкнутую поверхность, вычисление потока вектора напряженности или электрического смещения сквозь которую свелось бы к умножению E (или D) на площадь S этой гауссовой поверхности (или ее части).

Пример 1. Положительный заряд q равномерно распределен по проволочному кольцу радиуса R (рисунок 2.1). Определить напряженность E поля в точке C, лежащей на оси кольца на расстоянии z от его центра 0.

Решение: в соответствии с общим методом решения основной задачи электростатики разделим кольцо на элементарные (т.е. очень малые) участки $d\ell$ так, чтобы заряд dq каждого такого участка можно было считать точечным. Иначе говоря, заряд, распределенный непрерывно, заменим эквивалентной ему системой точечных зарядов.

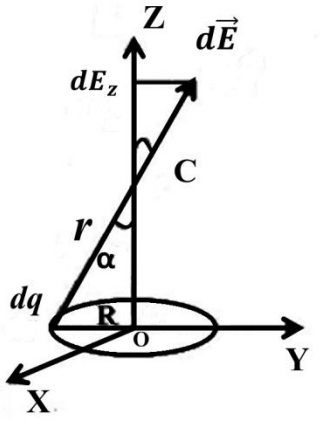

Рисунок 2.1

Тогда модуль напряженности dE поля, создаваемого прооизвольно выделенным точечным зарядом в точке C, удаленной от него на расстоянии:

$$r = \sqrt{R^2 + z^2}\ ;$$

$$dE = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{dq}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{dq}{(R^2 + z^2)}\ . \quad (2.2.1)$$

Согласно принципу суперпозиции напряженность поля равна геометрической сумме всех полей, создаваемых каждым из точечных зарядов dq кольца: $\vec{E} = \int\limits_{\Gamma} d\vec{E}$

где Γ – обозначает линию, вдоль которой распределен заряд – кольцо в нашем случае.

Поскольку направления векторов dE не совпадают между собой (они образуют поверхность конуса с вершиной в точке С), то следует найти проекцию вектора dE на ось $0Z$.

Для этого воспользуемся свойством прямоугольного треугольника, которое связывает прилежащий катет с гипотенузой:

$$dE_Z = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{dq}{(R^2 + z^2)} \cos\alpha = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{dq}{(R^2 + z^2)} \cdot \frac{z}{\sqrt{(R^2 + z^2)}} = \frac{zdq}{4\pi\varepsilon_0 (R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}\ . \quad (2.2.2)$$

В соответствии с принципом суперпозиции необходимо сложить проекции dE_z полей, создаваемых в искомой точке C всеми точечными зарядами dq кольца. Предел этой суммы - это криволинейный (контурный) интеграл, взятый вдоль проволочного кольца – окружности радиуса R:

$$E_Z = \int dE_Z = \frac{z}{4\pi\varepsilon_0 \sqrt{(R^2 + z^2)^3}} \int dq = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{z \cdot q}{\sqrt{(R^2 + z^2)^3}}\ . \quad (2.2.3)$$

При равномерном распределении заряда по кольцу из соображений симметрии следует, что в точках, лежащих на оси кольца, напряженность поля направлена вдоль этой оси. Следовательно, остальные ее проекции равны нулю $E_y = E_x = 0$, а модуль, таким образом, равен:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{z \cdot q}{\sqrt{(R^2 + z^2)^3}}\ . \quad (2.2.4)$$

Ответ: $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{z \cdot q}{\sqrt{(R^2 + z^2)^3}}$.

Основная задача теории постоянного тока — это расчет электрической цепи, когда задана некоторая электрическая цепь и отдельные ее параметры, например, ЭДС и сопротивление, и требуется найти силы токов, напряжение на некотором участке цепи, работу, мощность, коэффициент полезного действия и т.п.

Общий метод решения основан на последовательном применении закона Ома для замкнутой цепи и закона Ома для неоднородного (или однородного) участка цепи, законов Джоуля-Ленца. Применение законов Ома позволяет полностью рассчитать токи в цепи с одним источником ЭДС, либо несколькими источниками ЭДС, соединенными последовательно, а также в тех случаях, когда имеются батареи, состоящие из совершенно одинаковых источников тока. В последнем случае такую батарею в расчетах заменяют одним эквивалентным источником тока ($\mathscr{E}_{экв}$, $r_{экв}$).

Основная задача теории магнитного поля заключается в расчете магнитной индукции поля, созданного системой токов и движущихся электрических зарядов.

Общий метод расчета магнитных полей основан на применении закона Био-Савара-Лапласа в дифференциальной форме и принципа суперпозиции.
Второй метод расчета полей основан на применении теоремы о циркуляции вектора магнитной индукции или напряженности (закон полного тока). Однако его применение ограничено симметричными полями, когда через точку, в которой требуется определить вектор $B(H)$, можно провести такой замкнутый контур Γ, совпадающий с линией индукции поля, во всех точках которого индукция была бы одинакова по модулю. В этом случае циркуляция вектора B по контуру Γ находится как произведение:

$$\int B \cdot d\ell = B \cdot \ell,$$

где ℓ - длина данного контура.

Основная задача по теме «Электромагнитная индукция» заключается в нахождении ЭДС индукции или индукционных токов. В этом случае вначале необходимо определить закон изменения полного магнитного потока, пронизывающего заданный контур, и затем применить закон Фарадея.

Пример 2.

Два параллельных бесконечно длинных провода D и C, по которым текут в одном направлении электрические токи силой I = 60 А, расположены на расстоянии $d = 10$ см см друг от друга. Определить магнитную индукцию B поля, создаваемого проводниками с током в точке A (рисунок 2.2), отстоящей от оси одного проводника на расстоянии $r_1 = 5$ см, от другого $r_2 = 12$ см.

Дано: $I_1 = I_2 = I = 60\ A$;

Решение: для нахождения магнитной индукции B в точке A воспользуемся

$d = 10$ см $= 10^{-1}$ м;
$r_1 = 5$ см $= 5 \cdot 10^{-2}$ м;
$r_2 = 12$см $= 12 \cdot 10^{-2}$ м;

Найти: B =?

принципом суперпозиции магнитных полей. Для этого определим направления магнитной индукции B_1 и B_2 полей, создаваемых каждым проводником с током в отдельности, и сложим их геометрически:

$$\vec{B} = \overrightarrow{B_1} + \overrightarrow{B_2}.$$

Абсолютное значение магнитной индукции B может быть найдено по теореме косинусов для параллелограмма:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 - 2B_1B_2\cos\alpha}, \qquad (2.2.5)$$

где α угол между векторами $\overrightarrow{B_1}$и $\overrightarrow{B_2}$. Значения магнитных индукций (здесь и далее, если не указана среда, имеется в виду, что проводник находится в вакууме и, следовательно, μ= 1) B_1 и B_2 выражаются соответственно через силу тока и расстояния r_1 и r_2 от проводов до точки А:

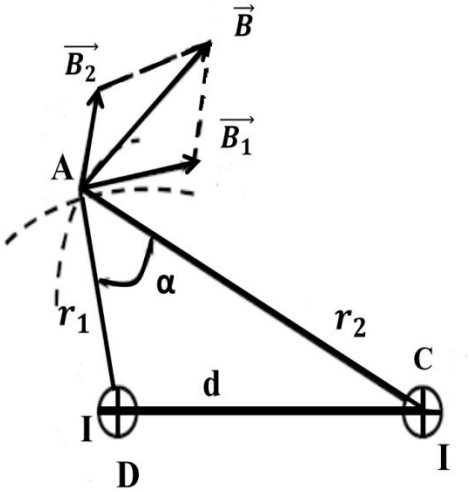

Рисунок 2.2

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1};\ B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_2}.$$

Подставляя выражения B_1 и B_2 в формулу (2.2.1) и вынося $\left(\frac{\mu_0 I}{2\pi}\right)$ за знак корня, получим:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} - \frac{2}{r_1 r_2}\cos\alpha}\,. \qquad (2.2.6)$$

Вычислим $\cos\alpha$. Заметив, что $\alpha = \angle DAC$ (как углы с соответственно перпендикулярными сторонами), по теореме косинусов (для треугольника) запишем:

$$d^2 = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2\cos\alpha},$$

где d – расстояние между проводами. Отсюда

$$\cos\alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1r_2}.$$

После подстановки числовых значений получим:

$$\cos\alpha = \frac{5^2 + 12^2 - 10^2}{2 \cdot 5 \cdot 12} = \frac{23}{40}.$$

Подставляя в формулу (2.2.2) значения I, r_1и $r_2 \cos\alpha$, определяем искомую индукцию:

$$B = \frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-7} \cdot 60}{2 \cdot 3{,}14} \sqrt{\frac{1}{(0{,}05)^2} + \frac{1}{(0{,}12)^2} + \frac{1}{0{,}05 \cdot 0{,}12} \cdot \frac{23}{40}} \text{Тл} = 308 \text{ мкТл}.$$

Ответ: $B = 308$ мкТл.

