Министерство образования Российской Федерации

Северо-Западный государственный заочный технический университет

Кафедра физики

Физика

Задания на контрольные работы
Методические указания к выполнению контрольных работ

Направление и специальность подготовки дипломированных специалистов:

653400 - организация перевозок и управление на транспорте;
240100 - организация перевозок и управление на транспорте

Специальность 060800 - экономика и управление на предприятии (по отраслям)

Направления подготовки бакалавров:
521500 - менеджмент;
551400 - наземные транспортные системы

Санкт-Петербург
2001

Утверждено редакционно-издательским советом университета.
УДК 53 (07)

Физика: задания на контрольные работы, методические указания к выполнению контрольных работ.-СПб. СЗТУ, 2001,93 с.

Методический сборник включает задания на контрольные работы №1…3 по следующим разделам дисциплины «Физика»: физические основы механики, молекулярная физика, основы термодинамики, электричество и магнетизм, колебательные и волновые процессы, элементы атомной физики и квантовой механики, физика атомного ядра. В сборнике содержатся рекомендации к решению задач и оформлению контрольных работ, основные законы и формулы, примеры решения задач и некоторые справочные материалы.

Задания на контрольные работы по дисциплине «Физика» разработаны в соответствии с требованиями государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования по направлениям и специальностям подготовки дипломированных специалистов: направление и специальность 653400 - Организация перевозок и управление на транспорте; 240100 - Организация перевозок и управление на транспорте, специальность 060800 (Экономика и управление на предприятии, по отраслям); и по направлениям подготовки бакалавров: 521500 (Менеджмент); 551400 (Наземные транспортные системы).

Рассмотрено на заседании кафедры физики 5 марта 2001 года; одобрено методической комиссией факультета радиоэлектроники 12 марта 2001 года.

Рецензенты: кафедра физики СЗТУ (И.А. Линийчук, проф. кафедры физики; д. техн. наук); А.Г. Арешкин, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры физики БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова.

Составители: В.М. Бородин, канд. физ.-мат. наук, доц.; А.С. Иванов, канд.техн. наук, доц.; Д.Г. Летенко, канд. физ.-мат. наук, доц., Е.А. Лиходаева, канд. техн. наук, доц.; И А. Обухова, канд. техн. наук, доц.; И.Г. Орехова, канд. техн. наук, доц.; И.А.Торчинский, . физ.-мат. наук, проф.; А.Б. Федорцов, д. физ.-мат. наук, проф.; В.Б. Харламова, доц.; В.М. Цаплев, канд. физ.-мат. наук, доц.; А.И. Шерстюк, д. физ.-мат. наук.

Введение

В процессе изучения дисциплины «Физика» студенты выполняют три контрольные работы: контрольные работы №1 и №2 - в третьем семестре и №3 - в четвертом семестре обучения. Решение физических задач является необходимой практической основой изучения дисциплины «Физика».

Основной целью выполнения контрольных работ является выработка у студентов приемов и навыков решения контрольных задач из разных областей физики, помогающих студентам решать в дальнейшем инженерные задачи.

Контрольные работы несут в себе функцию закрепления, развития и углубленного освоения основных положений теории. Решение задач способствует приобщению студентов к самостоятельной творческой работе. При решении задач студент должен самостоятельно осуществить ряд мыслительных операций, опираясь на имеющиеся у него знания и умения. Контрольные работы позволяют проверить степень усвоения студентами основных разделов теоретического курса.

1.Общие требования к оформлению контрольных работ

При оформлении контрольных работ условия задач в контрольных работах переписываются полностью, без сокращений. Решения задач должны сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями с обязательным использованием рисунков, выполненных чертежными инструментами. Для замечаний преподавателя на страницах тетради оставляются поля и интервалы между задачами (не менее 5 см). В конце каждой контрольной работы необходимо указать, каким учебным пособием пользовался студент (название учебного пособия, автор, год издания).

Решение задач рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1. Ввести буквенные обозначения всех используемых физических величин.
2. Под рубрикой "Дано" кратко записать условие задачи с переводом значений всех величин в одну систему единиц - СИ.
3. Сделать (если это необходимо) чертеж, поясняющий содержание задачи и ход решения.
4. Сформулировать физические законы, на которых базируется решение задачи, и обосновать возможность их использования.
5. На основе сформулированных законов составить уравнение или систему уравнений, решая которую можно найти искомые величины.

6. Решить уравнение и получить в общем виде расчетную формулу, в левой части которой стоит искомая величина, а в правой - величины, данные в условии задачи.

7. Проверить единицы измерения полученных величин по расчетной формуле и тем самым подтвердить ее правильность.

8. Произвести вычисления. Для этого необходимо все значения величин в единицах СИ подставить в расчетную формулу и выполнить вычисления (с точностью не более 2-3 значащих цифр).

9. При подстановке в расчетную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 6340 надо записать $6{,}34 \cdot 10^3$.

Выполненные контрольные работы сдаются на рецензию преподавателю по крайней мере за одну неделю до экзамена по физике. После рецензирования вносятся исправления в решение задач в соответствии с замечаниями преподавателя. Исправленные решения помещаются в конце тетради с контрольными работами, которые сдаются на повторную рецензию.

Зачет по каждой контрольной работе принимается преподавателем в процессе собеседования по правильно решенной и прорецензированной контрольной работе.

В каждой контрольной работе следует решить восемь задач. Номера задач определяются по табл. 1…3 в соответствии с номером своего варианта. Номер варианта соответствует последней цифре шифра студента.

Контрольные работы выполняются в школьной тетради, на обложке которой приводятся сведения о студенте (фамилия, имя, отчество, факультет, шифр, номер специальности), а также номер контрольной работы, номер варианта и номера всех задач контрольной работы.

Литература

Основная

1. Трофимова Т.И. Курс физики. - М.: Высш. шк., 1985 и др. издания.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. - М.: Высш.шк., 1989.
3.Савельев И.В. Курс общей физики. - М.: Наука, 1989 и др.издания.

Дополнительная

4.Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике.- М.: Интеграл-Пресс, 1997.
5. Изергина Е.Н., Петров Н.И. Все решения к «Сборнику задач по общему курсу физики» В.С. Волькенштейн. В 2 кн. - М.,1999.
6. Трофимова Т.И., Павлова З.Г. Сборник задач по курсу физики с решениями. - М.,Высш. шк., 1999 и др.издания.
7. Трофимова Т.И. Физика. 500 основных законов и формул: справочник. - М., Высш. шк., 2000.
8. Физика. Основные законы и формулы: руководство к решению задач /Ю.А.Карташов, И.В.Попов. - СПб.: СЗПИ, 1998.
9. Физика. Ч. 1. Физические основы механики: Текст лекций/ В.М. Цаплев, И.Г. Орехова, Е.А. Лиходаева, К.А. Стабровский. - СПб.: СЗПИ, 1999.
10. Цаплев В.М. , Орехова И.Г., Лиходаева Е.А. Физика. Ч. 3. Молекулярная физика. Термодинамика: Текст лекций. –СПб. : СЗПИ, 1999.
11. Физика. Ч. 1. Электростатика. Постоянный ток: Текст лекций/ В.М. Цаплев, И.Г. Орехова, Е.А. Лиходаева, К.А. Стабровский. - СПб.: СЗПИ,1999.
12. Электростатика. Постоянный ток: Текст лекций/ К.Ф. Комаровских, Н.А. Гладущак, Е.А. Лиходаева, И.Г. Орехова. - Л.: СЗПИ, 1990.
13.Цаплев В.М., Орехова И.Г., Лиходаева Е.А. Физика. Часть 1. Магнитостатика. Электромагнетизм: Текст лекций.-СПб.:СЗПИ,1999.
14.Комаровских К.Ф., Лиходаева Е.А., Орехова И.Г. Электромагнетизм. Текст лекций.- Л.: СЗПИ, 1990.
15.Федорцов А.Б., Чуркин Ю.В. Волновая оптика. Текст лекций.- СПб.: СЗПИ, 1993.
16.Климчицкая Г.Л., Шабаев В.М. Элементы квантовой механики и атомной физики: Текст лекций.- СПб.: СЗПИ, 1992.
17. Физика твердого тела: Текст лекций/ К.Ф. Комаровских, А.Г. Арешкин, Ю.А. Карташов, Ю.Л. Яхно, Г.В.Парантаев. - СПб.: СЗПИ, 1993.
18.Иванов В.Г., Федорцов А.Б. Основные единицы измерения оптического излучения: Текст лекций.-СПб.: СЗПИ, 1992.
19.Иванов В.Г., Торчинский И.А., Харламова В.Б. Основы квантовой оптики: Текст лекций. - СПб.: СЗПИ, 1993.
20.Федорцов А.Б. Радиационная безопасность. Учеб. пособие.- СПб.: СЗПИ, 1996.

2. Методические указания к выполнению контрольной работы №1

2.1. Общие указания

В контрольную работу №1 включены задачи по разделам: "Физические основы механики", "Молекулярная физика", "Основы термодинамики".

Задачи 101…150 относятся к разделу "Физические основы механики" на следующие темы: "Кинематика поступательного и вращательного движения" (101…110); "Динамика поступательного движения" (111…120); "Законы сохранения импульса и механической энергии" (121…140); "Динамика вращательного движения твердого тела" (141…150). На разделы "Молекулярная физика" и "Основы термодинамики" даны задачи 151…180. Для решения задач на эти темы необходимо усвоить основные понятия, процессы с идеальным газом, уравнение состояния идеального газа (задачи 151…159), понятие внутренней энергии, основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов (160-164), I начало термодинамики, теплоемкость идеального газа, применение I начала к различным процессам (165…173); II начало термодинамики, принцип действия тепловой и холодильной машин (177…180).

Таблица 1

№ варианта	Номера задач							
0	101	111	121	131	141	151	161	171
1	102	112	122	132	142	152	162	172
2	103	113	123	133	143	153	163	173
3	104	114	124	134	144	154	164	174
4	105	115	125	135	145	155	165	175
5	106	116	126	136	146	156	166	176
6	107	117	127	137	147	157	167	177
7	108	118	128	138	148	158	168	178
8	109	119	129	139	149	159	169	179
9	110	120	130	140	150	160	170	180

Для решения этих задач необходимо ознакомиться с конкретными физическими понятиями, законами и формулами данной темы по следующим учебным пособиям (см. список литературы) -

По теме "Кинематика и динамика материальной точки и поступательного движения твердого тела": [1], с. 7…11, 14…19 или [3], с. 11…14, 21…39, 43…54; "Законы сохранения в механике": [1], с.19…21, 23…33, 46…51 или [2], с.56…92, 187…195. По теме "Динамика вращательного движения твердого тела": [1], с. 12…14, 34…40 или [3], с. 94…112. По теме "Физические основы молекулярно-кинетической теории": [1], с. 81…95 или [3], с. 207…211; 214…226, 252…274. По теме "Основы термодинамики": [1], с.90…118 или [3], с. 227…249, 289…295, 298…307.

2.2. Основные законы, формулы, примеры решения задач

Физические основы механики.
Кинематика поступательного и вращательного движения

1.Кинематическое уравнение движения материальной точки вдоль оси X:

$$x = f(t),$$

где $f(t)$ - некоторая функция времени.

2. Средняя скорость за промежуток времени Δt

$$\langle v_x \rangle = \frac{\Delta x}{\Delta t},$$

где $\Delta x = x_2 - x_1$; x_1 - положение точки в момент времени t_1; x_2 - положение точки в момент t_2; $\Delta t = t_2 - t_1$.

3.Мгновенная скорость

$$v_x = \frac{dx}{dt}.$$

4. Среднее ускорение

$$\langle a_x \rangle = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}.$$

5. Мгновенное ускорение

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}.$$

6.Уравнение равнопеременного движения

$$x = v_0 t + \frac{at^2}{2},$$

где v_0 - скорость точки в момент времени $t = 0$.

7. Скорость равнопеременного движения

$$v = v_0 t + at\,.$$

8. Уравнение движения точки по окружности

$$\varphi = f(t)\,,$$

где φ - угловое положение точки в момент времени t.

9. Угловая скорость точки, движущейся по окружности:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}\,.$$

10. Угловая скорость при равномерном движении по окружности

$$\omega = 2\pi n\,,$$

где n - число оборотов в секунду.

11. Угловое ускорение

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}\,.$$

12. Связь между линейными и угловыми величинами, характеризующими движение точки по окружности:

$$v = \omega R\,,$$
$$a_\tau = \beta R\,,$$
$$a_n = \omega^2 R\,,$$

где v - линейная скорость точки (направлено по касательной к окружности); a_τ - тангенциальное ускорение (направлено по касательной); a_n - нормальное ускорение (направлено к центру окружности); R - радиус окружности.

13. Полное ускорение

$$a = \sqrt{a_\tau^{2} + a_n^{2}}\,, \text{или}$$
$$a = R\sqrt{\beta^2 + \omega^4}\,.$$

14. Уравнение равнопеременного движения по окружности

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{\beta t^2}{2}\,,$$

где ω_0 - скорость точки в момент времени $t = 0$.

15. Угловая скорость равнопеременного движения по окружности

$$\omega = \omega_0 + \beta t\,.$$

Динамика материальной точки и тела, движущихся поступательно

16. Импульс (количество движения) движущейся материальной точки массой m со скоростью $\vec{v}$

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

17. Второй закон Ньютона

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F},$$

где $\vec{F}$ - сила, действующая на материальную точку.

18. Второй закон Ньютона для средних значений силы

$$\frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = \langle\vec{F}\rangle,$$

где $\langle\vec{F}\rangle$ - среднее значение силы за время Δt.

19. Силы, рассматриваемые в механике:

а) сила упругости

$$F_x = -kx,$$

где k - коэффициент жесткости пружины; x – ее абсолютная деформация;

б) сила гравитационного взаимодействия

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где G - гравитационная постоянная; m_1 и m_2 - массы взаимодействующих материальных точек; r - расстояние между материальными точками (или телами).

в) сила трения скольжения

$$F = fN,$$

где f - коэффициент трения скольжения; N - сила нормального давления.

20. Закон сохранения импульса для замкнутой системы из двух тел

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2,$$

где $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$ - скорости тел в начальный момент времени; $\vec{u}_1$ и $\vec{u}_2$ - скорости тех же тел в конечный момент времени.

21. Кинетическая энергия тела, движущегося поступательно:

$$E_K = \frac{mv^2}{2} \qquad \text{или} \qquad E_K = \frac{p^2}{2m}.$$

22. Потенциальная энергия:

а) упруго деформированной пружины

$$E_П = \frac{1}{2}kx^2,$$

где k - коэффициент жесткости пружины; x - абсолютная деформация;

б) тела, находящегося в однородном поле силы тяжести:

$$E_П = mgh,$$

где g – ускорение свободного падения тела; h – высота тела над уровнем, принятым за нулевой (формула справедлива при условии $h<<R$, где R – радиус Земли).

23. Работа постоянной силы при прямолинейном движении

$$A = F_x \Delta x,$$

где F_x - проекция силы на направление перемещения.

24. Полная механическая энергии системы

$$E = E_K + E_П.$$

25. Закон сохранения энергии в замкнутой системе тел, в которой действуют только консервативные силы

$$E(t) = E_K(t) + E_П(t) = const,$$

где t - произвольный момент времени.

26. Работа A, совершаемая внешними силами, определяется как мера изменения энергии системы:

$$A = \Delta E = E_2 - E_1,$$

где $\Delta E = E_2 - E_1$ - изменение полной энергии системы.

Динамика вращательного движения абсолютно твердого тела вокруг неподвижной оси

27. Основное уравнение динамики вращательного движения относительно неподвижной оси

$$\vec{M} = J\vec{\beta},$$

где $\vec{M}$ – результирующий момент внешних сил относительно оси вращения; $\vec{\beta}$ - угловое ускорение; J – момент инерции тела относительно оси вращения.

28. Моменты инерции некоторых тел массой m относительно оси вращения, проходящей через центр симметрии:

а) стержня длиной l относительно оси, перпендикулярной стержню:

$$J = \frac{1}{2} ml^2;$$

б) обруча (тонкостенного цилиндра) радиуса R относительно оси, перпендикулярной плоскости обруча (совпадающей с осью цилиндра):

$$J = mR^2;$$

в) диска радиусом R относительно оси, перпендикулярной плоскости диска:

$$J = \frac{1}{2} mR^2.$$

29. Момент импульса тела относительно оси вращения

$$\vec{L} = J\vec{\omega},$$

где $\vec{\omega}$ - угловая скорость тела.

30. Закон сохранения момента импульса системы двух тел относительно общей неподвижной оси вращения

$$\vec{L}_1(t) + \vec{L}_2(t) = const,$$

где $\vec{L}_1(t)$ и $\vec{L}_2(t)$ - моменты импульсов первого и второго тел относительно общей оси вращения.

31. Кинетическая энергия абсолютно твердого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси:

$$E_k = \frac{1}{2} J\omega^2; \quad \text{или} \quad E_k = \frac{L^2}{2J}.$$

32. Элементарная работа при повороте абсолютно твердого тела на малый угол $\Delta\varphi$

$$\Delta A = M\Delta\varphi.$$

Примеры решения задач

Пример 1

Две материальные точки движутся по прямой согласно уравнениям: $x_1 = A_1 + B_1 t + C_1 t^2$ и $x_2 = A_2 + B_2 t + C_2 t^2$, где $A_1 = 10$ м; $B_1 = 4$ м/с; $C_1 = -2$ м/с^2; $A_2 = 3$ м; $B_2 = 2$ м/с; $C_2 = 0{,}2$ м/с^2. В какой момент времени скорости этих точек будут одинаковы? Найти ускорения этих точек в момент времени 3с.

Дано:

$x_1 = A_1 + B_1 t + C_1 t^2$

$x_2 = A_2 + B_2 t + C_2 t^2$

$A_1 = 10$ м; $B_1 = 4$ м/с; $C_1 = -2$ м/с^2

$A_2 = 3$ м; $B_2 = 2$ м/с; $C_2 = 0{,}2$ м/с^2

$t = ?$ (при $v_1 = v_2$)

$a_1 = ?$ $a_2 = ?$

Решение. Так как требуется найти скорость и ускорение в определенный момент времени ($t = 2$ с), то это значит, что нужно определить мгновенные значения скоростей и ускорений.

Мгновенная скорость v есть первая производная от координаты по времени. Получим выражения для v_1 и v_2 :

$$v_1 = \frac{dx_1}{dt} = B_1 + 2C_1 t; \qquad (1)$$

$$v_2 = \frac{dx_2}{dt} = B_2 + 2C_2 t. \qquad (2)$$

Определим момент времени, в который $v_1 = v_2$, для чего приравняем правые части выражений (1) и (2):

$$B_1 + 2C_1 t = B_2 + 2C_2 t,$$

откуда

$$t = \frac{B_1 - B_2}{2(C_1 - C_2)}. \qquad (3)$$

Подставляя числовые значения в формулу (3), получим

$$t = \frac{4-2}{2\cdot(0{,}2+2)} = 0{,}4\,c.$$

Ускорение точек найдем, взяв первую производную от скорости по времени:

$$a_1 = \frac{dv_1}{dt} = 2C_1; \qquad (4)$$

$$a_2 = \frac{dv_2}{dt} = 2C_2. \qquad (5)$$

Из выражений (4) и (5) видно, что движение обеих точек происходит с постоянным ускорением:

$$a_1 = 2C_1 = 2\cdot(-2)\ \text{м/с}^2 = -4\ \text{м/с}^2,$$
$$a_2 = 2C_2 = 2\cdot(0{,}2)\ \text{м/с}^2 = 0{,}4\ \text{м/с}^2.$$

Пример 2

Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону

$\varphi = A + Bt + Ct^2$, где A=12 рад; B=18 рад/с; C=-4 рад/с^2.

Определить нормальное и тангенциальное ускорение точки, расположенной на расстоянии 0,2 м от оси вращения в момент времени 2с.

Дано:

$\varphi = A + Bt + Ct^2$

A=12 рад; B=18 рад/с; C=-4 рад/с^2.

t= 2 с, R = 0,2 м.

a_n=?

a_τ =?

Решение. Тангенциальное и нормальное ускорения точки, вращающегося тела выражаются формулами

$$a_\tau = \beta r, \quad a_n = \omega^2 r \qquad (1)$$

где ω - угловая скорость тела;

β - его угловое ускорение.

Угловую скорость ω найдем, взяв первую производную от угла поворота по времени:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = B + 2Ct_1 \ . \qquad (2)$$

В момент t=2 с угловая скорость равна

$$\omega = [18 + 2\cdot(-4)\cdot 2] \text{ рад/с} = 2 \text{ рад/с}.$$

Угловое ускорение найдем, взяв производную от угловой скорости по времени:

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = 2C = -8 \text{ рад/с}^2.$$

Подставляя значения β, ω, r в формулу (1), получим

$$a_\tau = (-8)\cdot 0{,}2\,\frac{м}{с^2} = -1{,}6\,\frac{м}{с^2}$$

$$a_n = 2^2\cdot 0{,}2\,\frac{м}{с^2} = 0{,}8\,\frac{м}{с^2}.$$

Пример 3

Поезд массой 4000 т идет со скоростью 36 км/ч. Перед остановкой поезд начинает тормозить. Сила торможения равна $2 \cdot 10^5$ Н. Какое расстояние пройдет поезд за 1 минуту после начала торможения?