Пример 3.

Рассмотрим простейшую схему генератора переменного тока. В однородном магнитном поле равномерно с частотой n=50 оборотов в секунду вращается рамка, содержащая N=100 витков прямоугольной формы, размеры которых 40 см×30 см. Катушка вращается вокруг оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярной к направлению магнитного поля (рисунок 2.3). Найти величину индукции B магнитного поля, если действующее значение ЭДС индукции равно 220 В.

Дано:
N=100;
$a \times b$= 40 см×30 см;
ν= 50 c^{-1};
U =220V.
Найти: B=?

Решение: в нашем случае проводящий контур вращается в постоянном магнитном поле, так что изменение магнитного потока есть результат изменения ориентации плоскости рамки относительно направления вектора B магнитной индукции. В случае однородного магнитного поля и плоского контура магнитный поток через один из витков равен: $\Phi_1 = B\frac{\pi d^2}{4}\cos\alpha$.

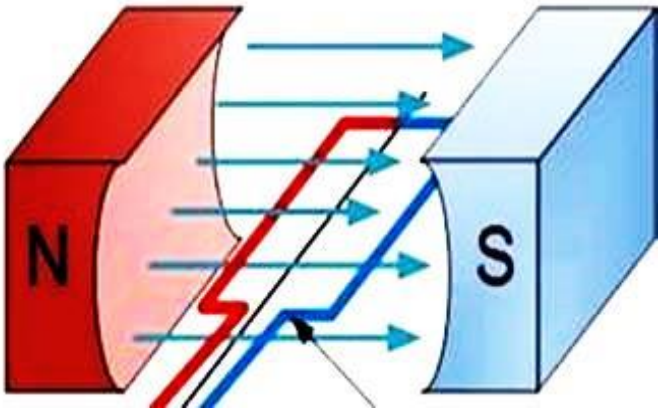

Рисунок 2.3

Угол α *меняется вследствие равномерного вращения по закону* $\alpha = \omega t = 2\pi\nu t$. Поэтому магнитный поток сквозь один и витков равен:

$$\Phi_1 = Bab \cdot \cos 2\pi\nu t,$$

а полный магнитный поток (потокосцепление) сквозь все витки катушки равен:

$$\Psi = NBab \cdot \cos 2\pi\nu t.$$

Применив закон Фарадея, получим для мгновенных значений ЭДС индукции:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Psi}{dt} = 2\pi\nu NBab \cdot \sin 2\pi\nu t.$$

Откуда находим амплитудное значение индуцированного напряжения:

$$U_{max} = \mathcal{E}_{imax} = 2\pi\nu NBab.$$

Действующее значение для напряжения, изменяющегося по закону синуса или косинуса в $\sqrt{2}$ меньше. Окончательно:

$$B = \frac{2U_{max}}{\nu NBab}. = \frac{2 \cdot 310}{50 \cdot 100 \cdot 0.4 \cdot 0.3} = 1{,}033\ Тл.$$

Ответ: B= $1{,}033\ Тл$.

В некоторых задачах такой контур указать невозможно. Ниже рассмотрен пример решения такой задачи.

Пример 4.

Тонкий металлический стержень длины ℓ вращается с частотой ν в однородном магнитном поле индукцией B вокруг оси, перпендикулярной к стержню и проходящей через один из его концов. Определить разность потенциалов U, возникающую между концами стержня.

Дано: ℓ, ν, B Найти: U = ?	Решение: поскольку величина U определяется как работа сил электрического поля по перемещению единичного заряда, то необходимо сначала уяснить, как в заданной физической ситуации возникает электрическое поле и затем определить его напряженность E.

Для этого рассмотрим свободные электроны в металлическом стержне. Из-за вращения стержня в магнитном поле на свободные электроны действует сила Лоренца, которая зависит от скорости их движения. На рисунке 2.4 стержень вращается против часовой стрелки вокруг оси, проходящей через его левый конец (точка *O*), вектор магнитной индукции *B* направлен перпендикулярно плоскости рисунка «от нас» (отмечено крестиками). Магнитная сила, действующая на электрон, находящийся на расстоянии *r* от точки *O*, равна:

$$F_л = qvB\sin\alpha\,,$$

где скорость *v* электрона, обусловленная его движением вместе со стержнем, равна:

$$v = \omega r = 2\pi\nu r\,.$$

Под действием силы Лоренца электроны станут перемещаться в стержне, при этом произойдет перераспределение заряда и возникнет электрическое поле, которое действует на электроны силой F_e, направленной

противоположно силе $F_м$. Равновесное распределение заряда установится при равенстве этих сил $F_м=F_е$, при этом напряженность электрического поля в стержне зависит от расстояния r до точки O:

$$E = vB = 2\pi vrB.$$

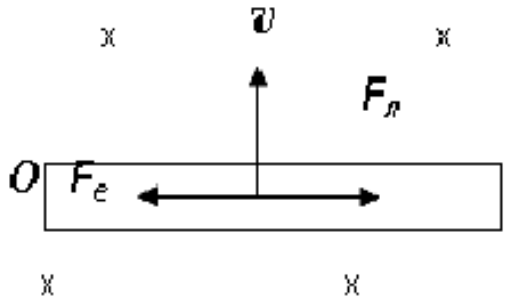

Рисунок 2.4

Разность потенциалов между концами стержня определим, используя соотношение:

$$U = \int_1^2 Edr = \int_0^\ell 2\pi vrBdr = \pi vB\ell^2 .$$

Таким образом, искомая разность потенциалов равна: $U = \pi vB\ell^2$.

Ответ: $U = \pi vB\ell^2$.

Приложение Б

Б.1 В однородное электростатическое поле напряженности E влетает протон, движущийся со скоростью v. Опишите характер движения протона и нарисуйте траектории в случаях, когда направление его скорости: а) совпадает с направлением вектора напряженности; б) противоположно направлению вектора напряженности; в) перпендикулярно линиям напряженности поля.

Б.2 Известно, что поле плоского конденсатора однородно. Пусть напряженность его E, а заряд на обкладках конденсатора q. Равна ли произведению qE сила, действующая на каждую из пластин конденсатора? Дайте ответ и докажите справедливость своего утверждения.

Б.3 В однородное электростатическое поле помещена плоская пластина из диэлектрика, в результате чего поле изменилось, как показано на рисунке Б.1. Исходя из свойств векторов $\vec{D}$ и $\vec{E}$, определите: а) линии какого из векторов показаны на рисунке? б) какая из диэлектрических проницаемостей больше – вещества пластины ε_2 или окружающей среды ε_1?

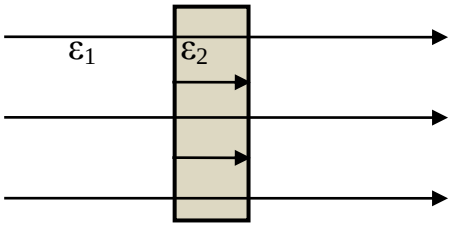

Рисунок Б.1

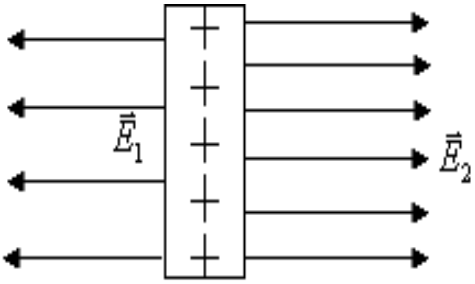

Рисунок Б.2

Б.4 Заряженная металлическая пластинка находится в электрическом поле, показанном на рисунке Б.2. Заряд пластинки равен q. Слева от пластинки напряженность поля равна E_1, справа – E_2. Правильно ли предположение, что сила, действующая на пластинку, равна $F=q(E_2-E_1)$? Краевыми эффектами пренебречь.

Б.5 Два плоских конденсатора, один с воздушным зазором, а в другом зазор заполнен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε=2, имеют одинаковые геометрические размеры, соединены параллельно и заряжены до некоторой разности потенциалов. Определить, в каком из конденсаторов большая напряженность E, а в каком – смещение D, в каком - плотность энергии, и на обкладках какого конденсатора больше поверхностная плотность зарядов σ.

Б.6 Можно ли прочесть формулу $C=q/U$ так: емкость проводника прямо пропорциональна величине заряда и обратно пропорциональна его потенциалу, а формулу $R=\Delta\varphi/I$ – сопротивление проводника прямо пропорционально разности потенциалов и обратно пропорционально проходящему току? Ответ обоснуйте.

Б.7 Ток течет по проводнику переменного сечения. Используя законы постоянного тока, определите, одинакова ли напряженность поля (E) в узком (площадью S_1) и широком (S_2) сечениях? На основании полученного результата определите соотношение между скоростями дрейфа (упорядоченного движения) $< u_1 >$ и $< u_2 >$электронов в этих сечениях.

Б.8 Имеется ли вблизи поверхности проводника, по которому течет постоянный ток, электрическое поле? Каковы свойства этого поля? Что общего и каковы различия в свойствах этого поля по сравнению с электростатическим полем?

Б.9 Что такое короткое замыкание? Как изменится ток короткого замыкания $I_{кз}$, если два одинаковых источника тока пересоединить из параллельного соединения в последовательное ?

Б.10 В каком случае два последовательно соединенных гальванических элемента, замкнутые на внешнее сопротивление, дадут меньший ток, чем один из этих элементов, включенный на то же сопротивление?

Б.11 Согласно формуле $P = \frac{U^2}{R}$, мощность, рассеиваемая резистором, должна уменьшаться с ростом сопротивления, а формула $P = I^2 R$ подразумевает обратное. Нет ли здесь противоречия? Объясните.

Б.12 Почему нить электролампы сильно нагревается, а подводящие провода остаются холодными?

Б.13 Для передачи электроэнергии на большие расстояния используются очень высокие напряжения. Объяснить, почему высокие напряжения позволяют уменьшить потери в линиях передачи.

Б.14 Превышает ли полезная мощность, расходуемая при зарядке аккумулятора, мощность, затрачиваемую на тепловыделение?

Б.15 Электромотор постоянного тока подключили к напряжению U. Сопротивление обмотки якоря R. При каком значении тока через обмотку полезная мощность будет максимальной? Чему она равна? Каков при этом К.П.Д. мотора?

Б.16 Пространство между двумя электродами, представляющими собой концентрические сферы радиусов R_1 и R_2, заполнено однородной проводящей средой с удельным сопротивлением ρ. На электроды подана разность потенциалов U. Начертите на рисунке линии тока в среде между электродами. Чему равно сопротивление среды между электродами? Какова сила тока? Получите выражение для плотности тока в среде как функции расстояния r от центра сфер.

Б.17 Две лампы, рассчитанные на одинаковое напряжение, но потребляющие различные мощности, включены в сеть последовательно. Какая из них будет гореть ярче? Почему?

Б.18 Конденсатор емкостью C, заряженный до разности потенциалов U_0, разряжается через сопротивление R. Ток разряда постепенно спадает, согласно графику зависимости $I(t)$, причем по оси абсцисс отложено время, а по оси ординат lnI. Этому процессу соответствует прямая 1 (рисунок Б.3).

Затем один из параметров (U_0, R, C) изменяют так, что новая зависимость имеет вид 2. Какой из параметров и в какую сторону изменен?

Б.19 Заряженный конденсатор разряжается через сопротивление R.

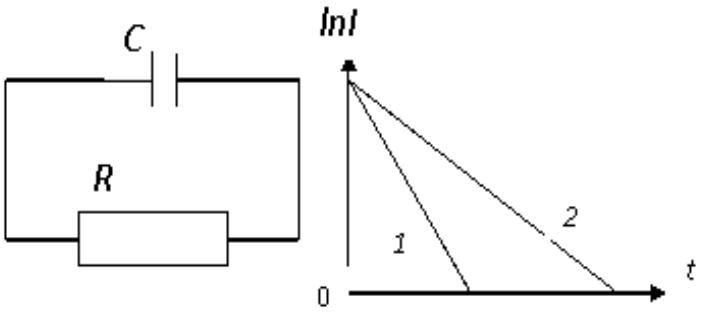

Рисунок Б.3

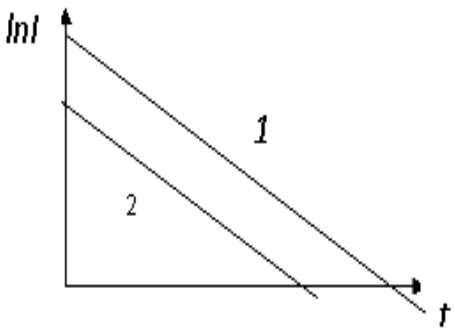

Рисунок Б.4

Зависимость логарифма тока разряда от времени имеет вид для двух разрядов (рисунок Б.4). Условия опыта отличаются лишь одним из параметров: U_0, C и R. Определить, каким параметром отличаются друг от друга оба разряда и в каком случае этот параметр больше. Здесь U_0- начальное напряжение на конденсаторе

Б.20 Сравните работу электрических сил и количество теплоты, выделяемое в течение 1 секунды, в следующих случаях: а) в резисторе, по которому течет ток I при разности потенциалов на концах проводника U; б) в аккумуляторе, который заряжается током I, при разности потенциалов на его зажимах U; в) в батарее аккумуляторов, дающей ток I на внешнее сопротивление, при той же разности потенциалов U на зажимах батареи.

Б.21 На двухпроводной линии постоянного тока (рисунок Б.5) взяты произвольно две точки А и В, по одной на каждом из проводов. Как при помощи вольтметра и магнитной стрелки определить, с какой стороны находится источник напряжения?

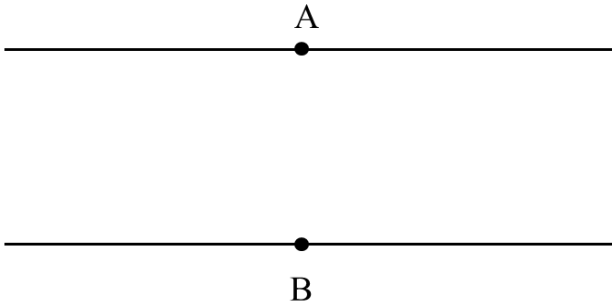

Рисунок Б.5

Б.22 Зависит ли индуктивность тороидальной катушки с железным сердечником: а) от силы тока в обмотке; б) от температуры сердечника?

Б.23 Через две одинаковые катушки индуктивности текут токи, спадающие со временем по линейному закону, показанному на рисунке Б.6. В какой из катушек возникающая ЭДС самоиндукции больше? Изменятся ли значение или знаки ЭДС самоиндукции, когда токи, пройдя через нуль, начнут возрастать в противоположном направлении, сохраняя тот же линейный закон?

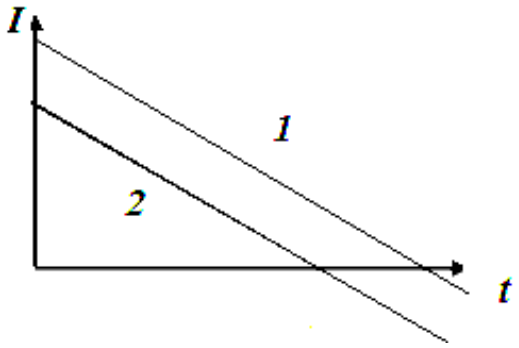

Рисунок Б.6

Б.24 Как изменится взаимная индуктивность двух проводящих контуров, имеющих форму концентрических колец, лежащих в одной плоскости, если малое кольцо: а) растянуть (увеличить его радиус); б) повернуть на некоторый угол относительно оси, лежащей в плоскости більшого кольца; в) сместить поступательно перпендикулярно плоскости більшого кольца?

Б.25 Ток в обмотке тороидальной катушки с железным сердечником удвоили. Верно ли, что при этом: а) индукция магнитного поля внутри соленоида удвоилась; б) энергия магнитного поля, заключенная в соленоиде, увеличилась вчетверо; в) индуктивность соленоида не изменилась?

Б.26 Заряженная частица движется в однородном магнитном поле по окружности. Определите траекторию частицы после того, как в дополнение к магнитному полю включается электрическое, направленное в ту же сторону.

Б.27 Постройте график изменения индукционного тока при размыкании цепи, в которой имеется соленоид. Какой физический смысл имеет площадь фигуры, ограниченной графиком и осью времени? Покажите изменение какой магнитной величины можно определить по графику?

Б.28 Металлическому шару радиусом R_1 сообщили заряд $+q_1$, а металлическому слою, имеющему общий центр с шаром, заряд $+q_2$. Внутренний радиус слоя R_2, внешний R_3 (рисунок Б.7). Как будет меняться напряженность поля в зависимости от расстояния r от центра системы? Построить график $E(r)$.

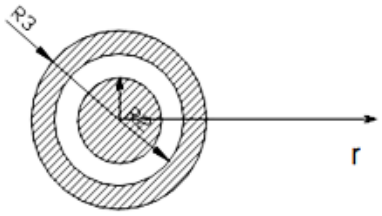

Рисунок Б.7

Б.29 В схеме, изображенной на рисунке Б.8, в момент времени t=0 замыкают ключ К. Постройте качественно графики зависимости силы тока I в цепи и напряжения U на вольтметре от времени t (сопротивлением катушки пренебречь, вольтметр считать идеальным).