Дано:
$V_0 = 36$ км/ч
$F = 2 \cdot 10^5$ Н
$t = 1$ мин

$S = ?$

Решение. После начала торможения поезд стал двигаться равнозамедленно, следовательно, путь, который прошел поезд, выражается формулой

$$S = V_0 t - \frac{at^2}{2}, \qquad (1)$$

где V_0 – начальная скорость движения поезда. На поезд действует при этом только одна сила – сила торможения. Эта сила сообщает поезду отрицательное ускорение. По второму закону Ньютона это ускорение равно

$$a = \frac{F}{m}. \qquad (2)$$

Подставим выражение (2) в формулу (1) и получим

$$S = V_0 t - \frac{Ft^2}{2m}. \qquad (3)$$

Подставляем числовые значения V_0, F, t в формулу (3), проведем вычисления S. Предварительно все данные запишем в системе СИ:

$m = 4000$ т $= 4 \cdot 10^6$ кг,
$V_0 = 36$ км/ч $= 10$ м/с,
$F = 2 \cdot 10^5$ Н,
$t = 1$мин $= 60$ с.

Тогда

$$S = 10\text{м}/\text{с}\cdot 60\,\text{с} - \frac{2\cdot 10^{5}\,Н\cdot(3{,}6\cdot 10^{3})\text{с}^{2}}{2\cdot 4\cdot 10^{6}\,\text{кг}} = 510\text{м}.$$

Пример 4

Тележка с песком массой 40 кг движется горизонтально со скоростью 5 м/с. Камень массой 10 кг попадает в песок и движется вместе с тележкой. Найти скорость тележки после попадания камня: а) падающего по вертикали; б) летящего горизонтально навстречу тележке со скоростью 10 м/с.

Дано:
m_1 = 40 кг
v_1 = 5 м/с
m_2 = 10 кг
а) $v_2 = 0$, б) v_2 = 10 м/с

---

u = ?

Решение. Рассмотрим систему, состоящую из тележки и камня. Внешняя сила (сила тяжести) направлена вертикально, поэтому по отношению к вертикальному движению система незамкнута, и закон сохранения импульса неприменим. В горизонтальном направлении внешние силы отсутствуют, и закон сохранения импульса выполняется в проекции на направление движения. В качестве положительного направления оси X примем направление движения тележки.

После вертикального падения камня скорость системы уменьшится только в связи с увеличением массы. Закон сохранения импульса для данного случая имеет вид

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2)\,u, \tag{1}$$

откуда

$$u = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1. \tag{2}$$

После подстановки числовых значений в выражение (2), получим

$$u = \frac{40\cdot 5}{40+10} = 4\text{м/с}.$$

Запишем закон сохранения импульса в проекции на ось X для случая, когда камень летит горизонтально со скоростью v_2 = 10 м/с и застревает в песке:

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = (m_1 + m_2)u\,, \qquad (3)$$

откуда

$$u = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2}\,. \qquad (4)$$

Произведем вычисления величины u:

$$u = \frac{40 \cdot 5 - 10 \cdot 10}{40 + 40}\ м/с = 2м/с\,.$$

Пример 5

В мешок с песком массой 4 кг, висящий на длинной нерастяжимой нити, попадает пуля, летящая горизонтально со скоростью 400 м/с, и застревает в нем. Масса пули 10 г. Найти высоту, на которую отклонится мешок с песком.

Дано:
m_1 =4 кг
v_1 =0
m_2 =10 г=10^{-2} кг
v_2 =400 м/с

$h = ?$

Решение. В горизонтальном направлении на пулю и мешок внешние силы не действуют, поэтому система мешок - пуля может считаться замкнутой.

Тогда закон сохранения импульса в проекции на ось X запишется в виде

$$m_2 v_2 = (m_1 + m_2)u\,, \qquad (1)$$

где u - скорость совместного движения мешка и пули. Отсюда

$$u = \frac{m_2 v_2}{m_1 + m_2}\,. \qquad (2)$$

После того как в мешок попала пуля, оба эти тела движутся вместе, и их кинетическая энергия переходит в потенциальную энергию.

Согласно закону сохранения энергии

$$\frac{(m_1+m_2)}{2}u^2=(m_1+m_2)gh\,. \qquad (3)$$

Подставив (2) в формулу (3), выразим высоту подъема h:

$$h=\frac{u^2}{2g}=\left(\frac{m_2}{m_1+m_2}\right)^2\frac{v_2^2}{2g}\ . \qquad (4)$$

Проведем вычисления по формуле (4)

$$h=\left(\frac{10^{-2}}{4+0{,}01}\right)^2\cdot\frac{16\cdot 10^4}{2\cdot 9{,}81}\cong 5{,}1\cdot 10^{-2}\,м=5{,}1\,см.$$

Пример 6

Маховик в виде диска массой 50 кг и радиусом 20 см вращается с частотой 480 об/м. Затем к поверхности маховика прижали тормозную колодку, под действием которой маховик остановился через 50 с. Определить момент сил торможения.

Дано:
m = 50 кг
R = 0,2 м
Δt = 50 с
n =480 об/мин = 8 об/с

M = ?

Решение. Для определения тормозящего момента M используем основное уравнение динамики вращательного движения в виде

$$M=\frac{\Delta L}{\Delta t}, \qquad (1)$$

где L=$J\omega$ - момент количества движения маховика;

$J = \dfrac{mR^2}{2}$ - его момент инерции.

Тогда $\Delta L = J\Delta\omega$ - изменение момента количества движения маховика за время Δt.

$$\Delta L = J\Delta\omega = J\{\omega_2 - \omega_1) = -J\omega_1, \qquad (2)$$

где начальная угловая скорость маховика

$$\omega_1 = 2\pi n_1 , \qquad (3)$$

а конечная $\omega_2 = 0$.

После подстановки выражений (2) и (3) в формулу (1) получим

$$M = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{J \cdot 2\pi n}{\Delta t} = \frac{mR^2 \cdot 2\pi n}{2 \cdot \Delta t} = \frac{mR^2 \cdot \pi n}{\Delta t}. \qquad (4)$$

В результате вычислений по формуле (4) получим

$$M = \frac{mR^2 \cdot \pi n}{\Delta t} = \frac{50 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 3{,}14 \cdot 8}{50} = 1{,}05\ H .$$

Пример 7

Диск массой 5 кг катится без скольжения по горизонтальной плоскости со скоростью 2 м/с. Найти кинетическую энергию диска.

Дано:
$m = 5$ кг
$v = 2$ м/с

$E_k = ?$

Решение. Кинетическая энергия диска складывается из кинетических энергий поступательного и вращательного движений, т.е.

$$E_k = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}, \qquad (1)$$

где момент инерции диска

$$J = \frac{mR^2}{2},$$

а угловая скорость $\omega = v/R$. Подставляя значения J и ω в формулу (1), получим

$$E_k = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{mR^2}{2} \cdot \frac{v^2}{2R^2} = \frac{3}{4} mv^2 . \qquad (2)$$

Вычисления дают

$$E_k = \frac{3}{4} mv^2 = \frac{3}{4} \cdot 5 \cdot 4 = 15 \text{ Дж} .$$

Молекулярная физика. Основы термодинамики

1.Уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона-Менделеева)

$$pV = \frac{m}{\mu} RT ,$$

где p - давление газа; V - его объем; T - абсолютная температура; m - масса газа; μ - молярная масса газа; R - универсальная газовая постоянная; $\frac{m}{\mu}$ - количество молей.

2. Число молекул N в данной массе газа

$$N = \frac{m}{\mu} N_A ,$$

где $N_A = 6{,}23 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$ (постоянная Авогадро) - число молекул в одном моле.

3. Опытные газовые законы, являющиеся частными случаями уравнения Клапейрона-Менделеева для различных изопроцессов:

а). Закон Бойля-Мариотта (описывает изотермический процесс)

$$pV = const \qquad \text{или} \qquad \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

при m = const, T = const (m - масса газа; T - абсолютная температура).

б). Закон Гей-Люссака (описывает изобарический процесс при m = const; p = const) для двух состояний

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}.$$

в). Закон Шарля (m = const; V = const - изохорический процесс) для двух состояний

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}.$$

4. Основное уравнение кинетической теории газов

$$p = \frac{2}{3} n < E_П >,$$

где n - число молекул в единице объема; $<E_П>$ - средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы.

5. Средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы

$$< E_П > = \frac{3}{2} kT,$$

где $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К - постоянная Больцмана.

6. Средняя кинетическая энергия (поступательного и вращательного движения) одной молекулы

$$< E_i > = \frac{i}{2} kT,$$

где i - число степеней свободы молекулы. Для одноатомного газа i =3; для двухатомного i = 5; для многоатомного i = 6.

7. Зависимость давления газа от концентрации молекул и температуры

$$p = nkT.$$

8. Внутренняя энергия произвольной массы газа (суммарная кинетическая энергия теплового движения молекул газа)

$$U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT.$$

9. Связь между молярной (C_μ) и удельной (c) теплоемкостями

$$C_\mu = \mu c.$$

10. Молярная теплоемкость идеального газа при постоянном объеме

$$C_{V\mu} = \frac{i}{2} R;$$

при постоянном давлении

$$C_{p\mu} = \frac{i+2}{2} R.$$

11. Первое начало термодинамики (закон сохранения энергии для тепловых процессов)

$$Q = \Delta U + A,$$

где Q - количество теплоты, сообщенное системе; ΔU - изменение внутренней энергии системы; A - работа, совершенная системой против действия внешних сил.

$$\Delta U = \frac{i}{2} R \frac{m}{\mu} \Delta T.$$

Работа расширения газа

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV.$$

12. Работа, совершаемая газом:

а) в изотермическом процессе

$$A = \frac{m}{\mu} RT\, ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right);$$

б) в изобарическом процессе

$$A = p\left(V_2 - V_2\right);$$

в) в адиабатическом процессе

$$A = -\Delta U = \frac{m}{\mu}\frac{RT_1}{\gamma - 1}\left[1 - \left(\frac{V_1}{V_1}\right)^{\gamma - 1}\right],$$

где $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i}$ - показатель адиабаты.

13. Коэффициент полезного действия тепловой машины

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{A}{Q_1},$$

где

Q_1 - количество теплоты, переданное теплоотдатчиком рабочему телу;

Q_2 - количество теплоты, отданное теплоприемнику;

$A = Q_1 - Q_2$ - полезная работа за цикл.

14. Термический КПД идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где T_1 - температура теплоотдатчика;

T_2 - температура теплоприемника.

15. Коэффициент полезного действия холодильной машины, работающей по обратному циклу:

$$\eta_x = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{|Q_1| - Q_2},$$

где Q_2 - количество теплоты, отведенное от охлаждаемого тела; A - затраченная в цикле работа.

16. Связь КПД тепловой и холодильной машин, работающих по прямому и обратному циклам:

$$\eta_x = \frac{1 - \eta}{\eta},$$

где η - КПД тепловой машины.

Примеры решения задач

Пример 1

В баллоне объемом 10 л находится гелий под давлением 1 МПа и температуре 300 К. После того как из баллона было выпущено 10 г гелия, температура в баллоне понизилась до 290 К. Определить давление гелия, оставшегося в баллоне.

Дано:
V=10 л = 10^{-2} м^3
p=1 МПа = 10^6 Па
Δm = 10 г = 10^{-2} кг
T_2 = 290 К; $\mu = 4\cdot10^{-3}$ кг/моль

---

p_2 = ?

Решение. Применим уравнение Клапейрона-Менделеева

$$p_2 V = \frac{m_2}{\mu} R T_2 \,, \tag{1}$$

где m_2 - масса гелия в баллоне в конечном состоянии;
μ - молярная масса гелия;
R - универсальная газовая постоянная.
Из этого уравнения выразим давление p_2:

$$p_2 = \frac{m_2 R T_2}{\mu V} \,. \tag{2}$$

Масса гелия $m_2 = m_1 - \Delta m$,
где m_1 - масса гелия в начальном состоянии;
Δm - масса гелия, взятого из баллона.

Масса гелия m_1 находится из уравнения Клапейрона-Менделеева, записанного для начального состояния:

$$m_1 = \frac{\mu p_1 V}{R T_1} \,. \tag{3}$$

Окончательно искомое давление с учетом (2) и (3) выразится так:

$$p_2 = \frac{m_2 RT_2}{\mu V} = \frac{(m_1 - \Delta m)RT_2}{\mu V} = \left(\frac{\mu p_1 V}{RT_1} - \Delta m\right)\frac{RT_2}{\mu V} = \frac{T_2}{T_1} \cdot p_1 - \frac{\Delta m}{\mu}\frac{RT_2}{V}. \quad (4)$$

Проведем вычисления по формуле (4)

$$p_2 = \left(\frac{290}{300} \cdot 10^6 - \frac{10^{-2}}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{8{,}31}{10^{-2}} \cdot 290\right) \text{Па} = 0{,}364 \text{ МПа}.$$

Пример 2

Определить среднюю кинетическую энергию вращательного движения одной молекулы углекислого газа при температуре 400 К и полную кинетическую энергию теплового движения всех молекул, находящихся в 20 г углекислого газа. Молярная масса углекислого газа $44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Дано:
m = 20 г = $2 \cdot 10^{-2}$ кг
T = 440 K
$\mu = 44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль

$\langle E_{вр} \rangle$ = ?; U = ?

Решение. Углекислый газ CO_2 - трехатомный, для одной молекулы такого газа 3 степени свободы приходятся на поступательное движение и 3 степени свободы на вращательное движение, всего одна молекула трехатомного газа имеет 6 степеней свободы (i =6). На каждую степень свободы приходится одинаковая средняя энергия, равная $\frac{1}{2}kT$, где k - постоянная Больцмана.

Поэтому средняя энергия вращательного движения одной молекулы

$$\langle E_{вр} \rangle = 3 \cdot \frac{1}{2}kT = \frac{3}{2}kT. \quad (1)$$

Полная кинетическая энергия теплового движения молекул CO_2 - это внутренняя энергия газа. Число молекул, содержащихся в данной массе газа:

$$N = \frac{m}{\mu} N_A, \quad (2)$$

где N_A - постоянная Авогадро.

Поэтому полная кинетическая энергия теплового движения молекул

$$U = N \cdot \frac{i}{2} kT = \frac{m}{\mu} N_A \cdot \frac{6}{2} kT = \frac{m}{\mu} N_A \cdot 3kT\,. \qquad (3)$$

Произведем вычисления по формулам (1) и (3)

$$< E_{вр} >= \frac{3}{2} kT = 1{,}5 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 4 \cdot 10^{2} = 8{,}28 \cdot 10^{-21}\,\text{Дж}\,;$$

$$U = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{44 \cdot 10^{-3}} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} \cdot 3 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 4 \cdot 10^{2} = 4531{,}4\,\text{Дж} = 4{,}53\,\text{кДж}\,.$$

Пример 3

Разность удельных теплоемкостей некоторого двухатомного газа $c_p - c_V = 260 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. Найти молярную массу газа и его удельные теплоемкости.

Дано:

$c_p - c_V = 260 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

$i = 5$

$\mu = ?$

$c_{p\,уд.} = ?$

$c_{V\,уд.} = ?$

Решение. Известно, что формулы для молярных теплоемкостей газа при постоянном объеме и при постоянном давлении имеют вид

$$C_V = \frac{i}{2} R;$$
$$C_p = \frac{i+2}{i} R, \qquad (1)$$

где i - число степеней свободы;

R - универсальная газовая постоянная.

С другой стороны, удельная теплоемкость связана с молярной соотношением

$$c = \frac{C}{\mu}. \qquad (2)$$

Поэтому

$$c_p - c_V = \frac{C_p - C_V}{\mu} = \Delta c. \qquad (3)$$

Тогда

$$\mu = \frac{C_p - C_V}{\Delta c} = \frac{\frac{i+2}{i}R - \frac{i}{2}R}{\Delta c} = \frac{R}{\Delta c}. \qquad (4)$$

Удельная теплоемкость при постоянном объеме

$$c_V = \frac{C_V}{\mu} = \frac{iR}{2\mu}, \qquad (5)$$

а при постоянном давлении

$$c_p = \frac{C_p}{\mu} = \frac{(i+2)R}{2\mu}. \qquad (6)$$

Проведем вычисления по формулам (4), (5), (6):

$$\mu = \frac{R}{\Delta c} = \frac{8{,}31}{2{,}60 \cdot 10^2} \approx 32 \cdot 10^{-3}\,\frac{кг}{моль};$$

$$c_V = \frac{5R}{2\mu} = \frac{2{,}5 \cdot 8{,}31}{32 \cdot 10^{-3}} \approx 649\,\frac{Дж}{кг \cdot К};$$

$$c_p = \frac{7R}{2\mu} = \frac{3{,}5 \cdot 8{,}31}{32 \cdot 10^{-3}} \approx 909\,\frac{Дж}{кг \cdot К}.$$

Пример 4

При изобарическом расширении двухатомного газа была совершена работа 2 кДж. Какое количество теплоты сообщено газу?

Дано:

$i = 5$

$A = 2 \cdot 10^3$ Дж

$Q_p = ?$

Решение. Известно, что при изобарическом процессе совершается работа

$$A = p\left(V_2 - V_1\right) = \frac{m}{\mu} R\left(T_2 - T_1\right) = \frac{m}{\mu} R\Delta T\ . \qquad (1)$$

Следовательно

$$\Delta T = \frac{A}{\frac{m}{\mu} R}\ . \qquad (2)$$

Количество теплоты, подведенное к газу в процессе изобарического расширения, равно

$$Q_p = \frac{m}{\mu} C_p \Delta T\ , \qquad (3)$$

где $C_p = \frac{i+2}{2} R$ - молярная теплоемкость при постоянном давлении. С учетом этого

$$Q_p = \frac{m}{\mu} \frac{i+2}{2} R\Delta T\ . \qquad (4)$$

Подставляя выражение (2) в (4), и учитывая, что для двухатомного газа i=5, получим

$$Q_p = \frac{i+2}{2} A = \frac{7}{2} A = 3{,}5 \cdot 2 \cdot 10^3\,\text{Дж} = 7\,\text{кДж}\ .$$

Пример 5

Холодильная машина работает по обратному циклу Карно, холодильный коэффициент которого равен 250 %. Каков термический КПД тепловой машины, работающей по прямому циклу Карно?

Дано:

η_x =250

$\eta = ?$

Решение. Свяжем КПД прямого и обратного циклов Карно.

Термический КПД любой тепловой машины

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}, \tag{1}$$

где A - работа, полученная в цикле,

Q_1 - количество теплоты, полученное рабочим телом от теплоотдатчика,

Q_2 - количество теплоты, отданное теплоприемнику.

В обратном цикле при работе холодильной машины осуществляется передача теплоты от холодного тела горячему за счет совершения работы внешними силами.

Холодильный коэффициент

$$\eta_x = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{|Q_1| - Q_2}. \tag{2}$$

Преобразуем выражение (2)

$$\eta_x = \frac{Q_2}{|Q_1| - Q_2} = \frac{1}{\frac{Q_1}{Q_2} - 1}. \tag{3}$$

Выразим $\frac{Q_1}{Q_2}$ из формулы (1):

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{1}{1-\eta}. \tag{4}$$

Подставим (4) в (3) и получим выражение, связывающее η и η_x:

$$\eta_x = \frac{1}{\frac{Q_1}{Q_2} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{1-\eta} - 1} = \frac{1-\eta}{\eta}. \tag{5}$$

Теперь вычислим η, воспользовавшись выражением (5):

$$\eta = \frac{1}{1+\eta_x} = \frac{1}{1+2{,}5} = \frac{1}{3{,}5} = 0{,}286.$$

2.3.Задание на контрольную работу №1

101. Уравнение движения материальной точки вдоль оси x имеет вид $x = A + Bt + Ct^3$, где A = 2 м; B = 1 м/с; C = - 0,5 м/с^3. Найти координату, скорость и ускорение точки в момент времени 2 с, а также среднюю скорость в промежуток времени от 1 с до 2 с.

102. Уравнение движения материальной точки вдоль оси x имеет вид $x = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где C = 0,15 м/с^2; D = 0,01 м/с^3.

а). Определить, через сколько времени после начала движения ускорение точки будет равно 1,5 м/с^2;

б). Найти среднее ускорение за этот промежуток времени.

103. Прямолинейное движение двух материальных точек описывается уравнениями $x_1=A_1t+B_1t^2+C_1t^3$ и $x_2=A_2t+B_2t^2+C_2t^3$, где A_1 =4 м/с; B_1=8 м/с^2; C_1=-16 м/с^3; A_2=2 м/с; B_2=-4 м/с^2; C_2=1 м/с^3. В какой момент времени ускорения этих точек будут одинаковыми? Найти скорости точек в этот момент времени.

104. Зависимость скорости тела от времени при прямолинейном движении дана уравнением $v = 0{,}3\ t^2$. Найти величину ускорения тела в момент времени 2 с и путь, пройденный телом за интервал времени от 0 до 2 с.

105. Тело вращается по окружности согласно уравнению $\varphi=A+Bt+Ct^3$, где A=2 рад; B=1 рад/с; C=-0,5 рад/с^3. Найти полное ускорение точки, находящейся на расстоянии 1 м от оси вращения для момента времени 2 с, а также среднюю угловую скорость в промежутке времени от 1 до 2 с.

106. Колесо автомобиля, вращающегося с частотой 1200 оборотов в минуту, при торможении стало вращаться равнозамедленно и остановилось через 20 с. Найти угловое ускорение колеса и число оборотов с момента начала торможения до остановки.