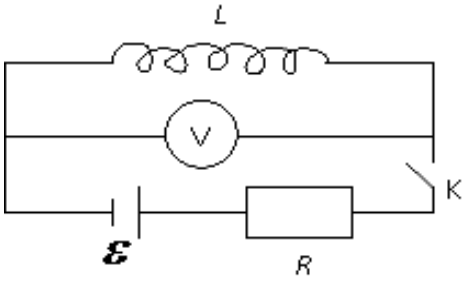

Рисунок Б.8

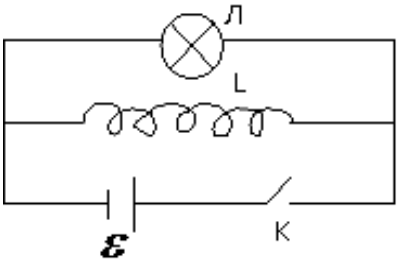

Рисунок Б.9

Б.30 При демонстрации опыта по возникновению ЭДС самоиндукции при размыкании цепи используют следующую схему (рисунок Б.9). Каким должно быть соотношение между активным сопротивлением катушки и сопротивлением лампочки накаливания и какой должна быть индуктивность L, чтобы эксперимент был убедительным? Постройте качественно графики зависимости $I(t)$ в цепи для различных параметров цепи (сравнительные).

3 РГР №3. Физика колебаний и волн

Цель работы: усвоение основных понятий и законов физики колебаний и волн, овладение методами их применения к решению типовых задач, связанных с расчетами параметров колебательных систем, волновых характеристик и свойств электромагнитного излучения.

Задания по расчетно-графической работе № 3.

Таблица 3 – Варианты заданий

	Чертов А.Г., Воробьёв А.А. «Задачник по физике». - М.,2006. – 640 с.	Волькенштейн В.С. «Сборник задач по общему курсу физики».- М., 2003.	Иродов И.Е. «Задачник по общей физике». – М., 2001.	Приложение
А.1	6.1; 6.33; 6.56; 6.65; 7.1; 31.2			1; 45
А.2	6.6; 6.69; 31.3	12.16; 12.43; 12.56		2; 46
А.3	6.34; 6.57; 6.67; 7.2; 32.4	12.9		3; 47
А.4	6.2; 12.18; 30.5	12.44; 12.58	4.107	4; 48
А.5	6.58; 6.71; 7.3; 32.1	12.10; 12.16		5; 49
А.6	6.3; 6.70; 31.5	12.20; 12.45;		6; 50

		12.59		
A.7	6.72; 7.4; 30.4	12.6; 12.19; 12.46		7; 51
A.8	6.4; 6.59	12.18; 12.57; 16.6	4.106	8; 52
A.9	6.33; 31.4; 7.5	12.12; 12.47;	4.100	9; 53
A.10	6.5; 6.34; 7.3; 32.3	12.48	4.98	10; 54
B.11	6.7; 6.60; 7.6; 30.7	12.24	4.193	11; 31
B.12	6.35; 30.12	12.14; 12.51; 12.60	4.189	12; 32
B.13	6.9; 6.61; 7.7; 31.6	12.17	4.191	13; 33
B.14	6.13; 6.36; 6.63; 31.9	12.61	4.193	14; 34
B.15	6.10; 6.35; 6.62; 7.20; 30.8		4.192	15; 35
B.16	7.10; 31.23	12.21; 12.24	4.68; 4.190	16; 36
B.17	6.8; 6.35; 6.60; 7.21; 31.7		4.196	17; 37
B.18	6.12; 7.8; 30.9	12.21; 12.51	4.194	18; 38
B.19	7.11; 32.4	12.15; 12.24	4.70; 4.196	19; 39
B.20	6.11; 6.36; 6.61; 7.22; 30.10		4.197	20; 40
B.21	7.9; 31.8	12.21; 12.48; 12.52	4.191	21; 41
B.22	6.12; 6.36; 7.23; 32.6		4.67; 4.199	22; 42
B.23	7.10; 30.13	12.14; 12.48; 12.49	4.200	23; 43
B.24	6.32; 6.17; 31.14	12.54; 12.62	4.201	44; 24;
B.25	6.16; 6.74; 7.11; 31.17	12.15	4.67	25; 55
C.26			4.15; 4.12; 4.70;4.119; 4.209; 5.87	26; 56
C.27	6.64; 6.19		4.9; 4.120; 4.212; 5.128	27; 57
C.28	6.20		4.10; 4.71; 4.121; 4.210; 5.174	28; 58
C.29	6.27		4.11; 4.72; 4.136; 4.212; 5.89	29; 59
C.30	6.31		4.5; 4.73; 4.109; 4.211; 5.140	30; 60

3.1 Методические указания и примеры решения задач по теме РГР №3

При решении задач по теме «Физика колебаний и волн» следует исходить из понимания, что колебания (и, соответственно, волны) различной физической природы описываются одинаковыми дифференциальными

уравнениями; необходимо знать основные типы этих уравнений и их решения. Необходимо изучить основные характеристики колебаний и волн, превращения энергии в колебательных процессах. Для будущих электроэнергетиков очень важно научиться понимать и строить векторные диаграммы.

Пример 1.

Материальная точка совершает гармонические колебания с частотой равной $\nu = 0{,}6$ Гц. Амплитуда колебания $A = 6$ см. Определить скорость точки υ в тот момент, когда смещение равно $x = 3{,}5$ см.

Дано:

A = 6 см,

ν = 0,6 Гц ,

x = 3,5 см.

Найти: υ –?

Решение: выберем в качестве закона изменения смещения $x(t)$ точки относительно положения равновесия функцию косинуса:

$$x(t) = A\cos(\omega_0 t + \alpha)\ . \qquad (3.2.1)$$

Скорость движения точки υ есть производная $x(t)$ по времени:

$$v(t) = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \alpha). \qquad (3.2.2)$$

Для определения скорости в некоторый момент времени необходимо знать значение фазы колебания $(\omega_0 t + \alpha)$ (ее синус) в этот момент. Фазу колебания (ее косинус) определим из уравнения (3.2.1):

$$\cos(\omega_0 t + \alpha) = \frac{x}{A}. \qquad (3.2.3)$$

Воспользуемся тригонометрической формулой:

$$\sin(\omega_0 t + \alpha) = \sqrt{1 - \cos^2(\omega_0 t + \alpha)}.$$

Подставляя ее в формулу (3.2.3), получим:

$$\sin(\omega_0 t + \alpha) = \sqrt{1\text{-}\frac{x^2}{A^2}}. \qquad (3.2.4)$$

Подставив (3.2.1) в (3.2.2), и учитывая, что $\omega_0 = 2\pi\nu$, найдем значение модуля скорости точки:

$$v = A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \alpha) = A\omega_0\sqrt{1\text{-}\frac{x^2}{A^2}} = \omega_0\sqrt{A^2\text{-}x^2} = 2\pi\nu\sqrt{A^2\text{-}x^2}. \qquad (3.2.5)$$

При подстановке числовых значений все величины переведем в систему СИ:

$$v = 2\pi \cdot 0{,}6\sqrt{6^2 - 3{,}5^2} \cdot 10^{-2} = 18{,}35\ \cdot 10^{-2}\text{м/с}.$$

Нетрудно показать, что если в качестве закона изменения смещения $x(t)$ точки относительно положения равновесия выбрали бы функцию синус, а не косинус, то результат был бы тот же.

Ответ: $v = 18{,}35 \cdot 10^{-2}$ м/с.

Пример 2.

Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью C=2,0·10^{-8} Ф и катушки индуктивностью L=5,0·10^{-5} Гн. Начальное напряжение на обкладках конденсатора U_0=120 В. Определить максимальное напряжение U_m и начальную фазу φ колебаний напряжения на конденсаторе, если в начальный момент времени(t=0) энергия конденсатора $W_э$ равна магнитной энергии $W_м$ катушки. Сопротивлением контура можно пренебречь.

Дано:
C=2,0·10^{-8} Ф,
L=5,0·10^{-5} Гн,
U_0=120 В,
$W_э = W_м$.
Найти:
U_m=? φ=?

Решение: рассмотрим свободные гармонические колебания в электрическом колебательном контуре, состоящем из конденсатора электроемкости C, катушки индуктивности L и сопротивления R (рисунок 3.1). При замыкании на катушку предварительно заряженного конденсатора в колебательном контуре возникают свободные колебания заряда q на конденсаторе и силы тока в катушке i.

Согласно обобщенному закону Ома для неоднородного участка:

$$R = -\frac{q}{C} - L\frac{di}{dt}. \qquad (3.2.6)$$

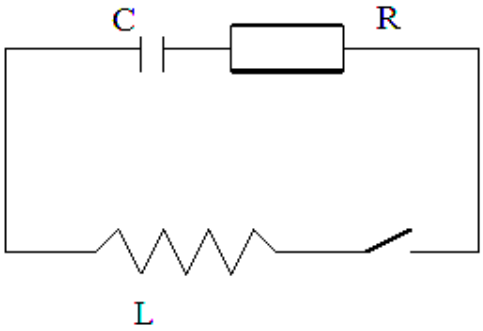

Рисунок 3.1

Так как по определению силы тока $i = \dfrac{dq}{dt}$, то уравнение (3.2.6) примет вид:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{dq}{dt} + \frac{q}{LC} = 0; \qquad (3.2.7)$$

в случае идеального контура сопротивление $R=0$ получим:

$$\frac{d^2q}{dt^2}+\frac{q}{LC}=0. \qquad (3.2.8)$$

Решение дифференциального уравнения (3.2.7) имеет вид

$$q(t)=q_m\cos(\omega t+\varphi), \qquad (3.2.9)$$

где $\omega=\frac{1}{\sqrt{LC}}$ - частота собственных колебаний в контуре.

Энергия колебательного контура, в котором происходят электромагнитные колебания, складывается из электрической энергии заряженного конденсатора и магнитной энергии катушки индуктивности при протекании тока:

$$W=We+Wp=\frac{CU^2}{2}+\frac{Li^2}{2}.$$

По условию задачи $\frac{CU_0{}^2}{2}=\frac{Li_0{}^2}{2}$,

где i_0– значение силы тока в начальный момент времени (t=0), равное:

$$i_0=U_0\sqrt{\frac{C}{L}}.$$

Поскольку значение силы тока в произвольный момент времени равно:

$$i(t)=\frac{dq}{dt}=-\omega q_m\sin(\omega t+\varphi),$$

то $i_0=i(0)=-\omega q_m\sin\varphi$.

Следовательно, $\frac{CU_m{}^2}{2}=2\frac{CU_0{}^2}{2}=2\frac{L\omega^2q_m{}^2\sin^2\varphi}{2}$.

Откуда следует, во-первых, $U_m=U_0\sqrt{2}$, во-вторых, $CU_m{}^2=2L\cdot\frac{1}{LC}\cdot C^2U_m{}^2\sin^2\varphi$.

Следовательно, $2\sin^2\varphi=1$ и $\sin\varphi=\frac{1}{\sqrt{2}}=\frac{\sqrt{2}}{2}$.

Таким образом, начальная фаза $\varphi=\frac{\pi}{4}$.

Ответ: $U_m=U_0\sqrt{2}, \varphi=\frac{\pi}{4}$.

Пример 3.

Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим по нормали к поверхности пластинки. После того как пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполнили жидкостью, радиусы темных колец в отраженном свете уменьшились в 1,27 раза. Найти показатель преломления n жидкости.

Дано:

$\frac{r_{k0}}{r_k} = 1.27$

r_{k0}– первоначальный радиус *к-го* кольца, r_k– радиус этого же кольца с жидкостью.

Найти:

n = ?

Решение: геометрическая разность хода когерентных лучей 1, 2 определяется двойной толщиной воздушного зазора

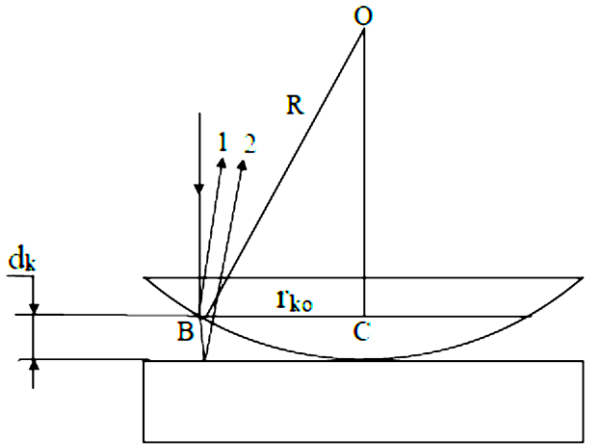

Рисунок 3.2

между линзой и пластинкой d_k, (рисунок 3.2), и связана с радиусом кривизны линзы R и радиусом интерференционного кольца r_{k0} выражением:

$$d_k = \frac{r_{k0}^2}{2R}, \tag{3.3.1}$$

которое получается из прямоугольного треугольника OBC, если пренебречь слагаемым d_k^2, как величиной второго порядка малости. Радиусы интерференционных колец определяются оптической разностью хода лучей $\delta = 2d_k n + \lambda/2$. Тогда для темных колец получаем условие:

$$2d_k n + \frac{\lambda}{2} = \frac{(2k+1)\lambda}{2}.$$

После небольшого преобразования и с учетом уравнения (3.3.1) будем иметь для первоначальных размеров колец соотношение:

$$r_{k0}^2 = kn\,\lambda R. \tag{3.3.2}$$

Для колец, наблюдаемых в воздухе n = 1 и

$$r_k^2 = k\lambda R. \tag{3.3.3}$$

Разделив почленно уравнения (3.3.1) и (3.3.2) получим: $\frac{r_{k0}}{r_k} = n.$

Подставим данные условия задачи, получим: $n = (1{,}27)^2 = 1{,}61.$

Ответ: n = 1,61.

Приложение В

В.1÷В.10 Опишите метод векторной диаграммы и укажите, для каких целей он применяется. Изобразите на векторной диаграмме колебания: а) $x=A_1cos(\omega t+\varphi_1)$ и б) $x=A_2cos(\omega t+\varphi_2)$ в моменты времени t_1=0 и t_2. Соответствующие числовые значения взять из таблицы В.1. Поясните, что именно колеблется на векторной диаграмме.

Таблица В.1

№	A_1, см	A_2, см	φ_1	φ_2	t_2
1	3,0	5,0	π/6	2π/3	π/(ω)
2	3,0	4,5	π/4	- π/6	π/(2ω)
3	3,0	6,0	π/6	2π/3	π/(3ω)
4	4,0	3,0	- π/6	π/3	π/(ω)
5	4,0	6,0	-π/3	2π/3	π/(2ω)
6	4,0	6,0	-π/3	3π/4	π/(4ω)
7	6,0	3,0	π/6	3π/4	π/(ω)
8	6,0	4,0	-π/4	π/6	π/(2ω)
9	6,0	5,0	π/4	-π/3	2π/(3ω)
10	8,0	4,0	π/3	-π/4	π/(ω)

В.11÷В.20 Изобразить на векторной диаграмме в момент времени t=0 смещение тела, колеблющегося по закону $x=Acos(\omega t+\varphi_0)$, его скорость $\dot{x}$ и ускорение $\ddot{x}$, соответствующие числовые значения взять из таблицы В.2.

Таблица В.2

№	В.11	В.12	В.13	В.14	В.15	В.16	В.17
A, см	5,0	6,0	7,0	4,0	8,0	9,0	3,0
φ_0	π/4	π/6	π/3	2π/3	3π/4	-π/3	-π/4
№	В.18	В.19	В.20	В.21	В.22	В.23	
A, см	4,0	5,0	6,0	5,0	6,0	7,0	
φ_0	-π/6	-2π/3	-3π/4	3π/4	5π/6	2π/3	

В.24 Контур состоит из конденсатора емкости С=*4* мкФ и катушки с индуктивностью L=2 мГн и активным сопротивлением R=10 Ом. Найти отношение энергии магнитного поля катушки к энергии электрического поля конденсатора в моменты максимума тока. Чему в эти моменты времени равна ЭДС самоиндукции в катушке?

В.25 Контур состоит из конденсатора емкости С=*4* мкФ и катушки с индуктивностью L=2 мГн и резистора сопротивлением R=10 Ом. Найти отношение энергии магнитного поля катушки к энергии электрического поля конденсатора в моменты максимума тока. Каково соотношение в эти моменты времени между напряжением на катушке и разностью потенциалов между обкладками конденсатора?

В.26 Контур состоит из конденсатора емкости С= *2* мкФ и катушки с индуктивностью *L*= 3 мГн и активным сопротивлением *R*= 5 Ом. Каково значение мощности, выделяемой в активном сопротивлении в моменты максимума напряжения на конденсаторе? Найти отношение энергии магнитного поля катушки к энергии электрического поля конденсатора в указанные моменты времени.

В.27 Контур состоит из конденсатора емкости С= *3* мкФ и катушки с индуктивностью *L*= 1 мГн и активным сопротивлением *R*= 8 Ом. Каково значение мощности, выделяемой в активном сопротивлении в моменты максимума напряжения на конденсаторе? Найти отношение энергии магнитного поля катушки к энергии электрического поля конденсатора в указанные моменты времени.

В.28 Контур состоит из конденсатора емкости С=*5* мкФ и катушки с индуктивностью *L*=2 мГн и активным сопротивлением *R*=5 Ом. Найти отношение энергии магнитного поля катушки к энергии электрического поля конденсатора в моменты максимума тока. Чему в эти моменты времени равна ЭДС самоиндукции в катушке?