107. По дуге окружности радиусом 10 м движется точка. В некоторый момент времени нормальное ускорение точки равно 4,9 м/с^2. Вектор полного ускорения составляет в этот момент угол 60^0 с вектором нормального ускорения. Определить мгновенную скорость и тангенциальное ускорение точки в этот момент времени.

108. Колесо радиусом 0,3 м вращается согласно уравнению φ=5-2t+0,2t^2. Найти нормальное, тангенциальное и полное ускорение точек на ободе колеса через 5 с после начала движения.

109. Прямолинейное движение материальной точки описывается уравнением: $x = A + Bt + Ct^2$, где A = 5 м; B = -8 м/с; C = 4 м/с^2. Считая массу равной 2 кг, определить импульс точки через 2 и 4 с после начала отсчета времени, а также силу, вызвавшую это изменение импульса.

110. Колесо, вращаясь равноускоренно, достигает угловой скорости 2π рад/с через 10 оборотов после начала вращения. Найти угловое ускорение колеса.

111. Автомобиль массой 1,5 т мчится по шоссе со скоростью 150 км/ч. Если отпустить педаль газа, то в течение 5 с его скорость снизится до 120 км/ч. Чему равна средняя сила сопротивления? Какую часть она составляет от веса автомобиля?

112. Найти удлинение буксирного троса, жесткость которого равна 100 кН/м, при буксировке автомобиля массой 2 т с ускорением 0,5 м/с^2. Трением пренебречь.

113. Из орудия вылетает снаряд массой 10 кг со скоростью 600 м/с. Определить среднюю силу давления пороховых газов, если снаряд движется внутри ствола орудия в течение 0,005 с.

114. Шарик массой 100 г упал с высоты 2,5 м на горизонтальную плиту, масса которой много больше массы шарика, и отскочил от нее вверх. Считая удар абсолютно упругим, определить импульс, полученный плитой.

115. Пуля, имеющая массу 10 г, подлетает к доске толщиной 4 см со скоростью 600 м/с и, пробив доску, вылетает со скоростью 300 м/с. Найти среднюю силу сопротивления доски.

116. На участке дороги, где для автотранспорта установлена предельная скорость 30 км/ч, водитель применил аварийное торможение. Инспектор ГАИ по следу колес обнаружил, что тормозной путь равен 12 м. Нарушил ли водитель правила движения, если коэффициент сопротивления[1] (сухой асфальт) равен 0,6?

117. Космический корабль массой 1000 т начинает подниматься вертикально вверх . Сила тяги его движения равна $2{,}94\cdot10^7$ Н. Определить ускорение корабля.

118. Какой массы состав может везти тепловоз с ускорением 0,1 м/с^2 при коэффициенте сопротивления 0,005, если максимальная сила тяги равна 300 кН?

119. Автомобиль едет по горизонтальной дороге со скоростью 27 м/с. Насколько надо сбавить скорость его движения, если автомобилю предстоит сделать поворот по дуге радиусом 45 м? Коэффициент трения равен 0,5.

120. Трос выдерживает нагрузку 1680 Н. С каким наибольшим ускорением можно поднимать груз массой 100 кг, чтобы трос не разорвался?

---

[1] Коэффициент сопротивления движению учитывает все виды трения (колес о дорогу, в осях и т.д.) и показывает, какую часть от силы нормального давления составляет сила сопротивления.

121. Человек и тележка движутся навстречу друг другу. Масса тележки 32 кг, масса человека 64 кг. Скорость тележки 1,8 км/ч, скорость человека 5,4 км/ч. Человек прыгает на тележку. С какой скоростью и в каком направлении будет двигаться тележка с человеком ?

122. На вагонетку массой 800 кг, движущуюся по горизонтальному пути со скоростью 0,2 м/с, насыпали сверху 200 кг щебня. Насколько при этом изменилась скорость вагонетки?

123. С железнодорожной платформы, движущейся прямолинейно со скоростью 2,5 м/с, в направлении, противоположном ее движению, выстрелили из пушки. Масса платформы с пушкой 20 т, масса снаряда 20 кг, его начальная скорость 600 м/с. Определить скорость платформы после выстрела.

124. Мальчик стоит на абсолютно гладком льду и бросает мяч массой 0,5 кг. С какой скоростью после броска начнет скользить мальчик, если горизонтальная составляющая скорости мяча равна 5 м/с, а масса мальчика равна 20 кг?

125. Снаряд массой 20 кг, летящий горизонтально со скоростью 500 м/с, попадает в платформу с песком массой 10 т, движущуюся со скоростью 36 км/ч навстречу снаряду, и застревает в песке. Определить скорость, которую получит платформа от толчка.

126. Какую скорость приобретает ракета массой 0,6 кг, если продукты горения массой $1{,}5\cdot10^{-2}$ кг вылетают из ее сопла со скоростью 800 м/с?

127. От двухступенчатой ракеты массой 1 т при скорости 1710 м/с отделилась её вторая ступень массой 0,4 т. Скорость второй ступени при этом увеличилась до 1860 м/с. Определить, с какой скоростью стала двигаться первая ступени ракеты.

128. Вагон массой 3 т, движущийся по горизонтальному пути со скоростью 1,5 м/с, автоматически на ходу сцепляется с неподвижным вагоном массой 2 т. С какой скоростью движутся вагоны после сцепки?

129. При горизонтальном полете со скоростью 300 м/с снаряд массой 9 кг разорвался на две части. Большая часть массой 7 кг получила скорость 450 м/с в направлении полёта снаряда. Определить величину и направление скорости меньшей части снаряда.

130. Теннисный мяч, летящий со скоростью 10 м/с, отброшен ударом ракетки в противоположном направлении со скоростью 8 м/с. При этом его кинетическая энергия изменилась на 5 Дж. Найти изменение количества движения мяча.

131. В деревянный шар массой 5 кг, подвешенный на нити, попадает горизонтально летящая пуля массой 5 г и застревает в нём. Найти скорость пули, если шар с застрявшей в нем пулей поднялся на высоту 10 см.

132. Два шара массами 2 и 3 кг, движущиеся по одной прямой навстречу друг другу со скоростями 8 и 4 м/с, соответственно, неупруго сталкиваются и двигаются после удара совместно. Определить работу деформации шаров после удара.

133. Молотком массой 1 кг забивают в стену гвоздь массой 75 г. Определить КПД удара.

134. Из орудия массой 5 т вылетает снаряд массой 100 кг. Кинетическая энергия снаряда при вылете $7{,}5 \cdot 10^6$ Дж. Какую кинетическую энергию получает орудие вследствие отдачи?

135. Тело массой 30 кг поднимают постоянной силой на высоту 10 м в течение 5 с. Определить работу этой силы.

136. На горизонтальном участке пути длиной 3 км скорость автомобиля увеличилась от 36 до 72 км/ч. Масса автомобиля 3 т, коэффициент трения 0,01. Чему равна работа, совершаемая двигателем автомобиля?

137. В пружинном ружье пружина сжата на 10 см. При взводе её сжали до 20 см. С какой скоростью вылетит из ружья стрела массой 30 г, если жесткость пружины 144 Н/м?

138. Две пружины жесткостью $3 \cdot 10^2$ и $5 \cdot 10^2$ Н/м соединены последовательно. Определить работу по растяжению обеих пружин, если вторая пружина растянута на 3 см.

139. Насколько растянулась пружина динамометра, если его указатель стоит на отметке 40 Н, а при растяжении была совершена работа 1,6 Дж?

140. Пружина жесткостью 10^4 Н/м сжата силой $2 \cdot 10^2$ Н. Определить работу внешней силы, дополнительно сжимающей эту пружину ещё на 1 см.

141. Диск массой 5 кг и радиусом 0,4 м вращается, делая 180 об/мин. Через 20 с после начала торможения диск останавливается. Найти момент сил торможения.

142. Якорь мотора вращается с частотой 1500 об/мин. Определить вращающий момент, если мотор развивает мощность 500 Вт.

143. Тонкий стержень длиной 50 см и массой 400 г вращается с угловым ускорением 3 рад/с^2 вокруг оси, проходящей через его середину, перпендикулярно длине стержня. Определить вращающий момент.

144. К ободу диска массой 5 кг приложена постоянная касательная сила 2 Н. Какую кинетическую энергию будет иметь диск через 5 секунд после начала действия силы?

145. Вал массой 100 кг и радиусом 5 см вращается с частотой 8 об/с. К поверхности вала прижали колодку, под действием которой вал остановился через 10 с. Определить коэффициент трения. Момент инерции вала рассматривать как для материальной точки.

146. Фигурист вращается, делая 6 об/с. Как изменится момент инерции фигуриста, если он прижмет руки к груди, и при этом частота вращения станет равной 18 об/с?

147. Какую работу нужно совершить, чтобы заставить маховик массой 0,5 т и диаметром 1,5 м остановиться? Частота вращения маховика 12 об/с. Считать массу маховика равномерно распределенной по ободу.

148. Сплошной цилиндр массой 4 кг катится без скольжения по горизонтальной поверхности. Линейная скорость оси цилиндра равна 1 м/с. Определить полную кинетическую энергию цилиндра.

149. С наклонной плоскости скатывается без скольжения диск. Высота наклонной плоскости 5 м. Найти скорость центра тяжести диска у основания наклонной плоскости, если его начальная скорость равна нулю.

150. Пуля массой 10 г летит со скоростью 800 м/с, вращаясь около продольной оси с частотой 3000 об/с. Считая пулю цилиндром диаметром 8 мм, определить полную кинетическую энергию.

151. За неделю из стакана испарилось 50 г воды. Сколько в среднем молекул вылетало с поверхности воды за 1 с?

152. Сколько молекул будет находиться в 1 см^3 сосуда при температуре 10 ^{0}C, если сосуд откачан до разрежения, при котором давление в нем равно $1,33\cdot10^{-9}$ Па?

153. Определить число молей и число молекул газа, содержащегося в колбе емкостью 10 л, если температура газа равна 17 ^{0}C, а давление 50 кПа.

154. До какой температуры нужно нагреть запаянный шар, содержащий 17,5 г воды, чтобы шар разорвался, если известно, что стенки шара выдерживают давление в 10 МПа, а объем шара равен 1 л?

155. Альпинист при каждом вдохе поглощает 5 г воздуха, находящегося при нормальных условиях. Найти объем воздуха, который должен выдыхать за то же время альпинист в горах, где давление равно 79,8 кПа, а температура –13 ^{0}C. Молярная масса воздуха $29\cdot10^{-3}$ кг/моль.

156. В дизеле в начале такта сжатия температура воздуха 40^0 C, а давление 78,4 кПа. Во время сжатия объем уменьшается в 15 раз, а давление возрастает до 3,5 МПа. Определить температуру воздуха в конце такта сжатия.

157. Из баллона со сжатым кислородом, находящимся при постоянной температуре, израсходовано столько кислорода, что его давление упало от 9,8 до 7,84 МПа. Какая часть первоначальной массы кислорода израсходована?

158. Плотность гелия при давлении 0,2 МПа равна 0,34 кг/м^3. Определить температуру газа.

159. В колбе емкостью 100 см^3 содержится некоторый газ при температуре 300 К. На сколько понизится давление газа в колбе, если вследствие утечки из колбы выйдет 10^{20} молекул ?

160. Какова внутренняя энергия гелия, заполняющего аэростат объемом 60 м^3 при давлении 100 кПа ?

161. При уменьшении объема одноатомного газа в 3,6 раза его давление увеличилось на 20%. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия газа ?

162. Чему равна суммарная кинетическая энергия теплового движения молекул азота массой 20 г при температуре 10 ^{0}С? какая часть этой энергии приходится на долю поступательного движения и какая часть на долю вращательного движения?

163. 1 кг двухатомного газа находится под давлением 80 кПа и имеет плотность 4 кг/м^3. Найти полную энергию теплового движения молекул в этих условиях.

164. Найти среднюю кинетическую энергию молекул одноатомного газа при давлении 20 кПа. Концентрация молекул этого газа при данном давлении равна $3{\cdot}10^{25}$ м$^{-3}$.

165. Определить количество теплоты, выделяющееся при изотермическом сжатии 7 г азота при изменении давления от 0,1 МПа до 0,5 МПа. Температура азота 25 ^{0}С.

166. Во сколько раз увеличится объем 0,4 моля водорода при изотермическом расширении, если при этом газ получает количество теплоты 800 Дж? Температура водорода 27^o С. Какую работу совершил газ при своем расширении?

167. Азот массой 12 г находится в закрытом сосуде объемом 2 л при температуре 10 ^{0}С. После нагревания давление в сосуде стало равным 1,33 МПа. Какое количество теплоты сообщено газу при нагревании?

168. В закрытом сосуде объемом 2 л находится азот, плотность которого 1,4 кг/м^3. Какое количество теплоты надо сообщить азоту, чтобы нагреть его на 100 К? Насколько увеличится внутренняя энергия азота?

169. Водород массой 6,5 г, находящийся при температуре 27 ^{0}С, расширился вдвое при постоянном давлении за счет притока извне тепла. Найти работу расширения газа, изменение его внутренней энергии и количество теплоты, сообщенной газу.

170. Во сколько раз количество теплоты, которое идет на нагревание водорода при постоянном давлении, больше работы, совершаемой этим газом при расширении? Удельная теплоемкость водорода при постоянном давлении равна 14,6 кДж/(кг·К).

171. При адиабатическом расширении азота массой 50 г совершена работа 3 кДж. Насколько уменьшилась внутренняя энергия и понизилась температура азота?

172. Вычислить теплоемкость при постоянном объеме газа, заключенного в сосуд емкостью 20 л при нормальных условиях. Газ одноатомный.

173. Вычислить удельные теплоемкости газа при постоянном давлении и при постоянном объеме, зная, что его молярная масса равна $44\cdot10^{-3}$ кг/моль, а показатель адиабаты равен 1,33.

174. В ходе цикла Карно рабочее вещество получает от теплоотдатчика количество теплоты, равное 300 кДж. Температуры теплоотдатчика и теплоприемника равны соответственно 480 и 280 К. Определить термический КПД цикла и работу, совершаемую рабочим веществом за цикл.

175. Идеальная тепловая машина работает по циклу Карно, термический КПД которого 40 %. Температура теплоприемника равна 0 ^{0}С. Найти температуру теплоотдатчика и работу изотермического сжатия, если в процессе изотермического расширения совершается работа 8 Дж.

176. Идеальная тепловая машина за счет каждого килоджоуля теплоты, полученной от теплоотдатчика в течение каждого цикла, совершает работу, равную 300 Дж. Определить термический КПД машины и температуру теплоотдатчика, если температура теплоприемника равна 280 К.

177. Тепловая машина работает по циклу Карно, термический КПД которого равен 25%. Каков будет холодильный коэффициент машины, если она будет совершать цикл в обратном направлении?

178. Холодильная машина работает по обратному циклу Карно, холодильный коэффициент которого равен 300%. Каков термический КПД тепловой машины, работающей по прямому циклу Карно?

179. Тепловую машину, работающую по циклу Карно, термический коэффициент которого равен 40%, используют как холодильную машину с теми же тепловыми резервуарами. Найти ее холодильный коэффициент. Какое количество теплоты отводится из камеры холодильной машины, если над рабочим веществом за цикл совершается работа 10 кДж?

180. Двухатомный газ совершает цикл Карно. Определить термический КПД цикла, если известно, что при адиабатическом сжатии каждого моля газа совершается работа 2 кДж. Температура теплоотдатчика равна 400 К.

3.Методические указания к выполнению контрольной работы №2
3.1. Общие указания

В контрольную работу №2 включены задачи по темам: “Электростатика”, “Постоянный электрический ток”, “Магнитостатика”, “Электромагнитная индукция”.

Тема “Электростатика” представлена задачами по расчету простейших электрических полей с помощью принципа суперпозиции, на определение напряженности и разности потенциалов, электроемкости и энергии поля конденсаторов, задачами, в которых рассматривается движение заряженных частиц в электрическом поле.

Задачи по теме “Постоянный электрический ток” охватывают такие вопросы, как применение законов Ома и Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной форме, определение работы и мощности тока.

По теме “Магнитостатика” в контрольную работу включены задачи по расчету магнитной индукции и напряженности простейших магнитных полей с помощью принципа суперпозиции, задачи по расчету индукции магнитного поля с применением закона Био-Савара-Лапласа, задачи, в которых рассматривается действие магнитного поля на движущиеся заряды и токи (определение силы Ампера, силы Лоренца, вращающего момента, вычисление работы сил поля при перемещении проводника и контура с током).

Задачи по теме “Электромагнитная индукция” затрагивают такие вопросы, как основной закон электромагнитной индукции, явление самоиндукции, определение заряда, протекающего по контуру при возникновении в нем индукционного тока, вычисление энергии магнитного поля.

Задачи 201…230 относятся к теме “Электростатика ”. Для решения этих задач необходимо изучить тему “Электростатика” по учебникам [1], с.148…164, с.171…179 или [2], с.154…160, 163…168, 182…192.

Задачи 231…241 относятся к теме “Постоянный электрический ток”. Приступая к решению этих задач, необходимо ознакомиться с данной темой по учебникам [1], с.180…194 или [2], с.195…202, 205…213, 221, 222.

Задачи 242…269 относятся к теме “Магнитостатика ”. Для решения этих задач необходимо ознакомиться с конкретными физическими понятиями, законами и формулами данной темы по учебникам [1], с.204…214, 216…223 или [2], с.226…245, 247..249.

Задачи 270…280 относятся к теме “Электромагнитная индукция ”. Приступая к решению этих задач, необходимо изучить данную тему по учебникам [1], с.223…235 или [2], с.275…286.

0	201	212	229	232	246	258	263	277
1	202	213	223	236	247	260	265	270
2	205	217	225	234	248	256	266	271
3	204	214	227	231	249	259	269	272
4	203	216	230	235	250	261	268	273
5	206	218	228	238	242	251	267	275
6	207	215	226	239	237	252	264	274
7	209	219	224	233	241	253	276	280
8	208	211	222	240	244	254	257	278
9	210	220	221	245	243	255	262	279

Перед выполнением контрольной работы необходимо проработать материал соответствующих разделов рекомендованной литературы, внимательно ознакомиться с основными законами и формулами, а также справочными материалами, приведенными в приложениях данной учебно-методической разработки. После этого надо разобрать примеры решения типовых задач из данной учебно-методической разработки и решить ряд задач из задачников по физике [4, 5, 6].

3.2.Основные законы, формулы, примеры решения задач

Электростатика

1. Закон Кулона

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q_1 q_2|}{\varepsilon r^2},$$

где F- модуль силы взаимодействия точечных зарядов q_1 и q_2; r - расстояние между зарядами; ε - относительная диэлектрическая проницаемость среды; ε_0 - электрическая постоянная $(\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м$)$.

2. Напряженность и потенциал электростатического поля

$$\vec{E}=\frac{\vec{F}}{q}, \quad \varphi =\frac{W}{q},$$

где $\vec{F}$ - сила, действующая на точечный положительный заряд q, помещенный в данную точку поля; W -потенциальная энергия этого заряда (при условии, что потенциальная энергия заряда, удаленного на бесконечность, равна нулю).

3. Напряженность и потенциал поля, создаваемого системой зарядов (принцип суперпозиции электрических полей),

$$\vec{E}=\sum_{i=1}^{N} E_i, \quad \varphi=\sum_{i=1}^{N}\varphi_i,$$

где $\vec{E}_i, \varphi_i$ - напряженность и потенциал в данной точке поля, создаваемого i-м зарядом.

4. Напряженность и потенциал поля, создаваемого точечным зарядом,

$$E=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q|}{\varepsilon r^2}, \quad \varphi=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\varepsilon r},$$

где r - расстояние от заряда q до точки, в которой определяются напряженность и потенциал.

5. Напряженность поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью,

$$E=\frac{|\sigma|}{2\varepsilon\varepsilon_0},$$

где σ - поверхностная плотность заряда (заряд единицы площади).

6. Напряженность поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной нитью или бесконечно длинным цилиндром (вне цилиндра),

$$E=\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{|\tau|}{\varepsilon r},$$

где τ - линейная плотность заряда; r - расстояние от нити или от оси цилиндра до точки, в которой вычисляется напряженность. Внутри цилиндра $E=0$.

7. Напряженность и потенциал поля, создаваемого металлической заряженной сферой радиусом R на расстоянии r от центра сферы:

а) внутри сферы $(r<R)$

$$E=0, \varphi=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\varepsilon R};$$

б) вне сферы $(r \geq R)$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q|}{\varepsilon r^2}, \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\varepsilon r},$$

где q - заряд сферы.

8. Связь потенциала с напряженностью:

а) в общем случае

$$\vec{E} = -grad\varphi;$$

б) в случае однородного поля

$$E=(\varphi_1 - \varphi_2)/d,$$

где d - расстояние между точками с потенциалами φ_1 и φ_2.

9. Работа сил поля по перемещению точечного заряда q из точки поля с потенциалом φ_1 в точку поля с потенциалом φ_2

$$A=q\ (\varphi_1 - \varphi_2).$$

10. Электроемкость

$$C = \frac{q}{\varphi}, \quad C = \frac{q}{U},$$

где φ - потенциал уединенного проводника (при условии, что в бесконечности потенциал проводника принимается равным нулю); $U=(\varphi_1-\varphi_2)$ - разность потенциалов между обкладками конденсатора.

11.Электроемкость плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

где S - площадь одной пластины конденсатора; d - расстояние между пластинами; ε - диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство между пластинами.