В.29 Контур состоит из конденсатора емкости С=*2* мкФ и катушки с индуктивностью *L*=4 мГн и активным сопротивлением *R*=5 Ом. Найти отношение энергии магнитного поля катушки к энергии электрического поля конденсатора в моменты максимума тока. Чему в эти моменты времени равна ЭДС самоиндукции в катушке?

В.30 Контур состоит из конденсатора емкости С= 0,20мкФ и катушки с индуктивностью *L*= 48 мГн и активным сопротивлением *R*= 16 Ом. Каково значение мощности, выделяемой в активном сопротивлении в моменты максимума напряжения на конденсаторе? Найти отношение энергии магнитного поля катушки к энергии электрического поля конденсатора в указанные моменты времени.

В.31÷40 В схеме на рисунке В.1 вольтметры V_2,V_3,V_4 показывают напряжения соответственно U_2, U_3, U_4. Изобразить векторную диаграмму напряжений на элементах схемы и с ее помощью найти показания вольтметра V_1. Какая средняя за период колебаний тепловая мощность выделяется в этой цепи, если известна величина сопротивления *R*? Чему равен коэффициент мощности этой цепи? Каков сдвиг фаз между приложенным напряжением и силой тока? Считать, что все элементы этой цепи идеальные. Взять соответствующие варианту числовые значения в таблице В.3.

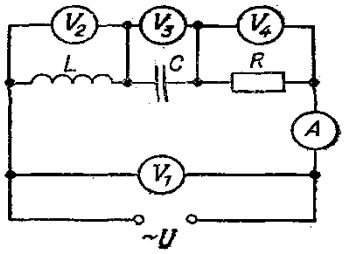

Рисунок В.1

Таблица В.3

№ варианта	V_2	V_3	V_4	R
31	100 В	100 В	100 В	100 Ом

32	200 В	100 В	100 В	100 Ом
33	100 В	200 В	100 В	50 Ом
34	100 В	300 В	100 В	100 Ом
35	400 В	100 В	400 В	100 Ом
36	100 В	400 В	400 В	200 Ом
37	100 В	140 В	30 В	100 Ом
38	150 В	120 В	40 В	20 Ом
39	140 В	100 В	30 В	30 Ом
40	300 В	200 В	80 В	100 Ом

В.41÷44 Цепь, состоящую из последовательно соединенных безиндукционного сопротивления R и катушки индуктивности с активным сопротивлением, подключили к сети с действующим напряжением U= 220 В. Найти тепловую мощность, выделяемую на катушке, если действующие напряжения на сопротивлении R и катушке равны соответственно U_1 *и* U_2 . Изобразить векторную диаграмму напряжений на элементах схемы и с ее помощью определить сдвиг фаз между приложенным напряжением и током. Числовые значения приведены в таблице В.4.

Таблица В.4

№ варианта	R, Ом	U_1, В	U_2, В
41	150	100	200
42	120	80	200
43	160	90	170
44	160	80	180

В.45÷54 В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна $\vec{E} = \vec{j}E_m \cos(\omega t - kx)$, где $\vec{j}$ – орт оси Y, E_m – амплитудное значение напряженности электрического поля волны; k – волновое число. Найти длину волны λ, частоту ω, амплитуду напряженности магнитного поля волны H_m, среднее за период колебания значение плотности энергии волны <w> и интенсивность волны I. Числовые значения приведены в таблице В.5.

Таблица В.5

№	В.45	В.46	В.47	В.48	В.49	В.50	В.51	В.52	В.53	В.54
E_m, В/м	160	120	240	80	40	60	100	150	20	30
k, м$^{-1}$	0,51	1,57	6,28	20	10	12,56	3,8	4,5	6,7	3,14

В. 55÷60 В диэлектрической среде с проницаемостью ε=1,3 распространяется плоская электромагнитная волна $\vec{H} = \vec{k}H_m\cos(\omega t - kx)$, где $\vec{k}$ – орт оси Z; H_m – амплитудное значение напряженности магнитного поля волны; ω – циклическая частота. Найти длину волны λ, волновое число k, амплитуду напряженности электрического поля волны E_m, средние за период колебаний значения плотности энергии <w> и плотности потока энергии волны $< j_w >$. Числовые значения приведены в таблице В.6.

Таблица В.6

№	В.55	В.52	В.53	В.54	В.55	В.56	В.57	В.58
H_m, А/м	0,30	0,25	0,20	0,15	0,18	0,12	0,11	0,10
ω, с$^{-1}$	$5\cdot10^8$	$4\cdot10^8$	$6\cdot10^8$	$3\cdot10^8$	$2\cdot10^8$	$5\cdot10^8$	$6\cdot10^8$	$8\cdot10^8$

Продолжение Таблицы В.6

№	В.59	В.60	В.61	В.62	В.63	В.64	В.65	В.66
H_m, А/м	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,08
ω, с$^{-1}$	$0{,}7\cdot10^8$	$0{,}8\cdot10^8$	$0{,}4\cdot10^8$	$0{,}3\cdot10^8$	$0{,}2\cdot10^8$	$1{,}0\cdot10^8$	$0{,}7\cdot10^8$	$4\cdot10^8$

4 РГР № 4. Квантовая физика. Физика атомного ядра

Цель: усвоение квантовых представлений о природе электромагнитного излучения, на основе которых могут быть объяснены закономерности теплового излучения, фотоэффекта и эффекта Комптона.

Уяснение универсального характера корпускулярно-волнового дуализма, физического смысла соотношений неопределенностей как квантового ограничения применимости понятий классической механики, необходимости задания состояния микрочастицы с помощью волновой функции.

Понимание: природы различий в свойствах электропроводности металлов, полупроводников и диэлектриков, физической сущности реакций деления тяжелых ядер и термоядерной реакции.

Формирование умений применять законы сохранения при превращениях атомных ядер и элементарных частиц.

Задания по расчетно – графической работе № 4

Таблица 4 – Варианты заданий

№	Чертов А.Г., Воробьёв А.А. «Задачник по физике». - М.,2006. – 640 с.	Волькенштейн В.С. «Сборник задач по общему курсу физики».- М., 2003.	Иродов И.Е. «Задачник по общей физике». –М., 2001.	Приложение Г
А.1	34.5; 45.1; 46.1; 51.1	22.9		1
А.2	34.15; 44.3; 46.2; 51.2	19.34		2
А.3	35.3; 45.3; 46.1; 51.5	22.10		3
А.4	34.16; 44.5; 46.3; 51.3	19.35		4
А.5	34.7; 45.5; 46.2; 51.4	22.4		5
А.6	34.18; 37.3; 44.4; 46.4; 51.6			6
А.7	34.6; 35.5; 46.3; 51.18	22.5		7
А.8	34.17; 35.6; 44.6; 46.5; 51.7			8
А.9	34.8; 45.23; 46.6; 51.3	22.8		9
А.10	34.10; 35.7; 45.24; 46.7; 44.7			10
В.11	44.10; 45.8; 46.8	18.12; 19.20		11
В.12	34.23; 45.26; 46.21; 51.19	22.40		12
В.13	34.12; 35.8; 44.13; 45.9; 46.10			13
В.14	37.9; 44.22; 45.16; 47.10; 51.12			14
В.15	44.17; 45.11; 46.9; 51.15	19.32		15
В.16	35.9; 47.9; 44.29	18.19; 19.36		16
В.17	34.20; 45.13; 46.14; 51.23	19.33		17
В.18	35.10; 45.29; 47.14; 51.9;	18.15		18
В.19	34.22; 45.15; 46.15; 51.17	19.16		19
В.20	37.4; 47.19; 51.22	18.10; 19.40		20
В.21	34.21; 45.17; 46.19; 51.13;	19.18		21
В.22	44.19;46.11; 51.16	18.17; 19.41		22
В.23	34.25; 45.27; 46.20; 51.10	22.38		23
В.24	34.11; 37.8; 47.37;			24

	51.21; 44.21			
B.25	34.24; 37.7; 44.24; 47.36; 51.11			25
C.26			5.249; 5.285; 6.54; 6.85; 6.290	26
C.27			5.257; 5.291; 6.71; 6.90; 6.210	27
C.28			5.258; 6.60; 6.82; 6.209; 6.294	28
C.29			5.255; 5.290; 6.58; 6.83; 6.48	29
C.30			5.253;5.274;6.73; 6.91; 6.253	30

4.2 Методические указания и примеры решения задач по теме РГР №4

Пример 1.

Фотон с энергией $E_0 = 0{,}15$ МэВ рассеялся на покоившемся свободном электроне, в результате чего его длина волны изменилась на $\Delta\lambda = 0{,}3$ пм. Найти угол, под которым вылетел комптоновский электрон.

Дано: $E_0 = 0{,}15$ МэВ;
$\Delta\lambda = 0{,}3$ пм.
Найти: $\varphi = ?$;

Решение. Воспользуемся законом сохранения импульса: $\overrightarrow{p_0} = \overrightarrow{p_e} + \vec{p}$. В проекциях на координатные оси (рисунок 4.1):

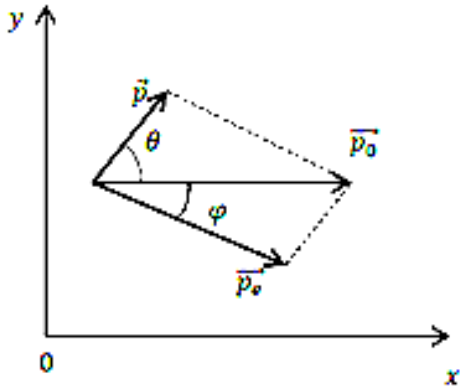

Рисунок 4.1

$$x: p_0 = p\cos\theta + p_e cos\,\varphi\,;$$

$$y:\ 0 = p\sin\theta - p_e\sin\varphi.$$

Преобразуем полученные уравнения и выразим $tg\,\varphi$:

$$p_0 - p\cos\theta = p_e cos\,\varphi\,;$$
$$p\sin\theta = p_e\sin\varphi\,;$$

$$tg\,\varphi = \frac{p\sin\theta}{p_0 - p\cos\theta}. \qquad (4.1)$$

Зная начальную энергию фотона $E_0 = \hbar\omega$, найдем длину волны фотона до взаимодействия:

$$\lambda_0 = \frac{hc}{E_0}.$$

Длина волны фотона после взаимодействия $\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda$.

Соответственно импульсы фотона до и после взаимодействия с электроном:

$$p_0 = \frac{h}{\lambda_0} = \frac{E_0}{c} \text{ и } p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda_0 + \Delta\lambda} = \frac{h}{\frac{hc}{E_0} + \Delta\lambda} = \frac{hE_0}{hc + \lambda_0 E_0}.$$

Угол θ найдем из формулы Комптона: $\Delta\lambda = \lambda_c(1 - \cos\theta)$, откуда $\cos\theta = 1 - \frac{\Delta\lambda mc}{h}$; тогда $\sin\theta = \sqrt{1 - (\cos\theta)^2} = \sqrt{\frac{2mc\Delta\lambda}{\Delta\lambda} + \frac{(mc\Delta\lambda)^2}{h^2}}$.

Подставляя полученные выражения в формулу (4.2.1) и произведя некоторые упрощения, получим:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sqrt{\frac{2h}{\Delta mc} - 1}}{1 + \frac{E_0}{mc^2}};$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sqrt{\frac{2\cdot 6{,}63\cdot 10^{-34}\text{Дж}\cdot\text{с}}{0{,}3\cdot 10^{-12}\text{м}\cdot 9{,}1\cdot 10^{-31}\text{кг}\cdot 3\cdot 10^{8}\text{м/с}} - 1}}{1 + \frac{0{,}17\cdot 10^{6}\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}}{9{,}1\cdot 10^{-31}(3\cdot 10^{8}\text{м/с})^2}} \approx 2{,}9;$$

$$\varphi = arctg\ 2{,}9 = 71{,}5°.$$

Ответ: $\varphi = 71{,}5°$.

Пример 2.

Электрон с кинетической энергией $T \approx 4{,}3$ эВ локализован в области размером $l = 1{,}3$ мкм.

Оценить с помощью соотношения неопределенностей относительную неопределенность его скорости.

Дано: $T \approx 4{,}3$ эВ;
$l = 1{,}3$ мкм.

Найти: $\frac{\Delta v_x}{v_x} = ?$

Решение: Запишем соотношение неопределенностей: $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar$ или $\Delta x \cdot m\Delta v_x \geq \hbar$. Учитывая, что $\Delta x \leq l$, получим $l \cdot m\Delta v_x \sim \hbar$, откуда $v_x \sim \frac{\hbar}{l\cdot m}$.

Скорость электрона с кинетической энергией T равна: $v_x = \sqrt{\frac{2T}{m}}$.

Тогда

$$\frac{\Delta v_x}{v_x} \sim \frac{\hbar}{l \cdot m}\sqrt{\frac{2T}{m}} = \frac{\hbar}{l\sqrt{2mT}};$$

$$\frac{\Delta v_x}{v_x} \sim \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\text{Дж} \cdot \text{с}}{1{,}3 \cdot 10^{-6}\text{м}\sqrt{2 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}\text{кг} \cdot 4{,}3 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\text{Дж}}} = 4{,}6 \cdot 10^{-4}.$$

Ответ: $\frac{\Delta v_x}{v_x} \sim 4{,}6 \cdot 10^{-4}$.

Пример 3.

Нейтрон испытывает упругое соударение с ядром ${}^4_2He$ и затем, отразившись, упруго соударяется с другим ядром ${}^4_2He$. Ядра гелия до соударения были неподвижны. Определите, во сколько раз изменится кинетическая энергия нейтрона после двух соударений. Принять массы нейтрона и протона одинаковыми. Ответ округлите до десятых.

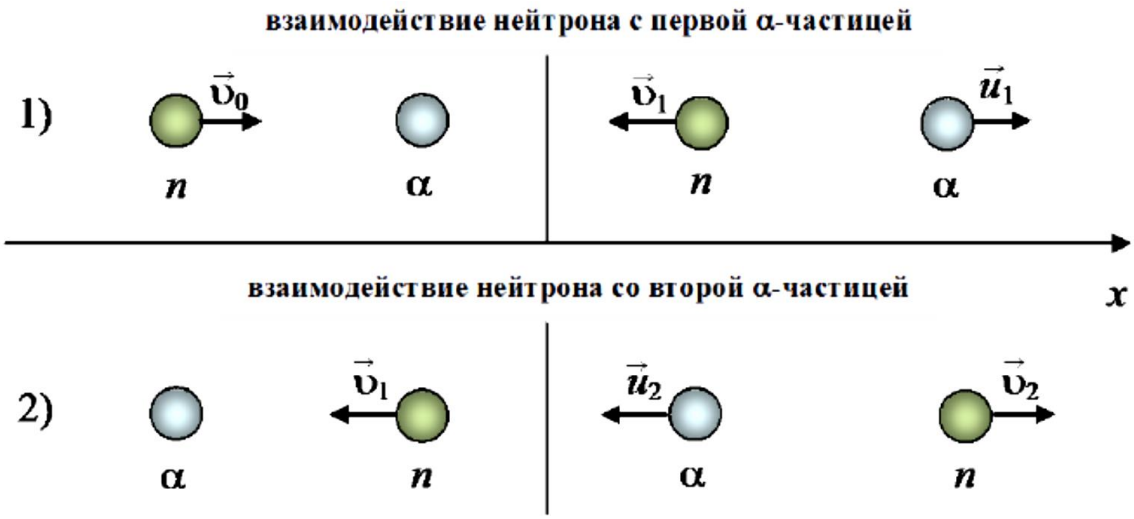

Рисунок 4.2

Дано:
${}^1_0n, {}^4_2He$
Найти :
$\frac{E_0}{E_2} = ?$

Решение: представим схему взаимодействия нейтрона с ядром гелия (α – частицей).

1) Т.к. нейтрон испытывает упругое соударение с ядром ${}^4_2He$, то для такого взаимодействия можно записать законы сохранения импульса (в проекции на ось O_x) и механической энергии:

$$m_n v_0 = -m_n v_1 + m_\alpha u_1;$$
$$m_n v_0^2 = m_n v_1^2 + m_\alpha u_1^2.$$

Все члены уравнений с массой нейтрона перенесем влево, с массой протона – вправо и поделим второе уравнение на первое. Получим соотношение между скоростями:

$$v_0 - v_1 = u_1.$$

Полученное выражение для скорости u_1подставим в закон сохранения импульса:

$$m_n v_0 = -m_n v_1 + m_\alpha v_0 - m_\alpha v_1;$$
$$v_1(m_\alpha + m_n) = v_0(m_\alpha - m_n);$$
$$v_1 = v_0 \frac{m_\alpha - m_n}{m_\alpha + m_n}.$$

2) При втором соударении законы сохранения записываем в виде:

$$m_n v_1 = -m_n v_2 - m_\alpha u_2;$$
$$m_n v_1^2 = m_2 v_1^2 + m_\alpha u_2^2.$$

Проведем аналогичные преобразования и найдем скорость v_2:

$$v_2 = v_1 \frac{m_\alpha - m_n}{m_\alpha + m_n}.$$

С учетом скорости v_1 имеем:

$$v_2 = v_0 \left(\frac{m_\alpha - m_n}{(m_\alpha + m_n}\right)^2.$$

Тогда

$$\frac{E_0}{E_2} = \frac{m v_0^2}{2} \cdot \frac{2}{m v_2^2} = \left(\frac{v_0}{v_2}\right)^2;$$
$$\frac{E_0}{E_2} = \left(\frac{v_0}{v_2}\right)^2 = \left(\frac{m_\alpha + m_n}{m_\alpha - m_n}\right)^4.$$

Так как $m_\alpha = 4\, m_n$, то

$$\frac{E_0}{E_2} = \left(\frac{4m_\alpha + m_n}{4m_\alpha - m_n}\right)^4 = \left(\frac{5}{3}\right)^4 = 7{,}7 \quad \text{или} \quad \frac{E_2}{E_0} = \frac{1}{7{,}7} = 0{,}1.$$

Ответ: $\frac{E_0}{E_2} = 7{,}7$; $\frac{E_2}{E_0} = 0{,}1$.