12. Электроемкость параллельно соединенных конденсаторов

$$C = \sum_{i=1}^{N} C_i;$$

электроемкость последовательно соединенных конденсаторов

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{C_i},$$

где N - число конденсаторов в батарее.

13. Энергия заряженного конденсатора

$$W = \frac{qU}{2}, \quad W = \frac{CU^2}{2}, \quad W = \frac{q^2}{2C}.$$

14. Объемная плотность энергии электрического поля

$$w = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}, \quad w = \frac{D^2}{2\varepsilon\varepsilon_0}, \quad w = \frac{ED}{2}.$$

Для однородного электрического поля $w=W/V$, где V - объем.

Примеры решения задач

Пример 1

В вершинах квадрата находятся одинаковые точечные заряды 30 нКл. Какой отрицательный заряд надо поместить в центре квадрата, чтобы указанная система зарядов находилась в равновесии?

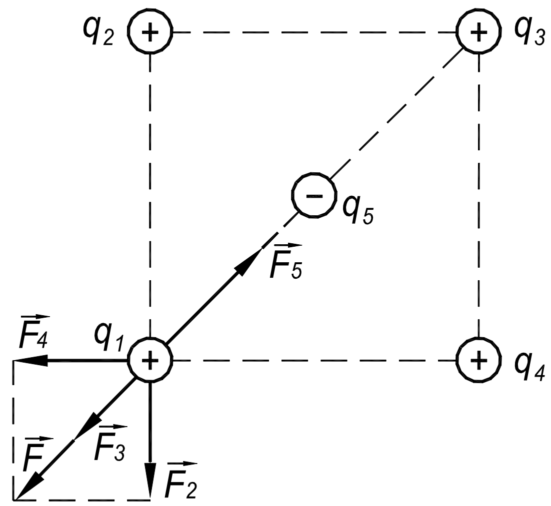
Дано:

$q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 30$ нКл $= 30 \cdot 10^{-9}$ Кл

$q_5 = ?$

Решение. Все заряды, расположенные в вершинах квадрата, находятся в одинаковых условиях. Поэтому достаточно выяснить, какой заряд следует поместить в центр квадрата, чтобы какой-нибудь из четырех зарядов, например q_1, находился в равновесии. Заряд q_1 будет находиться в равновесии, если векторная сумма действующих на него сил равна 0 (рис.1).

Рис.1



$$\vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \vec{F}_5 = \vec{F} + \vec{F}_3 + \vec{F}_5 = 0, \qquad (1)$$

где $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$, $\vec{F}_4$, $\vec{F}_5$ - силы, с которыми соответственно действуют на заряд q_1 заряды q_2, q_3, q_4, q_5; $\vec{F} = \vec{F}_2 + \vec{F}_4$ - равнодействующая сил $\vec{F}_2$ и $\vec{F}_4$.

По закону Кулона, имея в виду, что $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q$, получим

$$F_2 = F_4 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{\varepsilon a^2}, \qquad (2)$$

$$F_3 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{\varepsilon r^2}, \qquad (3)$$

$$F_5 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q|q_5|}{\varepsilon(r/2)^2}\ , \qquad (4)$$

где a - сторона квадрата; $r = a\sqrt{2}$ - диагональ квадрата.

Равнодействующая сил $\vec{F}_2$ и $\vec{F}_4$, как следует из рис.1, по направлению совпадает с силой F_3 и по модулю равна $F = \sqrt{F_2^2 + F_4^2} = F_2\sqrt{2}$. С учетом этого векторное равенство (1) можно заменить скалярным

$$F + F_3 - F_5 = F_2\sqrt{2} + F_3 - F_5\ . \qquad (5)$$

Равенство (5) с учетом (2) - (4) примет вид

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2\sqrt{2}}{\varepsilon a^2} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{\varepsilon 2a^2} - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q|q_5|}{\varepsilon a^2/2} = 0\ .$$

Откуда $|q_5| = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{1}{4}\right)q.$

Произведя вычисления, получим

$|q_5| = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{1}{4}\right) 3 \cdot 10^{-8}$ Кл = $2{,}87 \cdot 10^{-8}$ Кл.

Следует отметить, что равновесие системы зарядов будет неустойчивым.

Пример 2

Два точечных заряда 2 и -1 нКл находятся в воздухе на расстоянии 5 см друг от друга. Определить напряженность и потенциал электростатического поля в точке, удаленной от первого заряда на расстояние 6 см и от второго заряда на 4 см.

Дано:
q_1 = 2 нКл $= 2 \cdot 10^{-9}$ Кл
q_2 = - 1 нКл $= -10^{-9}$ Кл

$\varepsilon = 1$; $1/4\pi\varepsilon_0 = 9 \cdot 10^9$ м/Ф
d = 5 см
r_1 = 6 см $= 6 \cdot 10^{-2}$ м
r_2 = 4 см $= 4 \cdot 10^{-2}$ м

E - ? φ - ?

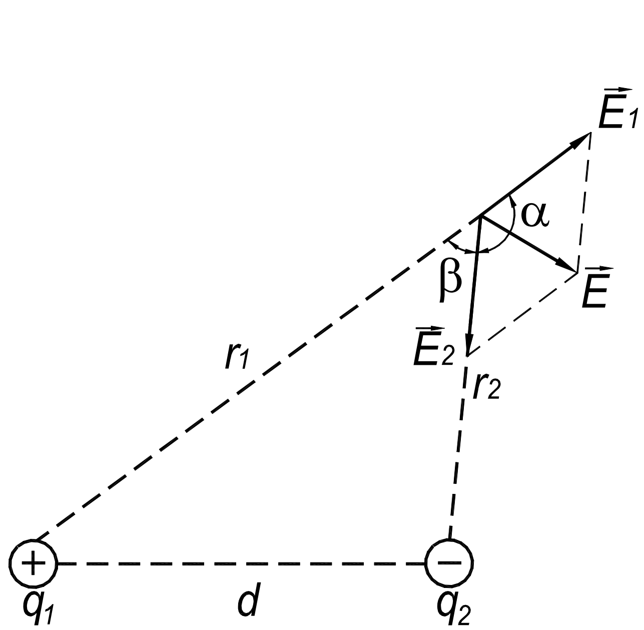


Рис.2

Решение. Согласно принципу суперпозиции электрических полей каждый заряд создает поле независимо от присутствия в пространстве других зарядов. Напряженность результирующего поля $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$. Напряженности полей, создаваемых в воздухе *($\varepsilon = 1$)* зарядами q_1 и q_2:

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{\varepsilon r_1^2}\ , \qquad (1)$$

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q_2|}{\varepsilon r_2^2}\ . \qquad (2)$$

Направления векторов $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$ указаны на рис.2. Модуль вектора $\vec{E}$ найдем по теореме косинусов

$$E = (E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\alpha)^{1/2}\ ,$$

где α - угол между векторами $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$. Из рис.2 видно, что $\beta = \pi - \alpha$. Тогда $\cos\beta = -\cos\alpha$.

Следовательно,

$$E = (E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2\cos\beta)^{1/2}\ . \qquad (3)$$

Из треугольника со сторонами r_1, r_2 и d по теореме косинусов находим

$$\cos\beta = (r_1^2 + r_2^2 - d^2)\ /\ (2r_1r_2). \qquad (4)$$

Произведя вычисления по формулам (1), (2), (4), получим

$$E_1 = 9\cdot 10^9\frac{2\cdot 10^{-9}}{(6\cdot 10^{-2})^2} = 5\cdot 10^3\ \text{В/м},$$

$$E_2 = 9\cdot 10^9\frac{10^{-9}}{\left(4\cdot 10^{-2}\right)^2} = 5{,}62\cdot 10^3\ \text{В/м}. \qquad \cos\beta = \frac{6^2+4^2-5^2}{2\cdot 6\cdot 4} = 0{,}565\ .$$

При вычислении E_2 знак заряда q_2 опущен, так как знак минус определяет направление вектора $\vec{E}_2$, а направление $\vec{E}_2$ было учтено при его графическом изображении (см. рис.2).

Напряженность результирующего поля будет равна

$$E=\sqrt{\left(5\cdot10^3\right)^2+\left(5{,}62\cdot10^3\right)^2-2\cdot5\cdot10^3\cdot5{,}62\cdot10^3\cdot0{,}565}=4{,}97\cdot10^3\ \text{В/м}.$$

По принципу суперпозиции потенциал результирующего поля, создаваемого зарядами q_1 и q_2, равен алгебраической сумме потенциалов φ_1 и φ_2, т.е. $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$, или

$$\varphi=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{\varepsilon r_1}+\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_2}{\varepsilon r_2}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}\left(\frac{q_1}{r_1}+\frac{q_2}{r_2}\right). \qquad (5)$$

Произведя вычисления, получим

$$\varphi=9\cdot10^9\left(\frac{2\cdot10^{-9}}{6\cdot10^{-2}}+\frac{-10^{-9}}{4\cdot10^{-2}}\right)=75\ \text{В}.$$

Пример 3

Электрон движется вдоль силовой линии однородного электрического поля. В точке поля с потенциалом 100 В электрон имел скорость 4 Мм/с. Определить потенциал точки поля, дойдя до которой электрон потеряет половину своей скорости.

Дано:

$\varphi_1 = 100$ В

$v_1 = 4$ Мм/с $= 4\cdot10^6$ м/с

$v_2 = 2$ Мм/с $= 2\cdot10^6$ м/с

$m = 9{,}1\cdot10^{-31}$ кг;

$e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл.

φ_2 - ?

Решение. Из-за отсутствия сил трения полная механическая энергия электрона не изменяется, т. е. $W = mv^2/2 + (-e\varphi) = const$, где $mv^2/2$ - кинетическая и $(-e\varphi)$ - потенциальная энергия электрона. Полная энергия в начале движения

$$W_1=\frac{mv_1^2}{2}+\left(-e\varphi_1\right), \qquad (1)$$

в конце движения с учетом того, что $v_2 = v_1/2$,

$$W_2=\frac{mv_2^2}{2}+\left(-e\varphi_2\right)=\frac{mv_1^2}{8}+\left(-e\varphi_2\right). \qquad (2)$$

Приравнивая выражения (1) и (2), получим для потенциала

$$\varphi_2 = \varphi_1 - \frac{3mv_1^2}{8e} .$$

Произведя вычисления, получим

$$\varphi_2 = 100 - \frac{3 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot \left(4 \cdot 10^6\right)^2}{8 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 66 \text{ В}.$$

Возможен и другой подход к решению. Изменение кинетической энергии частицы равно работе результирующей силы, т.е.

$$\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = A .$$

С другой стороны, работа сил электростатического поля равна

$$A = - e(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Пример 4

Сила взаимного притяжения пластин плоского воздушного конденсатора 50 мН. Площадь каждой пластины 200 см^2. Определить объемную плотность энергии поля конденсатора.

Дано:
F = 50 мН = $5 \cdot 10^{-2}$ Н
S = 200 см^2 = $2 \cdot 10^{-2}$ м^2
ε=1

W - ?

Решение. Объемная плотность энергии поля конденсатора

$$w = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} , \qquad (1)$$

где $E = \sigma/\varepsilon\varepsilon_0$ - напряженность электрического поля между пластинами конденсатора; σ - поверхностная плотность заряда на пластинах.

Подставив выражение для E в (1), получим

$$w = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon\varepsilon_0} . \qquad (2)$$

Найдем силу взаимного притяжения пластин. Заряд $q = \sigma S$ одной пластины находится в поле напряженностью $E_1 = |\sigma| / 2\varepsilon\varepsilon_0$, созданном зарядом другой пластины конденсатора. Следовательно, на заряд первой пластины действует сила

$$F = qE_1 = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon\varepsilon_0} \ . \qquad (3)$$

Выразив σ^2 из выражения (3) и подставив в (2), получим

$$w = F / S.$$

Проверим, дает ли расчетная формула единицу объемной плотности энергии. Для этого в правую часть формулы вместо величин подставим их единицы измерений:

$$\frac{[F]}{[S]} = \frac{1\text{Н}}{1м^2} = \frac{1\text{Н} \cdot 1м}{1м^2 \cdot 1м} = 1 \ \text{Дж/м}^3 \ .$$

Произведя вычисления, получим

$$w = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{-2}} = 2{,}5 \ \text{Дж/м}^3.$$

Постоянный электрический ток

1.Сила и плотность постоянного тока

$$I=q/t, \quad j=I/S,$$

где q - заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время t; S – площадь поперечного сечения.

2. Закон Ома

а) $I = \dfrac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \dfrac{U}{R}$ (для участка цепи, не содержащего ЭДС),

где I - сила постоянного тока; φ_1-φ_2=U - разность потенциалов на концах участка цепи; R - сопротивление участка цепи;

б) $I = \dfrac{\varepsilon}{R + R_0}$ (для замкнутой цепи),

где ε - ЭДС источников тока; R - сопротивление внешней цепи; R_0 - внутреннее сопротивление источников тока.

3. Сопротивление R и проводимость G однородного цилиндрического проводника постоянного диаметра

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad G = \gamma \frac{S}{l}, \ ,$$

где ρ - удельное сопротивление проводникаж $\gamma=1/\rho$ - удельная электро-проводность; l - длина проводникаж S - площадь поперечного сечения проводника.

4. ЭДС $\mathcal{E}_б$ и внутреннее сопротивление $R_б$ батареи n одинаковых эле-элементов:

а) $\mathcal{E}_б = n\mathcal{E}_0$, $R_б = n\,R_0$ (при последовательном соединении);

б) $\mathcal{E}_б = \mathcal{E}_0$, $R_б = R_0/n$ (при параллельном соединении);

где $\mathcal{E}_0$ - ЭДС и R_0 - внутреннее сопротивление отдельного элемента.

5. Работа и мощность тока

$$A = I\,U\,t, \quad P = I\,U.$$

6. Закон Джоуля-Ленца

$$Q = I^2\,R\,t,$$

где Q - количество теплоты, выделяющейся на участке цепи сопротивлением R за время t, когда по проводнику течет ток силой I.

7. Закон Ома в дифференциальной форме

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho}\vec{E} = \gamma\vec{E} \quad ,$$

где $j = I/S$ - плотность тока в проводнике; $\vec{E}$ - напряженность электрического поля в проводнике.

8. Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме

$$w = \gamma E^2,$$

где $w = \dfrac{Q}{Vt}$ - удельная тепловая мощность тока (количество теплоты, выделяющейся в единице объема проводника за единицу времени).

Примеры решения задач

Пример 1

ЭДС батареи аккумуляторов 12 В. Наибольшая сила тока, которую может дать батарея, 5 А. Определить максимальную мощность, которая может выделиться во внешней цепи.

Дано:

$\mathcal{E} = 12$ В

$I_{max} = 5$ А

$P_{max} = ?$

Решение. По закону Ома для полной цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R_0 + R} \quad , \qquad (1)$$

где R_0 - внутреннее сопротивление аккумулятора; R - сопротивление внешней цепи (сопротивление нагрузки).

Максимальная сила тока будет при коротком замыкании (R=0).

$$I_{max} = \frac{\varepsilon}{R_0}. \qquad (2)$$

Из формулы (2) находим внутренне сопротивление

$$R_0 = \frac{\varepsilon}{I_{max}}. \qquad (3)$$

Мощность, которая выделяется во внешней цепи (полезная мощность),

$$P = I^2 R. \qquad (4)$$

С учетом закона Ома (1) получим

$$P = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + R_0)^2}. \qquad (5)$$

Исследуя функцию (5) на максимум, найдем сопротивление нагрузки, при котором мощность максимальна:

$$\frac{dP}{dR} = \frac{\varepsilon^2 (R - R_0)}{(R + R_0)^3} = 0. \qquad (6)$$

Из равенства (6) следует, что

$$R = R_0 \qquad (7)$$

Подставив (7) в формулу (5), найдем выражение для максимальной мощности

$$P_{max} = \frac{\varepsilon^2}{4R_0}. \qquad (8)$$

С учетом формулы (3) получим

$$P_{max} = \frac{\varepsilon I_{max}}{4}$$

Произведя вычисления, получим

$$P_{max} = \frac{12 \cdot 5}{4} = 15 \quad Bm.$$

Пример 2

При включении электродвигателя в сеть постоянного тока с напряжением 220 В, он развивает мощность 6,6 кВт. Определить силу тока, потребляемую двигателем и его КПД, если сопротивление обмотки двигателя 2 Ом.

Дано:
$U = 220$ В
$P = 6{,}6$ кВт $= 6{,}6 \cdot 10^3$ Вт
$R = 2$ Ом
$I = ?$ $\eta = ?$

Решение. Полная мощность, развиваемая электродвигателем,

$$P = IU.$$

Ток, потребляемый двигателем,

$$I = \frac{P}{U}\ . \qquad (1)$$

Мощность, идущая на нагрев обмоток,

$$P_н = I^2 R\ .$$

КПД двигателя

$$\eta = 1 - \frac{P_н}{P} = 1 - \frac{I^2 R}{P} = 1 - \frac{PR}{U^2}\ .$$

Подставляя заданные значения, получим

$$I = \frac{6{,}6 \cdot 10^3}{220} = 30A,$$

$$\eta = 1 - \frac{6{,}6 \cdot 10^3 \cdot 2}{220^2} \approx 0{,}73.$$

Магнитостатика

1. Связь магнитной индукции $\vec{B}$ с напряженностью $\vec{H}$ магнитного поля

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H},$$

где μ - относительная магнитная проницаемость изотропной среды (в вакууме $\mu = 1$); μ_0 - магнитная постоянная ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м).

2. Магнитная индукция в центре кругового витка с током

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R}\ ,$$

где R - радиус кругового витка; I - сила тока.

Магнитная индукция поля длинного прямого проводника с током

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r_0},$$

где r_0 - расстояние от оси проводника до точки, в которой определяется магнитная индукция.

3. Магнитная индукция поля внутри длинного соленоида с током:

а) в центре соленоида $B = \mu\mu_0 In$,

б) на краю соленоида $B = \mu\mu_0 In/2$,

где $n = N/l$ - число витков, приходящееся на единицу длины (N - число витков соленоида, l - длина соленоида).

4. Закон Ампера:

$$d\vec{F} = I\left[d\vec{l} \times \vec{B}\right] \quad \text{или} \quad dF = IdlB\sin\alpha,$$

где α - угол между направлением тока в элементе проводника и вектором магнитной индукции $\vec{B}$.

В случае однородного магнитного поля и прямого отрезка проводника длиной l модуль силы Ампера

$$F = IBl\sin\alpha.$$

5. Сила взаимодействия, приходящаяся на единицу длины каждого из двух длинных прямолинейных параллельных проводов с токами I_1 и I_2,

$$F = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d},$$

где d - расстояние между проводами.

6. Магнитный момент плоского контура с током

$$\vec{p}_m = IS\vec{n},$$

где $\vec{n}$ - единичный вектор нормали к плоскости контура; I - сила тока, протекающего по контуру; S - площадь контура.

7. Вращающий момент, действующий на контур с током в однородном магнитном поле,

$$\vec{M} = \left[\vec{p}_m \vec{B}\right] \text{ или по модулю } M = p_m B\sin\alpha,$$

где α - угол между векторами $\vec{p}_m$ и $\vec{B}$.

8. Сила (сила Лоренца), действующая на движущийся заряд в магнитном поле,

$$\vec{F} = q\left[\vec{v}\vec{B}\right] \text{ или по модулю } F = |q|vB\sin\alpha,$$

где $\vec{v}$ - скорость заряженной частицы; α - угол между векторами $\vec{v}$ и $\vec{B}$.

9. Магнитный поток:

а) через произвольную поверхность S, помещенную в неоднородное поле,

$$\varPhi = \int\limits_{(S)} \vec{B}d\vec{S} = \int\limits_{(S)} B_n dS,$$

где $d\vec{S} = dS\,\vec{n}$; $\vec{n}$ - единичный вектор нормали к элементу поверхности dS; $B_n = B\cos\alpha$ - проекция вектора $\vec{B}$ на направление нормали $\vec{n}$; α - угол между вектором $\vec{B}$ и нормалью $\vec{n}$.

б) через плоскую поверхность, помещенную в однородное магнитное поле,

$$\Phi = B_n S = BS\cos\alpha .$$

10. Потокосцепление катушки индуктивности (полный магнитный поток)

$$\Psi = N\Phi ,$$

где N - число витков катушки; Φ - магнитный поток через один виток.

Формула верна для соленоида и тороида, когда N витков плотно прилегают друг к другу.

11. Работа по перемещению замкнутого контура с током в магнитном поле

$$A = I\Delta\Phi = I(\Phi_2 - \Phi_1),$$

где Φ_1 и Φ_2 - магнитные потоки через контур в начальном и конечном положении.

Примеры решения задач

Пример 1

По двум бесконечно длинным параллельным проводам текут в одинаковом направлении токи силой I_1 = 15 А и I_2 = 10 А. Расстояние между проводами d=10 см. Определить магнитную индукцию в точке A (рис.3), удаленной от первого провода на расстояние r_1 =10 см и от второго провода на расстояние r_2 =15 см.

Дано:
I_1 = 15 А
I_2 = 10 А
μ=1
d = 10 см
r_1 = 10 см = 0,1 м
r_2 = 15 см = 0,1 м
B - ?

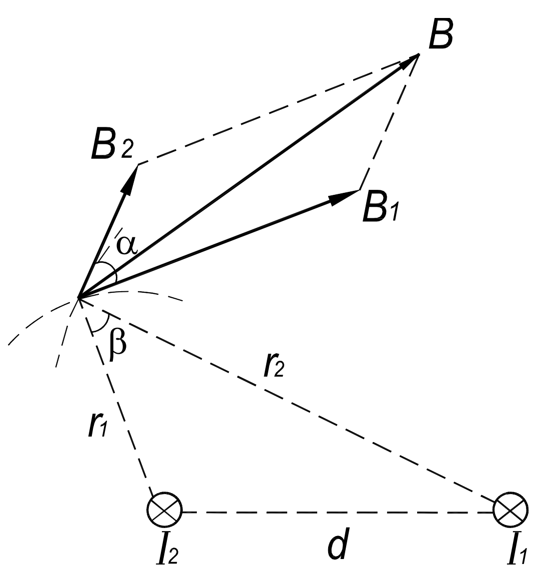


Рис.3

Решение. Согласно принципу суперпозиции магнитных полей магнитная индукция $\vec{B}$ в точке A равна сумме векторов магнитных индукций полей $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$, созданных каждым током в отдельности:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2, \qquad (1)$$

где $B_1=\mu\mu_0 I_1/(2\pi r_1)$ и $B_2=\mu\mu_0 I_2/(2\pi r_2)$. На рис. 3 проводники с токами I_1 и I_2 перпендикулярны плоскости чертежа (токи направлены от наблюдателя). Векторы $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ изображены на рисунке так, что их направление связано с направлением соответствующих токов правилом правого винта. Векторы $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ в точке A направлены по касательной к силовым линиям.

Модуль вектора $\vec{B}$ на основании теоремы косинусов равен

$$B = (B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2\cos\alpha)^{1/2}, \qquad (2)$$

где α - угол между векторами $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$. Из рис.3 видно, что углы α и β равны как углы с соответственно перпендикулярными сторонами. Из треугольника со сторонами r_1, r_2 и d по теореме косинусов находим $\cos\alpha$:

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

Вычислим отдельно

$$\cos\alpha = \cos\beta = \frac{10^2 + 15^2 - 10^2}{2\cdot 10\cdot 15} \approx 0{,}75.$$

Подставляя выражения для B_1 и B_2 в формулу (2) и вынося $\mu\mu_0/(2\pi)$ за знак корня, получаем

$$B = \frac{\mu\mu_0}{2\pi}\cdot\sqrt{\frac{I_1^2}{r_1^2} + \frac{I_1^2}{r_1^2} + \frac{2I_1I_2}{r_1r_2}\cos\alpha}.$$

Произведем вычисления

$$B = \frac{1\cdot 4\pi\cdot 10^{-7}}{2\pi}\cdot\sqrt{\frac{15^2}{(10^{-1})^2} + \frac{10^2}{(1{,}5\cdot 10^{-1})^2} + \frac{2\cdot 10\cdot 15\cdot 0{,}75}{10^{-1}\cdot 1{,}5\cdot 10^{-1}}} = 4{,}1\cdot 10^{-5}\ \text{Тл}.$$

Пример 2

Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов 50 В, влетает в однородное магнитное поле под прямым углом к линиям индукции. Определить величину вектора магнитной индукции, если радиус окружности, по которой движется электрон, равен 10 см.

Дано:
$U = 50$ В
$m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг
$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл
$\alpha = 90^0$
$R = 10$ см $= 0{,}1$ м
B - ?

Решение. В магнитном поле электрон под действием силы Лоренца движется по окружности радиуса R в плоскости, перпендикулярной силовым линиям индукции магнитного поля,

$$F_Л = ev\ B.$$

Сила Лоренца сообщает электрону нормальное ускорение. По второму закону Ньютона

$$F_Л = ma_n \text{ или } evB = \frac{mv^2}{R},$$

где R - радиус окружности, получаем соотношение

$$B = \frac{mv}{eR}. \qquad (1)$$

Кинетическую энергию $W=mv^2/2$ электрон приобретает за счет работы сил электростатического поля ($A=eU$, где U – разность потенциалов). Поэтому

$$eU = \frac{mv^2}{2}.$$

Отсюда скорость электрона

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}. \qquad (2)$$

Формула (1) с учетом (2) примет вид

$$B = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{2mU}{e}}.$$

Подставим числовые данные, получим

$$B = \frac{1}{0{,}1}\sqrt{\frac{2 \cdot 50 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}}} = 2{,}38 \cdot 10^{-4}\ \text{Тл}.$$

Проверим размерность

$$[B]=\frac{1}{[R]}\sqrt{\frac{[m][U]}{[e]}}=\frac{1}{м}\sqrt{\frac{кг\cdot В}{Кл}}.$$

По определению потенциала $В=\frac{Дж}{Кл}$, а $Дж=Н\cdot м=\frac{кг^2 м}{c^2}$.

Таким образом $\frac{1}{м}\sqrt{\frac{кг\cdot В}{Кл}}=\frac{1}{м}\sqrt{\frac{кг^2\cdot м^2}{Кл^2\cdot c^2}}=\frac{1}{м}\cdot\frac{кг\cdot м}{Кл\cdot c}.$

Из определения силы тока $\mathrm{I}=\frac{dq}{dt}$ следует, что Кл = А·с.

Таким образом, $\frac{1}{м}\cdot\frac{кг\cdot м}{Кл\cdot c}=\frac{кг\cdot м}{м\cdot А\cdot c^2}=\frac{кг\cdot м}{c^2}\cdot\frac{1}{А\cdot м}=\frac{Н}{А\cdot м}.$

В соответствии с выражением для силы Ампера $F=\mathrm{I}Bl\sin\alpha$,
где $Н = А\cdot Тл\cdot м$, найдем, что $\frac{Н}{А\cdot м}=Тл$.

Электромагнитная индукция

1.Закон электромагнитной индукции (закон Фарадея):
мгновенное значение ЭДС индукции

$$\varepsilon_i=-\frac{d\Psi}{dt}\ ;$$

среднее значение ЭДС индукции

$$\left\langle\varepsilon_i\right\rangle=\frac{\Delta\Psi}{\Delta t}.$$

2.Разность потенциалов на концах прямого проводника, движущегося со скоростью υ в однородном магнитном поле,

$$U=\varphi_1-\varphi_2=Bl\upsilon\sin\alpha,$$

где l - длина проводника; α - угол между векторами $\vec{\upsilon}$ и $\vec{B}$.

3.Индуктивность контура

$$L=\frac{\Psi}{I}.$$

4.Мгновенное значение ЭДС самоиндукции

$$\varepsilon_s=-L\frac{dI}{dt};$$

среднее значение ЭДС самоиндукции

$$\left\langle\varepsilon_s\right\rangle=L\frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

5.Индуктивность соленоида

$$L=\mu\mu_0 n^2 V,$$

где $n = N / l$ - число витков N, приходящееся на единицу длины l соленоида; V - объем соленоида.

6.Энергия магнитного поля контура с током

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

7.Объемная плотность энергии магнитного поля

$$w = \frac{BH}{2} = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}.$$

Для однородного поля

$$w = \frac{W}{V}.$$

Примеры решения задач

Пример 1

Плоский круговой виток радиусом 20 см вращается с постоянной угловой скоростью 300 рад/с в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл, причем ось вращения лежит в плоскости витка и перпендикулярна вектору индукции. Найти максимальное значение ЭДС индукции.

Дано:
R = 20 см = 0,2 м
B = 0,1 Тл
$\underline{\omega = 300}$ рад/с

ε_{imax}= ?

Решение. При вращении витка непрерывно изменяется угол α между вектором $\vec{B}$ и нормалью к плоскости витка, следовательно, изменяется магнитный поток Φ, пронизывающий виток. В витке возникает ЭДС индукции, мгновенное значение которой по закону Фарадея равно

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}. \qquad (1)$$

Для однородного поля магнитный поток, пронизывающий виток, равен $\Phi = BS\cos\alpha$. С учетом того, что при вращении витка с постоянной угловой скоростью мгновенное значение угла $\alpha = \omega t$, получим

$$\Phi = BS\cos\alpha = BS\cos\omega t.$$

Подставив в формулу (1) выражение для Φ и продифференцировав по времени, найдем мгновенное значение ЭДС индукции

$$\varepsilon_i = BS\omega\sin\omega t.$$

Максимальное значение ЭДС индукции равно

$$\varepsilon_{imax} = BS\omega.$$

Произведя вычисления, получим
$\varepsilon_{i\,max} = 0{,}1 \cdot \pi \cdot 0{,}2^2 \cdot 300 \approx 3{,}8B.$
Проверим размерность

$$[\varepsilon] = [B] \cdot [S] \cdot [\omega] = Тл \cdot м^2 \cdot \frac{1}{c} = \frac{н \cdot м}{А \cdot м^2} \cdot м^2 \cdot \frac{1}{c} = \frac{Дж}{Кл} = B\,.$$

Пример 2

Контур в виде квадрата со стороной 10 см находится в однород-ном магнитном поле с индукцией 0,5 мТл, причем его плоскость составляет угол 30^0 с силовыми линиями поля. Какой заряд протечет по контуру при выключении магнитного поля? Сопротивление контура 1 мОм.

Дано:
a = 10 см = 10^{-1} м
B = 0,5 мТл = $5 \cdot 10^{-4}$ Тл
$\beta = 30^0$
R =1 мОм = $1 \cdot 10^{-3}$ Ом
q = ?

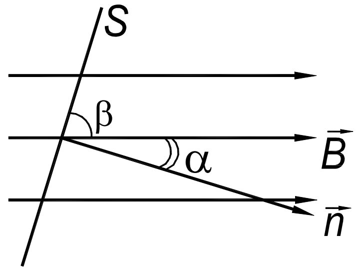


Рис.4

Решение. При выключении магнитного поля магнитный поток Φ, пронизывающий контур, меняется. В контуре возникает ЭДС индукции, мгновенное значение которой по закону Фарадея равно

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}\,.$$

Мгновенное значение силы индукционного тока определяется по закону Ома

$$I = \frac{\varepsilon_i}{R} = -\frac{1}{R}\frac{d\Phi}{dt}.$$

За время dt по контуру протечет заряд

$$dq = Idt = -\frac{1}{R}d\Phi.$$

Проинтегрировав это выражение, найдем полный заряд

$$q = -\frac{1}{R}\int_{\Phi_1}^{\Phi_2} d\Phi = \frac{1}{R}\left(\Phi_1 - \Phi_2\right).$$

Для однородного магнитного поля начальный магнитный поток равен

$$\Phi_1 = BS\cos\alpha,$$

где α - угол между вектором В и нормалью к плоскости контура (рис.4), $S = a^2$ - площадь контура.

Из рисунка видно, что $\alpha = 90^0 - \beta$. Следовательно, $cos\alpha = sin\beta$. Конечный магнитный поток $\Phi_2 = 0$. Таким образом,

$$q = \frac{BS\sin\beta}{R} = \frac{Ba^2 \sin\beta}{R}.$$

Произведя вычисления, получим

$$q = \frac{5\cdot 10^{-4} \cdot 0{,}1^2\sqrt{3}}{2\cdot 1\cdot 10^{-3}} = 4{,}3\cdot 10^{-3}\ \text{Кл}.$$

Проверим, дает ли расчетная формула единицу заряда. Для этого в правую часть формулы вместо символов величин подставим их единицы измерений:

$[q] = \dfrac{[B][a]^2}{[R]} = \dfrac{\text{Тл}\cdot\text{м}^2}{\text{Ом}}$. Но из закона Ампера $Тл = \dfrac{н}{А\cdot м}$, а из закона Ома $[R] = \dfrac{В}{А}$. Таким образом, $\dfrac{Тл\cdot м^2}{Ом} = \dfrac{Н\cdot м^2}{А\cdot м\cdot \dfrac{В}{А}} = \dfrac{Дж}{В}$.

Из определения потенциала $\dfrac{Дж}{В} = Кл$.

Пример 3

Соленоид с сердечником из немагнитного материала содержит 1200 витков провода, плотно прилегающих друг к другу. При силе тока 4 А магнитный поток равен 4 мкВб. Определить индуктивность соленоида и энергию его магнитного поля.

Дано:

$N = 1200$

$I = 4$ А

$\Phi = 4$ мкВб $= 4\cdot 10^{-6}$ Вб

L - ? W - ?

Решение. Индуктивность L связана с потокосцеплением Ψ и силой тока I соотношением

$$\Psi = LI. \qquad (1)$$

В свою очередь, потокосцепление можно найти через поток Φ и число витков N (когда витки плотно прилегают друг к другу):

$$\Psi = N\Phi. \qquad (2)$$

Из формул (1) и (2) находим индуктивность соленоида

$$L = \frac{N\Phi}{I}. \qquad (3)$$

Энергия магнитного поля соленоида

$$W = \frac{1}{2} L I^2 .$$

Выразив L согласно (3), получим

$$W = \frac{1}{2} N \Phi I .$$

Подставим в формулы значения физических величин и произведем вычисления

$$L = \frac{1{,}2 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{4} = 1{,}8 \cdot 10^{-3}\, Гн = 1{,}8 мГн;$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot 1{,}2 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot 4 = 1{,}44 \cdot 10^{-2}\, Дж = 14{,}4\ мДж.$$

Проверим размерность для энергии магнитного поля

$[W] = [\Phi] \cdot [I] = Вб \cdot А = Тл \cdot м^2 \cdot А.$

Из выражения для силы Ампера $F = IBl \sin\alpha$, получим $[B] = \frac{[F]}{[I] \cdot [l]}$,

т.е. $Тл = \frac{Н}{А \cdot м}$. Таким образом, $Тл \cdot м^2 \cdot А = \frac{Н}{А \cdot м} \cdot м^2 \cdot А = Н \cdot м = Дж.$

3.3. Задание на контрольную работу №2

201. Когда два одинаковых шарика, массы которых равны 400 мг, подвешенные на закрепленных в одной точке нитях равной длины, зарядили одноименными зарядами, эти шарики разошлись на расстояние 15 см друг от друга, причем нити образовали прямой угол. Найти заряд каждого шарика.

202. Две длинные прямые параллельные нити находятся на расстоянии 10 см друг от друга. На нитях равномерно распределены заряды с линейными плотностями 3 и - 4 нКл/см. Определить напряженность электрического поля в точке, удаленной от первой нити на расстояние 6 см и от второй - на расстояние 8 см.

203. В вершинах квадрата со стороной 20 см расположены три положительных и один отрицательный заряд. Определить напряженность и

потенциал электрического поля в центре квадрата, если величина каждого заряда 3 нКл.

204. Четыре одинаковых точечных заряда 40 нКл закреплены в вершинах квадрата со стороной 10 см. Найти силу, действующую на один из этих зарядов со стороны трех остальных.

205. Три одинаковых точечных заряда 4 нКл находятся в вершинах равностороннего треугольника со стороной 8 см. Найти силу, действующую на один из зарядов со стороны двух остальных.

206. Два одинаковых точечных заряда по 1 нКл находятся в воздухе на расстоянии 2 см друг от друга. Определить напряженность и потенциал электростатического поля в точке, удаленной на расстояние 3 см как от первого, так и от второго заряда.

207. Две бесконечные параллельные пластины равномерно заряжены с поверхностной плотностью заряда 0,3 и 0,7 мкКл/м^2. Определить напряженность поля между пластинами и вне пластин. Найти разность потенциалов между пластинами, если расстояние между ними
4 см.

208. Решить предыдущую задачу при условии, что заряд второй пластины отрицательный.

209. Два точечных разноименных заряда величиной 4 и -4 нКл находятся на расстоянии 6 см друг от друга в воздухе. Найти напряженность и потенциал электростатического поля в точке, находящейся на расстоянии 6 см от каждого заряда.

210. В центре металлической полой сферы, радиус которой 4 см, расположен точечный заряд 1 нКл. Отрицательный заряд величиной -4нКл равномерно распределен по поверхности сферы. Определить напряженность электрического поля в точках, удаленных от центра сферы на расстояниях 2 и 6 см.

211. Два положительных точечных заряда q и 4q закреплены на расстоянии 60 см друг от друга. Определить, в какой точке на прямой, проходящей через заряды, следует поместить третий заряд так, чтобы действующая на него сила равнялась нулю.

212. Электростатическое поле создано бесконечной равномерно заряженной плоскостью с поверхностной плотностью заряда 2 мкКл/м^2. Определить работу сил поля по перемещению точечного заряда 3 нКл вдоль силовой линии на расстояние 5 см.

213. Какая работа совершается при перемещении точечного заряда 30 нКл из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии 2 см от поверхности сферы радиусом 1 см, равномерно заряженной с поверхностной плотностью заряда 2 нКл/см^2 ?

214. Протон влетел в однородное электрическое поле с напряженностью 300 В/см в направлении силовых линий со скоростью 100 км/с. Какой путь должен пройти протон, чтобы его скорость удвоилась?

215. Полый шар несет на себе равномерно распределенный заряд. Определить радиус шара, если потенциал в центре шара 200 В, а в точке, лежащей от его центра на расстоянии 50 см, потенциал 40 В.

216. Электрон вылетает из точки с потенциалом 600 В, имея скорость 3Мм/с, направленную вдоль силовой линии электростатического поля. Определить потенциал той точки поля, в которой электрон остановится.

217. Электрон, обладающий кинетической энергией 5 эВ, влетел в однородное электрическое поле в направлении силовых линий поля. Какой скоростью будет обладать электрон, пройдя в этом поле разность потенциалов 2 В?

218. Под действием сил электростатического поля равномерно заряженной бесконечной плоскости точечный заряд 1 нКл переместился вдоль силовой линии на расстояние 1 см. При этом совершена работа 5 мкДж. Определить поверхностную плотность заряда на плоскости.

219. В однородном электрическом поле с напряженностью 1 кВ/м переместили заряд - 25 нКл в направлении силовой линии на расстояние 2 см. Найти работу сил поля, изменение потенциальной энергии заряда и разность потенциалов между начальной и конечной точками.

220. Пылинка массой 0,01 мг, несущая на себе заряд 10 нКл, влетела в однородное электрическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов 150 В пылинка имела скорость 20 м/с. Какова была скорость пылинки до того, как она влетела в электрическое поле?

221. На два последовательно соединенных конденсатора электроемкостью 1 и 2 мкФ подано постоянное напряжение 30 В. Определить заряд на пластинах каждого конденсатора и разность потенциалов между их обкладками.

222. Какой максимальный заряд может накопить плоский воздушный конденсатор с площадью пластин 8,5 см^2, если электрический пробой сухого воздуха наступает при напряженности электрического поля 3 МВ/м?

223. Плоский слюдяной конденсатор, заряженный до разности потенциалов 400 В, обладает энергией 5 мкДж. Площадь пластин составляет 100 см^2. Определить расстояние между пластинами, напряженность и объемную плотность энергии электрического поля конденсатора. Диэлектрическая проницаемость слюды 7.

224. Во время езды по шоссе с бетонным покрытием трение колес о шоссе вызвало появление на корпусе автомобиля электрического потенциала в 3 кВ. Чему равна средняя сила кратковременного разрядного тока, стекающего с корпуса при его заземлении, если время разряда 0,2 мкс, а электроемкость корпуса относительно земли 200 пФ?

225. В импульсной фотовспышке лампа питается от конденсатора электроемкостью 800 мкФ, заряженного до напряжения 300 В. Найти энергию вспышки и среднюю мощность, если продолжительность разряда 2,4 мс.

226. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора, электроемкостью 100 пФ каждый, соединены в батарею последовательно. Определить, насколько изменится емкость батареи, если пространство между пластинами одного из конденсаторов заполнить парафином. Диэлектрическая проницаемость парафина 2.

227. Какое количество теплоты выделится при разряде плоского конденсатора, если разность потенциалов между пластинами равна 15 кВ, расстояние 1 мм, диэлектрик - слюда (диэлектрическая проницаемость слюды 7) и площадь каждой пластины 300 см^2?

228. Плоский воздушный конденсатор заряжен до разности потенциалов 300 В. Площадь пластин 100 см^2, напряженность поля между пластинами 60 кВ/м. Определить поверхностную плотность заряда на пластинах, емкость и энергию конденсатора.

229. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора 2 кВ, а расстояние между ними 2 мм, заряд каждой пластины 1 нКл. Определить силу взаимного притяжения пластин и энергию конденсатора.

230. Определить силу взаимного притяжения пластин плоского конденсатора, если площадь каждой пластины 100 см^2, а объемная плотность энергии электрического поля конденсатора 0,3 Дж/м^3.

231. ЭДС аккумулятора 12 В. Определить максимальную мощность, которая может выделиться во внешней цепи. Наибольшая сила тока, которую может дать этот источник, 12 А.

232. ЭДС аккумулятора 12 В. Определить максимальную мощность, которая может выделиться во внешней цепи, если при подключении реостата сопротивлением 1,8 Ом выделяется мощность 72 Вт.

233. При включении электромотора в сеть с напряжением 220 В он потребляет ток 5 А. Определить мощность, потребляемую мотором и его КПД, если сопротивление обмотки мотора равно 6 Ом.

234. ЭДС аккумулятора автомобиля 12 В. При силе тока 3 А его КПД 80%. Определить внутреннее сопротивление аккумулятора.

235. Дуговая лампа мощностью 175 Вт рассчитана на напряжение

50 В. Ее надо включить в сеть с напряжением 120 В с помощью дополнительного сопротивления из никелиновой проволоки диаметром 0,4 мм. Найти длину проволоки.

236. К автомобильному аккумулятору подключены параллельно 2 фары мощностью по 60 Вт. Найти ток разряда аккумулятора, если напряжение на его клеммах 12 В.

237. Чему равно внутреннее сопротивление 12-вольтового автомобильного аккумулятора, если напряжение на его клеммах падает до 7,8 В при включении стартера, потребляющего ток силой 70 А?

238. В алюминиевом проводнике объемом 6 см^3 при прохождении по нему постоянного тока за 5 мин выделилось количество теплоты, равное 130 Дж. Вычислить напряженность электрического поля в проводнике.

239. В медном проводнике длиной 2 м и площадью поперечного сечения 9,4 мм^2 течет ток. При этом ежеминутно выделяется количество теплоты 20,4 Дж. Какова плотность тока в проводнике?

240. Электродвигатель трамвая работает при силе тока 108 А и напряжении 500 В. Какова скорость трамвая, если двигатель создает силу тяги 3,6 кН, а его КПД равен 70%.

241. Плотность тока в никелиновом проводнике длиной 4 м равна 1 А/мм^2. Определить разность потенциалов на концах проводника.

242. При каком внешнем сопротивлении потребляемая мощность будет максимальной, если два одинаковых источника с ЭДС 6 В и внутренним сопротивлением 1 Ом каждый соединены последовательно? Чему равна эта мощность?

243. Определить плотность тока, если за две секунды через проводник с площадью поперечного сечения 1,6 мм^2 прошло $2 \cdot 10^{19}$ электронов.

244. К батарее аккумуляторов с ЭДС 2 В и внутренним сопротивлением 0,5 Ом присоединен проводник. При каком сопротивлении проводника мощность, выделяемая в нем, максимальна?

245. Электродвигатель работает 0,5 часа от сети с напряжением 200 В при силе тока 20 А. Сопротивление обмотки двигателя 0,5 Ом. Определить совершенную двигателем механическую работу и КПД электродвигателя.

246. По двум бесконечно длинным параллельным проводам, находящимся на расстоянии 10 см друг от друга в воздухе текут в одном направлении токи силой 20 и 30 А. Определить индукцию магнитного поля в точке, лежащей на прямой, соединяющей оба провода, и находящейся на расстоянии 2 см от первого провода.

247. Решить предыдущую задачу при условии, что токи в проводниках текут в противоположных направлениях.

248. Два бесконечно длинных провода скрещены под прямым углом. Расстояние между проводами равно 10 см. По проводам текут одинаковые токи силой 10 А. Найти индукцию и напряженность магнитного поля в точке, находящейся на середине расстояния между проводами.

249. По двум тонким длинным параллельным проводам, расстояние между которыми 5 см, текут токи силой 6 и 4 А. Определить индукцию и напряженность магнитного поля в точке, удаленной на расстояние 3 см от первого провода и на расстояние 4 см от второго провода, если провода находятся в воздухе.

250. По двум одинаковым круговым виткам радиусом 7 см, плоскости которых взаимно перпендикулярны, а центры совпадают, текут одинаковые токи силой 3 А. Найти напряженность и индукцию магнитного поля в центре витков.

251. Два тонких длинных прямолинейных параллельных провода находятся в воздухе на расстоянии 10 см друг от друга. По проводам текут токи силой 5 и 10 А. Найти индукцию и напряженность магнитного поля в точке, находящейся на середине расстояния между проводами, если токи текут: а) в одинаковом, б) противоположном направлениях.

252. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам, расстояние между которыми 20 см, текут в одном направлении токи силой 4 и 8 А. Определить индукцию и напряженность магнитного поля в точке, удаленной от первого провода на расстояние 12 см и от второго - на расстояние 16 см.

253. Определить индукцию и напряженность магнитного поля в центре длинного соленоида, если сопротивление его обмотки 120 Ом, а напряжение на ее концах 60 В. Соленоид содержит 1000 витков, а его длина 0,5 м.

254. По двум длинным параллельным проводам, находящимся на расстоянии 8 см в воздухе, текут в одном направлении одинаковые токи силой 6 А. Определить индукцию и напряженность магнитного поля в точке, удаленной от каждого провода на расстояние 8 см.

255. Бесконечно длинный провод образует круговой виток, касательный к проводу. По проводу идет ток силой 5 А. Найти радиус витка, если напряженность магнитного поля в центре витка 41 А/м.

256. Рамка гальванометра длиной 4 см и шириной 1,5 см, содержащая 200 витков тонкой проволоки, находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Плоскость рамки параллельна линиям индукции. Найти магнитный момент рамки и механический момент, действующий на рамку, если по витку течет ток силой 1 мА.

257. Определить напряженность однородного горизонтального магнитного поля, в котором в равновесии находится незакрепленный прямолинейный медный проводник с током силой 10 А. Диаметр проводника 4 мм. Плотность меди $8{,}8 \cdot 10^3$ кг/м^3.

258. Проводник, согнутый в виде квадрата со стороной 8 см, лежит на столе. По проводнику течет ток силой 0,5 А, величина которого поддерживается неизменной. Квадрат, потянув за противоположные вершины, вытянули в линию. Определить совершенную при этом работу. Вертикальная составляющая напряженности магнитного поля Земли 40 А/м.

259. По проводнику, согнутому в виде квадрата со стороной 10 см, течет ток силой 2 А, величина которого поддерживается неизменной. Плоскость квадрата составляет угол 30^0 с линиями однородного магнитного поля с индукцией 0,2 Тл. Вычислить работу, которую надо совершить, чтобы удалить проводник за пределы поля.

260. Какой вращающий момент действует на рамку с током силой 2 А при помещении её в однородное магнитное поле с индукцией 0,2 Тл, если рамка содержит 30 витков площадью 10 см^2, а плоскость рамки образует угол 60^o с силовыми линиями поля ?

261. В однородном магнитном поле с индукцией 0,2 Тл равномерно движется прямой проводник длиной 1 м, по которому течет ток силой 2 А. Скорость проводника 15 см/с и направлена перпендикулярно силовым линиям поля. Найти работу перемещения проводника за время 5 с и мощность, затраченную на это перемещение.

262. Между полюсами электромагнита создается однородное магнитное поле с индукцией 20 мТл. Проводник, масса единицы длины которого 0,01 кг/м, расположен горизонтально, причем его направление перпендикулярно силовым линиям поля. Какой силы ток должен идти через проводник, чтобы он висел, не падая?

263. Электрон с кинетической энергией 50 эВ движется параллельно прямолинейному длинному проводу на расстоянии 3 мм от него. Какая сила будет действовать на электрон, если по нему пропустить ток силой 5А?

264. Заряженная частица, обладающая скоростью 2 Мм/с, влетела в однородное магнитное поле с индукцией 0,52 Тл. Найти отношение заряда частицы к ее массе, если частица описала в поле дугу окружности радиусом 4 см.

265. Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов 600 В, влетел в однородное магнитное поле с индукцией 0,3 Тл перпендикулярно

линиям индукции. Вычислить радиус окружности, по которой начал двигаться протон.

266. Заряженная частица движется в магнитном поле по окружности радиусом 4 см со скоростью 1 Мм/с. Индукция магнитного поля 0,3 Тл. Найти заряд частицы, если её кинетическая энергия 12 кэВ.

267. Протон и α-частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно его силовым линиям. Определить отношение скоростей этих частиц, если радиус кривизны траектории α-частицы в 4 раза больше радиуса кривизны траектории протона.

268. Протон, обладающий импульсом $3{,}2 \cdot 10^{-21}$ кг м/с, влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям и движется по окружности радиусом 10 см. Найти индукцию магнитного поля.

269. Протон движется в однородном магнитном поле с напряженностью 100 кА/м по окружности радиусом 2 см. Найти кинетическую энергию протона.

270. Катушка из 100 витков площадью 15 см^2 вращается в однородном магнитном поле с частотой 5 оборотов в секунду. Ось вращения перпендикулярна оси катушки и силовым линиям поля. Определить индукцию магнитного поля, если максимальное значение ЭДС индукции, возникающей в катушке, равно 0,25 В.

271. Проволочный виток диаметром 5 см и сопротивлением 0,02 Ом находится в однородном магнитном поле индукцией 0,3 Тл. Плоскость витка составляет угол 30^o с линиями индукции. Какой заряд протечет по витку при выключении поля?

272. Определить разность потенциалов, возникающую на концах вертикальной автомобильной антенны длиной 1,2 м при движении автомобиля с востока на запад в магнитном поле Земли со скоростью 72 км/ч. Горизонтальная составляющая напряженности земного магнитного поля 16 А/м.

273. Проволочный виток диаметром 5 см и сопротивлением 0,04 Ом вращается в однородном магнитном поле с индукцией 0,6 Тл, причем ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна вектору индукции. Определить заряд, который протекает по рамке при изменении угла между нормалью к плоскости рамки и линиями индукции: а) от 0 до 45^0; б) от 45 до 90^0.

274. Индукция магнитного поля между полюсами двухполюсного генератора 0,8 Тл. Ротор имеет 100 витков площадью 400 см^2. Определить частоту вращения ротора, если максимальное значение ЭДС индукции 200 В ?

275. На концах крыльев самолета размахом 20 м, летящего со скоростью 720 км/ч, возникает разность потенциалов 0,2 В. Определить вертикальную составляющую напряженности магнитного поля Земли.

276. Соленоид длиной 30 см и площадью поперечного сечения 10 $см^2$ содержит 600 витков. Найти индуктивность соленоида с сердечником из немагнитного материала ($\mu = 1$). Определить среднее значение ЭДС самоиндукции, возникающей при выключении тока в катушке, если сила тока уменьшается от 0,8 А до нуля за время 150 мкс.

277. При движении железнодорожного вагона на концах его оси, длина которой 1,6 м, возникает разность потенциалов 12 мВ. Определить скорость поезда, если вертикальная составляющая напряженности магнитного поля Земли 40 А/м.

278. Соленоид содержит 1500 витков. По обмотке соленоида течет ток силой 2 А. Вычислить энергию магнитного поля соленоида, если магнитный поток через его поперечное сечение равен 0,5 мВб.

279. По обмотке соленоида с числом витков 1500 и площадью поперечного сечения 10 $см^2$ течет ток, создающий поле с индукцией 20 мТл. Найти среднее значение ЭДС самоиндукции, возникающей в соленоиде, если сила тока уменьшается до нуля за время 1 мс.

280. Со стороны однородного магнитного поля, объемная плотность энергии которого 0,4 $Дж/м^3$, на проводник, расположенный перпендикулярно силовым линиям поля, действует сила Ампера величиной 0,6 мН. Определить силу тока в проводнике, если длина проводника 0,2 м.

278. Соленоид содержит 1500 витков. По обмотке соленоида течет ток силой 2 А. Вычислить энергию магнитного поля соленоида, если магнитный поток через его поперечное сечение равен 0,5 мВб.

279. По обмотке соленоида с числом витков 1500 и площадью поперечного сечения 10 $см^2$ течет ток, создающий поле с индукцией 20 мТл. Найти среднее значение ЭДС самоиндукции, возникающей в соленоиде, если сила тока уменьшается до нуля за время 1 мс.

280. Со стороны однородного магнитного поля, объемная плотность энергии которого 0,4 $Дж/м^3$, на проводник, расположенный перпендикулярно силовым линиям поля, действует сила Ампера величиной 0

4. Методические указания к выполнению контрольной работы №3

4.1. Общие указания

В контрольную работу №3 включены задачи по темам: "Механические колебания", "Электромагнитные колебания ", "Механические и электромагнитные волны", "Интерференция", "Дифракция", "Строение атома, квантовые переходы","Тепловое излучение, фотоэффект", "Дефект массы, законы распада".

Задачи 301…330 относятся к разделам "Механические колебания", "Электромагнитные колебания", "Механические и электромагнитные волны" на следующие темы: "Математический и физический маятники", "Волны в упругих средах" (301…313), "Колебательный контур" (314…320), "Электромагнитные волны" (321…330). Задачи 331…340 к разделу "Интерференция" на следующие темы: "Интерференция в тонких пленках" (331…334, 336, 338, 339), "Кольца Ньютона" (335, 337, 340). Задачи 341…350 к разделу "Дифракция" на следующие темы: "Дифракционная решетка" (341…345, 347, 348, 350), "Дифракция на кристаллах" (346, 349). Задачи 351…360 к разделу "Строение атома, квантовые переходы", на следующие темы: "Энергия электронов в атоме" (351, 353, 356, 359), "Поглощение и испускание атомом квантов электромагнитного излучения" (352, 354, 355, 358…360), "Волны де Бройля" (357). Задачи 361…370 к разделу "Тепловое излучение, фотоэффект", на следующие темы: излучение нагретых тел (361…370). Задачи 371…380 к разделу "Дефект массы, законы распада", на следующие темы: "Законы радиоактивного распада" (371…380).

Для решения этих задач необходимо ознакомиться с конкретными физическими понятиями, законами и формулами данной темы по следующим учебным пособиям (см. список литературы).

По теме "Математический и физический маятники, волны в упругих средах": [1], с. 206…207, 224…228 или [2], с. 300…303, 318…320; "Колебательный контур": [1], с. 207…208 или [2], с. 302; "Электромагнитные волны": [1], с. 234…238 или [2], с. 333…340, "Интерференция в тонких пленках: [1], с. 228 или [2], с. 353…356; "Кольца Ньютона": [1], с. 228 или [2], с. 353; "Дифракционная решетка": [1], с. 272 или [2], с. 371; "Дифракция на кристаллах": [1], с. 273 или [2], с.371, "Энергия электронов в атоме": [1], с.312…323 или [2], с.457, "Волны де Бройля": [1], с. 316 или [2], с. 426…427, "Излучение нагретых тел": [1], с. 292…295 или [2], с. 400…408, "Законы радиоактивного распада": [1], с. 380, или [2], с. 535.

Таблица 3

№ варианта	Номера задач							
0	301	311	321	331	341	351	361	371
1	302	312	322	332	342	352	362	372
2	303	313	323	333	343	353	363	373
3	304	314	324	334	344	354	364	374
4	305	315	325	335	345	355	365	375
5	306	316	326	336	346	356	366	376
6	307	317	327	337	347	357	367	377
7	308	318	328	338	348	358	368	378
8	309	319	329	339	349	359	369	379
9	310	320	330	340	350	360	370	380

4.2.Основные законы, формулы, примеры решения задач

1.а). Кинематическое уравнение гармонических колебаний материальной точки

$$x = A\cos(\omega t + \varphi),$$

где x - смещение; A - амплитуда колебаний; ω - круговая частота; φ - начальная фаза.

б). Скорость и ускорение материальной точки, совершающей гармонические колебания;

$$\upsilon = -A\,\omega\sin(\omega t + \varphi),$$

$$a = -A\,\omega^2\cos(\omega t + \varphi).$$

2. Период колебаний:

а) тела, подвешенного на пружине: $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{\kappa}}$,

где m - масса тела; κ- жесткость пружины;

б) математического маятника: $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}}$,

где ℓ - длина маятника; g - ускорение свободного падения;

в) физического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mga}} ,$$

где J - момент инерции колеблющегося тела относительно оси колебаний; a - расстояние центра тяжести маятника от оси колебаний; $L=J/ma$- приведенная длина физического маятника.

3. Сложение гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты:

амплитуда результирующего колебания

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 \cdot A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1)};$$

начальная фаза результирующего колебания

$$\varphi = arctg\,\frac{A_1\,sin\,\varphi_1 + A_2\,sin\,\varphi_2}{A_1\,cos\,\varphi_1 + A_2\,cos\,\varphi_2}\,.$$

4. Траектория точки, участвуюшей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях ($x_1 = A_1\,cos\,\omega\,t$, $y = A_2\,cos(\omega\,t + \varphi)$):

а) $y = (A_2 / A_1)x$ (если разность фаз $\varphi = 0$);

б) $y = -(A_2 / A_1)x$ (если разность фаз $\varphi = \pm\pi$);

в) $x^2 / A_1^2 + y^2 / A_2^2 = -1$ (если разность фаз φ равна $\pm\pi/2$).

5. Уравнение плоской бегущей волны

$$y = A\,cos\,\omega(t - x/\upsilon),$$

где y - смещение любой из точек среды с координатой x в момент t; υ- скорость распространения колебаний в среде.

6. Связь разности фаз $\Delta\varphi$ колебаний с расстоянием между точками среды, отсчитанным в направлении распространения колебаний:

$$\Delta\varphi = (2\pi/\lambda)\Delta x, \qquad \text{где } \lambda \text{ - длина волны.}$$

7. Фазовая скорость распространения электромагнитных волн в среде

$$\upsilon = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}\,,$$

где c - скорость электромагнитных волн в вакууме ($c = 3\cdot10^8$ м/с).

8. Связь длины электромагнитной волны с периодом T и частотой γ колебаний

$$\lambda = \upsilon T \quad \text{или} \quad \lambda = \upsilon / \nu\,.$$

9. В плоской электромагнитной волне

$$E\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0} = H\sqrt{\mu\mu_0}\,.$$

10. Вектор Пойнтинга

$$\Pi = [\,\vec{E}\vec{H}\,]\,.$$

Модуль вектора Пойнтинга равен плотности энергии электромагнитной волны.

11. Скорость света в среде

$$\upsilon = c / n,$$

где c - скорость света в вакууме; n - показатель преломления среды.

12. Оптическая длина пути световой волны

$$L = n\,\ell,$$

где ℓ - геометрическая длина пути световой волны в среде с показателем преломления n .

13. Оптическая разность хода двух световых волн

$$\Delta = L_1 - L_2\,.$$

14. Зависимость разности хода двух световых волн

$$\Delta\varphi = 2\pi(\Delta / \lambda),$$

где λ - длина световой волны.

15. Условие максимального усиления света при интерференции

$$\Delta = \pm 2\kappa\frac{\lambda}{2} = \pm\kappa\lambda \qquad (\kappa = 0, 1, 2,\ldots).$$

Условие максимального ослабления света при интерференции

$$\Delta = \pm(2\kappa + 1)\frac{\lambda}{2}.$$

16. Оптическая разность хода световых волн, возникающая при отражении монохроматического света от тонкой пленки:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \iota_1} - \frac{\lambda}{2} = 2d\, n \cos\iota_2 - \frac{\lambda}{2},$$

где d - толщина пленки; n - показатель преломления пленки; ι_1 - угол падения; ι_2 - угол преломления света в пленке. Добавочная разность хода - $\lambda/2$ возникает при отражении света от оптически более плотной среды.

17. Радиус светлых колец Ньютона в отраженном свете

$$r_K = \sqrt{\frac{(2\kappa - 1)R\lambda}{2n}} \qquad (\kappa = 1, 2, 3,\ldots),$$

где κ - номер кольца; R. - радиус кривизны; n - показатель преломления среды, находящейся между линзой и стеклянной пластинкой.

Радиус темных колец Ньютона в отраженном свете

$$r_K = \sqrt{\frac{\kappa R\lambda}{n}} \qquad (\kappa = 0, 1, 2,\ldots).$$

18. Дифракция света на одной щели при нормальном падении света (дифракция Фраунгофера).

Угол φ отклонения лучей, соответствующих минимуму интенсивности: света:

$$a \sin\varphi = \pm 2\kappa\frac{\lambda}{2} = \pm\kappa\lambda \qquad (\kappa = 0, 1, 2, \ldots),$$

где a - ширина щели; к - порядковый номер минимума; λ - длина волны.

Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму интенсивности:

$$a \sin\varphi = (2\kappa + 1)\frac{\lambda}{2} \qquad (\kappa = 0, 1, 2, \ldots),$$

где φ - приближенное значение угла дифракции.

19. При дифракции света на дифракционной решетке при нормальном падении лучей условие главных максимумов интенсивности

$$d \sin\varphi = \pm\kappa\lambda \qquad (\kappa = 0, 1, 2, 3,\ldots),$$

где d - период (постоянная решетки); κ - номер главного дифракционного максимума в случае монохроматического света или порядок спектра в случае белого света; φ - угол отклонения лучей, соответствующий максимуму интенсивности.

20. Разрешающая способность дифракционной решетки

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \kappa N,$$

где $\Delta\lambda$ - наименьшая разность длин волн двух соседних спектральных линий (λ и $\lambda + \Delta\lambda$), при которой эти линии могут быть видны раздельно в спектре, полученном посредством данной решетки; N - полное число щелей решетки.

21. Момент импульса электрона

$$L_n=h/2\pi n, \text{ или } mv_nr_n= h/2\pi n,$$

где m-масса электрона, v_n- скорость электрона на n-й орбите; r_n- радиус n-й стационарной орбиты; h- постоянная Планка; n- главное квантовое число.

22. Радиус n-й стационарной орбиты

$$r_n= a_0n^2,$$

где a_0- радиус Бора.

23. Энергия, излучаемая или поглощаемая атомом водорода,

$$\varepsilon=h/2\pi\omega= E_{n2} – E_{n1} = E_i(1/n_1^2 – 1/n_2^2),$$

где n_1 и n_2 квантовые числа, соответствующие энергетическим уровням, между которыми совершается переход электрона в атоме, E_i- энергия ионизации атома.

24. Формула Вульфа-Брэгга

$$2\, d \sin\, \theta = \kappa\lambda\ ,$$

где θ - угол скольжения (угол между направлением параллельного пучка рентгеновского излучения, падающего на кристалл, и атомной плоскостью в кристалле); d - расстояние между атомными плоскостями кристалла.

25.Потоком излучения называется средняя мощность излучения за некоторое время, т.е. отношение излученной энергии W ко времени t, за которое эта энергия была испущена нагретым телом:

$$\Phi = W/t.$$

26. Поток энергии излучения нагретого тела Φ связан с площадью поверхности S и энергетической светимостью R_e так:

$$\Phi = R_eS.$$

27. Закон Стефана-Больцмана для абсолютно черного тела

$$\boldsymbol{R_e=\sigma T^4}.$$

Для серого тела

$$R_e=a\sigma T^4.$$

Здесь a - коэффициент черноты; σ - постоянная Стефана-Больцмана; T - термодинамическая температура Кельвина.

28. Закон смещения Вина

$$\lambda_m = b/T,$$

где λ_m - длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения; b- постоянная Вина.

29. Закон радиоактивного распада

$$dN = -\lambda N dt \text{ или } N = N_0 \exp(-\lambda t),$$

где dN - число ядер, распадающихся за интервал времени dt; N - число ядер, не распавшихся к моменту времени t; N_0 - число ядер в начальный момент времени ($t = 0$); λ - постоянная радиоактивного распада.

Число ядер, распавшихся за время t :

$$\Delta N = N_0 - N = N_0[1-\exp(-\lambda t)].$$

В случае, если интервал времени Δt, за который определяется число распавшихся ядер, много меньше периода полураспада $T_{1/2}$, то число распавшихся ядер можно определить по формуле: $\Delta N = \lambda N \Delta t$.

30. Зависимость периода полураспада от постоянной радиоактивного распада: $T_{1/2} = \ln 2/\lambda = 0{,}693/\lambda$.

31. Среднее время τ жизни радиоактивного ядра, т.е. интервал времени, за который число не распавшихся ядер уменьшается в e раз

$$\tau = 1/\lambda.$$

32. Число атомов N, содержащихся в радиоактивном изотопе:

$$N = mN_A/M,$$

где m – масса изотопа;
M – молярная масса;
N_A- постоянная Авогадро.

33. Активность A радиоактивного изотопа:

$$A = -dN/dt = \lambda N, \text{ или } A = \lambda N_0 \exp(-\lambda t) = A_0 \exp(-\lambda t),$$

где dN - число ядер, распадающихся за интервал времени dt;
A_0 – активность изотопа в начальный момент времени.

Удельная активность изотопа $a = A/m$.

Примеры решения задач

Пример 1

Наименьшее расстояние Δx между точками среды, в которой распространяется звуковая волна и фазы колебаний которых одинаковы, равно 2 м. Скорость волны υ=300 м/с. Определить циклическую частоту (число колебаний за 1с) ν и период колебаний T.

Решение. За время, равное одному периоду T фаза колебаний распространяется на расстояние, которое называется длиной волны λ. Это расстояние, согласно условию задачи, равно 2 м.
Отсюда следует, что $T= \lambda/v=2/300=0,666 \cdot 10^{-2} c$. Число колебаний $\nu=1/T=150\ c^{-1}$.

Пример 2

Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью C=1мкФ и катушки индуктивности L=0,01 Гн. На конденсатор подали напряжение U_0=10 В. Найти максимальную энергию магнитного поля катушки и момент времени, когда это произойдет.

Решение. После того как конденсатор зарядили и предоставили контур самому себе, начнётся процесс свободных незатухающих гармонических колебаний, при котором энергия электрического поля конденсатора будет периодически переходить в энергию магнитного поля катушки индуктивности, и наоборот. Запишем закон изменения разности потенциалов (напряжения) на пластинах конденсатора в виде $U= U_0 \cos(\omega t+\varphi)$, где φ - начальная фаза колебаний, а ω - частота колебаний. По условию задачи, в начальный момент времени $t=0$ напряжение на конденсаторе $U=U_0$. Следовательно, $\cos (\omega \cdot 0+\varphi)=1$, а $(\omega \cdot 0+\varphi)=\varphi=0$. Окончательно выражение для напряжения как функции от времени будет иметь вид: $U= U_0 \cos(\omega t)$.
Максимальное значение энергии магнитного поля катушки индуктивности равно максимальной энергии электрического поля конденсатора $W=C U_0^2 / 2 = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = =0,5 \cdot 10^{-4}$ Дж, отвечавшей моменту времени t=0. Момент времени, отвечающий максимальному значению энергии магнитного поля, определяется тем, что напряжение $U=0$ в этот момент (и энергия $W \sim U^2$ тоже равна нулю в этот момент).

Из выражения $U= U_0 \cos(\omega t)$ следует, что $U=0$ при $\omega\ t=\pi/2$. Отсюда следует, что $t= \pi/2/\omega$. Частота колебаний в контуре определяется так: $\omega=1/(\sqrt{LC})$. Окончательно $t=(\pi/2)\sqrt{LC} \approx 1,6 \cdot 10^{-4}\ c$.

Пример 3

Плоская волна распространяется в упругой среде со скоростью 100 м/с. Наименьшее расстояние между точками среды, фазы колебаний которых противоположны, равно 1 м. Определить период колебаний и частоту.

Решение. Точки, находящиеся друг от друга на расстоянии, равном длине волны, колеблются с разностью фаз, равной 2π. Точки, находящиеся друг от друга на любом расстоянии, колеблются с разностью фаз, равной

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta x\ . \qquad (1)$$

Решая это равенство относительно λ, получаем

$$\lambda = 2\pi\Delta x\ /\ \Delta\varphi\ . \qquad (2)$$

По условию задачи $\Delta\varphi=\pi$. Подставляя значения величин, входящих в выражение (2), получим

$$\lambda = \frac{2\pi\cdot 1}{\pi} = 2\,м\ .$$

Скорость υ распространения волны связана с λ и T отношением

$$\lambda = \upsilon\cdot T = \upsilon / \nu\ , \qquad (3)$$

где ν - частота колебаний.

Из выражения (3)

$$\nu = \upsilon/\lambda\ .$$

После вычислений

ν = (100 / 2) = 50 с$^{-1}$, а T = 1/50 с=0,02 с.

Пример 4

Для устранения отражения света от поверхности линзы на нее заносится тонкая пленка вещества с показателем преломления 1,26, меньшим, чем у стекла (просветление оптики). При какой наименьшей толщине пленки отражение света с длиной волны 0,55 мкм не будет наблюдаться, если угол падения лучей 30^0?

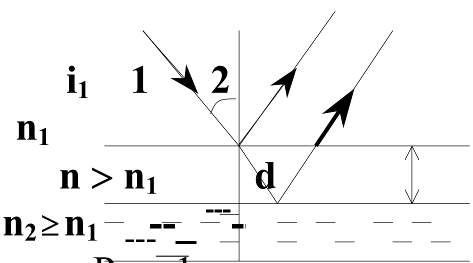


Рис. 1

Решение. Оптическая разность хода лучей, отраженных от верхней и нижней поверхностей пленки (рис.1), равна

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - sin^2\, i_1}\ ; \qquad (1)$$

где d - толщина пленки; n - показатель преломления пленки; i_1 - угол падения лучей.

В выражении (1) учтено, что отражение лучей на верхней и нижней поверхностях пленки происходит от оптически более плотной среды, и поэтому потери полуволны в обоих случаях компенсируют друг друга.

Условие интерференционного минимума

$$\Delta = (2\kappa + 1)\frac{\lambda}{2} \tag{2}$$

Из (1) и (2) находим:

$$d_k = \frac{(2\kappa + 1)\lambda}{4\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1}} \tag{3}$$

Полагая κ=0,1,2,3...., получим ряд возможных значений толщины пленки. Минимальная толщина пленки будет при κ=0

Подставим в расчетную формулу (3) числовые значения входящих величин: n=1,26; λ=0,55 мкм=$5{,}5\cdot10^{-7}$ м; i_1=30°; $\kappa=0$

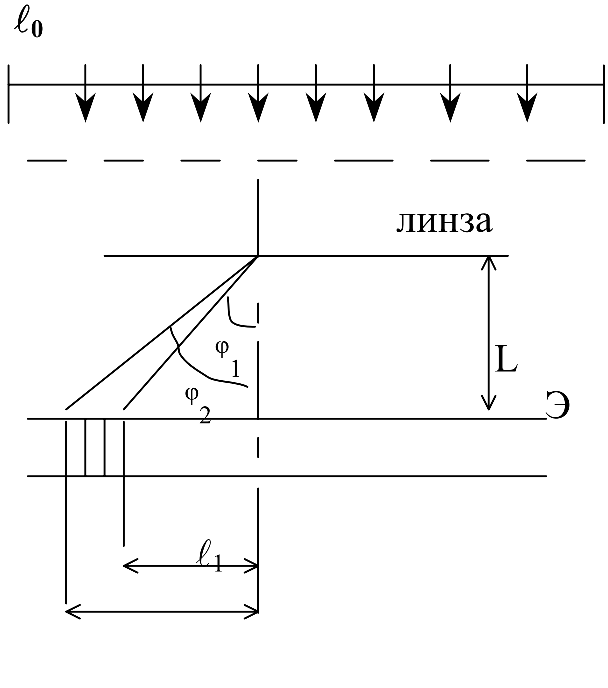
Произведем вычисления:

$$d = \frac{5{,}5\cdot10^{-7}}{4\sqrt{(1{,}26)^2 - \sin^2 30^0}} = 1{,}2\cdot10^{-7}\,м = 0{,}12\ мкм\ .$$

Пример 5

На дифракционную решетку длиной 10 мм, имеющую 400 штрихов на 1 мм, падает нормально свет от разрядной трубки. Помещенная вблизи решетки линза проецирует дифракционную картину (рис.2) на плоский экран Э, удаленный от линзы на расстояние 1м.

Определить: 1) ширину спектра первого порядка, если границы видимого спектра составляют 700 (красный край спектра) и 400 нм (фиолетовый край спектра); 2) число спектральных линий красного цвета, которые теоретически можно наблюдать с помощью данной дифракционной решетки; 3) в спектре какого порядка эта решетка может разрешить две линии с длиной волны, равной 500 и 500,1 нм.



ℓ_2

Рис. 2

Решение. Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму фиолетового цвета при дифракции света на решетке, определяется из условия

$$d\sin\varphi = \kappa\lambda_{ф}\,(\kappa{=}1), \qquad (1)$$

следовательно,

$$\sin\varphi_1 = \frac{\lambda_{ф}}{d}\ . \qquad (2)$$

Аналогично для дифракционного максимума красного цвета получим

$$\sin\varphi_2 = \frac{\lambda_{кр}}{d}\ . \qquad (3)$$

Из рис.2 следует, что расстояние от центра дифракционной картины до фиолетовой спектральной линии равно

$$\ell_1 = L\ tg\ \varphi_1, \qquad (4)$$

соответственно, для красной спектральной линии

$$\ell_2 = L\ tg\ \varphi_2. \qquad (5)$$

Ширина спектра первого порядка будет $\Delta\ell = \ell_1 + \ell_2$ или с учетом (4),(5)

$$\Delta\ell = L\,(tg\ \varphi_2 - tg\ \varphi_1). \qquad (6)$$

В случае малых углов φ имеет место для спектра первого порядка $\mathrm{tg}\ \varphi \approx \sin\ \varphi$. Поэтому, подставив выражения (2) и (3) в формулу (6), получим

$$\Delta\ell = L\left(\frac{\lambda_{кр}}{d} - \frac{\lambda_{ф}}{d}\right). \qquad (7)$$

Зная число штрихов n на 1 мм решетки, найдем период решетки

$$d = \frac{1}{n} \qquad (8)$$

Подставляя (8) в формулу 7, получим:

$$\Delta\ell = Ln\,(\lambda_{кр} - \lambda_{ф}) \qquad (9)$$

Выразим все величины в единицах СИ:

$n = 400\ мм^{-1} = 4\cdot10^{5}\ м^{-1}$;

$\lambda_{ф} = 400\ нм = 4\cdot10^{-7}\ м$;

$\lambda_{кр} = 780\ нм = 7{,}8\cdot10^{-7}\ м$;

$L = 1\ м$.

Произведем вычисления

$$\Delta \ell = 1 \cdot 4 \cdot 10^5\ (7{,}8 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7}) = 1{,}52 \cdot 10^{-1}\ м = 15{,}2\ см.$$

Для определений числа спектральных линий красного цвета найдем макс. значение κ_{max}, исходя из того, что макс. угол отклонения лучей не может превышать 90^0 ($sin\ 90^0 = 1$). Из формулы (1) напишем $к = \dfrac{d\ sin\varphi}{\lambda_{кр}}$,

следовательно:

$$\kappa_{max} = \frac{d}{\lambda_{кр}}.$$

С учетом (8)

$$\kappa_{max} = \frac{1}{n\lambda_{кр}} = \frac{1}{4 \cdot 10^5 \cdot 7{,}8 \cdot 10^{-7}} = 3{,}3.$$

Так как число $к_{мах}$ должно быть обязательно целым, то $к_{мах}=3$. Влево и вправо от центра картины будет наблюдаться одинаковое число спектральных линий, равное $2\kappa_{мах}$. Таким образом, общее число спектральных линий равно $2\kappa_{мах}=6$.

Так как разрешающая способность дифракционной решетки

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \kappa N, \tag{10}$$

отсюда минимальная разница длин волн двух спектральных линий, разрешаемых решеткой:

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \Delta\lambda = \frac{\lambda}{\kappa N}. \tag{11}$$

Две спектральные линии разрешены, если

$$\lambda_2 - \lambda_1 \geq \frac{\lambda}{kN}. \tag{12}$$

Подставляя (11) в (12), учитывая что λ=λ, получаем:

$$\lambda_2 - \lambda_1 \geq \frac{\lambda_1}{\kappa N}. \tag{13}$$

Из выражения (13) следует, что спектральные линии разрешены в спектрах с порядком

$$\kappa \geq \frac{\lambda_1}{(\lambda_2 - \lambda_1)\mathrm{N}} \tag{14}$$

Число щелей решетки определяется выражением $N = \dfrac{\ell}{d}$ или с учетом (8)

$$N = \ell n \tag{15}$$

Подставляя (15) в (14), получим:

$$\kappa \geq \frac{\lambda_1}{(\lambda_2 - \lambda_1)\ell n} \qquad (16)$$

Выразим все величины в единицах СИ:

ℓ=10 мм=10^{-2} м; n=400 мм$^{-1}$ = 4 · 10^5 м;

$\lambda_1 = 500нм = 5 \cdot 10^{-7}\, м;\ \ \lambda_1 = 500{,}1нм = 5{,}001 \cdot 10^{-7}\, м.$

Произведем вычисления

$$\kappa \geq \frac{5 \cdot 10^{-7}}{(5{,}001 - 5) \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-2} \cdot 4 \cdot 10^{5}} = 1{,}25\,.$$

Так как κ - целое число, то $\kappa \geq 2$.

Пример 6

Электрон в атоме водорода находится на третьем энергетическом уровне. Определить кинетическую $W_к$, потенциальную $W_П$ и полную W энергию электрона. Ответ выразить в электрон-вольтах.

Решение.

$h = 2\pi\hbar = 6{,}626176 \cdot 10^{-34}\, Дж\,/\,Гц;\ \varepsilon_0 = \left(4\pi \cdot 9 \cdot 10^{9}\right)^{-1} Ф\,/\,м;$

$e = 1{,}602189 \cdot 10^{-19}\, Кл$

$m = 0{,}9109534 \cdot 10^{-30}\, кг$

Исходя из II закона Ньютона, имеем:

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}.$$

Кинетическая энергия $W_K = \dfrac{mv^2}{2} = \dfrac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r};$ тогда

$$mvr = n\hbar = \frac{nh}{2\pi};$$

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{n^2h^2}{8\pi^2 mr^2} = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r}; \quad r = \frac{n^2h^2\varepsilon_0}{\pi me^2};$$

$$W_K = \frac{mv^2}{2} = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 n^2 h^2} = \frac{2\pi^2 \cdot 9 \cdot 0.9109534 \cdot 6.59 \cdot 10^{-20}}{43{,}9} \approx$$

$$\approx 24{,}293 \cdot 10^{-20}\, Дж \approx 1{,}53эВ$$

$$W_П = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r} = -\frac{me^4}{4\varepsilon_0^2 n^2 h^2} = -2W_K \approx -3{,}06эВ$$

$$W = W_K + W_П = 1{,}53 - 3{,}06 = -1{,}53эВ$$

Ответ: $W_К$=1,53 эВ, $W_П$=-1,53 эВ, W=-1,53 эВ.

Пример 7

Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения абсолютно черного тела составляет 0,58 мкм. Определить энергетическую светимость поверхности тела.

Решение. Энергетическая светимость абсолютно черного тела R_e в соответствии с законом Стефана-Больцмана пропорциональна четвертой степени термодинамической температуры и выражается формулой

$$R_e = \sigma T^4, \tag{1}$$

где σ - постоянная Стефана-Больцмана; T – термодинамическая температура.

Для серого тела $R_e = a\sigma T^4$, где a – коэффициент черноты.

Температуру T можно вычислить с помощью закона смещения Вина

$$\lambda_m = b/T, \tag{2}$$

где b – постоянная закона смещения Вина.

Используя формулы (2) и (1), получаем

$$\boldsymbol{R_e = \sigma(b/\lambda_m)^4}.$$

Произведем вычисления

$$R_e = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \left(\frac{2{,}90 \cdot 10^{-3}}{5{,}8 \cdot 10^{-7}}\right)^4 \text{Вт/м}^2 = 3{,}54 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2.$$

Пример 8

Определить начальную активность A_o радиоактивного препарата магния ^{27}Mg массой 0,2 мкг, а также его активность A через время 6 часов. Период полураспада $T_{1/2}$ магния считать известным .

Решение. Активность A изотопа характеризует скорость радиоактивного распада и определяется отношением числа dN ядер, распавшихся за интервал времени dt, к этому интервалу:

$$A = -dN/dt. \tag{1}$$

Знак «-» показывает, что число N радиоактивных ядер с течением времени убывает.

Для того чтобы найти dN/dt, воспользуемся законом радиоактивного распада

$$N = N_0 \exp(-\lambda t), \tag{2}$$

где N – число радиоактивных ядер, содержащихся в изотопе в момент времени t;
N_0 – число радиоактивных ядер в начальный момент времени;
λ - постоянная радиоактивного распада.

Продифференцируем выражение (2) по времени:

$$dN/dt = -\lambda N_0 \exp(-\lambda t). \qquad (3)$$

Исключив из формул (1) и (3) dN/dt, находим активность препарата в момент времени t

$$A = \lambda N_0 \exp(-\lambda t). \qquad (4)$$

Начальную активность A_0 препарата получим при $t = 0$:

$$A_0 = \lambda N_0. \qquad (5)$$

Постоянная радиоактивного распада λ связана с периодом полураспада $T_{1/2}$ соотношением:

$$\lambda = \ln 2/T_{1/2}. \qquad (6)$$

Число N_0 радиоактивных ядер, содержащихся в изотопе, равно произведению постоянной Авогадро N_A на количество вещества ν данного изотопа:

$$N_0 = \nu N_A = \frac{m}{M} N_A, \qquad (7)$$

где m – масса изотопа , M – молярная масса.

С учетом выражений (6) и (7) формулы (5) и (4) принимают вид

$$A_0 = \frac{m}{M}\frac{\ln 2}{T_{1/2}} N_A; \qquad A = \frac{m}{M}\frac{\ln 2}{T_{1/2}} N_A \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right). \qquad (8)$$

Произведем вычисления, учитывая, что $T_{1/2}$ = 10 мин = 600с, ln2 = 0,693, t = 6 ч = $2{,}16\cdot10^4$с:

$$A_0 = \frac{0{,}2\cdot10^{-9}\cdot0{,}693}{27\cdot10^{-3}\cdot600} 6{,}02\cdot10^{23} \text{ Бк} = 5{,}13\cdot10^{12} \text{ Бк},$$

$$A = \frac{0{,}2\cdot10^{-9}\cdot0{,}693}{27\cdot10^{-3}\cdot600} 6{,}02\cdot10^{23} \exp\left(-\frac{0{,}693}{600}\cdot2{,}16\cdot10^4\right) \text{Бк} = 81{,}3 \text{ Бк}.$$

4.3. Задание на контрольную работу №3

301. Груз массой 200 г подвешен к пружине с коэффициентом упругости 1 Н/м. Найти длину математического маятника, имеющего такой же период колебаний, как данный пружинный маятник.

302. Маятник совершает гармонические колебания по закону: $x = A \cos(\omega t + \varphi)$. Через какой промежуток времени при первом колебании он отклонится от положения равновесия на расстояние, равное 1/2 амплитуды, если период колебания 4 с, начальная фаза π/2.

303. Точка совершает гармонические колебания, уравнение которых иеет вид: $x = 5 \sin (2t)$ (длина - в сантиметрах, время - в секундах). В момент, когда на точку действовала возвращающая сила 5мН, точка обладала потенциальной энергией 0,1 мДж. Найти этот момент времени и соответствующую ему фазу колебания.

304.Точка совершает гармонические колебания, уравнение которых имеет вид $x=A\cos (2\pi\nu t+\pi/2)$. Величина ν=10. Найти момент времени, когда скорость точки равна нулю. Найти ускорение точки в этот момент времени и соответствующую ему фазу колебания.

305. Волна распространяется в упругой среде со скоростью 100 м/с. Наименьшее расстояние между точками среды, фазы колебаний которых противоположны, равно 1 м. Определить частоту колебаний.

306. Маятник старинных часов, который можно считать математическим маятником, отклоняется за 1 с на 10 см. Период колебаний 2 с. Определить длину маятника и его максимальную скорость.

307. Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях: $x = \sin \pi t$, $y = 4 \sin (\pi t + \pi)$. Найти траекторию движения точки, построить ее с соблюдением масштаба.

308. Определить скорость распространения волн в упругой среде, если разность фаз колебаний двух точек, отстоящих друг от друга на Δx= 15 см, равна $\pi/2$. Частота колебаний 25 Гц.

309. Два одинаково направленных гармонических колебания с одинаковой частотой и одинаковыми амплитудами складываются в одно колебание с той же амплитудой. Найти разность фаз складываемых колебаний.

310. Волна распространяется по прямой со скоростью 20 м/с. Две точки, находящиеся на этой прямой на расстояниях 12 и 15 м от источника волн, колеблются с разностью фаз 0,75π. Определить длину волны и период колебаний.

311. Два одинаково направленных гармонических колебания с одинаковой частотой и амплитудами 3 и 4см складываются в одно колебание с той же амплитудой 5см. Найти разность фаз складываемых колебаний.

312. Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях: $x=2\cos(\pi t/4)$ и $y=2\sin (\pi t/4)$. Найти траекторию движения точки, построить ее с соблюдением масштаба.

313. Две точки находятся на прямой, вдоль которой распространяется волна со скоростью 50 м/с. Период колебаний 0,5 с, расстояние между точками 50 см. Найти разность фаз колебаний в этих точках.

314. Катушка индуктивностью $3 \cdot 10^{-5}$ Гн присоединена к плоскому конденсатору. Площадь пластин конденсатора 100 см^2, расстояние между пластинами 0,1 мм. Найти величину диэлектрической проницаемости ве-

щества диэлектрика, заполняющего пространство между пластинами, исходя из условия, что контур настроен на длину электромагнитной волны, равной 750 метрам.

315. Катушка индуктивности длиной 50 см и площадью поперечного сечения 75 $см^2$, имеющая 1000 витков, соединена параллельно с воздушным конденсатором. Площадь пластин конденсатора равна 75 $см^2$, расстояние между пластинами 5 мм. Определить период электромагнитных колебаний в контуре.

316. Колебательный контур состоит из конденсатора и катушки индуктивности. Определить частоту электромагнитных колебаний в контуре, если известно, что максимальная сила тока в катушке индуктивности 1,2 А, максимальная разность потенциалов на пластинах конденсатора 1200 В, а полная энергия контура 1.1 мДж.

317. Колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности и конденсатора емкостью 1 мкФ, имеет частоту колебаний 5 МГц. Найти максимальную силу тока в катушке индуктивности, если полная энергия контура 0,5 мкДж.

318. Колебательный контур радиоприемника состоит из катушки индуктивности 1 мГн и переменного конденсатора, емкость которого может изменяться в пределах от 9 до 90 пФ. В каком диапазоне электромагнитных волн может вести прием радиостанций этот приемник?

319. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности $0.333 \cdot 10^{-5}$ Гн и воздушного конденсатора с площадью пластин 100 $см^2$ и расстоянием между ними, равным 0,1 мм. Найти длину волны, на которую настроен этот колебательный контур.

320**.** Колебательный контур радиоприемника состоит из катушки индуктивности 10 мГн и двух параллельно соединенных конденсаторов. Емкость одного постоянна и равна 10 пФ, а емкость второго может изменяться в пределах от 0 до 30 пФ. В каком диапазоне электромагнитных волн может вести прием радиостанций этот приемник?

321. Чему равно расстояние до самолета, если посланный наземным радиолокатором сигнал после отражения от самолета возвратился к радиолокатору спустя $2 \cdot 10^{-4}$ с?

322. Радиосигнал, посланный на Луну, отразился и был принят на Земле через 2,5 с после посылки. Такой же сигнал, посланный на Венеру, был принят через 2,5 мин. Определить расстояние от Земли до Луны и от Земли до Венеры во время локации.

323. В однородной изотропной немагнитной среде с диэлектрической проницаемостью, равной 3, распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны 10 В/м.

Найти амплитуду напряженности магнитного поля и фазовую скорость волны.

324. Плоская электромагнитная волна распространяется в вакууме. Амплитуда напряженности электрического поля волны 50 мВ/м. Найти амплитуду напряженности магнитного поля и среднее за период колебаний значение плотности потока энергии.

325. Плоская электромагнитная волна распространяется в немагнитном диэлектрике, относительная диэлектрическая проницаемость которого равна 2. Найти плотность электромагнитного поля в среде, если среднее за период значение вектора Умова-Пойнтинга равно $3 \cdot 10^{-4}$ Вт/м^2.

326. Радиостанция с рабочей частотой 1 Мгц излучает сферические волны. Чему равна амплитуда электрической и магнитной компонент электромагнитного поля радиостанции на расстоянии 5 км, если на расстоянии 1 км среднее за период значение вектора Умова-Пойнтинга равно $2{,}5 \cdot 10^{-4}$ Вт/м^2. Найти также волновое число и написать уравнения волн.

327. Радиостанция FM диапазона 101,4 МГц излучает сферические волны. Чему равна амплитуда электрической и магнитной компонент электромагнитного поля радиостанции на расстоянии 1 км, если мощность передатчика равна 30 КВт.

328. Чему равна амплитуда электрической и магнитной компонент электромагнитного поля электрической лампочки мощностью 100 Вт на расстоянии 1 м. Распределение интенсивности излучения считать сферическим.

329. Лазерный луч падает по нормали из воздуха на слой стекла. Какова амплитуда напряженности магнитной компоненты луча в стекле, если в воздухе она равна 10^{-2}А/м? Отражением от стекла пренебречь.

330. Луч лазера имеет толщину 1,5 мм. Оценить амплитудные значения напряженности электрической и магнитной компонент луча, если его мощность 5 мВт.

331. Каков показатель преломления просветляющего покрытия объектива, если толщина покрытия равна 0,16 мкм, а объектив рассчитан на длину волны света 0,4 мкм.

332. Для уменьшения потерь света при отражении от стекла на поверхность объектива (показатель преломления равен 1,7) нанесена тонкая прозрачная пленка (показатель преломления равен 1,3). При какой наименьшей ее толщине произойдет максимальное ослабление отраженного света, длина волна которого 0,56 мкм приходится на среднюю часть видимого спектра? Считать, что лучи падают нормально к поверхности объектива.

333. В воздухе, находится тонкая пленка из вещества с показателем

преломления, равным 1,4. Толщина пленки 0,25 мкм. На пленку падает нормально монохроматический свет, при этом отраженные лучи максимально ослаблены в результате интерференции. Какова длина волны этого света?

334. Какой цвет будет иметь просветляющее покрытие очков в отраженном свете, если: толщина покрытия 0,17 мкм, а показатель преломления 1,3 (показатель преломления линз 1,7).

335. Радиус второго темного кольца Ньютона в отраженном свете равен 0,4 мм. Определить радиус кривизны плосковыпуклой линзы, взятой для опыта, если она освещается монохроматическим светом с длиной волны 0,5 мкм.

336. На стеклянную пластинку нанесен слой прозрачного вещества с показателем преломления 1,3. Пластинка освещена параллельным пучком монохроматического света с длиной волны 640 нм, падающим на пластинку нормально. Какую минимальную толщину должен иметь слой, чтобы отраженные лучи были максимально ослаблены в результате интерференции?

337. Между стеклянной пластиной и лежащей на ней плосковыпуклой линзой находится жидкость. Найти показатель преломления жидкости, если радиус третьего темного кольца Ньютона при наблюдении в отраженном свете с длиной волны 0,5 мкм равен 0,8 мм. Радиус кривизны линзы равен 0,64 м.

338. Входное окно фотоприемника покрыто тонкой пленкой, материал которой имеет показатель преломления 1,25. Толщина пленки равна 0,10 мкм. На какой наибольшей длине волны достигается макс. просветление входного окна фотоприемника?

339. На мыльную пленку (показатель преломления равен 1,33) падает монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм (желтый свет) под углом 45°. При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут окрашены в желтый свет? При какой наименьшей толщине пленки она будет казаться темной? Что будет с окраской пленки, если менять угол падения?

340. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны 590 нм. Свет падает по нормали к поверхности пластины. Между линзой и пластинкой находится жидкость с показателем преломления 1,33. Определить толщину зазора в том месте, где в отраженном свете наблюдается третье светлое кольцо.

341. Дифракционная решетка имеет такой период, что максимум первого порядка для длины волны 0,7 мкм соответствует углу 30^{o}. Какова длина волны света, который в спектре второго порядка имеет максимум под углом 45^{o}?

342. На грань кристалла кальцита падает параллельный пучок рентгеновского излучения. Расстояние между атомными плоскостями кристалла 0,3 нм. Под каким углом к атомной плоскости будет наблюдаться дифракционный максимум второго порядка, если длина волны рентгеновского излучения равна 0,15 нм?

343. Какую разность длин волн может разрешить дифракционная решетка длиной 2 см и периодом 5 мкм в области красных лучей (длина волны 0,7 мкм) в спектре второго порядка? Сколько дифракционных максимумов можно наблюдать с помощью этой решетки в случае падения на решетку монохроматического света с длиной волны 0,7 мкм?

344. Определить расстояние между атомными плоскостями кристалла, если дифракционный максимум второго порядка рентгеновского излучения с длиной волны 175 пм наблюдается под углом 45° к атомной плоскости.

345. На дифракционную решетку, содержащую 600 штрихов на 1 мм, падает нормально белый свет. Спектр проецируется помещенной вблизи решетки линзой на экран. Определить длину спектра первого порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана 1,2 м. Границы видимого спектра составляют 0,4…0,78 мкм.

346. Расстояние между атомными плоскостями кристалла кальцита равно 0,3 нм. Определить, при какой длине волны рентгеновского излучения второй дифракционный максимум будет наблюдаться при отражении лучей под углом 30° к поверхности кристалла.

347. В каком порядке спектра будут разрешены дифракционной решеткой две линии с длинами волн 450 и 450,1 нм. Решетка имеет период 20 мкм и длину 5 см.

348. Какой максимальный период должна иметь дифракционная решетка, чтобы в спектре второго порядка можно было видеть раздельно две линии с длинами волн, равными 600 и 600,1 нм. Длина решетки 1 см.

349. Определить расстояние между атомными плоскостями в кристалле каменной соли, если дифракционный максимум первого порядка наблюдается при падении рентгеновских лучей с длиной волны 0,147 нм под углом 15°12' к поверхности кристалла.

350. На дифракционную решетку падает нормально параллельный пучок белого света. Спектры третьего и четвертого порядка частично накладываются друг на друга. На какую длину волны в спектре четвертого порядка накладывается красная граница (длина волны 0,78 мкм) спектра третьего порядка?

351. Согласно теории Бора радиус первой орбиты электрона в атоме водорода 53 пм. Определить частоту и период обращения электрона для этой орбиты.

352. Найти наибольшую и наименьшую длины волн в видимой области спектра излучения атома водорода.

353. Вычислить по теории Бора радиус второй стационарной орбиты и скорость электрона на этой орбите для атома водорода.

354. Атом водорода в основном состоянии поглотил квант света с длиной волны 0,1215 мкм. Определить радиус электронной орбиты возбужденного атома водорода.

355. В однозарядном ионе лития (Li^+) электрон перешел с четвертого энергетического уровня на второй. Определить энергию кванта и длину волны излучения, испущенного ионом.

356. Вычислить по теории Бора радиус второй стационарной орбиты и скорость электрона на этой орбите для иона гелия (He^+) .

357. Электрон в атоме водорода движется по первой орбите (радиус орбиты = 53 пм). Найти скорость электрона и длину волны де Бройля и сравнить ее с диаметром атома водорода. Нужно ли учитывать волновые свойства электрона при изучении движения электрона в атоме водорода?

358. Определить энергию фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода с третьего энергетического уровня на основной.

359. Вычислить по теории Бора период вращения электрона в атоме водорода, находящегося на втором энергетическом уровне

360. Электрон в атоме водорода находится на втором энергетическом уровне. Определить (в электрон-вольтах) полную энергию электрона.

361. Температура абсолютно черного тела равна 2 кК. Определить длину волны, на которую приходится максимум энергии излучения, и энергетическую светимость тела.

362. Определить температуру и энергетическую светимость абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения приходится на длину волны, равную 600 нм.

363. Из смотрового окошечка печи излучается поток, равный 4 кДж/мин. Определить температуру печи, если площадь окошечка равна 8 $см^2$.

364. Поток излучения абсолютно черного тела равен 10 кВт. Максимум энергии излучения приходится на длину волны, равную 0,8 мкм. Определить площадь излучающей поверхности.

365. Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра (780 нм) на фиолетовую (390 нм)?

366. Средняя энергетическая светимость поверхности Земли равна 0,54 Дж/(см^2·мин). Какова должна быть температура поверхности Земли, если условно считать, что она излучает, как серое тело, с коэффициентом черноты, равным 0,25?

367. Муфельная печь, потребляющая мощность, равную 1 кВт, имеет отверстие площадью 100 см^2. Определить долю мощности, рассеиваемой стенками печи, если температура её внутренней поверхности равна 1 кК.

368. Вычислить энергию, излучаемую за время, равное 1 мин, с площади в 1см^2 абсолютно черного тела, температура которого составляет 1000 К.

369. Длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения абсолютно черного тела, равна 0,6 мкм. Определить температуру тела и энергетическую светимость.

370. Абсолютно черное тело имеет температуру 500 К. Какова будет температура тела, если в результате нагревания поток излучения увеличится в 5 раз?

371. Определить, какая доля радиоактивного изотопа $^{225}_{89}\mathbf{Ac}$ распадается в течение 6 суток.

372. Активность некоторого изотопа за 10 суток уменьшилась на 20 %. Определить период полураспада этого изотопа.

373. Определить массу изотопа $^{131}_{53}\mathbf{I}$, имеющего активность, равную 37 ГБк.

374. Найти среднюю продолжительность жизни атома радиоактивного изотопа кобальта $^{60}_{27}\mathbf{Co}$.

375. Счетчик α-частиц, установленный вблизи радиоактивного изотопа, при первом измерении регистрировал 1400 частиц в минуту, а через 4 часа только 400 частиц. Определить период полураспада изотопа.

376. Во сколько раз уменьшится активность изотопа $^{32}_{15}\mathbf{P}$ через 20 суток?

377. На сколько процентов уменьшится активность изотопа $^{27}_{12}\mathbf{Mg}$ за 7 минут?

378. Определить число ядер, распадающихся в течение времени: 1) t_1 = 1 мин; 2) t_2 = 5 сут, - в радиоактивном изотопе фосфора $^{32}_{15}\mathbf{P}$ массой, равной 1 мг.

379. Из каждого миллиона атомов радиоактивного изотопа каждую секунду распадается 200 атомов. Определить период полураспада изотопа.

380. Найти период полураспада радиоактивного изотопа, если его активность за 10 суток уменьшилась на 24% по сравнению с первоначальной.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Некоторые физические постоянные (округленные значения)

Физическая постоянная	Обозначение	Значение
Ускорение свободного падения	g	9,81 м/с^2
Гравитационная постоянная	G	$6{,}67 \cdot 10^{-11}$ м^3/(кг$\cdot$с^2)
Постоянная Авогадро	N_A	$6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	R	8,31 Дж/(моль·К)
Постоянная Больцмана	k	$1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

2. Относительные атомные массы (округленные значения) некоторых элементов

Элемент	Химический символ	A
Азот	*N*	14
Аргон	*Ar*	40
Водород	*H*	1
Гелий	*He*	4
Кислород	*O*	16
Неон	*Ne*	20
Углерод	*C*	12

3. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Приставка			Приставка		
Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
экса	Э	10^{18}	деци	д	10^{-1}
пэта	П	10^{15}	санти	с	10^{-2}
тера	Т	10^{12}	милли	м	10^{-3}
гига	Г	10^{9}	микро	мк	10^{-6}
мега	М	10^{6}	нано	н	10^{-9}
кило	к	10^{3}	пико	п	10^{-12}
гекто	г	10^{2}	фемто	ф	10^{-15}
дека	да	10^{1}	атто	а	10^{-18}

4. Греческий алфавит

Обозначения букв	Названия букв	Обозначения букв	Названия букв
Α,α	альфа	Ν,ν	ню
Β,β	бета	Ξ,ξ	кси
Γ,γ	гамма	Ο,ο	омикрон
Δ,δ	дельта	Π,π	пи
Ε,ε	эпсилон	Ρ,ρ	ро
Ζ,ζ	дзета	Σ,σ	сигма
Η,η	Эта	Τ,τ	тау
Θ,θ	тэта	Υ,υ	ипсилон
Ι,ι	йота	Φ,φ	фи
Κ,κ	каппа	Χ,χ	хи
Λ,λ	ламбда	Ψ,ψ	пси
Μ,μ	мю	Ω,ω	омега

5. Масса и заряд некоторых частиц

Частица	Масса, кг	Заряд, Кл
Электрон	$9{,}11 \cdot 10^{-31}$	$1{,}60 \cdot 10^{-19}$
Протон	$1{,}67 \cdot 10^{-27}$	$1{,}60 \cdot 10^{-19}$
α - частица	$6{,}64 \cdot 10^{-27}$	$3{,}20 \cdot 10^{-19}$

6. Удельное сопротивление металлов

Металл	Удельное сопротивление (Ом·м)	Металл	Удельное сопротивление(Ом·м)
Алюминий	$2{,}8 \cdot 10^{-8}$	Медь	$1{,}7 \cdot 10^{-8}$
Железо	$9{,}8 \cdot 10^{-8}$	Серебро	$1{,}6 \cdot 10^{-8}$
Нихром	$1{,}1 \cdot 10^{-6}$	Никелин	$4{,}0 \cdot 10^{-7}$

7. Единицы физических величин СИ, имеющие собственные наименования

Величина	Единица	
	Наименование	Обозначение
Электрический заряд	кулон	Кл
Сила тока	ампер	А
Потенциал электрического поля, электрическое напряжение	вольт	В
Электрическая емкость	фарад	Ф
Электрическое сопротивление	ом	Ом
Электрическая проводимость	сименс	См
Магнитная индукция	тесла	Тл
Магнитный поток	вебер	Вб
Индуктивность	генри	Гн

8. Некоторые соотношения между единицами измерения физических величин

Физическая величина	Соотношение между единицами измерения
Длина	1А = 10^{-10} м
Масса	1 у.е. = $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг
Время	1 сутки = $8{,}64 \cdot 10^{4}$ сек 1 год = $3{,}16 \cdot 10^{7}$ сек
Плоский угол	$1^{o} = 1{,}75 \cdot 10^{-2}$ рад 1' = $2{,}91 \cdot 10^{-4}$ рад 1" = $4{,}85 \cdot 10^{-6}$ рад 1 рад = $57{,}3^{o}$ = 3438' = 206265"
Давление	1 бар = 10^{5} Н/м^{2} 1 ат (техническая атмосфера) = 1 кг/см^{2} = $0{,}981 \cdot 10^{5}$ Н/м^{2} = 0,981 бар 1 атм (физическая атмосфера) = 760 мм рт. ст. = $1{,}01 \cdot 10^{5}$ Н/м^{2} = 1,01 бар
Работа, энергия, теплота	1 эВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж 1 кал = 4,19 Дж
Активность радиоактивных препаратов	1 Кюри = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк

9. Некоторые астрономические величины

Наименование	Значение
Радиус Земли	
Масса Земли	$5{,}93\cdot10^{24}$ кг
Радиус Луны	$1{,}74\cdot10^{6}$ м
Масса Луны	$7{,}33\cdot10^{22}$ кг
Расстояние от центра Земли до центра Луны	$3{,}84\cdot10^{8}$ м
Расстояние от центра Земли до центра Венеры	$6{,}0\cdot10^{10}$ м

10. Периоды полураспада радиоактивных изотопов

Изотоп	**Символ**	Период полураспада
Актиний	$^{225}_{89}\mathbf{Ac}$	10суток
Иод	$^{131}_{53}\mathbf{I}$	8 суток
Кобальт	$^{60}_{27}\mathbf{Co}$	5,3 года
Магний	$^{27}_{12}\mathbf{Mg}$	10 минут
Фосфор	$^{32}_{15}\mathbf{P}$	14,3 суток

СОДЕРЖАНИЕ

: В.М.Бородин, канд. физ.-мат. наук, доц.;
А.С. Иванов, доц.; канд.тех. наук,
Д.Г.Летенко, канд. физ.-мат. наук, доц.;
Е.А.Лиходаева, канд. техн. наук, доц.;
И А.Обухова, канд. техн. наук, доц.; И.Г.Орехова, канд. техн. наук, доц.;
И.А.Торчинский, докт. физ.-мат. наук, проф.;
А.Б.Федорцов, докт. физ.-мат. наук, проф.;
В.Б.Харламова, доц.; В.М.Цаплев, канд. физ.-мат. наук, доц.; А.И.Шерстюк, д-р физ.-мат. наук.

Физика

Задания на контрольные работы

Методические указания к выполнению контрольных работ

Редактор А.В.Алехина
Сводный темплан 2001 г.
Лицензия ЛР N 020308 от 14.02.97.

Подписано в печать 12.2001. Формат 60 х 84 1/16
Б. Кн. - журн. П. л. 5,75 Б.л. 2,875 РТП РИО СЗТУ.
Тираж Заказ .

Северо-Западный государственный заочный технический университет
РИО СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации вузов Санкт-Петербурга
191186, Санкт-Петербург, Миллионная, 5