Приложение Г

Г.1 Что такое «ток насыщения» $I_{нас}$ фотоэлемента и чем он определяется? Как зависит сила тока насыщения заданного фотоэлемента: а) от величины светового потока; б) от напряженности электрического поля в падающей световой волне? Постройте графики этих зависимостей (качественные).

Г.2 Как изменится вид вольт-амперной характеристики фотоэлемента, если: а) при неизменном спектральном составе волны увеличится в два раза ее полный световой поток; б) при неизменном световом потоке увеличится в два раза частота монохроматического света?

Г.3 На участок поверхности тела с поглощательной способностью *a,* находящегося в равновесии с излучением, падает поток энергии $\Phi_{пад}$. Определите: а) поток энергии $\Phi_{пог}$, поглощаемый участком; б) отраженный им поток $\Phi_{отр}$; в) полный поток $\Phi_{пол}$, распространяющийся от участка в пределах телесного угла 2π. Объясните результат.

Г.4 Как изменится вид вольт–амперной характеристики фотоэлемента, если: а) при неизменном потоке фотонов увеличится (или уменьшится) в два раза частота монохроматического света; б) при неизменной частоте изменится в два раза поток фотонов?

Г.5 Покажите, что в эффекте Комптона проявляются корпускулярные свойства света. Запишите законы сохранения энергии и импульса для процесса взаимодействия фотонов со свободными электронами, постройте векторную диаграмму импульсов взаимодействующих частиц.

Г.6 Что представляет собой фотон? Чем фотон отличается от других элементарных частиц? Укажите все его характерные особенности.

Г.7 Объясните, почему волновые свойства обнаруживаются у микрочастиц и не наблюдаются у макроскопических тел?

Г.8 Какой физический смысл имеет соотношение неопределенностей $\Delta W \cdot \Delta t \geq \hbar$? Объясните, почему возбужденный энергетический уровень в атоме «размыт», а основной – бесконечно тонкий?

Г.9 Изобразите качественно зависимость задерживающего напряжения $U_з$ от частоты ω падающего света при фотоэффекте. Какие физические постоянные могут быть получены с помощью этой зависимости и как? Изобразите два графика для различных фотокатодов, прокомментируйте их.

Г.10 В чем отличие энергетических состояний электронов в кристалле и в изолированном атоме? Как преобразуется энергетический спектр атома при их объединении в кристалл?

Г.11 Что такое энергетические зоны в кристалле? Приведите примеры различных типов энергетических спектров (металлов, диэлектриков, полупроводников).

Г.12 Что такое внутренний фотоэффект? Что такое красная граница внутреннего фотоэффекта и чем определяется ее величина? Можно ли экспериментально определить красную границу фотоэффекта?

Г.13 Чем отличаются друг от друга температурные зависимости электропроводности полупроводников и металлов? Ответ поясните формулами и графиками.

Г.14 В спектре излучения абсолютно черного тела при температуре T выделены два участка площади которых $\Delta S_1=\Delta S_2$ (рисунок Г.1). Сравните средние излучательные способности, энергетические светимости излучения, приходящиеся на соответствующие интервалы Δλ. Одинаково ли число излучаемых в каждом диапазоне фотонов?

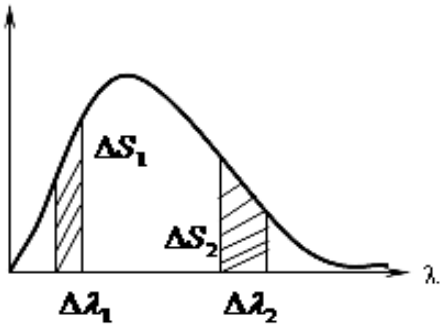

Рисунок Г.1

Г.15 Изобразите зависимость испускательной способности черного тела $r_{\omega,T}$ от частоты ω. Как можно рассчитать значение температуры излучающего тела, используя этот график? Какие законы лежат в основе этих расчетов?

Г.16 Почему в квантовой теории электропроводности металлов, в отличие от классической, принята независимость скорости теплового хаотического движении электронов от температуры? Оцените скорость теплового движения электронов, находящихся на уровне Ферми. Принять E_F=4,5 эВ.

Г.17 Что собой представляет γ - излучение. Изменяется ли химическая природа элемента при испускании γ - излучения его ядрами?

Г.18 Что называют активностью радиоактивного препарата? От чего она зависит? Изменяется ли со временем активность данного препарата? Как именно?

Г.19 Что называется «дефектом масс»? Что такое «энергия связи ядра» и как она вычисляется?

Г.20 Каков состав атомного ядра? Чем объясняется его устойчивость? Назовите основные свойства ядерных сил.

Г.21 Понятия зарядового и массового чисел. Какие ядра называются: изотопами, изобарами, изотонами?

Г.22 Почему при эффекте Комптона в рассеянном излучении содержатся волны с длиной волны $\lambda' > \lambda$ и не содержатся волны с $\lambda' < \lambda$? Подтвердите ответ, записав соответствующий закон.

Г.23 В чем сущность эффекта Комптона? Почему эффект Комптона называют «игра в бильярд фотонами и электронами»? Объясните, почему эффект Комптона не наблюдается при рассеянии видимого света?

Г.24 Каково содержание гипотезы де Бройля? Запишите формулы, выражающие универсальные (не зависящие от природы объекта) связи между корпускулярными и волновыми характеристиками частиц, поясните их.

Г.25 В чем состоит физическое содержание соотношения неопределенностей Гейзенберга (что они выражают)? Поясните, какие из величин: p_x, p_y, p_y, x, y, z могут быть одновременно точно заданы, а какие – нет?

Г.26 Что такое уровень Ферми? Начертите схему энергетических уровней электронов в металле. Как определяется работа выхода электрона из металла в квантовой теории?

Г.27 Из каких частиц состоит ядро? Приведите характеристики этих частиц. Влияет ли количество частиц в ядре на свойства ядра (например, его стабильность)?

Г.28 Что такое «правила смещения»? Какие законы лежат в их основе? Приведите примеры.

Г.29 В чем заключается туннельный эффект? От чего зависит его вероятность? Дайте определение коэффициента прозрачности потенциального барьера. Не противоречит ли закону сохранения энергии прохождение частицы сквозь потенциальный барьер при $W<U$? Какие явления могут быть объяснены туннельным эффектом?

Г.30 Объясните с точки зрения зонной теории, почему двухвалентные металлы (алюминий, медь, бериллий и др.) являются хорошими проводниками, хотя их валентные зоны полностью заполнены?

Список литературы

1 Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике.- М.: Высшая школа, 2006.

2 Иродов И.Е. Задачи по общей физике,. – М., 2001.

3 Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. – СПб.: Книжный мир, 2003.

4 Савельев И.В. Курс общей физики в 4 т.: Учебное пособие для вузов. - Т.1- Механика. Молекулярная физика и термодинамика/И.В. Савельев; под ред. В.И. Савельева.-2-е изд. стереотип. - М.: КноРус, 2012. - 528 с.

5 Савельев И.В. Курс общей физики в 4 т. – Т. 2. – Электричество и магнетизм. Волны. Оптика.– М.: КНОРУС, 2012. – 576 с.

Содержание

Введение 3
Общие требования к выполнению и оформлению расчетно-графических работ (РГР) 3
1 РГР №1. Физические основы механики. Статистическая физика и термодинамика 4
1.1 Методические указания к решению задач и примеры их выполнения 5
Приложение 11
2 РГР №2. Электродинамика 14
2.1 Методические указания и примеры решения задач по теме РГР №2 16
Приложение Б 21
3 РГР №3. Физика колебаний и волн 27
3.1 Методические указания и примеры решения задач по теме РГР №3 28
Приложение В 33
4 РГР № 4. Квантовая физика. Физика атомного ядра 36
4.1 Методические указания и примеры решения задач по теме РГР №4 38
Приложение Г 42
Список литературы 45

Сводный план 2018г., поз119

Саламатина Алевтина Магаметжановна
Әсембаева Әлия Рысхалыққызы

ФИЗИКА

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ
для студентов специальности 5В071800 – Электроэнергетика

Редактор Н.М. Голева
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано к печати
Тираж 50 экз.
Объем 2,6 уч.изд.л.

Формат 60× 84 1/16
Бумага типографическая №1
Заказ __ цена 1300 тенге

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, ул. Байтурсынова, 126
НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО