



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

Задачи по физике для бакалавров ч.1

Механика.

Молекулярная физика и термодинамика.

Электростатика. Постоянный ток

«ФИЗИКА»

Авторы

Егорова С.И.
Жданова Т.П.,
Лемешко Г.Ф.,
Пруцакова Н.В.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Цель пособия – обеспечение лично-ориентированного подхода к практическим занятиям по общему курсу физики с учетом степени подготовки студентов и количества аудиторных часов, выделяемых на лекционные и практические занятия. Пособие предназначено для обучения и контроля работы студентов на практических занятиях по разделам Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Электростатика. Постоянный ток в течение первого семестра обучения.

Авторы

Егорова С.И. – д.т.н., профессор кафедры
«Физика»

Жданова Т.П. - к.ф.-м.н., доцент кафедры
«Физика»

Лемешко Г.Ф. - к.ф.-м.н., доцент кафедры
«Физика»

Пруцакова Н.В. - к.ф.-м.н., доцент кафедры
«Физика»



Оглавление

Общие методические указания.....	4
1. Элементы кинематики.....	4
Основные формулы и законы.....	4
Задания	6
2. Динамика материальной точки и поступательного движения твёрдого тела.....	10
Основные формулы и законы.....	10
Задания	12
3. Вращательное движение твердых тел.....	19
Основные формулы и законы.....	19
Задания	22
4. Механические колебания	27
Основные формулы и законы.....	27
Задания	29
5. Молекулярно-кинетическая теория газа.....	32
Основные формулы и законы.....	32
Задания	34
6. Основы равновесной термодинамики.....	36
Основные формулы и законы.....	36
Задания	38
7. Основы неравновесной термодинамики. Явления переноса.....	42
Основные формулы и законы.....	42
Задания	43
8. Электростатика	45
Основные формулы и законы.....	45
Задания	50
9. Постоянный ток	57
Основные формулы и законы.....	57
Задания	60
Литература	66

Общие методические указания

При решении и оформлении задач необходимо соблюдать следующие требования:

1. Записать краткое условие задачи, выразить все известные величины в одной и той же системе единиц (как правило, в СИ). При необходимости ввести дополнительные постоянные физические величины.
2. Решение задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими объяснениями. При необходимости дать чертеж или график.
3. Решать задачу надо в общем виде, выразив искомую величину в буквенных обозначениях, заданных в условии задачи.
4. Произвести вычисления.

В течение семестра студенты выполняют две контрольные работы: первую - по механике и по молекулярной физике и термодинамике, вторую - по электростатике постоянного току.

Результаты контроля аудиторной и самостоятельной работы студентов на практических занятиях учитываются лектором при приеме экзаменов и дифференцированных зачетов.

1. Элементы кинематики

Основные формулы и законы

- Средняя и мгновенная скорости материальной точки

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}, \quad \vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt},$$

где $\Delta \vec{r}$ - перемещение точки за время Δt , \vec{r} - радиус-вектор, определяющий положение точки.

- Для прямолинейного равномерного движения ($\vec{v} = const$)

$$v = \frac{S}{t},$$

где S – путь, пройденный точкой за время t .

- Среднее и мгновенное ускорения материальной точки

$$\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}, \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}.$$

- Полное ускорение при криволинейном движении

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n, \quad a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2},$$

где $a_\tau = \frac{dv}{dt}$ - тангенциальная составляющая ускорения, направленная

по касательной к траектории; $a_n = \frac{v^2}{R}$ - нормальная составляющая ускорения, направленная к центру кривизны траектории (R - радиус кривизны траектории в данной точке).

- Путь и скорость для равнопеременного движения материальной точки ($\vec{a} = const$)

$$S = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}; \quad v = v_0 \pm at,$$

где v_0 - начальная скорость, «+» соответствует равноускоренному движению, «-» - равнозамедленному.

- Угловая скорость

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

- Угловое ускорение

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}.$$

- Угловая скорость для равномерного вращательного движения твердого тела

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \nu,$$

где φ - угол поворота тела, T - период вращения; $\nu = \frac{N}{t}$ - частота вращения (N - число оборотов, совершаемых телом за время t).

- Угол поворота и угловая скорость для равнопеременного вращательного движения твердого тела ($\vec{\varepsilon} = const$)

$$\varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}; \quad \omega = \omega_0 \pm \varepsilon t,$$

где ω_0 - начальная угловая скорость, «+» соответствует равноускоренному вращению, «-» - равнозамедленному.

- Связь между линейными и угловыми величинами:

Физика

$$S = R\varphi; \quad v = R\omega; \quad a_{\tau} = R\varepsilon;$$

где R – расстояние от точки до мгновенной оси вращения.

Задания

1.1. Пароход идет по реке от пункта А до пункта В со скоростью 10 км/ч, а обратно - со скоростью 16 км/ч. Найти: 1) среднюю скорость парохода, 2) скорость течения реки. [12,3 км/ч, 0,83 м/с]

1.2. Скорость течения реки 3 км/ч, а скорость движения лодки относительно воды 6 км/ч. Определите, под каким углом относительно берега должна двигаться лодка, чтобы проплыть поперек реки. [60°]

1.3. Велосипедист проехал первую половину времени своего движения со скоростью 16 км/ч, вторую половину времени — со скоростью 12 км/ч. Определите среднюю скорость движения велосипедиста. [14 км/ч]

1.4. Велосипедист проехал первую половину пути со скоростью 16 км/ч, вторую половину пути — со скоростью 12 км/ч. Определите среднюю скорость движения велосипедиста. [13,7 км/ч]

1.5. Студент проехал половину пути на велосипеде со скоростью 16 км/ч. Далее в течение половины оставшегося времени он ехал со скоростью 12 км/ч, а затем до конца пути шел пешком со скоростью 5 км/ч. Определите среднюю скорость движения студента на всем пути. [11,1 км/ч]

1.6. После удара клюшкой шайба скользит по льду с постоянным ускорением. В конце пятой секунды после начала движения ее скорость была равна 1,5 м/с, а в конце шестой секунды шайба остановилась. С каким ускорением двигалась шайба, какой путь прошла и какова была ее скорость на расстоянии 20 м от начала движения? [1,5 м/с², 27 м, 4,6 м/с]

1.7. Тело, брошенное вертикально вверх, через 3с после начала движения имело скорость 7 м/с. На какую максимальную высоту относительно места броска поднялось тело? Считать $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Сопротивлением воздуха пренебречь. [67,6 м]

1.8. Тело падает вертикально с высоты 19,6 м с нулевой начальной скоростью. Какой путь пройдет тело: 1) за первую 0,1 с своего движения, 2) за последнюю 0,1 с своего движения? Считать $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Сопротивлением воздуха пренебречь. [0,049 м, 1,9 м]

1.9. Тело падает вертикально с высоты 19,6 м с нулевой начальной скоростью. За какое время тело пройдет: 1) первый 1 м своего пути, 2) последний 1 м своего пути? Считать $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Сопротивлением

воздуха пренебречь. [0,4с, 0,05с]

1.10. С башни в горизонтальном направлении брошено тело с начальной скоростью 10 м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определите для момента времени $t = 2$ с после начала движения: 1) скорость тела; 2) радиус кривизны траектории. Считать $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. [22 м/с, 109 м]

1.11. Камень брошен горизонтально со скоростью 5м/с. Определите нормальное и тангенциальное ускорения камня через 1 с после начала движения. Считать $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Сопротивлением воздуха пренебречь. [4,45 м/с², 8,73 м/с²]

1.12. Камень брошен горизонтально со скоростью 10 м/с. Найдите радиус кривизны траектории камня через 3 с после начала движения. Считать $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Сопротивление воздуха не учитывать. [305 м]

1.13. Материальная точка начинает двигаться по окружности радиусом $r = 2,5$ см с постоянным тангенциальным ускорением $a_\tau = 0,5$ см/с². Определите: 1) момент времени, при котором вектор ускорения \vec{a} образует с вектором скорости \vec{v} угол 45°; 2) путь, пройденный за это время движущейся точкой. [1) $\sqrt{5}$ с; 2) 1,25 см]

1.14. Линейная скорость точки, находящейся на ободу вращающегося диска, в три раза больше, чем линейная скорость точки, находящейся на 6 см ближе к его оси. Определите радиус диска. [9 см]

1.15. Колесо вращается с постоянным угловым ускорением 3 рад/с². Определите радиус колеса, если через 1 с после начала движения полное ускорение колеса 7,5 м/с². [79 см]

1.16. Два автомобиля, выехав одновременно из одного пункта, движутся прямолинейно в одном направлении. Зависимость пройденного ими пути задается уравнениями $S_1 = At + Bt^2$ и $S_2 = Ct + Dt^2 + Ft^3$. Определите закон изменения относительной скорости автомобилей. [$v = A - C + 2(B - D) \cdot t - 3Ft^2$]

1.17. Кинематические уравнения движения двух материальных точек имеют вид $x_1 = A_1 + B_1t + C_1t^2$ и $x_2 = A_2 + B_2t + C_2t^2$, где $B_1 = B_2$, $C_1 = -2 \text{ м/с}^2$, $C_2 = 1 \text{ м/с}^2$. Определите: 1) момент времени, для которого скорости этих точек будут равны; 2) ускорения a_1 и a_2 для этого момента. [1) 0; 2) - 4 м/с²; 2 м/с²]

1.18. Диск вращается так, что зависимость линейной скорости точек,

лежащих на ободке диска, от времени задается уравнением $v = At + Bt^2$ ($A = 0,3 \text{ м/с}^2$, $B = 0,1 \text{ м/с}^3$). Определите радиус, если к концу 2 секунды движения вектор полного ускорения образует с вектором скорости угол $\varphi = 86^\circ$. [0,1 м]

1.19. Нормальное ускорение точки, движущейся по окружности радиусом $r = 4 \text{ м}$, задается уравнением $a_n = At^2$, где $A = 4 \text{ м/с}^4$. Определите: 1) тангенциальное ускорение точки; 2) путь, пройденный точкой за время $t_1 = 5 \text{ с}$ после начала движения; 3) полное ускорение для момента времени $t_2 = 1 \text{ с}$. [1) 4 м/с^2 ; 2) 50 м ; 3) $4\sqrt{2} \text{ м/с}^2$]

1.20. Зависимость пройденного телом пути s от времени t выражается уравнением $s = At - Bt^2 + Ct^3$ ($A = 2 \text{ м/с}$, $B = 3 \text{ м/с}^2$, $C = 4 \text{ м/с}^3$). Запишите выражения для скорости и ускорения. Определите для момента времени $t = 2 \text{ с}$ после начала движения пройденный путь, скорость и ускорение. [24 м ; 38 м/с ; 42 м/с^2]

1.21. Зависимость пройденного телом пути от времени задается уравнением $s = A - Bt + Ct^2$, где $A = 5 \text{ м}$, $B = 4 \text{ м/с}$, $C = 1 \text{ м/с}^2$. Запишите выражения для скорости и ускорения. Определите для момента времени $t = 3 \text{ с}$ после начала движения пройденный путь, скорость и ускорение. [2 м ; 2 м/с ; 2 м/с^2]

1.22. Зависимость пройденного телом пути от времени задается уравнением $s = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $A = 0,1 \text{ м}$, $B = 0,1 \text{ м/с}$, $C = 0,14 \text{ м/с}^2$, $D = 0,01 \text{ м/с}^3$. 1) Через сколько времени после начала движения ускорение тела будет равно 1 м/с^2 ? 2) Чему равно среднее ускорение тела за этот промежуток времени? [1) 12 с ; 2) $0,64 \text{ м/с}^2$]

1.23. Зависимость пройденного телом пути от времени задается уравнением $s = A - Bt + Ct^2$, где $A = 6 \text{ м}$, $B = 3 \text{ м/с}$, $C = 2 \text{ м/с}^2$. Найдите среднюю скорость и среднее ускорение в интервале времени от 1 с до 4 с . [$v = 7 \text{ м/с}$; $a = 4 \text{ м/с}^2$]

1.24. Зависимость пройденного телом пути по окружности радиусом $r = 3 \text{ м}$ задается уравнением $s = At^2 + Bt$ ($A = 0,4 \text{ м/с}^2$, $B = 0,1 \text{ м/с}$). Для момента времени $t = 1 \text{ с}$ после начала движения определите нормальное, тангенциальное и полное ускорения. [$0,27 \text{ м/с}^2$; $0,8 \text{ м/с}^2$; $0,84 \text{ м/с}^2$]

1.25. Радиус-вектор материальной точки изменяется со временем по закону $\vec{r} = t^3 \vec{i} + 3t^2 \vec{j}$, где \vec{i} , \vec{j} - орты осей x и y . Определите для

момента времени $t = 1$ с модуль скорости и модуль ускорения. [6,7 м/с; 8,48 м/с²]

1.26. Радиус-вектор материальной точки изменяется со временем по закону $\vec{r} = 4t^2\vec{i} + 3t\vec{j} + 2\vec{k}$. Запишите зависимости скорости и ускорения от времени. Определите модуль скорости в момент времени $t = 2$ с. [16,3 м/с]

1.27. Диск радиусом 10 см вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угла поворота радиуса диска от времени задается уравнением $\varphi = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$ ($B = 1$ рад/с, $C = 1$ рад/с², $D = 1$ рад/с³). Определите для точек на ободе диска к концу второй секунды после начала движения тангенциальное, нормальное и полное ускорения. [1,4 м/с²; 28,9 м/с²; 28,9 м/с²]

1.28. Диск вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угла поворота радиуса диска от времени задается уравнением $\varphi = At^2$ ($A = 0,5$ рад/с²). Определите к концу второй секунды после начала движения: 1) угловую скорость диска; 2) угловое ускорение диска; 3) для точки, находящейся на расстоянии 80 см от оси вращения, тангенциальное, нормальное и полное ускорения. [1) 2 рад/с; 2) 1 рад/с²; 3) 0,8 м/с², 3,2 м/с², 3,3 м/с²]

1.29. Диск вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угла поворота радиуса диска от времени задается уравнением $\varphi = At^2$ ($A = 0,1$ рад/с²). Определите полное ускорение точки на ободе диска к концу второй секунды после начала движения, если в этот момент линейная скорость этой точки 0,4 м/с. [0,26 м/с²]

1.30. Диск радиусом 0,2 м вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угловой скорости от времени задается уравнением $\omega = 5At^2$, где $A = 1$ рад/с³. Определите для точек на ободе диска к концу первой секунды после начала движения полное ускорение и число оборотов, сделанных диском за первую минуту движения. [5,8 м/с²; 15, 9]

1.31. Диск радиусом 10 см вращается так, что зависимость угла поворота радиуса диска от времени задается уравнением $\varphi = A + Bt^3$ ($A = 2$ рад, $B = 4$ рад/с³). Определите для точек на ободе колеса: 1) нормальное ускорение в момент времени 2 с; 2) тангенциальное ускорение для этого же момента; 3) угол поворота, при котором полное ускорение составляет с радиусом колеса 45°. [1) 230 м/с²; 2) 4,8 м/с²; 3) 2,67 рад]

1.32. Якорь электродвигателя, имеющий частоту вращения 50 с⁻¹, после выключения тока, сделав 628 оборотов, остановился. Определите

угловое ускорение якоря. [12,5 рад/с²]

1.33. Колесо автомобиля вращается равномерно. За время 2 мин оно изменило частоту вращения от 240 до 60 мин⁻¹. Определите: 1) угловое ускорение колеса; 2) число полных оборотов, сделанных колесом за это время. [1) 0,157 рад/с²; 2) 300]

1.34. Колесо, вращаясь равноускоренно, достигло угловой скорости 20 рад/с через 10 оборотов после начала вращения. Найдите угловое ускорение колеса. [3,2 рад/с²]

1.35. Колесо спустя 1 мин после начала вращения приобретает скорость, соответствующую частоте 720 об/мин. Найдите угловое ускорение колеса и число оборотов, сделанных колесом за эту минуту. Движение считать равноускоренным. [1,256 рад/с²; 361 об]

1.36. Колесо, вращаясь равномерно, при торможении уменьшило частоту вращения за 1 мин с 300 об/мин до 180 об/мин. Найдите угловое ускорение колеса и число оборотов, сделанных за это время. [0,21 рад/с²; 240 об]

2. Динамика материальной точки и поступательного движения твердого тела

Основные законы и формулы

- Импульс материальной точки

$$\vec{P} = m\vec{v},$$

где m - масса материальной точки, \vec{v} - скорость движения.

- Второй закон Ньютона (основное уравнение динамики материальной точки)

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{P}}{dt}.$$

- Это же уравнение в проекциях на касательную и нормаль к траектории движения точки

$$F_{\tau} = ma_{\tau} = m \frac{dv}{dt}; \quad F_n = ma_n = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R,$$

где $a_{\tau} = \frac{dv}{dt}$ - тангенциальное (касательное) ускорение,

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R.$$

Нормальное

(центростремительное) ускорение.

Физика

- Сила трения скольжения

$$F_{\text{тр}} = \mu N,$$

где μ — коэффициент трения скольжения; N — сила нормального давления.

- Сила упругости

$$F = -kx,$$

где x - величина деформации; k - коэффициент жесткости.

- Сила гравитационного притяжения двух материальных точек

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

где $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 / (\text{кг} \cdot \text{с}^2)$ – гравитационная постоянная, m_1 и m_2 – массы взаимодействующих точек, r - расстояние между точками.

- Закон сохранения импульса для замкнутой системы

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{const},$$

где n - число материальных точек (или тел), входящих в систему.

- Общая скорость тел после **неупругого** соударения

$$v = \frac{m_1 v_1 \pm m_2 v_2}{m_1 + m_2},$$

где m_1 и m_2 - массы тел, v_1 и v_2 - их скорости до взаимодействия.

- Скорости тел после **упругого** соударения

$$u_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2}; \quad u_2 = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2}.$$

- Работа, совершаемая телом

$$dA = F_s ds = F ds \cos \alpha,$$

где F_s — проекция силы на направление перемещения; α — угол между направлениями силы и перемещения.

- Работа, совершаемая переменной силой, на пути s

$$A = \int_s F_s ds = \int_s F \cos \alpha ds$$

- Средняя мощность за промежутков времени Δt

Физика

$$\langle N \rangle = \frac{\Delta A}{\Delta t},$$

где ΔA – работа за промежуток времени Δt .

- Мгновенная мощность

$$N = \frac{dA}{dt}, \text{ или } N = \vec{F}\vec{v} = F_s v = Fv \cos \alpha.$$

- Кинетическая энергия движущегося со скоростью v тела массой m

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

- Потенциальная энергия тела массой m , поднятого над поверхностью земли на высоту h ,

$$E_{II} = mgh,$$

где g - ускорение свободного падения.

- Потенциальная энергия упругодеформированного тела

$$E_{II} = \frac{kx^2}{2}.$$

- Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия

$$E_{II} = -G \frac{m_1 m_2}{r}.$$

- Закон сохранения механической энергии (для консервативной системы)

$$E_k + E_{II} = E = const$$

Задания

2.1. Тело массой 2 кг движется прямолинейно по закону $s = A - Bt + Ct^2 - Dt^3$ ($C = 2 \text{ м/с}^2$, $D = 0,4 \text{ м/с}^3$). Определите силу, действующую на тело в конце первой секунды движения. [3,2 Н]

2.2. Тело массой m движется так, что зависимость пройденного пути от времени описывается уравнением $s = A \cos \omega t$, где A и ω – постоянные. Запишите закон изменения силы от времени. [$F = -m A \omega^2 \cos \omega t$]

2.3. Под действием постоянной силы 9,8 Н тело движется прямолинейно так, что зависимость пройденного пути от времени даётся

уравнением $s = A - Bt + Ct^2$, где $C = 1 \text{ м/с}^2$. Найдите массу тела. [4,9 кг]

2.4. Тело массой m движется в плоскости $xу$ по законам $x = A \cos \omega t$, $y = B \sin \omega t$, где A , B и ω — некоторые постоянные. Определите модуль силы, действующей на это тело.

$$[F = m\omega^2 \sqrt{x^2 + y^2}]$$

2.5. Два груза ($m_1 = 500 \text{ г}$ и $m_2 = 700 \text{ г}$) связаны невесомой нитью и лежат на гладкой горизонтальной поверхности (рис. 2.1). К грузу m_1 приложена горизонтально

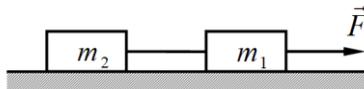


Рис. 2.1

направленная сила $F = 6 \text{ Н}$. Пренебрегая трением, определите: 1) ускорение грузов; 2) силу натяжения нити. [1] 5 м/с^2 ; 2) $3,5 \text{ Н}$

2.6. Два груза одинаковой массы ($m_1 = m_2 = 500 \text{ г}$) связаны невесомой нитью и лежат на горизонтальной поверхности (рис. 2.1). К одному грузу приложена горизонтально направленная сила $F = 5 \text{ Н}$. Коэффициент трения каждого груза о поверхность равен $0,1$. Определите: 1) ускорение грузов; 2) силу натяжения нити. [1] 4 м/с^2 ; 2) $2,5 \text{ Н}$

2.7. Тело массой 2 кг падает вертикально с ускорением 5 м/с^2 . Определите силу сопротивления тела о воздух. [10 Н]

2.8. К нити подвешен груз массой 500 г . Определите силу натяжения нити, если нить с грузом поднимать с ускорением 2 м/с^2 . [6 Н]

2.9. К нити подвешен груз массой 500 г . Определите силу натяжения нити, если нить с грузом опускать с ускорением 2 м/с^2 . [4 Н]

2.10. На шнуре, перекинутом через неподвижный блок, подвешены грузы массами $0,3$ и $0,2 \text{ кг}$. С каким ускорением движутся грузы? Какова сила натяжения шнура во время движения? [2 м/с^2 ; $2,4 \text{ Н}$]

2.11. На нити, перекинутой через неподвижный блок, подвешены грузы массами $0,3$ и $0,34 \text{ кг}$. За 2 с после начала движения каждый груз прошёл путь $1,2 \text{ м}$. По данным опыта найдите ускорение свободного падения. [$9,6 \text{ м/с}^2$]

2.12. На рис. 2.2 изображена система блоков, к которым подвешены грузы массами $m_1 = 200 \text{ г}$ и $m_2 = 500 \text{ г}$. Считая, что груз m_1 поднимается, а подвижный блок с грузом m_2 опускается, нить и блоки невесомы, силы трения отсутствуют,

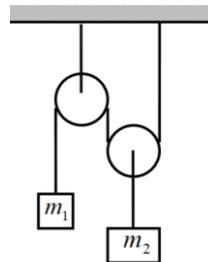


Рис. 2.2

определите: 1) силу натяжения нити; 2) ускорения, с которыми движутся грузы.

[1] 2,3 Н; 2) $a_1 = 1,54 \text{ м/с}^2$, 3) $a_2 = 0,77 \text{ м/с}^2$

2.13. Под действием груза массой $m_1 = 100 \text{ г}$ (рис. 2.3) брусок массой $m_2 = 400 \text{ г}$ проходит из состояния покоя путь 80 см за 2 с . Найдите коэффициент трения. [0,2]

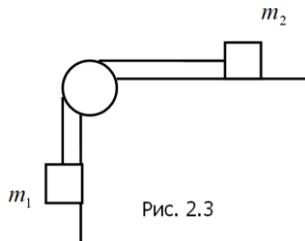


Рис. 2.3

2.14. Грузы одинаковой массы ($m_1 = m_2 = 0,5 \text{ кг}$) соединены нитью и перекинута через невесомый блок, укрепленный на конце стола (рис. 2.3).

Коэффициент трения груза m_2 о стол $0,15$. Пренебрегая трением в блоке, определите: 1) ускорение, с которым движутся грузы; 2) силу натяжения нити.

[1] $4,25 \text{ м/с}^2$; 2) $2,875 \text{ Н}$.

2.15. Система грузов (рис. 2.3) массами $m_1 = 0,6 \text{ кг}$ и $m_2 = 0,5 \text{ кг}$ находится в лифте, движущемся вверх с ускорением $a = 5 \text{ м/с}^2$. Определите силу натяжения нити, если коэффициент трения между грузом массы m_2 и опорой $0,1$. [4,5 Н]

2.16. Тело A массой 2 кг (рис. 2.4) находится на горизонтальном столе и соединено нитями посредством блоков с телами B ($m_1 = 0,5 \text{ кг}$) и C ($m_2 = 0,3 \text{ кг}$).

Считая нити и блоки невесомыми и пренебрегая силами трения, определите: 1) ускорение, с которым будут двигаться эти тела; 2) разность сил натяжения нитей. [1] $0,7 \text{ м/с}^2$; 2) $1,4 \text{ Н}$

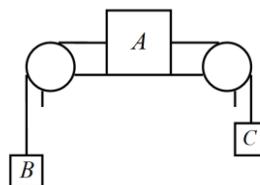


Рис. 2.4

2.17. С каким ускорением движется система, изображённая на рис. 2.4, если масса тел A и B равна $m = 1 \text{ кг}$, а масса тела C равна $2m$. Коэффициент трения равен $0,2$. Определите силы натяжения нити, связывающей тела A и B , и силы натяжения нити, связывающей тела A и C . [$2,7 \text{ м/с}^2$; $12,7 \text{ Н}$; $14,6 \text{ Н}$]

2.18. По наклонной плоскости с углом наклона к горизонту, равным 30° , скользит тело. Определите скорость тела в конце второй секунды от начала скольжения, если коэффициент трения $0,15$. [$7,4 \text{ м/с}$]

2.19. С вершины клина, длина которого 2 м и высота 1 м , начинает скользить небольшое тело. Коэффициент трения между телом и клином

0,15. Определите ускорение, с которым движется тело, время прохождения тела вдоль клина и скорость тела у основания клина. [3,7 м/с²; 1,04 с; 3,85 м/с]

2.20. На наклонной плоскости длиной 5 м и высотой 3 м находится груз массой 50 кг. Какую силу, направленную вдоль плоскости, надо приложить, чтобы тянуть груз вверх с ускорением 1 м/с²? Коэффициент трения 0,2. [430 Н]

2.21. На наклонной плоскости длиной 5 м и высотой 3 м находится груз массой 50 кг. Какую силу, направленную вдоль плоскости, надо приложить, чтобы удержать этот груз? Коэффициент трения 0,2. [220 Н]

2.22. Вагон массой 1 т спускается по канатной железной дороге с уклоном $\alpha = 15^\circ$ к горизонту (рис. 2.5). Принимая коэффициент трения 0,05, определите силу натяжения каната при торможении вагона в конце спуска, если скорость вагона перед торможением 2,5 м/с, а время торможения 6с. [2,48 кН]

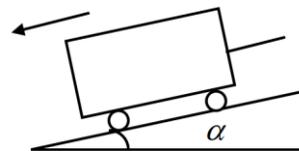


Рис. 2.5

2.23. В установке (рис. 2.6) угол α наклонной плоскости с горизонтом равен 30° , массы тел $m_1 = 200$ г и $m_2 = 300$ г.

При этом тело массой m_1 движется вверх по наклонной плоскости. Коэффициент трения 0,1. Считая нить и блок невесомыми определите ускорение, с которым будут двигаться эти тела и силу натяжения нити. [2,29 м/с²; 1,9 Н]

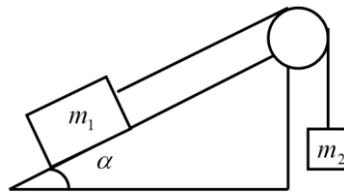


Рис. 2.6

2.24. В установке (рис. 2.6) угол α наклонной плоскости с горизонтом равен 30° , массы тел $m_1 = 500$ г и $m_2 = 200$ г. При этом тело массой m_1 движется вниз по наклонной плоскости. Коэффициент трения 0,1. Считая нить и блок невесомыми определите ускорение, с которым будут двигаться эти тела и силу натяжения нити. [0,15 м/с²; 2,03 Н]

2.25. На тело (рис. 2.7) массой 10 кг, лежащее на наклонной плоскости ($\alpha = 30^\circ$), действует горизонтально направленная сила $F = 8$ Н. Коэффициент трения 0,1. Определите ускорение тела. [4,9 м/с²]

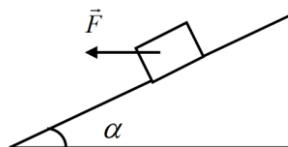


Рис. 2.7

2.26. В установке (рис. 2.8) углы α и β с горизонтом соответственно равны 30° и 45° , массы тел $m_1=0,45$ кг и $m_2=0,5$ кг. Считая нить и блок невесомыми и пренебрегая силами трения, определите: 1) ускорение, с которым движутся тела; 2) силу натяжения нити. [1] $1,35$ м/с²; 2) $2,86$ Н]

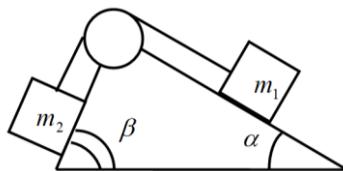


Рис. 2.8

2.27. В установке (рис. 2.8) углы α и β с горизонтом соответственно равны 30° и 45° , массы тел $m_1 = m_2 = 1$ кг. Коэффициент трения каждого тела о плоскость равен $0,1$. Считая нить и блок невесомыми определите: 1) ускорение, с которым движутся тела; 2) силу натяжения нити. [1] $0,25$ м/с²; 2) $6,1$ Н]

2.28. К потолку вагона, движущегося в горизонтальном направлении с ускорением 10 м/с², подвешен на нити шарик массой 200 г. Определите для установившегося движения: 1) силу натяжения нити; 2) угол отклонения нити от вертикали. [1] $2,8$ Н; 2) 45°]

2.29. Камень, привязанный к верёвке длиной 50 см, вращается в вертикальной плоскости. Найти, при каком числе оборотов в секунду верёвка оборвётся, если известно, что она разрывается при нагрузке, равной десятикратному весу камня. [2,1 об/с]

2.30. Камень, привязанный к верёвке, вращается в вертикальной плоскости. Найти массу камня, если известно, что разность между максимальным и минимальным натяжениями верёвки равна 10 Н. [0,5 кг]

2.31. Гирька, привязанная к нити длиной 30 см, описывает в горизонтальной плоскости окружность радиусом 15 см. Найдите частоту вращения гирьки. [59 об/мин]

2.32. Диск вращается вокруг вертикальной оси с частотой 30 об/мин. На расстоянии 20 см от оси вращения на диске лежит тело. Каков должен быть коэффициент трения между диском и телом, чтобы тело не скатилось с диска? [0,2]

2.33. С какой скоростью должен ехать автомобиль массой 2 т по выпуклому мосту с радиусом кривизны 40 м, чтобы в верхней точке он перестал оказывать давление на мост? [72 км/ч]

2.34. Шар массой 10 кг сталкивается с шаром массой 4 кг. Скорость первого шара 4 м/с, второго 12 м/с. Найти общую скорость шаров после удара в двух случаях: когда малый шар нагоняет большой шар, движущийся в том же направлении, и когда шары движутся навстречу

друг другу. Удар считать прямым, центральным, неупругим. [6,29 м/с; 0,57 м/с]

2.35. Шар массой 200 г, движущийся со скоростью 10 м/с, ударяет неподвижный шар массой 800 г. Удар прямой, центральный, абсолютно упругий. Определите проекции скоростей шаров после удара. (Направление оси выбрать по движению первого шара до удара). [- 6 м/с; 4 м/с]

2.36. Граната, летящая со скоростью 10 м/с разорвалась на два осколка. Большой осколок, масса которого составляет 60% массы всей гранаты, продолжал двигаться в том же направлении, но с увеличенной скоростью, равной 25 м/с. Найдите скорость меньшего осколка. [-12,5 м/с]

2.37. Человек, стоящий в лодке, сделал шесть шагов вдоль лодки и остановился. На сколько шагов передвинулась лодка, если: 1) масса лодки в два раза больше массы человека; 2) масса лодки в два раза меньше массы человека? [2 шага; 4 шага]

2.38. В лодке массой 240 кг стоит человек массой 60 кг. Лодка плывет со скоростью 2 м/с. Человек прыгает с лодки в горизонтальном направлении со скоростью 4 м/с относительно лодки. Найти скорость лодки после прыжка человека: а) вперед по движению лодки; б) в сторону, противоположную движению лодки. [1 м/с; 3 м/с]

2.39. Тележка, масса которой (без человека) 120 кг, движется по инерции по горизонтальной плоскости со скоростью 6 м/с. С тележки соскакивает человек массой 80 кг под углом 30° к направлению ее движения. Скорость тележки уменьшается при этом до 4 м/с. Какова была скорость прыжка относительно плоскости? [10,4 м/с]

2.40. Шарик массой 10 г падает на горизонтальную плоскость с высоты 27 см. Найти среднюю силу удара в следующих случаях: а) шарик пластилиновый (абсолютно неупругий удар); б) шарик и плоскость из стали (абсолютно упругий удар); в) шарик пластмассовый и после удара поднимается на высоту 12 см. Длительность удара шарика с плоскостью 0,03 с. [0,77 Н; 1,53 Н; 1,28 Н]

2.41. Движущееся тело массой m_1 ударяется о неподвижное тело массой m_2 . Считая удар неупругим и центральным, найдите, какая часть первоначальной кинетической энергии переходит при ударе в тепло. [$m_2 / (m_1 + m_2)$]

2.42. Груз массой 1 кг, висящий на нити, отклоняют на угол 30° . Найдите натяжение нити в момент прохождения грузом положения равновесия. [12,7 Н]

2.43. Груз массой 80 кг поднимают вдоль наклонной плоскости с ускорением 1 м/с^2 . Длина наклонной плоскости 3 м, угол ее наклона к горизонту равен 30° , а коэффициент трения 0,15. Определите работу, совершаемую подъемным устройством, его среднюю и

максимальную мощности. Начальная скорость груза равна нулю. [1,75 кДж; 715 Вт; 1,43 кВт]

2.43. Автомобиль массой 1,8 т движется равномерно в гору, уклон которой составляет 3 м на каждые 100 м пути. Определите работу, совершаемую двигателем автомобиля на пути 5 км, если коэффициент трения равен 0,1, а также развиваемую двигателем мощность, если известно, что этот путь был преодолен за 5 мин. [11,7 МДж; 9 кВт]

2.44. Определите работу, совершаемую при подъеме груза массой 50 кг по наклонной плоскости с углом наклона 30° к горизонту на расстояние 4 м, если время подъема 2 с, а коэффициент трения 0,06. [1,48 кДж]

2.45. Тело скользит с наклонной плоскости высотой h и углом наклона α к горизонту и движется далее по горизонтальному участку. Принимая коэффициент трения на всем пути постоянным и равным μ , определите расстояние s , пройденное телом на горизонтальном участке, до полной остановки. [$s = h(1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha) / \mu$]

2.46. Самолет массой 5 т двигался горизонтально со скоростью 360 км/ч. Затем он поднялся на 2 км. При этом его скорость стала 200 км/ч. Найдите работу, затраченную мотором на подъем самолета. [81 МДж]

2.47. Гиря массой 10 кг падает с высоты 0,5 м на подставку, скрепленную с пружиной жесткостью 30 Н/см. Определите при этом смещение пружины. [21,6 см]

2.48. С башни высотой 20 м горизонтально со скоростью 10 м/с брошен камень массой 400 г. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определите для момента времени 1 с после начала движения кинетическую и потенциальную энергии камня. [39,2 Дж; 59,2 Дж]

2.49. К нижнему концу пружины жесткостью k_1 присоединена другая пружина жесткостью k_2 , к концу которой прикреплен гиря. Пренебрегая массой пружин, определите отношение потенциальных энергий пружин. [$E_{II} / E_{II2} = k_2 / k_1$]

2.50. Из пружинного пистолета вылетела в горизонтальном направлении пуля, масса которой 5 г. Жесткость пружины 1,25 кН/м. Пружина была сжата на 8 см. Определите скорость пульки при вылете ее из пистолета. [40 м/с]

2.51. Струя воды сечением 6 см² ударяет о стенку под углом 60° к нормали и упруго отскакивает от стенки без потери скорости. Найдите силу, действующую на стенку, если известно, что скорость течения воды в струе 12 м/с. [86,4 Н]

2.52. Из реактивной установки массой 0,5 т, находящейся первоначально в покое, в горизонтальном направлении выбрасывается последовательно две порции вещества со скоростью 1000 м/с относительно установки. Масса каждой порции 25 кг. Какой станет

скорость установки после выброса второй порции? Трение отсутствует.
[-108,2 м/с]

2.53. Снаряд в верхней точке траектории, соответствующей высоте 1000 м, разорвался на две части 1 кг и 1,5 кг. Скорость снаряда в этой точке 100 м/с. Скорость большего осколка оказалась горизонтальной (скорость равна 250 м/с) и совпадающей по направлению со скоростью снаряда. Определить расстояние между точками падения обоих осколков. [1694 м].

2.54. На краю стола высоты h лежит маленький шарик массы m_1 . В него попадает пуля массы m_2 , движущаяся горизонтально со скоростью v , направленной в центр шарика. Пуля застревает в шарике. На каком расстоянии от стола по горизонтали шарик упадет на землю?
[$S = m_2 v \sqrt{2h/g} / (m_1 + m_2)$]

2.55. Тяжелый шарик, подвешенный на нерастяжимой и невесомой нити, имеющей длину L , отклоняют от вертикали на угол α и затем отпускают. Какую максимальную скорость v приобретет шарик?
[$v = \sqrt{2gL(1 - \cos \alpha)}$].

3. Вращательное движение твердых тел

Основные формулы и законы

- Момент инерции материальной точки

$$J = m r^2,$$

где m — масса точки; r — расстояние до оси вращения.

- Момент инерции механической системы (тела) относительно неподвижной оси

$$J = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2,$$

где r_i - расстояние материальной точки массой m_i до оси вращения; в случае непрерывного распределения масс

$$J = \int r^2 dm.$$

- Моменты инерции тел правильной геометрической формы (тела считаются однородными; m — масса тела):

Физика

Тело	Положение оси вращения	Момент инерции
Обруч или полой тонкостенный цилиндр радиусом R	Ось симметрии	mR^2
Сплошной цилиндр или диск радиусом R	Ось симметрии	$\frac{1}{2}mR^2$
Прямой тонкий стержень длиной l	Ось перпендикулярна стержню и проходит через его середину	$\frac{1}{12}ml^2$
Шар радиусом R	Ось проходит через центр шара	$\frac{2}{5}mR^2$

- Теорема Штейнера

$$J = J_c + md^2,$$

где J_c - момент инерции тела относительно оси, проходящей через центр масс; J - момент инерции относительно параллельной оси, отстоящей от первой на расстоянии d ; m - масса тела.

- Момент силы относительно неподвижной точки

$$\vec{M} = [\vec{r}, \vec{F}],$$

где r - радиус-вектор, проведенный из этой точки в точку приложения силы \vec{F} . Модуль момента силы относительно неподвижной оси

$$M = Fl,$$

где l - плечо силы (кратчайшее расстояние между линией действия силы и осью вращения).

- Основной закон динамики вращательного движения твердого тела

$$\vec{M}dt = d(J\vec{\omega}),$$

где \vec{M} - момент сил, приложенных к телу; J - момент инерции тела относительно оси вращения; $\vec{\omega}$ - угловая скорость тела.

- Уравнение (закон) динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси

$$M_z = J_z \frac{d\omega}{dt} = J_z \beta, = b$$

где ε - угловое ускорение; J_z - момент инерции тела относительно оси z .

- Момент импульса (момент количества движения) твердого тела относительно оси вращения

$$L_z = \sum_{i=1}^n m_i v_i r_i = J_z \omega,$$

где r_i - расстояние от оси z до отдельной частицы тела; $m_i v_i$ - импульс этой частицы; J_z - момент инерции тела относительно оси z ; ω - его угловая скорость.

- Закон сохранения момента импульса для замкнутой системы

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^N \vec{L}_i = const.$$

- Работа при вращательном движении тела

$$dA = M_z d\phi,$$

где $d\phi$ - угол поворота тела; M_z - момент силы относительно оси z .

- Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси z

$$E_K = \frac{J_z \omega^2}{2},$$

где J_z - момент инерции тела относительно оси z ; ω - его угловая скорость.

- Кинетическая энергия тела, катящегося по плоскости без скольжения,

$$E_K = \frac{1}{2} m v_c^2 + \frac{1}{2} J_c \omega^2,$$

где m - масса тела; v_c - скорость центра масс тела; J_c - момент инерции тела относительно оси, проходящей через его центр масс; ω - угловая скорость тела.

- Связь работы и кинетической энергии тела при вращательном движении

$$A = \frac{J\omega_2^2}{2} - \frac{J\omega_1^2}{2},$$

где J – момент инерции тела относительно оси вращения; ω_2 – угловая скорость тела в конечном состоянии; ω_1 – угловая скорость тела в начальном состоянии.

Задания

3.1. Определите момент инерции сплошного однородного диска радиусом 40 см и массой 1 кг относительно оси, проходящей через середину одного из радиусов перпендикулярной плоскости диска. [0,12 кг·м²]

3.2. Определите момент инерции тонкого однородного стержня длиной 50 см и массой 360 г относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его конец. [3·10⁻² кг·м²]

3.3. Определите момент инерции тонкого однородного стержня длиной 50 см и массой 360 г относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через точку, отстоящую от конца стержня на 1/6 его длины. [1,75·10⁻² кг·м²]

3.4. Тонкий обруч диаметром 56 см и массой 300 г висит на гвозде, вбитом в стену. Определите его момент инерции относительно этого гвоздя. [0,047 кг·м²]

3.5. Однородный шарик массой 100 г подвешен на нити, длина которой равна радиусу шарика. Определите момент инерции шарика относительно точки подвеса, если длина нити 20 см. [0,0176 кг·м²]

3.6. Определите момент инерции сплошного однородного цилиндра радиусом 20 см и массой 1 кг относительно оси, проходящей через образующую цилиндра. [0,06 кг·м²]

3.7. Однородный шар радиусом 10 см и массой 5 кг вращается вокруг оси симметрии согласно уравнению $\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$ ($B = 2$ рад/с², $C = -0,5$ рад/с³). Определите момент сил для $t = 3$ с. [-0,1 Н·м]

3.8. Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого 150 кг·м², вращается с частотой 240 об/мин. Через время $t = 1$ мин после того, как на маховик стал действовать момент сил торможения, он остановился. Определите момент сил торможения и число оборотов

маховика от начала торможения до полной остановки. [62,8 Н·м; 120]

3.9. К ободу однородного сплошного диска радиусом 0,5 м приложена постоянная касательная сила 100 Н. При вращении диска на него действует момент сил трения 2 Н·м. Определите массу диска, если известно, что его угловое ускорение постоянно и равно 16 рад/с^2 . [24 кг]

3.10. Частота вращения маховика, момент инерции которого равен $120 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, составляет 240 об/мин. После прекращения действия на него вращающего момента маховик под действием сил трения в подшипниках остановился за время $t = 3,14$ мин. Считая трение в подшипниках постоянным, определите момент сил трения. [16 Н·м]

3.11. Вентилятор вращается с частотой 600 об/мин. После выключения он начал вращаться равнозамедленно и, сделав 50 оборотов, остановился. Работа сил торможения равна 31,4 Дж. Определите момент сил торможения и момент инерции вентилятора. [0,1 Н·м; 15,9 кг·м²]

3.12. Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого $1,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, вращаясь при торможении равнозамедленно, за время $t = 1$ мин уменьшил частоту вращения с 240 об/мин до 120 об/мин. Определите угловое ускорение маховика и момент силы торможения. [0,21 рад/с²; 0,315 Н·м]

3.13. Однородный диск радиусом 0,2 м и массой 0,5 кг вращается вокруг оси, проходящей через его центр. Зависимость угловой скорости вращения диска от времени дается уравнением $\omega = A + Bt$ ($B = 8 \text{ рад/с}^2$). Найдите величину касательной силы, приложенной к ободу диска. Трением пренебречь. [0,4 Н]

3.14. Маховик, момент инерции которого равен $63,6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, вращается с постоянной угловой скоростью $31,4 \text{ рад/с}$. Найдите тормозящий момент, под действием которого маховик останавливается через 20 с. [100 Н·м]

3.15. Однородный стержень длиной 1 м и массой 0,5 кг вращается в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси, проходящей через середину стержня. С каким угловым ускорением вращается стержень, если вращающий момент равен $9,81 \cdot 10^{-2} \text{ Н}\cdot\text{м}$? [2,35 рад/с²]

3.16. Через неподвижный блок в виде однородного сплошного цилиндра массой 160 г перекинута невесомая нить, к концам которой подвешены грузы массами 200 г и 300 г. Пренебрегая трением в оси блока, определите ускорение грузов и силы натяжения. [1,69 м/с²; 2,3 Н; 2,44 Н]

3.17. На однородный сплошной цилиндрический вал радиусом 50 см намотана легкая нить, к концу которой прикреплен груз массой 6,4 кг. Груз, разматывая нить, опускается с ускорением 2 м/с^2 . Определите момент инерции и массу вала. [6,25 кг·м²; 50 кг]

3.18. На барабан массой 9 кг намотан шнур, к концу которого привязан груз массой 2 кг. Найдите ускорение груза. Барабан считать однородным диском. Трением пренебречь. [3 м/с²]

3.19. На барабан радиусом 0,5 м намотан шнур, к концу которого привязан груз массой 1 кг. Найдите момент инерции барабана, если известно, что груз опускается с ускорением $2,04 \text{ м/с}^2$. [$9,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$]

3.20. Через подвижный блок в виде однородного сплошного цилиндра массой 0,2 кг перекинута невесомая нить, к концам которой прикреплены тела массами 0,35 кг и 0,55 кг. Пренебрегая трением в оси блока, определите ускорение грузов и отношение сил натяжения нити. [$1,96 \text{ м/с}^2$; 1,05]

3.21. Тело массой 0,25 кг, соединенное невесомой нитью посредством блока (в виде полого тонкостенного цилиндра) с телом массой 0,2 кг, скользит по поверхности горизонтального стола (рис. 3). Масса блока 0,15 кг. Коэффициент трения тела о поверхность равен 0,2. Пренебрегая трением в подшипниках, определите ускорение, с которым будут двигаться эти тела и силы натяжения нити по обе стороны блока. [$2,45 \text{ м/с}^2$; 1,1 Н; 1,47 Н]

3.22. К ободу однородного сплошного диска массой 10 кг, насаженного на ось, приложена постоянная касательная сила 30 Н. Определите кинетическую энергию диска через время 4 с после начала действия силы. [$1,44 \text{ кДж}$]

3.23. Диск массой 2 кг катится без скольжения по горизонтальной плоскости со скоростью 4 м/с. Найдите кинетическую энергию диска. [24 Дж]

3.24. Шар диаметром 6 см катится без скольжения по горизонтальной плоскости, делая 4 об/с. Масса шара 0,25 кг. Найдите кинетическую энергию шара. [0,1 Дж]

3.25. Полная кинетическая энергия диска, катящегося по горизонтальной поверхности, равна 24 Дж. Определите кинетические энергии поступательного и вращательного движений диска. [16 Дж; 8 Дж]

3.26. Шар и сплошной цилиндр одинаковой массы, изготовленные из одного и того же материала, катятся без скольжения с одинаковой скоростью. Определите, во сколько раз кинетическая энергия шара меньше кинетической энергии сплошного цилиндра. [В 1,07 раза]

3.27. Обруч и диск имеют одинаковую массу и катятся без скольжения с одинаковой линейной скоростью. Кинетическая энергия обруча равна 4 Дж. Найдите кинетическую энергию диска. [2 Дж]

3.28. Определите, во сколько раз полная кинетическая энергия обруча, скользящего вдоль наклонной плоскости, меньше полной кинетической энергии обруча, катящегося по наклонной плоскости. [в 2 раза]

3.29. Сплошной однородный диск скатывается без скольжения по наклонной плоскости, образующей угол α с горизонтом. Определите линейное ускорение центра диска. [$(2g \sin \alpha) / 3$]

3.30. С наклонной плоскости, составляющей угол α с горизонтом, скатывается шар. С каким ускорением движется центр шара?

$$[(5g \sin \alpha) / 7]$$

3.31. Шар скатывается с наклонной плоскости высотой 90 см. Какую линейную скорость будет иметь центр шара в тот момент, когда шар скатится с наклонной плоскости? [3,5 м/с]

3.32. С наклонной плоскости, составляющей угол 30° к горизонту, скатывается без скольжения шарик. Пренебрегая трением, определите время движения шарика по наклонной плоскости, если известно, что его центр масс при скатывании понизился на 30 см. [0,585 с]

3.33. Колесо радиусом 30 см и массой 3 кг скатывается без трения по наклонной плоскости длиной 5 м и углом наклона 30° . Определите момент инерции колеса, если его скорость в конце движения составляла 4 м/с. [0,057 кг·м²]

3.34. Вертикальный столб высотой 5 м подпиливается у основания и падает на землю. Определите линейную и угловую скорости его верхнего конца в момент удара о землю.

$$[12 \text{ м/с}; 2,4 \text{ рад/с}]$$

3.35. По горизонтальной плоской поверхности катится диск со скоростью 8 м/с. Определите коэффициент сопротивления, если диск, будучи предоставленным самому себе, остановился, пройдя путь 18 м. [0,27]

3.36 Шар массой 3 кг катится со скоростью 2 м/с и сталкивается с покоящимся шаром массой 5 кг. Какая работа будет совершена при деформации шаров? Удар считать абсолютно неупругим, прямым, центральным. [- 6,15 Дж]

3.37 Шар массой 1 кг, катящийся без скольжения, ударяется о стенку и откатывается от нее. Скорость шара до удара о стенку 10 см/с, после удара 8 см/с. Найдите количество теплоты, выделившееся при ударе, и импульс, который получает стенка. [2,52 мДж; 0,18 кг·м/с]

3.38 Медный шар радиусом 10 см вращается с частотой 2 об/с, вокруг оси, проходящей через его центр. Какую работу надо совершить, чтобы увеличить угловую скорость вращения вдвое? [34,1 Дж]

3.39 Деревянный стержень массой 1 кг и длиной 40 см может вращаться вокруг оси, проходящей через его середину перпендикулярно к стержню. В конец стержня попадает пуля массой 10 г, летящая перпендикулярно к оси и стержню со скоростью 200 м/с. Определите угловую скорость, которую получит стержень, если пуля застрянет в нем. [29 рад/с]

3.40 Два маленьких шарика массами 40 г и 120 г соответственно соединены стержнем длиной 20 см, масса которого ничтожно мала. Система вращается около оси, перпендикулярной к стержню и проходящей сквозь центр инерции системы. Определите импульс и момент импульса системы. Частота оборотов равна 3 с^{-1} . [0; $2,3 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$]

3.41 Маховик начинает вращаться из состояния покоя с постоянным угловым ускорением $0,4 \text{ рад/с}^2$. Определите кинетическую энергию

маховика через 25 с после начала движения, если через 10 с после начала движения момент импульса маховика составлял $60 \text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}$. [750 Дж]

3.42 Какую работу нужно произвести, чтобы увеличить частоту оборотов маховика от 0 до 120 мин^{-1} ? Массу маховика, равную 0,5 т, можно считать распределенной по ободу диаметром 1,5 м. Трением пренебречь. [22,2 кДж]

3.43 На скамье Жуковского (вращающаяся платформа без трения) стоит человек и держит в руках стержень по оси скамьи. Скамья с человеком вращается с угловой скоростью 4 рад/с. С какой скоростью будет вращаться скамья с человеком, если стержень повернуть так, чтобы он занял горизонтальное положение? Суммарный момент инерции человека и скамьи $5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, длина стержня 2 м, масса 6 кг. Считать, что центр масс стержня с человеком в обоих случаях находится на оси платформы. [2,9 рад/с]

3.44 На неподвижной скамье Жуковского стоит человек и держит в руке за ось велосипедное колесо, вращающееся вокруг своей оси с угловой скоростью 25 рад/с. Ось колеса расположена вертикально и совпадает с осью скамьи. С какой скоростью станет вращаться скамья, если повернуть колесо вокруг горизонтальной оси на угол 90° ? Момент инерции человека и скамьи равен $2,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, момент инерции колеса $0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. [5 рад/с]

3.45 Платформа в виде диска вращается по инерции без трения около вертикальной оси с частотой 14 мин^{-1} . На краю платформы стоит человек. Когда человек перешел в центр платформы, частота возросла до 25 мин^{-1} . Масса человека 70 кг. Определите массу платформы. Момент инерции человека рассчитывать, как для материальной точки. [178 кг]

3.46 Горизонтальная платформа массой 150 кг вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через центр платформы с частотой 8 мин^{-1} . Человек массой 70 кг стоит при этом на краю платформы. С какой угловой скоростью начнет вращаться платформа, если человек перейдет от края платформы к ее центру? Считать платформу круглым однородным диском, а человека - материальной точкой. [1,62 рад/с]

3.47 Горизонтальная платформа массой 25 кг и радиусом 0,8 м вращается с частотой 18 мин^{-1} . В центре стоит человек и держит в расставленных руках гири. Считая платформу диском, определите частоту вращения платформы, если человек, опустив руки, уменьшит свой момент инерции от $3,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ до $1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. [23 мин^{-1}]

3.48 Человек, стоящий на скамье Жуковского, держит в руках стержень длиной 2,5 м, расположенный вертикально вдоль оси вращения скамейки. Эта система (скамья и человек) обладает моментом инерции $10 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и вращается с частотой 12 мин^{-1} . Если стержень повернуть в горизонтальное положение, то частота вращения системы станет $8,5 \text{ мин}^{-1}$. Определите массу стержня. [8 кг]

3.49 Человек массой 60 кг, стоящий на краю горизонтальной платформы радиусом 1 м и массой 120 кг, вращающейся по инерции вокруг неподвижной вертикальной оси с частотой 10 мин^{-1} , переходит

к ее центру. Считая платформу круглым однородным диском, а человека – точечной массой, определите работу, совершаемую человеком при переходе от края платформы к ее центру. [65,8 Дж]

3.50 На краю неподвижной скамьи Жуковского диаметром 0,8 м и массой 6 кг стоит человек массой 60 кг. С какой угловой скоростью начнет вращаться скамья, если человек поймает летящий на него мяч массой 0,5 кг? Траектория мяча горизонтальна и проходит на расстоянии 0,4 м от оси скамьи. Скорость мяча 5 м/с. [0,1 рад/с]

3.51 Платформа в виде диска диаметром 3 м и массой 180 кг может вращаться вокруг вертикальной оси. С какой угловой скоростью будет вращаться эта платформа, если по ее краю пойдет человек массой 70 кг со скоростью 1,8 м/с относительно платформы? [0,53 рад/с]

3.52 В центре вращающегося столика стоит человек, держащий на вытянутых руках на расстоянии 150 см друг от друга две гири. Столик вращается с частотой 1 с^{-1} . Человек сближает гири до расстояния 80 см, и частота увеличивается до $1,5 \text{ с}^{-1}$. Определите работу, произведенную человеком, если каждая гиря имеет массу 2 кг. Момент инерции человека относительно оси столика считать постоянным. [48 Дж]

4. Механические колебания Основные формулы

- Уравнение гармонических колебаний:

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где x – смещение точки от положения равновесия, A – амплитуда колебаний, ω_0 – круговая (циклическая частота), t – время, φ_0 – начальная фаза колебаний.

$$\omega_0 = 2\pi\nu = 2\pi / T,$$

где ν – частота колебаний, T – период колебаний.

- Скорость и ускорение при гармонических колебаниях:

$$v_x = \dot{x} = A\omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

$$a_x = \dot{v}_x = \ddot{x} = -A\omega_0^2 \sin(\omega_0 t + \varphi_0).$$

- Возвращающая сила

$$F_x = -kx = -kA \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

$$F_x = ma_x = -mA\omega_0^2 \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где $k = m\omega_0^2$ – коэффициент упругой (квазиупругой) силы, m – масса материальной точки.

- Максимальная возвращающая сила

$$F_{\max} = kA = m\omega_0^2 A$$

-

- Кинетическая энергия колеблющейся точки

$$E_K = \frac{mv^2}{2} = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = \frac{kA^2}{2} \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

- Потенциальная энергия колеблющейся точки

$$E_{II} = \frac{kx^2}{2} = \frac{kA^2}{2} \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

- Полная энергия при гармонических колебаниях:

$$E = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = \frac{kA^2}{2} = \frac{mA^2\omega_0^2}{2}.$$

- Периоды колебаний:

$T = 2\pi\sqrt{l/g}$ – математический маятник (l – длина нити, g – ускорение свободного падения),

$T = 2\pi\sqrt{m/k}$ – пружинный маятник (m – масса тела, k – жесткость пружины),

$T = 2\pi\sqrt{I/(mgd)}$ – физический маятник (I – момент инерции тела относительно оси, проходящей через точку подвеса, m – масса тела, d – расстояние от точки подвеса до центра масс).

- Уравнение затухающих колебаний:

$$x = A_0 e^{-\beta t} \sin(\omega t + \varphi_0),$$

где A_0 – амплитуда колебаний в начальный момент времени, $A_0 e^{-\beta t} = A$ – амплитуда затухающих колебаний, $\beta = r/2m$ – коэффициент затухания (r – коэффициент сопротивления, m – масса точки), ω – частота затухающих колебаний.

- Логарифмический декремент затухания

$$\chi = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta \cdot T.$$

• Амплитуда результирующего колебания, полученного при сложении двух колебаний одинаковой частоты и одного направления:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \Delta\phi},$$

где A_1 и A_2 – амплитуды слагаемых колебаний, $\Delta\phi$ – разность фаз слагаемых колебаний.

- Начальная фаза результирующего колебания определяется из формулы:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}.$$

- Уравнение траектории точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях с одинаковыми частотами:

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - 2 \frac{xy}{A_1 A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1),$$

где $(\varphi_2 - \varphi_1)$ - разность фаз складываемых колебаний.

Задания

4.1. Уравнение движения точки дано в виде $x = 0,05 \sin(2\pi t + \pi/3)$ м. Найти период, амплитуду, начальную фазу, циклическую частоту и частоту колебаний. [1с; 0,05м; $\pi/3$; 2π ; 1 Гц]

4.2 Написать уравнение гармонических колебаний точки с амплитудой 0,1 м, если начальная фаза равна $\pi/2$, а период колебаний 2 с.

4.3 Написать уравнение гармонических колебаний точки с амплитудой 5 см, если за 2 минуты совершается 120 колебаний, а начальная фаза равна 60° .

4.4 Уравнение движения точки дано в виде $x = 0,2 \sin(\pi t + \pi/3)$ м. Найти максимальные значения скорости и ускорения. [0, 2π м/с; $0,2\pi^2$ м/с²]

4.5 Точка совершает гармонические колебания с амплитудой 10 см и периодом 5 с. Определить максимальную скорость и максимальное ускорение. [12,6 см/с; 15,8 см/с²]

4.6. Определите максимальные значения скорости и ускорения точки, совершающей гармонические колебания с амплитудой 2 см и периодом 2 с. [0,0628 м/с; $0,197$ м/с²]

4.7. Точка совершает гармонические колебания с периодом 8 с и начальной фазой, равной нулю. Определите, за какое время точка сместится от положения равновесия на половину амплитуды. [2/3 с]

4.8. Точка совершает гармонические колебания с периодом 12 с. Определите, за какое время скорость точки увеличится от нуля до половины максимального значения. [2 с]

4.9. Точка совершает гармонические колебания с периодом 12 с. Определите, за какое время ускорение точки увеличится от нуля до половины максимального значения. [1 с]

4.10. Уравнение движения точки дано в виде $x = A \cos(\pi t / 4)$.

Определите моменты времени, при которых достигается максимальная скорость точки. [2с, 6с, 10с ...]

4.11. Уравнение движения точки дано в виде $x = A \cos(\pi t / 2)$.

Определите моменты времени, при которых достигается максимальное ускорение точки. [0с, 2с, 4с ...]

4.12. Материальная точка совершает гармонические колебания согласно уравнению $x = 0,15 \cos(2\pi t)$ м. Определите максимальное значение модуля возвращающей силы и полную энергию точки, если её масса 0,1 кг. [0,59 Н; 0,044 Дж]

4.13. Материальная точка массой 50 г совершает гармонические колебания согласно уравнению $x = 0,1 \cos(3\pi t / 2)$ м. Определите возвращающую силу для момента времени 2 с. [0,11 Н]

4.14. Определите отношение кинетической энергии точки, совершающей гармонические колебания, к её потенциальной энергии для моментов времени: а) $t = T/12$; б) $t = T/8$; в) $t = T/6$, где T – период колебаний. Начальная фаза равна нулю. [3; 1; 1/3]

4.15. Определите отношение кинетической энергии точки, совершающей гармонические колебания, к её потенциальной энергии для моментов времени, при которых смещение от положения равновесия составляет: а) $x = A/4$; б) $x = A/2$; в) $x = A$, где A – амплитуда колебаний. [15; 3; 0]

4.16. Как изменится частота колебаний груза, висящего на двух одинаковых пружинах, если от их последовательного соединения перейти к параллельному? [увеличится в 2 раза]

4.17. Груз, подвешенный к пружине, колеблется по вертикали с амплитудой 8 см. Определите жёсткость пружины, если известно, что максимальная кинетическая энергия груза равна 0,8 Дж. [$k = 250$ Н/м]

4.18. Если увеличить массу груза, подвешенного на пружине, на 600 г, то период колебаний возрастёт в 2 раза. Определите массу первоначально подвешенного груза. [200 г]

4.19. Два математических маятника, длины которых отличаются на 16 см, совершают за одно и то же время один 10 колебаний, другой 6 колебаний. Определите длины маятников. [9см; 25см]

4.20. Математический маятник длиной 1 м подвешен к потолку кабины, которая начинает опускаться вертикально вниз с ускорением $a = g / 4$. Найдите период колебаний этого маятника. [2,32 с]

4.21. На какую высоту надо поднять математический маятник, чтобы период его колебаний увеличился в 2 раза? Радиус Земли 6400 км.

[$6,4 \cdot 10^6$ м]

4.22. Маятник, состоящий из невесомой нити длиной 1 м и свинцового шарика радиусом 0,02 м, совершает гармонические колебания с амплитудой 0,06 м. Определите: а) модуль максимального значения возвращающей силы; б) модуль максимальной скорости. Плотность свинца $11,3 \cdot 10^3$ кг/м³.

[0,22 Н; 0,18 м/с]

4.23. Тонкий обруч радиусом 0,5 м подвешен на вбитый в стенку гвоздь и совершает гармонические колебания в плоскости, параллельной стене. Определите частоту колебаний обруча. [0,5 Гц]

4.24. Однородный диск радиусом 20 см колеблется около горизонтальной оси, проходящей на расстоянии 15 см от центра диска. Определите период колебаний диска относительно этой оси. [1,07 с]

4.25. Диск радиусом R подвешен так, что может совершать гармонические колебания относительно образующей диска. Определите период и частоту колебаний диска.

$$\left[2\pi\sqrt{3R/2g}; (1/2\pi)\sqrt{2g/3R} \right]$$

4.26. Тонкий стержень длиной 60 см совершает колебания относительно оси, отстоящей на расстоянии 15 см от его середины. Определите период колебаний стержня. [1,19 с]

4.27. Определите амплитуду и начальную фазу гармонического колебания, полученного от сложения одинаково направленных колебаний, заданных уравнениями: $x_1 = 0,02 \sin(5\pi t + \pi/2)$ м и

$$x_2 = 0,03 \sin(5\pi t + \pi/4)$$
 м. [0,046 м; $62^0 46'$]

4.28. Найдите уравнение результирующего колебания, полученного от сложения одинаково направленных колебаний, заданных уравнениями: $x_1 = 4 \sin(\pi t)$ м, $x_2 = 3 \sin(\pi t + \pi/2)$ м.

$$[x = 5 \sin(\pi t + \pi/5)]$$
 м]

4.29. Точка участвует в двух колебаниях одинаковой частоты одного направления и с одинаковыми начальными фазами. Амплитуды колебаний соответственно равны 3 см и 4 см. Определите амплитуду результирующего колебания. [7 см;]

4.30. Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, которые происходят по законам: $x = 2 \sin \omega t$ м и $y = 2 \cos \omega t$ м. Найдите траекторию движения точки. [окружность радиусом 2 м]

4.31. Точка участвует в двух колебаниях одинаковой частоты и с одинаковыми начальными фазами, совершаемых во взаимно перпендикулярных направлениях. Амплитуды колебаний соответственно равны 3 см и 4 см. Определите амплитуду результирующего колебания. [5

см]

4.32. Запишите уравнение результирующего колебания точки, полученного от сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний одинаковой частоты ($\nu = 5 \text{ Гц}$), с одинаковыми начальными фазами, равными $\pi/3$ и с амплитудами: $A_1 = 0,10 \text{ м}$ и $A_2 = 0,05 \text{ м}$.
 $[x = 11,2 \sin(10\pi t + \pi/3) \text{ см}]$

4.33. Уравнение затухающих колебаний точки дано в виде $x = 5e^{-0,25t} \sin(\pi/2)t \text{ м}$. Определите скорость точки в моменты времени, равные $0, T, 2T$. [$7,85 \text{ м/с}$; $2,9 \text{ м/с}$; $1,1 \text{ м/с}$]

4.34. Логарифмический декремент затухания математического маятника равен $0,2$. Во сколько раз уменьшится амплитуда за одно полное колебание? [$1,22$ раз]

4.35. Начальная амплитуда затухающих колебаний точки равна 3 см. По истечении 10 с от начала колебаний амплитуда стала равной 1 см. Через какое время амплитуда станет равной $0,3$ см? [21 с]

4.36. Амплитуда затухающих колебаний маятника за 2 минуты уменьшилась в 2 раза. Определите коэффициент затухания. [$5,78 \cdot 10^{-3} \text{ 1/с}$]

4.37. Амплитуда затухающих колебаний маятника за 1 минуту уменьшилась в 3 раза. Во сколько раз она уменьшится за 4 минуты? [81 раз]

5. Молекулярно-кинетическая теория идеального газа

Основные формулы

- *Основное уравнение молекулярно-кинетической теории:*

$$P = \frac{1}{3} n m_0 \langle v_{\text{кв.}}^2 \rangle = \frac{2}{3} n \langle E_k \rangle = \frac{1}{3} \rho \langle v_{\text{кв.}}^2 \rangle = nkT,$$

где P – давление газа, $n = N/V$ – концентрация молекул, m_0 – масса одной молекулы, $\langle v_{\text{кв.}} \rangle$ – средняя квадратичная скорость одной молекулы, $\rho = n m_0 = m/V$ – плотность газа, T – абсолютная температура, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ – постоянная Больцмана.

- Средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы

$$\langle E_k \rangle = \frac{m_0 \langle v_{\text{кв.}}^2 \rangle}{2} = \frac{3}{2} kT.$$

- Изопроцессы (газовые законы) – для $m = \text{const}$:

1) $T - const$ - изотермический: $P_1V_1 = P_2V_2$

2) $P - const$ - изобарный: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

3) $V - const$ - изохорный $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

- Уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$PV = \frac{m}{M} RT,$$

где V – объём газа, m – масса газа, M – молярная масса, $R = 8,31 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К})$ - универсальная газовая постоянная.

- Количество вещества:

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$$

где N – общее число молекул, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ - постоянная Авогадро.

- Скорости молекул:

$$\langle v_{\text{кв.}} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3PV}{m}} \quad - \text{средняя квадратичная,}$$

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = \sqrt{\frac{8PV}{\pi m}} \quad - \text{средняя арифметическая,}$$

$$v_6 = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = \sqrt{\frac{2PV}{m}} \quad - \text{наиболее вероятная.}$$

- Нормальные условия:

$$T_0 = 273 \text{ K } (0^\circ \text{C}); P_0 \approx 10^5 \text{ Па } (760 \text{ мм рт.ст.});$$

$$V_0 = 22,4 \text{ м}^3 / \text{моль} \text{ - объём одного моля газа.}$$

- Закон распределения молекул идеального газа по скоростям:

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}}.$$

- Закон распределения молекул идеального газа по энергиям:

$$f(E) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} E^{1/2} e^{-E/(kT)}.$$

Задания

5.1. В сосуде объёмом $V = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ находится газ при нормальных условиях. Определите число молекул газа в сосуде и концентрацию молекул. [$7,95 \cdot 10^{22}$; $2,65 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$]

5.2. Газ находится в цилиндре под поршнем при нормальных условиях. Во сколько раз изменится концентрация молекул газа при увеличении объёма газа в 5 раз при прежней температуре?
[уменьшится в 5 раз]

5.3. Газ находится в цилиндре под поршнем при нормальных условиях. Во сколько раз изменится концентрация молекул газа при увеличении температуры газа до $t = 100^{\circ} \text{ C}$ при прежнем давлении?
[уменьшится в 1,37 раза]

5.4. В баллоне находилось 10 кг газа при давлении 10^7 Па . Найти, какое количество газа взяли из баллона, если окончательное давление стало равно $2,5 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Температуру газа считать постоянной. [7,5 кг]

5.5. 12 г газа занимают объём $4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ при температуре 7° C . После нагревания газа при постоянном давлении его плотность стала равна $6 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}^3$. До какой температуры нагрели газ? [1400 К]

5.5. В баллоне объёмом 10 л находится гелий (He) под давлением 1 МПа и при температуре 300 К. После того как из баллона было взято 10 г гелия, температура в баллоне понизилась до 290 К. Определите давление гелия, оставшегося в баллоне. [0,364 МПа]

5.6. В сосуде объёмом $V = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ находится 0,02 кг азота (N_2) под давлением $P = 0,9 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Определите среднюю квадратичную скорость молекул газа; число молекул, находящихся в сосуде; плотность газа. [$1,6 \cdot 10^2 \text{ м/с}$; $4,3 \cdot 10^{23}$; 10 кг/м^3]

5.7. Плотность некоторого газа $\rho = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$, а средняя квадратичная скорость молекул этого газа равна 600 м/с. Определите давление, которое оказывает газ на стенки сосуда. [600 Па]

5.8. Определите среднюю квадратичную скорость молекул некоторого газа, плотность которого при давлении $P = 1,1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ равна $\rho = 0,024 \text{ кг/м}^3$. Какова масса одного моля этого газа, если значение плотности дано при температуре 27° C ? [1172,6 м/с; 0,005 кг/моль]

5.9. 6 г углекислого газа (CO_2) и 5 г закиси азота (NO_2) заполняют

сосуд объёмом $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Найти общее давление в сосуде при температуре 400 К. [$4,15 \cdot 10^5 \text{ Па}$]

5.10. Определите молярную массу смеси кислорода (O_2) массой 25 г и азота (N_2) массой 75 г. [$28,9 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$]

5.11. Определите плотность смеси газов водорода (H_2) массой 8 г и кислорода (O_2) массой 64 г при температуре 290 К и при давлении 0,1 МПа. Газ считать идеальным. [$0,498 \text{ кг/м}^3$]

5.12. Баллон вместимостью 20 л содержит смесь водорода (H_2) и азота (N_2) при температуре 290 К и давлении 1 МПа. Определите массу водорода, если масса смеси равна 150 г. [6,3 г]

5.13. В закрытом сосуде вместимостью 20 л находятся водород (H_2) массой 6 г и гелий (He) массой 12 г. Определите давление и молярную массу газовой смеси в сосуде, если температура смеси 300 К. [$0,75 \text{ МПа}$; $3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$]

5.14. Смесь кислорода (O_2) и азота (N_2) при температуре 27°C находится под давлением 230 Па. Масса кислорода составляет 75% от общей массы смеси. Определите концентрацию молекул каждого из газов. [$4 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$; $1,5 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$]

5.15. В сосуде вместимостью 0,3 л при температуре 290 К находится некоторый газ. На сколько понизится давление газа в сосуде, если из-за утечки выйдет 10^{19} молекул? [133 Па]

5.16. Два сосуда одинакового объёма содержат кислород (O_2). В одном сосуде давление 2 МПа и температура 800 К, в другом давление 2,5 МПа, а температура 200 К. Сосуды соединили трубкой и охладили находящийся в них кислород до 200 К. Определите установившееся в сосудах давление. [1,5 МПа]

5.17. Определите среднюю кинетическую энергию поступательного движения одной молекулы и температуру газа при давлении 0,5 кПа, если концентрация молекул газа равна 10^{23} м^{-3} . [$7,5 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$; 362 К]

5.18. Во сколько раз средняя квадратичная скорость пылинки, взвешенной в воздухе, меньше средней квадратичной скорости молекул воздуха? Масса пылинки 10^{-8} г . Воздух считать однородным газом, молярная масса которого равна 0,029 кг/моль. [в $1,44 \cdot 10^7$ раз]

5.19. Определите среднюю квадратичную скорость молекулы газа, заключённого в сосуд вместимостью 2 л под давлением 2 кПа. Масса газа

3 г. [4 км/с]

5.20. Определите наиболее вероятную скорость молекул газа, плотность которого при давлении 40 кПа составляет $0,35 \text{ кг} / \text{м}^3$. [478 м/с]

5.21. Определите наиболее вероятную, среднюю арифметическую и среднюю квадратичную скорости молекул азота (N_2) при 300 К. [422 м/с; 476 м/с; 517 м/с]

5.22. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул кислорода (O_2) больше их наиболее вероятной скорости на 100 м/с. [381 К]

5.23. Определите среднюю арифметическую скорость молекул газа, если известно, что их средняя квадратичная скорость 1 км/с. [920 м/с]

5.24. Смесь гелия (He) и аргона (Ar) находится при температуре 1200 К. Определите среднюю квадратичную скорость и среднюю кинетическую энергию поступательного движения атомов гелия и аргона. [гелий: 2730 м/с; $2,48 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$; аргон: 864 м/с; $2,48 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$]

5.25. Используя закон распределения молекул идеального газа по скоростям, найти формулу наиболее вероятной скорости. [$v_g = \sqrt{2kT/m_0}$]

5.26. Используя закон распределения молекул идеального газа по скоростям, найти среднюю арифметическую скорость молекул. [$\langle v \rangle = \sqrt{8kT/\pi m_0}$]

5.27. Используя закон распределения молекул идеального газа по скоростям, найти среднюю квадратичную скорость. [$\langle v_{ке} \rangle = \sqrt{3kT/m_0}$]

5.28. Используя функцию распределения молекул идеального газа по энергиям, найти среднюю кинетическую энергию молекул. [$3/2 kT$]

6. Основы равновесной термодинамики

Основные формулы и законы

- Молярные теплоёмкости при постоянном объёме (C_V) и постоянном давлении (C_P):

$$C_V = \frac{i}{2} R, \quad C_P = \frac{i+2}{2} R,$$

где i – число степеней свободы, $R = 8,31 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К})$ – универсальная газовая постоянная.

- Связь между удельной (c) и молярной (C)

теплоёмкостями:

$$c = C / M ,$$

где M – молярная масса.

- Внутренняя энергия идеального газа:

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

где m - масса газа, T - абсолютная температура.

- Изменение внутренней энергии идеального газа:

$$\Delta U = \frac{m}{M} \frac{i}{2} R \Delta T ,$$

- Работа расширения газа:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV - \text{в общем случае,}$$

где P - давление газа, V - объём газа.

$$A = P(V_2 - V_1) - \text{при изобарном процессе.}$$

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} - \text{при изотермическом процессе.}$$

$$A = -\Delta U = -\frac{m}{M} C_V \Delta T = \frac{RT_1}{\gamma - 1} \frac{m}{M} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right] - \text{при}$$

адиабатном процессе,

где $\gamma = C_p / C_V = (i + 2) / i$.

- Первое начало термодинамики:

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

где Q – количество теплоты, сообщённое системе, ΔU - изменение внутренней энергии системы, A – работа, совершённая системой против внешних сил.

- Уравнение Пуассона для адиабатного процесса:

$$PV^\gamma = const .$$

- Уравнение адиабаты идеального газа в переменных T и V

$$TV^{\gamma - 1} = const .$$

- Коэффициент полезного действия цикла Карно:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} ,$$

где Q_1 - количество теплоты, полученное от нагревателя, Q_2 - количество теплоты, переданное холодильнику, T_1 - температура нагревателя, T_2 - температура холодильника.

- Изменение энтропии при равновесном переходе из состояния 1 в состояние 2:

$$\Delta S_{1 \rightarrow 2} = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \int_1^2 \frac{dU + dA}{T}.$$

Задания

6.1. Считая азот (N_2) идеальным газом, определите его удельную теплоёмкость для изохорного и изобарного процессов. [42 Дж/(кг·К); 1,04 Дж/(кг·К)]

6.2. Найдите удельную теплоёмкость углекислого газа (CO_2) для изохорного и изобарного процессов. [567 Дж/(кг·К); 755 Дж/(кг·К)]

6.3. Найдите удельную теплоёмкость при постоянном давлении хлористого водорода (HCl) и неона (Ne).
[800 Дж/(кг·К); 1025 Дж/(кг·К)]

6.4. Найдите для кислорода (O_2) отношение удельной теплоёмкости при постоянном давлении к удельной теплоёмкости при постоянном объеме. [1,4]

6.5. Плотность некоторого двухатомного газа при нормальных условиях равна 1,43 кг/м³. Чему равны удельные теплоёмкости при постоянном давлении и при постоянном объеме этого газа?
[650 Дж/(кг·К); 910 Дж/(кг·К)]

6.6. Определите удельные теплоёмкости при постоянном давлении и при постоянном объеме, если известно, что некоторый газ при нормальных условиях имеет удельный объем 0,7 м³/кг. Что это за газ? [649 Дж/(кг·К); 909 Дж/(кг·К)]

6.7. Считая азот идеальным газом, определите его молярную теплоёмкость при постоянном объеме и при постоянном давлении. [20,8 Дж/(моль·К); 29 Дж/(моль·К)]

6.8. Определите молярную массу двухатомного газа, если известно, что разность удельных теплоёмкостей этого газа при постоянном объеме и при постоянном давлении равна 260 Дж/(кг·К). [0,032 кг/моль]

6.9. Найдите удельные теплоёмкости при изобарном и изохорном процессах некоторого газа. Известно, что молярная масса его равна 0,03 кг/моль, а отношение $c_p / c_v = 1,4$. [693 Дж/(кг·К); 970 Дж/(кг·К)]

6.10. Для некоторого двухатомного газа удельная теплоёмкость при постоянном давлении равна $14,7 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К). Чему равна масса одного

моля этого газа? [0,002 кг/моль]

6.11. Определите удельные теплоёмкости при постоянном объеме и постоянном давлении для смеси углекислого (CO_2) газа массой 3 г и азота (N_2) массой 4 г. [667 Дж/(кг К); 917 Дж/(кг К)]

6.12. Кислород (O_2) массой 1 кг находится при температуре 320 К. Определите внутреннюю энергию молекул газа. Газ считать идеальным. [208 кДж]

6.13. В закрытом сосуде находится смесь азота (N_2) массой 56 г и кислорода (O_2) массой 64 г. Определите изменение внутренней энергии смеси, если её охладили на $20^0 C$. [1,66 кДж]

6.14. Какая работа совершается при изотермическом расширении водорода (H_2) массой 5 г, взятого при 290 К, если давление уменьшается в три раза? [6627 Дж]

6.15. Определите количество теплоты, которое надо сообщить кислороду (O_2) объемом 50 л при изохорном нагревании, чтобы давление повысилось на 0,5 МПа. [62,5 кДж]

6.16. Во сколько раз увеличится объем 0,4 моль водорода (H_2) при температуре 300 К при изотермическом расширении, если при этом газ получит количество теплоты 800 Дж? [2,23]

6.17. Работа расширения некоторого двухатомного идеального газа составляет 2 кДж. Определите количество подведенной к газу теплоты, если процесс протекал изотермически. [2 кДж]

6.18. Работа расширения некоторого двухатомного идеального газа составляет 2 кДж. Определите количество подведенной к газу теплоты, если процесс протекал изобарно. [7 кДж]

6.19. Два моля двухатомного идеального газа нагревают при постоянном объеме до температуры 289 К. Определите количество теплоты, которое необходимо сообщить газу, чтобы увеличить его давление 3 раза. [34 кДж]

6.20. До какой температуры охладится воздух, находящийся при температуре 273 К, если он расширяется адиабатно, и при этом объем его увеличивается в два раза? [207 К]

6.21. Газ расширяется адиабатно и при этом его объем увеличивается вдвое, а температура падает в 1,32 раза. Найти число степеней свободы этого газа. [$i=5$]

6.22. Азот (N_2), находившийся при температуре 400 К, подвергли адиабатному расширению, в результате которого его объем увеличился в 5 раз, а внутренняя энергия уменьшилась на 4 кДж. Определите массу азота. [28 г]

6.23. Азот (N_2) массой 14 г сжимают изотермически при

температуре 300 К от давления 100 кПа до давления 500 кПа. Определите изменение внутренней энергии, работу сжатия, количество выделенной теплоты. [0; -2 кДж; -2 кДж]

6.24. При изобарном нагревании некоторого идеального газа (2 моль) на 90 К ему было сообщено 5,25 кДж теплоты. Определите работу, совершаемую газом, изменение внутренней энергии газа; величину $\gamma = c_p / c_v$. [0,6 кДж; 1,5 кДж; 1,4]

6.25. При изотермическом расширении 2 г азота (N_2) при температуре 280 К объём увеличился в два раза. Определите совершённую газом работу, изменение внутренней энергии и количество теплоты, полученное газом. [115,2 Дж; 0; 115,2 Дж]

6.26. Азот (N_2) массой 0,1 кг изобарно нагрет от температуры 200 К до температуры 400 К. Определите работу, совершённую газом, полученную им теплоту и изменение внутренней энергии. [5,9 кДж; 20,7 кДж; 14,8 кДж]

6.27. Какая доля количества теплоты, подводимого к идеальному двухатомному газу при изобарном процессе, расходуется на увеличение внутренней энергии и какая доля – на работу расширения? [0,71; 0,29]

6.28. Водород (H_2) массой 6,5 г при температуре 300 К и постоянном давлении расширяется вдвое за счет притока тепла извне. Определите работу расширения, изменение внутренней энергии газа и количество теплоты, полученное газом. [8,1 кДж; 20,2 кДж; 28,3 кДж]

6.29. 2 кмоль углекислого газа (CO_2) нагреваются при постоянном давлении на 50 К. Найдите изменение его внутренней энергии, работу расширения и количество теплоты, полученное газом. [2500 кДж; 830 кДж; 3330 кДж]

6.30. Определите показатель адиабаты для смеси газов, содержащей гелий (He) массой 8 г и водород массой (H_2) 2 г. [1,55]

6.31. При адиабатном расширении двух моль кислорода (O_2), находящегося при нормальных условиях, объём увеличился в 3 раза. Определите изменение внутренней энергии газа и работу расширения газа. [-4,03 кДж; 4,03 кДж]

6.32. Газ совершает цикл Карно. При этом он получает от нагревателя 41,9 кДж теплоты. Температура нагревателя в три раза выше температуры холодильника. Какую работу совершил газ? [28 кДж]

6.33. Газ, совершающий цикл Карно, отдал холодильнику 67% теплоты, полученной от нагревателя. Определите температуру холодильника, если температура нагревателя 430 К. [288 К]

6.34. Во сколько раз увеличится КПД цикла Карно при повышении температуры нагревателя от 380 К до 560 К? Температура холодильника 280 К. [1,9]

6.35. Газ, совершающий цикл Карно, отдал холодильнику 14 кДж

теплоты. Определите температуру нагревателя, если при температуре холодильника 280 К работа цикла равна 6 кДж. [400 К]

6.36. Идеальный газ, совершающий цикл Карно, 70% количества теплоты, полученного от нагревателя, отдает холодильнику. Количество теплоты, получаемое от нагревателя, равно 5 кДж. Определите КПД цикла и работу, совершенную при полном цикле. [30%;, 1,5 кДж]

6.37. Идеальный газ совершает цикл Карно. Газ получил от нагревателя количество теплоты 5,5 кДж и совершил работу 1,1 кДж. Определите КПД цикла и отношение температур нагревателя и холодильника. [20%; 1,25]

6.38. Три моля идеального двухатомного газа, занимающего объём 5 л и находящегося под давлением 1 МПа, подвергли изохорному нагреванию до 500 К. После этого газ изотермически расширился до начального давления, а затем он в результате изобарного сжатия возвращён в первоначальное состояние. Определите коэффициент полезного действия цикла. [13,3%]

6.39. Рабочее тело – идеальный газ – теплового двигателя совершает цикл, состоящий из последовательных процессов: изобарного, адиабатного и изотермического. В результате изобарного процесса газ нагревается от 300 К до 600 К. Определите коэффициент полезного действия теплового двигателя. [30,7%]

6.40. Найдите коэффициент полезного действия цикла, состоящего из двух изохор и двух адиабат. Рабочим веществом является азот. Известно, что в пределах цикла объём газа изменяется в 10 раз, т.е. $V_{\max}/V_{\min} = 10$. [60%]

6.41. При нагревании 2 моль двухатомного идеального газа его температура увеличилась в 2 раза. Определите изменение энтропии при изохорном процессе. [28,8 Дж/К]

6.42. При нагревании 2 моль двухатомного идеального газа его температура увеличилась в 2 раза. Определите изменение энтропии при изобарном процессе. [40,3 Дж/К]

6.43. Найдите изменение энтропии при изобарном расширении 8г гелия (He) от объема 10 л до объема 25 л. [38,1 Дж/К]

6.44. Найдите изменение энтропии при изотермическом расширении 6 г водорода (H_2) от 10^5 до $0,5 \cdot 10^5$ Па. [17,3 Дж/К]

6.45. Найдите изменение энтропии при изотермическом расширении 10,5 г азота (N_2) от 2л до 5 л. [2,9 Дж/К]

6.46. Найдите изменение энтропии при плавлении 1 кг льда, находящегося при 0°C. [1230 Дж/К]

6.47. Найдите изменение энтропии при изобарном расширении 6,6 г водорода (H_2) до удвоения объема. [15,8 Дж/К]

6.48. Азот массой (N_2) 28 г адиабатно расширили в 2 раза, а затем изобарно сжали до начального объёма. Определите изменение энтропии

газа в ходе указанных процессов. [-20,2 Дж/К]

6.49. Найдите приращение энтропии при расширении 0,2 г водорода (H_2) от объёма 1,5 л до объёма 4,5 л при постоянном давлении и при постоянной температуре. [3,1 Дж/К; 0,91 Дж/К]

6.50. В одном сосуде, объём которого 1,6 л, находится 14 мг азота (N_2). В другом сосуде, объём которого 3,4 л, находится 16 мг кислорода (O_2). Температуры газов равны. Сосуды соединяют, и газы перемешиваются. Найти приращение энтропии при этом процессе. [6,3 мДж/К]

7. Основы неравновесной термодинамики. Явления переноса Основные формулы и законы

- Средняя длина свободного пробега молекул газа

$$\langle \lambda \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle z \rangle} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 n},$$

где $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$ - средняя арифметическая скорость, $\langle z \rangle$ - среднее

число столкновений каждой молекулы с остальными за единицу времени, σ - эффективный диаметр молекулы n - число молекул в единице объёма.

- Средняя продолжительность свободного пробега

$$\langle \tau \rangle = \frac{\langle \lambda \rangle}{\langle v \rangle} = \frac{1}{\langle z \rangle}.$$

- Общее число столкновений всех молекул в единице объёма за единицу времени

$$Z = \frac{\langle z \rangle n}{2}.$$

- Коэффициент диффузии

$$D = \frac{\langle v \rangle \langle \lambda \rangle}{3}.$$

- Масса, перенесенная за время dt при диффузии через площадку dS , расположенную перпендикулярно направлению, вдоль которого происходит диффузия

$$dm = -D \frac{d\rho}{dx} dS \cdot dt,$$

где $d\rho/dx$ - градиент плотности.

- Динамический коэффициент внутреннего трения (вязкости)

$$\eta = \langle v \rangle \langle \lambda \rangle \frac{\rho}{3},$$

где ρ - плотность вещества.

- Сила внутреннего трения, действующая на элемент поверхности слоя с площадью dS

$$dF = -\eta \frac{dv}{dx} dS,$$

где dv/dx - градиент скорости.

- Коэффициент теплопроводности

$$K = \frac{\langle v \rangle \langle \lambda \rangle c_v \rho}{3},$$

где c_v - удельная теплоемкость газа в изохорном процессе.

- Количество теплоты, перенесенное через поверхность dS , перпендикулярную направлению теплового потока за время dt

$$dQ = -K \frac{dT}{dx} dS \cdot dt,$$

где dT/dx - градиент температуры.

Задания

7.1. Определите среднюю длину свободного пробега молекул кислорода, находящегося при температуре 0°C , если среднее число столкновений, испытываемых молекулой в 1с, равно $3,7 \cdot 10^9$. [115 нм]

7.2. Вычислите среднюю длину свободного пробега и время между двумя столкновениями молекул кислорода при давлении $1,5 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. и температуре 17°C . [50 м; 0,11 с]

7.3. Найдите среднюю длину свободного пробега атомов гелия в условиях, когда плотность гелия равна $2,1 \cdot 10^{-2}$ кг/м³. [1,8 мкм]

7.4. Чему равна средняя длина свободного пробега молекул водорода при давлении 10^{-3} мм рт. ст. и температуре 50°C ? [0,142 м]

7.5. При каком давлении средняя длина свободного пробега молекул водорода равна 2,5 см, если температура газа равна 67°C ? Диаметр молекулы водорода примите равным 0,28 нм. [0,539 Па]

7.6. Найдите среднюю длину свободного пробега молекул воздуха при нормальных условиях. Диаметр молекул воздуха примите равным $3 \cdot 10^{-8}$ см. [9,43 $\cdot 10^{-8}$ м]

7.7. Найдите среднее число столкновений в 1с молекул азота при температуре 27°C и давлении 400 мм рт.ст. [$2,45 \cdot 10^9$ с⁻¹]

7.8. Определите среднюю продолжительность свободного пробега молекул водорода при температуре 27°C и давлении $0,5$ кПа. Диаметр молекулы водорода примите равным $0,28$ нм. [$13,3$ нс.]

7.9. Сколько столкновений между молекулами происходит за 1 с в 1 см³ водорода, если плотность водорода $8,5 \cdot 10^{-2}$ кг/м³ и температура 0°C ? [$1,3 \cdot 10^{29}$ с⁻¹]

7.10. В баллоне, объем которого $2,53$ л, содержится углекислый газ. Температура газа 127°C , давление $1,3 \cdot 10^4$ Па. Найдите число молекул в баллоне и число столкновений между молекулами за 1 с. Диаметр молекулы углекислого газа примите равным $0,4$ нм. [$6,0 \cdot 10^{21}$; $2,2 \cdot 10^{30}$ с⁻¹]

7.11. Средняя длина свободного пробега молекул водорода при нормальных условиях составляет $0,1$ мкм. Определите среднюю длину их свободного пробега при давлении $0,1$ мПа, если температура газа остается постоянной. [100 м]

7.12. Определите плотность воздуха в сосуде, концентрацию его молекул, среднюю длину свободного пробега молекул, если сосуд откачен до давления $0,13$ Па. Диаметр молекул воздуха примите равным $0,27$ нм. Температура воздуха 27°C . [$1,51 \cdot 10^{-6}$ кг/м³; $3,14 \cdot 10^{19}$ м⁻³; $0,1$ м]

7.13. Определите коэффициент диффузии кислорода при нормальных условиях. Эффективный диаметр молекул кислорода примите равным $0,36$ нм. [$9,18 \cdot 10^{-6}$ м²/с]

7.14. Определите массу азота, прошедшего вследствие диффузии через площадку 50 см² за 20 с, если градиент плотности в направлении, перпендикулярном площадке, равен 1 кг/м⁴. Температура азота 290 К, а средняя длина свободного пробега его молекул равна 1 мкм. [$15,6$ мг]

7.15. Оцените среднюю длину свободного пробега и коэффициент диффузии ионов в водородной плазме. Температура плазмы 10^7 К, число ионов в 1 см³ плазмы равно 10^{15} . При указанной температуре эффективное сечение иона водорода считать равным $4 \cdot 10^{-20}$ см². [$\sim 10^2$ м; $\sim 10^7$ м²/с]

7.16. Найдите коэффициент диффузии водорода при нормальных условиях, если средняя длина свободного пробега молекул при этих условиях равна $1,6 \cdot 10^{-7}$ м. [$0,91 \cdot 10^{-4}$ м²/с]

7.17. Найдите коэффициент диффузии гелия при нормальных условиях. [$8,5 \cdot 10^{-5}$ м²/с]

7.18. Определите, во сколько раз отличаются коэффициенты динамической вязкости углекислого газа и азота, если оба газа находятся при одинаковой температуре и одном и том же давлении. Эффективные диаметры молекул этих газов равны. [$1,25$]

7.19. Азот находится под давлением 100 кПа при температуре 290 К. Определите коэффициенты диффузии и внутреннего трения. Эффективный диаметр молекул азота примите равным $0,38$ нм. [$9,74 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $1,13 \cdot 10^{-5}$ кг/(м·с)]

7.20. При каком давлении отношение коэффициента внутреннего трения некоторого газа к коэффициенту его диффузии равно $0,3$ г/л, а средняя квадратичная скорость его молекул равна 632 м/с? [40 кПа]

7.21. Найдите среднюю длину свободного пробега молекул гелия

при температуре 273 К и давлении 10^5 Па, если при этих условиях коэффициент внутреннего трения для него равен $1,3 \cdot 10^4 \text{ г/(см} \cdot \text{с)}$. [$1,84 \cdot 10^{-7}$ м]

7.22. Коэффициенты диффузии и внутреннего трения при некоторых условиях равны соответственно $1,42 \text{ см}^2/\text{с}$ и $8,5 \cdot 10^{-8} \text{ Нс/м}^2$. Найти число молекул водорода в 1 м^3 при этих условиях. [$1,8 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$]

7.23. Самолет летит со скоростью 360 км/ч. Считая, что слой воздуха у крыла самолета, увлекаемый вследствие вязкости, равен 4 см, найти касательную силу, действующую на каждый квадратный метр поверхности крыла. Диаметр молекулы воздуха принять равным $3 \cdot 10^{-8} \text{ см}$. Температура воздуха 0°C . [$0,045 \text{ Н}$]

7.24. Определите коэффициент теплопроводности азота, находящегося в некотором объеме при температуре 7°C . Эффективный диаметр молекул примите равным 0,38 нм. [$8,25 \text{ мВт/(м} \cdot \text{К)}$]

7.25. Кислород находится при нормальных условиях. Определите коэффициент теплопроводности кислорода, если эффективный диаметр его молекул равен 0,36 нм. [$8,49 \text{ мВт/(м} \cdot \text{К)}$]

7.26. Коэффициент теплопроводности кислорода при температуре 100°C равен $3,25 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Вычислите коэффициент вязкости при этой температуре. [$5,0 \cdot 10^{-5} \text{ кг/(м} \cdot \text{с)}$]

7.27. Пространство между двумя параллельными пластинами площадью 150 см^2 каждая, находящимися на расстоянии 5 мм друг от друга, заполнено кислородом. Одна пластина поддерживается при температуре 17°C , другая – при температуре 27°C . Определите количество теплоты, прошедшее за 5 мин посредством теплопроводности от одной пластины к другой. Кислород находится при нормальных условиях. Эффективный диаметр молекул кислорода считать равным 0,36 нм. [$76,4 \text{ Дж}$]

7.28. В сосуде объемом 2 л находится $4 \cdot 10^{22}$ молекул двухатомного газа. Коэффициент теплопроводности газа равен $0,014 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Найти коэффициент диффузии газа при этих условиях. [$2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$]

8. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Основные формулы и законы

- Закон Кулона

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1||q_2|}{\epsilon r^2},$$

где F – модуль силы взаимодействия двух точечных зарядов q_1 и q_2 ;

r – расстояние между зарядами; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – электрическая постоянная, ϵ – диэлектрическая проницаемость среды, в которой находятся заряды (для вакуума $\epsilon = 1$)

- Напряженность и потенциал электростатического поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}; \quad \varphi = \frac{W_n}{q_0}, \quad \text{или} \quad \varphi = \frac{A_\infty}{q_0},$$

где \vec{F} – сила, действующая на точечный положительный заряд q_0 , помещенный в данную точку поля; W_n – потенциальная энергия заряда q_0 ; A_∞ – работа по перемещению заряда q_0 из данной точки поля в бесконечность.

- Напряженность и потенциал электростатического поля, создаваемого точечным зарядом q на расстоянии r от него

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\epsilon r^2}; \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\epsilon r}.$$

- Поток вектора напряженности через площадку dS

$$d\Phi_E = \vec{E}d\vec{S} = E_n dS,$$

где $d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$ – вектор, модуль которого равен dS , а направление совпадает с нормалью \vec{n} к площадке; E_n – составляющая вектора \vec{E} по направлению нормали \vec{n} к площадке.

- Поток вектора напряженности через произвольную поверхность S

$$\Phi_E = \int_S \vec{E}d\vec{S} = \int_S E_n dS.$$

- Напряженность и потенциал поля, создаваемого системой точечных зарядов (принцип суперпозиции (наложения) электростатических полей)

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i; \quad \varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i,$$

где \vec{E}_i , φ_i – соответственно напряженность и потенциал поля, создаваемого зарядом q_i , n – число зарядов, создающих поле.

- Связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля

$$\vec{E} = -grad\varphi, \quad \text{или} \quad \vec{E} = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z} \vec{k} \right),$$

где \vec{i} , \vec{j} , \vec{k} – единичные векторы координатных осей.

- В случае поля, обладающего центральной или осевой

симметрией,

$$E = -\frac{d\varphi}{dr}.$$

- Для однородного поля (поля плоского конденсатора)

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d},$$

где $(\varphi_1 - \varphi_2)$ - разность потенциалов между пластинами конденсатора, d - расстояние между ними.

- Электрический момент диполя (дипольный момент)

$$\vec{p} = |q|\vec{l},$$

где \vec{l} - плечо диполя (векторная величина, направленная от отрицательного заряда к положительному).

• Линейная, поверхностная и объемная плотность зарядов, т.е. заряд, приходящийся соответственно на единицу длины, площади и объема:

$$\tau = \frac{dq}{dl}; \quad \sigma = \frac{dq}{dS}; \quad \rho = \frac{dq}{dV}.$$

- Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме

$$\Phi_E = \oiint_S E_n dS = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_{i=1}^N q_i = \frac{1}{\varepsilon_0} \int_V \rho dV,$$

где $\sum_{i=1}^n q_i$ - алгебраическая сумма зарядов, заключенных внутри замкнутой поверхности S ; N - число зарядов; ρ - объемная плотность зарядов.

• Напряженность поля, создаваемая равномерно заряженной бесконечной плоскостью,

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon}.$$

• Напряженность и потенциал поля, создаваемого проводящей заряженной сферой радиусом R с зарядом q на расстоянии r от центра сферы,

$$E = 0; \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{\varepsilon R} \quad \text{при } r < R \quad (\text{внутри сферы});$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{\varepsilon r^2}; \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{\varepsilon r} \quad \text{при } r \geq R \quad (\text{вне сферы}).$$

- Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной бесконечной цилиндрической поверхностью радиусом R на расстоянии r от оси цилиндра,

$$E = 0 \text{ при } r < R \text{ (внутри цилиндра);}$$

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\tau}{\epsilon r} \text{ при } r \geq R \text{ (вне цилиндра).}$$

- Работа, совершаемая силами электростатического поля при перемещении заряда q из точки 1 (потенциал φ_1) в точку 2 (потенциал φ_2),

$$A_{12} = q (\varphi_1 - \varphi_2), \text{ или } A_{12} = q \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l} = q \int_1^2 E_l \cdot dl,$$

где E_l – проекция вектора \vec{E} на направление элементарного перемещения $d\vec{l}$.

- Вектор поляризации диэлектрика

$$\vec{P} = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{p}_i}{V},$$

где V – объем диэлектрика; \vec{p}_i – дипольный момент i -й молекулы, N – число молекул.

- Связь между вектором поляризации и напряженностью электростатического поля в той же точке внутри диэлектрика

$$P = \epsilon \epsilon_0 E,$$

где ϵ – диэлектрическая восприимчивость вещества.

- Связь диэлектрической проницаемости ϵ с диэлектрической восприимчивостью ϵ

$$\epsilon = 1 + \epsilon.$$

- Связь между напряженностью E поля в диэлектрике и напряженностью E_0 внешнего поля

$$E = \frac{E_0}{\epsilon}.$$

- Связь между векторами электрического смещения и напряженности электростатического поля

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}.$$

- Связь между векторами \vec{D} , \vec{E} и \vec{P}

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}.$$
- Теорема Гаусса для электростатического поля в диэлектрике

$$\Phi_D = \oiint_S \vec{D} d\vec{S} = \oiint_S D_n dS = \sum_{i=1}^n q_i,$$

где $\sum_{i=1}^n q_i$ – алгебраическая сумма заключенных внутри замкнутой поверхности S свободных электрических зарядов; D_n – составляющая вектора \vec{D} по направлению нормали \vec{n} к площадке $d\vec{S}$; $d\vec{S} = dS \vec{n}$ – вектор, модуль которого равен dS , а направление совпадает с нормалью \vec{n} к площадке. Интегрирование ведется по всей поверхности.

- Емкость уединенного проводника и конденсатора

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

где q – заряд, сообщенный проводнику; φ – потенциал проводника; U – разность потенциалов между пластинами конденсатора.

- Емкость плоского конденсатора

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

где S – площадь пластины конденсатора; d – расстояние между пластинами.

• Емкость батареи конденсаторов: при последовательном (а) и параллельном (б) соединениях

$$\text{а) } \frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}, \quad \text{б) } C = \sum_{i=1}^n C_i,$$

где C_i – емкость i -го конденсатора; n – число конденсаторов.

- Энергия уединенного заряженного проводника

$$W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{q\varphi}{2} = \frac{q^2}{2C}.$$

- Потенциальная энергия системы точечных зарядов

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i \varphi_i,$$

где φ_i – потенциал, создаваемый в той точке, где находится заряд q_i , всеми зарядами, кроме i -го, n – число зарядов.

- Энергия заряженного конденсатора

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

где q_i – заряд конденсатора; C – его электроёмкость; U – разность потенциалов между обкладками.

• Сила притяжения между двумя разноименно заряженными обкладками плоского конденсатора

$$|F| = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2 S}{2}.$$

- Энергия электростатического поля плоского конденсатора

$$W = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2}{2} Sd = \frac{\varepsilon_0\varepsilon SU^2}{2d} = \frac{\varepsilon_0\varepsilon E^2}{2} V,$$

где S – площадь одной пластины; U – разность потенциалов между пластинами; $V = Sd$ – объем области между пластинами конденсатора.

- Объемная плотность энергии электростатического поля

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

где E – напряжённость поля, D – электрическое смещение.

Задания

8.1 Сила гравитационного притяжения двух водяных одинаково заряженных капель радиусами 0,1 мм уравновешивается кулоновской силой отталкивания. Определите заряд капель. Плотность воды равна 1 г/см³. [0,36 аКл].

8.2. Во сколько раз сила гравитационного взаимодействия между двумя протонами меньше силы их кулоновского отталкивания? Заряд протона численно равен заряду электрона. [в $1,25 \cdot 10^{38}$ раза].

8.3. Три одинаковых точечных заряда $q_1 = q_2 = q_3 = 2$ нКл находятся в вершинах равностороннего треугольника со сторонами 10 см. Определите модуль и направление силы, действующей на один из зарядов со стороны двух других. [6,2 мкН].

8.4. В вершинах равностороннего треугольника находятся одинаковые положительные заряды $q = 2$ нКл. Какой отрицательный заряд q_1 необходимо поместить в центр треугольника, чтобы сила притяжения со стороны заряда q_1 уравновесила силы отталкивания

положительных зарядов? [1,15нКл].

8.5. Четыре одинаковых точечных заряда $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 2$ нКл находятся в вершинах квадрата со стороной 10 см. Определите силу, действующую на один из зарядов со стороны трех других. [7мкН].

8.6. Два шарика одинакового радиуса и массы подвешены на двух нитях так, что их поверхности соприкасаются. После сообщения шарикам заряда $4 \cdot 10^{-7}$ Кл они оттолкнулись друг от друга и разошлись на угол 60° . Найдите массу каждого шарика, если длина нити 20 см. [$1,56 \cdot 10^{-3}$ кг].

8.7. Два шарика массой 1 кг каждый подвешены на нитях, верхние концы которых соединены вместе. Длина каждой нити 10 см. Какие одинаковые заряды надо сообщить шарикам, чтобы нити разошлись на угол 60° ? [7,6 мкКл].

8.8. К бесконечно заряженной плоскости с поверхностной плотностью заряда $8,85$ нКл/см² прикреплен на нити одноименно заряженный шарик с массой 1г и зарядом 2нКл. Какой угол с плоскостью образует нить, на которой висит шарик?[45°].

8.9. С какой силой, приходящейся на единицу площади, отталкиваются две одноименно заряженные бесконечно протяженные плоскости? Поверхностная плотность заряда на каждой плоскости 2 мкКл/м²? [0,2 Н/м²].

8.10. С какой силой, приходящейся на единицу длины, отталкиваются две одноименно заряженные бесконечно длинные нити с одинаковой линейной плотностью заряда 2 мкКл/м, находящихся на расстоянии 2 см друг от друга? [3,6 Н/м].

8.11. С какой силой электрическое поле заряженной бесконечной плоскости действует на каждый метр заряженной бесконечно длинной нити, помещенной в это поле? Поверхностная плотность заряда на плоскости равна 2 мкКл/м² и линейная плотность заряда на плоскости 2 мкКл/м. [0,2Н/м].

8.12. Тонкий прямой стержень длиной 15 см равномерно заряжен с линейной плотностью 0,10 мКл/м. На продолжении оси стержня на расстоянии 10 см от ближайшего конца находится точечный заряд 10 нКл. Определите силу взаимодействия стержня и заряда. [56 мН].

8.13. На тонком стержне длиной 20 см находится равномерно распределенный электрический заряд. На продолжении оси стержня, на расстоянии 10 см от ближнего конца, находится точечный заряд 40 нКл, который взаимодействует со стержнем с силой 6 мкН. Определите линейную плотность заряда на стержне. [2,5 нКл/м].

8.14. Два точечных заряда $q_1 = 4$ нКл и $q_2 = -2$ нКл находятся друг от друга на расстоянии 60 см. Определите напряженность поля в точке, расположенной посередине между зарядами. [0,6 кВ/м].

8.15. Чему равна напряженность поля в точке, расположенной посередине между точечными зарядами $q_1 = 4$ нКл и $q_2 = 2$ нКл? Расстояние между зарядами равно 60 см. [0,2 кВ/м].

8.16. Определите напряженность поля в точке, находящейся на прямой, соединяющей заряды $q_1 = 10$ нКл и $q_2 = -8$ нКл, на

расстоянии 8 см справа от отрицательного заряда. Расстояние между зарядами равно 20 см. [10 кВ/м].

8.17. Определите напряженность поля в точке, находящейся на прямой, соединяющей заряды $q_1 = 10$ нКл и $q_2 = -8$ нКл, на расстоянии 8 см слева от отрицательного заряда. Расстояние между зарядами равно 20 см. [17,5 кВ/м].

8.18. Расстояние между двумя точечными зарядами $q_1 = 2$ нКл и $q_2 = -3$ нКл, расположенными в вакууме, равно 25 см. Определите напряженность поля, создаваемого этими зарядами в точке, удаленной от первого заряда на расстояние 20 см и от второго заряда на 15 см. [1,3 кВ/м].

8.19. Расстояние между одноименными одинаковыми зарядами $q = 2$ нКл равно 10 см. Определите напряженность поля, создаваемого этими зарядами в точке, находящейся на расстоянии 8 см от первого и 6 см от второго заряда. [5,7 кВ/м].

8.20. В вершинах квадрата со стороной 5 см находятся одинаковые положительные заряды $q = 2$ нКл. Определите напряженность электростатического поля: 1) в центре квадрата; 2) в середине одной из сторон квадрата. [1) 0; 2) 10,3 кВ/м].

8.21. Электростатическое поле создается двумя бесконечными параллельными плоскостями, заряженными равномерно одноименными зарядами с поверхностной плотностью соответственно $\sigma_1 = 2$ нКл/м² и $\sigma_2 = 4$ нКл/м². Определите модуль напряженности электростатического поля: 1) между плоскостями; 2) за пределами плоскостей. [1) 113 В/м; 2) 339 В/м].

8.22. Электростатическое поле создается двумя бесконечными параллельными плоскостями, заряженными равномерно разноименными зарядами с поверхностной плотностью $\sigma_1 = 1$ нКл/м² и $\sigma_2 = -2$ нКл/м². Определите модуль напряженности электростатического поля: 1) между плоскостями; 2) за пределами плоскостей. [1) 169 В/м; 2) 56,5 В/м].

8.23. На металлической сфере радиусом 15 см находится заряд $q = 2$ нКл. Определите напряженность электростатического поля: 1) на расстоянии 10 см от центра сферы; 2) на поверхности сферы; 3) на расстоянии 20 см от центра сферы. Постройте график зависимости напряженности поля от расстояния. [1) 0; 2) 800 В/м; 3) 450 В/м].

8.24. Кольцо радиусом 5 см из тонкой проволоки равномерно заряжено с линейной плотностью $\tau = 14$ нКл/м. Определите напряженность поля на оси, проходящей через центр кольца, в точке, удаленной на расстояние 10 см от центра кольца. [2,83 кВ/м].

8.25. Поле создано двумя равномерно заряженными концентрическими сферами радиусами $R_1 = 5$ см и $R_2 = 8$ см. Заряды сфер соответственно равны $q_1 = 2$ нКл и $q_2 = -1$ нКл. Определите напряженность электростатического поля в точках, лежащих от центра сфер на расстояниях: 1) $r_1 = 3$ см; 2) $r_2 = 6$ см; 3) $r_3 = 10$ см. [1) 0; 2) 5 кВ/м; 3) 0,9 кВ/м].

8.26. Определите поток Φ_E вектора напряженности электростатического поля через сферическую поверхность, охватывающую точечные заряды $q_1 = 5$ нКл и $q_2 = -2$ нКл. [339 В·м].

8.27. Определите поток Φ_E вектора напряженности электростатического поля через сферическую поверхность, охватывающую точечные заряды $q_1 = 5$ нКл и $q_2 = 2$ нКл. [790 В·м].

8.28. На некотором расстоянии от бесконечной равномерно заряженной плоскости с поверхностной плотностью $0,1$ нКл/см² расположена круглая пластинка. Нормаль к плоскости пластинки составляет с линиями напряженности угол 30° . Определите поток Φ_E вектора напряженности через эту пластинку, если ее радиус равен 15 см. [3,46 кВ·м].

8.29. Электростатическое поле создается положительным точечным зарядом. Определите числовое значение и направление градиента потенциала этого поля, если на расстоянии 10 см от заряда потенциал равен 100 В. [1 кВ/м, направлен к заряду].

8.30. Электростатическое поле создается бесконечной плоскостью, заряженной равномерно с поверхностной плотностью 5 нКл/м². Определите числовое значение и направление градиента потенциала этого поля. [282 В/м, направлен к плоскости].

8.31. Электростатическое поле создается бесконечной прямой нитью, заряженной равномерно с линейной плотностью 50 нКл/см. Определите числовое значение и направление градиента потенциала в точке на расстоянии $0,5$ м от нити. [180 В/м, направлен к нити].

8.32. Расстояние между двумя точечными зарядами $q_1 = 2$ нКл и $q_2 = -3$ нКл, расположенными в вакууме, равно 20 см. Определите потенциал поля, создаваемого этими зарядами в точке, удаленной от первого заряда на расстояние 15 см и от второго заряда на 10 см. [−150 В].

8.33. Электростатическое поле создается в вакууме бесконечным цилиндром радиусом 8 мм, равномерно заряженным с линейной плотностью 10 нКл/м. Определите разность потенциалов между двумя точками этого поля, расположенными на расстояниях 2 мм и 7 мм от поверхности этого цилиндра. [73 В].

8.34. Металлический шар радиусом 5 см имеет заряд $q = 10$ нКл. Определите потенциал электростатического поля: 1) на поверхности шара; 2) на расстоянии 2 см от его поверхности. [1) $1,8$ кВ; 2) $1,29$ кВ].

8.35. Тонкое кольцо радиусом 5 см из тонкой проволоки имеет равномерно распределенный заряд $q = 10$ нКл. Определите потенциал φ электростатического поля: 1) в центре кольца; 2) на оси, проходящей через центр кольца, в точке, удаленной на расстояние 10 см от центра кольца. [1) $1,8$ кВ; 2) 805 В].

8.36. Электростатическое поле создается бесконечной плоскостью, равномерно заряженной с поверхностной плотностью $\sigma = 1$ нКл/м². Определите разность потенциалов между двумя точками этого поля, расположенными на расстоянии 20 и 50 см от плоскости.

[16,9 В].

8.37. Электростатическое поле создается равномерно заряженной сферической поверхностью радиусом 10 см с зарядом $q=15\text{нКл}$. Определите разность потенциалов между двумя точками этого поля, расположенными на расстоянии 5 см и 15 см от поверхности сферы. [360 В].

8.38. Электростатическое поле создается сферой радиусом 5 см, равномерно заряженной с поверхностной плотностью 1нКл/м^2 . Определите разность потенциалов между двумя точками поля, расположенными на расстоянии 10 см и 15 см от центра сферы. [0,94 В].

8.39. Электростатическое поле создается равномерно заряженным шаром радиусом 1 м и зарядом 50 нКл. Определите разность потенциалов для точек, расположенных от центра шара на расстоянии 1,5 и 2 м. [75 В].

8.40. Электростатическое поле создается шаром радиусом 8 см, равномерно заряженным с объемной плотностью 10нКл/м^3 . Определите разность потенциалов между двумя точками этого поля, расположенными на расстояниях 10 и 15 см от центра шара. [0,64 В].

8.41. Электростатическое поле создается в вакууме непроводящим шаром радиусом 10 см, равномерно заряженным с объемной плотностью 20нКл/м^3 . Определите разность потенциалов между точками, расположенными внутри шара на расстоянии 2 и 8 см от его центра. [2,26 В].

8.42. Электростатическое поле создается положительно заряженной с постоянной поверхностной плотностью 10нКл/м^2 бесконечной плоскостью. Какую работу надо совершить для того, чтобы перенести электрон вдоль линии напряженности с расстояния 2 см до 1 см от плоскости? [$9,04 \cdot 10^{-19}$ Дж].

8.43. Под действием электростатического поля равномерно заряженной бесконечной плоскости точечный заряд $q=1\text{нКл}$ переместился вдоль силовой линии на расстояние 1 см; при этом совершена работа 5 мкДж. Определите поверхностную плотность заряда на плоскости. [8,85 мкКл/м²].

8.44. Электростатическое поле создается положительно заряженной бесконечной нитью с постоянной линейной плотностью заряда 1нКл/см . Какую скорость приобретет электрон, приблизившись к нити вдоль линии напряженности с расстояния 1,5 см до 1 см от нити? Начальная скорость электрона равна нулю.

[16 Мм/с].

8.45. Одинаковые заряды $q = 100\text{нКл}$ расположены в вершинах квадрата со стороной 10 см. Определите потенциальную энергию этой системы. [4,87 мДж].

8.46. Сферическая поверхность имеет равномерно распределенный заряд. Определите радиус поверхности сферы, если потенциал в центре шара равен 200 В, а в точке, лежащей от его центра на расстоянии 50 см, 40 В. [10 см].

8.47. Определите линейную плотность бесконечно длинной

заряженной нити, если работа сил поля по перемещению заряда $q = 1$ нКл с расстояния 5 см до 2 см в направлении, перпендикулярном нити, равна 50 мкДж. [3,03 мКл/м].

8.48. Электростатическое поле создается положительно заряженной бесконечной нитью. Протон, двигаясь от нити под действием поля вдоль линии напряженности с расстояния 1 см до расстояния 5 см, изменил свою скорость от 1 до 10 Мм/с. Определите линейную плотность заряда нити. [17,8 мКл/м].

8.49. Определите ускоряющую разность потенциалов, которую должен пройти в электрическом поле электрон, чтобы его скорость возросла от 1 Мм/с до 5 Мм/с. [68,3 В].

8.50. Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти в электрическом поле электрон, чтобы получить скорость 8 Мм/с? [182 В].

8.51. Определите ускоряющую разность потенциалов, которую должен пройти в электрическом поле электрон, обладающий скоростью 1 Мм/с, чтобы скорость его возросла в 2 раза. [8,5 В].

8.52. Определите поверхностную плотность зарядов на пластинах плоского слюдяного ($\varepsilon=7$) конденсатора, заряженного до разности потенциалов 200 В, если расстояние между его пластинами равно 0,5 мм. [24,8 мКл/м²].

8.53. Расстояние между пластинами плоского конденсатора 5 мм. После зарядки конденсатора до разности потенциалов 500 В между пластинами конденсатора поместили стеклянную пластинку ($\varepsilon=7$), полностью заполняющую пространство конденсатора. Определите: 1) диэлектрическую восприимчивость стекла; 2) поверхностную плотность связанных зарядов на стеклянной пластинке. [1) 6; 2) 759 нКл/м²].

8.54. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено двумя слоями диэлектрика — слюдяной пластиной ($\varepsilon_1=7$) толщиной $d_1 = 1$ мм и парафиновой пластиной ($\varepsilon_2=2$) толщиной $d_2 = 0,5$ мм. Определите: 1) напряженности электростатических полей в слоях диэлектрика; 2) электрическое смещение, если разность потенциалов между пластинами конденсатора $U = 500$ В. [1) $E_1 = 182$ кВ/м, $E_2 = 637$ кВ/м; 2) $D = 11,3$ мКл/м²].

8.55. Расстояние между пластинами плоского конденсатора $d = 5$ мм, разность потенциалов $U = 1,2$ кВ. Определите: 1) поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора; 2) поверхностную плотность связанных зарядов на диэлектрике, если известно, что диэлектрическая восприимчивость диэлектрика, заполняющего пространство между пластинами, $\varepsilon = 1$. [1) 4,25 мКл/м²; 2) 2,12 мКл/м²].

8.56. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено стеклом ($\varepsilon = 7$). Расстояние между пластинами $d = 5$ мм, разность потенциалов $U = 1$ кВ. Определите: 1) напряженность поля в стекле; 2) поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора; 3) поверхностную плотность связанных зарядов на стекле. [1) 200 кВ/м; 2) 12,4 мКл/м²;

3) $10,6 \text{ мкКл/м}^2$].

8.57. Определите расстояние между пластинами плоского конденсатора, если между ними приложена разность потенциалов $U=150 \text{ В}$, причем площадь каждой пластины $S=100 \text{ см}^2$, ее заряд $q=10 \text{ нКл}$. Диэлектриком является слюда ($\varepsilon=7$). [9,29 м].

8.58. На пластинах плоского конденсатора находится заряд 10 нКл . Площадь каждой пластины конденсатора равна 100 см^2 , диэлектрик – воздух. Определите силу, с которой притягиваются пластины. Поле между пластинами считать однородным. [565 мкН].

8.59. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора $U=100 \text{ В}$. Площадь каждой пластины $S=200 \text{ см}^2$, расстояние между пластинами $d=0,5 \text{ мм}$, пространство между ними заполнено парафином ($\varepsilon=2$). Определите силу притяжения пластин друг к другу. [7,08 мН].

8.60. Шар, погруженный в масло ($\varepsilon=2,2$), имеет поверхностную плотность заряда $\sigma=1 \text{ мкКл/м}^2$ и потенциал $\varphi=500 \text{ В}$. Определите: 1) радиус шара; 2) заряд шара; 3) электрическую емкость шара; 4) энергию шара. [1) 9,74 мм; 2) 1,19 нКл; 3) 2,38 пФ; 4) 0,3 мкДж].

8.61. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов $U_1=500 \text{ В}$. Площадь пластин $S=200 \text{ см}^2$, расстояние между ними $d=1,5 \text{ мм}$. **После отключения** конденсатора от источника напряжения пространство между пластинами заполнили парафином ($\varepsilon=2$). Определите разность потенциалов U_2 между пластинами после внесения диэлектрика. Определите также электроемкости конденсатора C_1 и C_2 до и после внесения диэлектрика. [$U_2=250 \text{ В}$, $C_1=118 \text{ пФ}$, $C_2=236 \text{ пФ}$].

8.62. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов $U_1=500 \text{ В}$. Площадь пластин $S=200 \text{ см}^2$, расстояние между ними $d=1,5 \text{ мм}$. **При включенном** источнике питания в пространство между пластинами конденсатора внесли парафин ($\varepsilon=2$). Определите разность потенциалов U_2 между пластинами после внесения диэлектрика. Определите также электроемкости конденсатора C_1 и C_2 до и после внесения диэлектрика. [$U_2=500 \text{ В}$, $C_1=118 \text{ пФ}$, $C_2=236 \text{ пФ}$].

8.63. Плоский воздушный конденсатор электроемкостью $C=10 \text{ пФ}$ заряжен до разности потенциалов $U_1=500 \text{ В}$. **После отключения** конденсатора от источника тока расстояние между пластинами конденсатора было увеличено в 3 раза. Определите: 1) разность потенциалов на обкладках конденсатора после их раздвижения; 2) работу внешних сил по раздвижению пластин. [1) 1,5 кВ; 2) 2,5 мкДж].

8.64. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложено напряжение $U_1=500 \text{ В}$. Площадь пластин $S=200 \text{ см}^2$, расстояние между ними $d_1=1,5 \text{ мм}$. Пластины раздвинули до расстояния $d_2=15 \text{ мм}$. Найдите энергии W_1 и W_2 конденсатора до и после раздвижения пластин, если источник тока перед раздвижением **отключался**. [$W_1=14,8 \text{ мкДж}$, $W_2=148 \text{ мкДж}$].

8.65. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложено напряжение $U_1 = 500$ В. Площадь пластин $S = 200$ см², расстояние между ними $d_1 = 1,5$ мм. Пластины раздвинули до расстояния $d_2 = 15$ мм. Найдите энергии W_1 и W_2 конденсатора до и после раздвижения пластин, если источник тока перед раздвижением **не отключался**. [$W_1 = 14,8$ мкДж, $W_2 = 1,48$ мкДж].

8.66. Расстояние между пластинами заряженного плоского конденсатора уменьшили в 2 раза. Во сколько раз изменилась энергия и плотность энергии поля, если конденсатор остался **присоединенным** к источнику постоянного напряжения? [увеличилась в 2 раза, увеличилась в 4 раза].

8.67. Емкость батареи, образованной двумя последовательно соединенными конденсаторами, равна 100 пФ, а заряд батареи 20 нКл. Определите емкость второго конденсатора, а также разности потенциалов на обкладках каждого конденсатора, если емкость первого конденсатора 200 пФ. [$C_2 = 200$ пФ, $\Delta\varphi_1 = 100$ В, $\Delta\varphi_2 = 100$ В].

8.68. К батарее с напряжением 300 В подключены два плоских конденсатора с емкостями 2 пФ и 3 пФ. Определите заряд и напряжение на пластинах конденсаторов при последовательном их соединении. [0,36 нКл; 0,36 нКл; 180 В; 120 В].

8.69. К батарее с напряжением 300 В подключены два плоских конденсатора с емкостями 2 пФ и 3 пФ. Определите заряд и напряжение на пластинах конденсаторов при параллельном их соединении. [0,6 нКл; 0,9 нКл; 300 В; 300 В].

8.70. Конденсаторы с емкостями 2 мкФ, 5 мкФ и 10 мкФ соединены последовательно и находятся под напряжением 800 В. Определите напряжение и заряд на каждом из конденсаторов. [1 мКл; 1 мКл; 1 мКл; 500 В; 200 В; 100 В].

9. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Основные формулы и законы

- Сила тока

$$I = \frac{dq}{dt}; \quad I = \frac{q}{t} \text{ (если } I = \text{const).}$$

- Плотность тока

$$j = \frac{I}{S}, \quad \vec{j} = ne\langle\vec{v}\rangle,$$

где S – площадь поперечного сечения проводника, $\langle\vec{v}\rangle$ – средняя скорость упорядоченного движения зарядов в проводнике, n – концентрация зарядов, e – элементарный заряд.

- Зависимость сопротивления от параметров проводника

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где l – длина проводника, S – площадь поперечного сечения проводника, $\rho = \frac{1}{\gamma}$ – удельное сопротивление, γ – удельная проводимость.

- Зависимость удельного сопротивления от температуры для металлических проводников

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t),$$

где α – температурный коэффициент сопротивления, ρ_0 – удельное сопротивление при $0^\circ C$, t – температура проводника.

- Сопротивление системы проводников: при последовательном (а) и параллельном (б) соединениях

$$\text{а) } R = \sum_{i=1}^n R_i, \quad \text{б) } \frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i},$$

где R_i – сопротивление i -го проводника, n – число проводников.

- Сопротивления, необходимые для расширения пределов измерения приборами силы тока ($R_{ШНТА}$) и напряжения ($R_{ДОБ.}$) в n раз

$$R_{ШНТА} = \frac{R}{n-1}, \quad R_{ДОБ.} = R(n-1).$$

- Законы Ома:

для однородного участка цепи

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R},$$

для неоднородного участка цепи

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{1,2}}{R},$$

для замкнутой цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r},$$

где U – напряжение на однородном участке цепи, $(\varphi_1 - \varphi_2)$ – разность потенциалов на концах участка цепи, ε – ЭДС источника, r – внутреннее сопротивление источника тока, в дифференциальной форме

$$\vec{j} = \gamma \vec{E},$$

где \vec{j} – плотность тока, γ – удельная проводимость, \vec{E} – напряжённость поля.

- Сила тока короткого замыкания

$$I = \frac{\varepsilon}{r}.$$

- Работа тока за время t

$$A = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t.$$

- Закон Джоуля-Ленца (количество теплоты, выделяемой при прохождении тока через проводник)

$$Q = I^2 R t.$$

- Мощность тока, выделяемая в нагрузке (полезная),

$$P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

- Полная мощность, выделяемая в цепи,

$$P = \varepsilon \cdot I.$$

- Мощность, теряемая в источнике,

$$P = I^2 r.$$

- Коэффициент полезного действия источника тока

$$\eta = \frac{P_{\text{полезная}}}{P_{\text{полная}}} = \frac{R}{R + r}.$$

- Правила Кирхгофа

$$1) \sum_i I_i = 0 \text{ – для узлов;}$$

$$2) \sum_i I_i R_i = \sum_k \mathcal{E}_k - \text{для контуров,}$$

где $\sum_i I_i$ – алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле, $\sum_k \mathcal{E}_k$ – алгебраическая сумма ЭДС в контуре.

Задания

9.1. В сеть включены четыре последовательно соединённых резистора одинакового сопротивления. Как изменится сопротивление цепи, если эти резисторы соединить параллельно? [уменьшится в 16 раз].

9.2. В сеть с напряжением 120 В включены две лампы сопротивлением 200 Ом каждая. Какой ток пойдёт через каждую лампу при параллельном и последовательном их соединениях? [0,6 А; 0,3 А].

9.3. Общее сопротивление двух последовательно соединённых проводников 5 Ом, а параллельно соединённых 1,2 Ом. Определите сопротивление каждого проводника. [3 Ом и 2 Ом].

9.4. Сопротивление одного из последовательно включённых проводников в n раз больше сопротивления другого. Во сколько раз изменится сила тока в цепи (напряжение постоянно), если проводники включить параллельно? [увеличится в $(n+1)^2/n$ раз].

9.5. На концах медного провода длиной 5 м поддерживается напряжение 1 В. Определите плотность тока в проводе (удельное сопротивление меди $1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом · м). [$1,18 \cdot 10^7$ А/м²].

9.6. Во сколько раз изменится сопротивление проводника (без изоляции), если его свернуть пополам и скрутить? [уменьшится в 4 раза].

9.7. Гальванический элемент даёт на внешнее сопротивление 0,5 Ом силу тока 0,2 А. Если внешнее сопротивление заменить на 0,8 Ом, то ток в цепи 0,15 А. Определите силу тока короткого замыкания. [0,45А].

9.8. Резистор сопротивлением 5 Ом, вольтметр и источник тока соединены параллельно. Вольтметр показывает напряжение 10 В. Если заменить резистор другим с сопротивлением 12 Ом, то вольтметр покажет напряжение 12 В. Определите ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока. Током через вольтметр пренебречь. [14 В; 2 Ом].

9.9. Найдите внутреннее сопротивление и ЭДС источника тока, если при силе тока 30 А мощность во внешней цепи равна 180 Вт, а при силе тока 10 А эта мощность равна 100 Вт. [0,2 Ом; 12 В].

9.10. Определите силу тока в цепи, состоящей из двух элементов с ЭДС, равными 1,6 В и 1,2 В и внутренними сопротивлениями 0,6 Ом и 0,4 Ом соответственно, соединённых одноимёнными полюсами. [0,4 А].

9.11. Электрическую лампу сопротивлением 240 Ом, рассчитанную на напряжение 120 В, надо питать от сети напряжением 220 В. Какой

длины нихромовый проводник с площадью поперечного сечения $0,55 \text{ мм}^2$ надо включить последовательно с лампой? (удельное сопротивление нихрома $1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$). [100 м].

9.12. Цепь состоит из трёх последовательно соединённых проводников, подключенных к источнику напряжения 24 В. Сопротивление первого проводника 4 Ом, второго 6 Ом, а напряжение на концах третьего проводника 4 В. Найдите силу тока в цепи, сопротивление третьего проводника и напряжения на концах первого и второго проводников. [2 А; 2 Ом; 8 В; 12 В].

9.13. К источнику тока с ЭДС 12 В присоединена нагрузка. Напряжение на клеммах источника 8 В. Определите КПД источника тока. [68%].

9.14. Внешняя цепь источника тока потребляет мощность 0,75 Вт. Определите силу тока в цепи, если ЭДС источника 2 В и внутреннее сопротивление 1 Ом. [0,5 А и 1,5 А].

9.15. Источник тока с ЭДС 12 В и внутренним сопротивлением 1 Ом подключён к нагрузке сопротивлением 9 Ом. Найдите: 1) силу тока в цепи, 2) мощность, выделяемую во внешней части цепи, 3) мощность, теряемую в источнике тока, 4) полную мощность источника тока, 5) КПД источника тока. [1)1,2 А; 2)12,96 Вт; 3)1,44 Вт; 4)14,4 Вт; 5)90%].

9.16. Обмотка электрического кипятильника имеет две секции. Если включена одна секция, вода закипает через 10 мин, если другая, то через 20 мин. Через сколько минут закипит вода, если обе секции включить последовательно? Напряжение на зажимах кипятильника и КПД установки считать во всех случаях одинаковыми. [30 мин].

9.17. Обмотка электрического кипятильника имеет две секции. Если включена одна секция, вода закипает через 10 мин, если другая, то через 20 мин. Через сколько минут закипит вода, если обе секции включить параллельно? Напряжение на зажимах кипятильника и КПД установки считать во всех случаях одинаковыми. [6,67 мин].

9.18. Амперметр сопротивлением 0,18 Ом предназначен для измерения силы тока до 10 А. Какое сопротивление надо взять и как его включить, чтобы этим амперметром можно было измерять силу тока до 100 А? [0,02 Ом, параллельно].

9.19. Вольтметр сопротивлением 2000 Ом предназначен для измерения напряжения до 30 В. Какое сопротивление надо взять и как его включить, чтобы этим вольтметром можно было измерять напряжение до 75 В? [3000 Ом, последовательно].

9.20. Ток в проводнике сопротивлением 100 Ом равномерно нарастает от 0 до 10 А в течение 30 с. Чему равно количество теплоты, выделившееся за это время в проводнике? [100 кДж].

9.21. Ток в проводнике сопротивлением 12 Ом равномерно убывает от 5 А до 0 в течение 10 с. Какое количество теплоты

выделяется в проводнике за это время? [1 кДж].

9.22. По проводнику сопротивлением 3 Ом течёт равномерно возрастающий ток. Количество теплоты, выделившееся в проводнике за 8 с, равно 200 Дж. Определите заряд, протекший за это время по проводнику. В начальный момент времени ток был равен нулю. [20 Кл].

9.23. Ток в проводнике сопротивлением 15 Ом равномерно возрастает от 0 до некоторого максимума в течение 5 с. За это время в проводнике выделилось количество теплоты 10 кДж. Найдите среднее значение силы тока в проводнике за этот промежуток времени. [10 А].

9.24. Ток в проводнике равномерно увеличивается от нуля до некоторого максимального значения в течение 10 с. За это время в проводнике выделилось количество теплоты 1 кДж. Определите скорость нарастания тока в проводнике, если сопротивление его 3 Ом. [1А/с].

9.25. На рис. 9.1 $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_3$, $R_1 = 48$ Ом, $R_2 = 24$ Ом, падение напряжения U_2 на сопротивлении R_2 равно 12 В. Пренебрегая внутренним сопротивлением элементов, определите силу тока во всех участках цепи и сопротивление R_3 . [$I_1=0,25$ А, $I_2=0,5$ А, $I_3=0,75$ А, $R_3=16$ Ом].

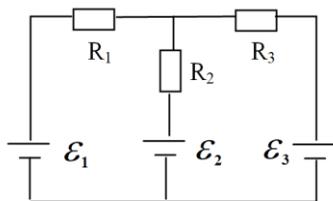


Рис. 9.1

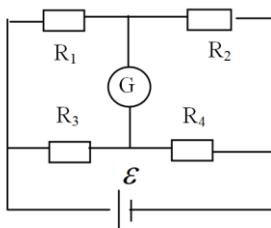


Рис. 9.2

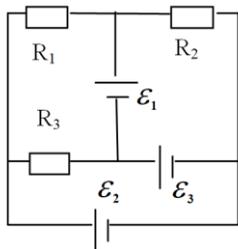


Рис. 9.3

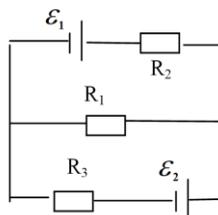


Рис. 9.4

9.26. На рис. 9.2 $\mathcal{E} = 2$ В, $R_1 = 60$ Ом, $R_2 = 40$ Ом, $R_3 = R_4 = 20$ Ом, $R_G = 100$ Ом. Определите силу тока I_G через гальванометр. [1,49 мА].

9.27. Найдите силу тока в отдельных ветвях мостика Уитстона (рис. 9.2) при условии, что сила тока, идущего через гальванометр, равна нулю. ЭДС источника 2В, $R_1 = 30$ Ом, $R_2 = 45$ Ом, $R_3 = 200$ Ом.

Внутренним сопротивлением источника пренебречь. [$I_1=I_2=26,7$ мА, $I_3=I_4=4$ мА].

9.28. На рис. 9.3 $\mathcal{E}_1=10$ В, $\mathcal{E}_2=20$ В, $\mathcal{E}_3=40$ В, а сопротивления $R_1=R_2=R_3=10$ Ом. Определите силу токов через сопротивления (I) и через источники (I'). Внутренним сопротивлением источников пренебречь. [$I_1=1$ А, $I_2=3$ А, $I_3=2$ А, $I'_1=2$ А, $I'_2=0$, $I'_3=3$ А].

9.29. На рис. 9.4 $\mathcal{E}_1=2,1$ В, $\mathcal{E}_2=1,9$ В, $R_1=45$ Ом, $R_2=10$ Ом, $R_3=10$ Ом. Найдите силу тока во всех участках цепи. Внутренним сопротивлением элементов пренебречь. [$I_1=0,04$ А, $I_2=0,01$ А, $I_3=0$].

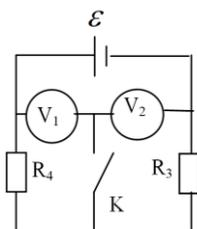


Рис. 9.5

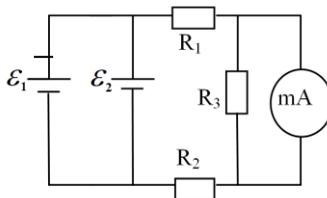


Рис. 9.6

9.30. На рис. 9.5 сопротивления вольтметров равны $R_1=3000$ Ом и $R_2=2000$ Ом; $R_3=3000$ Ом, $R_4=2000$ Ом; $\mathcal{E}=200$ В. Найдите показания вольтметров в случаях: а) ключ K разомкнут, б) ключ K замкнут. Внутренним сопротивлением источника пренебречь. [а) $U_1=120$ В, $U_2=80$ В; б) $U_1=U_2=100$ В].

9.31. На рис. 9.6 $\mathcal{E}_1=\mathcal{E}_2=1,5$ В, внутренние сопротивления источников $r_1=r_2=0,5$ Ом, $R_1=R_2=2$ Ом, $R_3=1$ Ом. Сопротивление миллиамперметра 3 Ом. Найдите показание миллиамперметра. [75 мА].

9.32. На рис. 9.7 $\mathcal{E}_1=\mathcal{E}_2=110$ В, $R_1=R_2=200$ Ом, сопротивление вольтметра 1000 В. Найдите показание вольтметра. Внутренним сопротивлением источников пренебречь. [100 В].

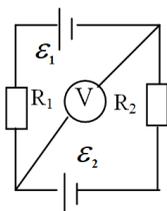


Рис. 9.7

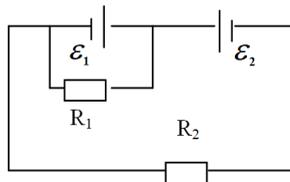


Рис. 9.8

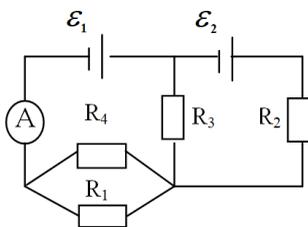


Рис. 9.9

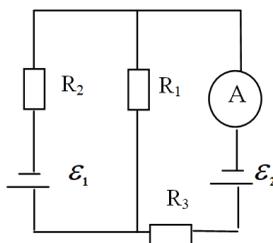


Рис. 9.10

9.33. На рис. 9.8 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 2\text{В}$, внутренние сопротивления источников равны $0,5\text{ Ом}$, $R_1 = 0,5\text{ Ом}$, $R_2 = 1,5\text{ Ом}$. Найдите силу тока во всех участках цепи. [$2,22\text{ А}$; $0,44\text{ А}$; $1,78\text{ А}$].

9.34. На рис. 9.9 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 100\text{ В}$, $R_1 = 20\text{ Ом}$, $R_2 = 10\text{ Ом}$, $R_3 = 40\text{ Ом}$, $R_4 = 30\text{ Ом}$. Найдите показание амперметра. Внутренним сопротивлением источников и амперметра пренебречь. [1 А].

9.35. Какую силу тока показывает амперметр на рис. 9.10, сопротивление которого $R_A = 500\text{ Ом}$, если $\varepsilon_1 = 1\text{ В}$, $\varepsilon_2 = 2\text{ В}$, $R_3 = 1500\text{ Ом}$ и падение напряжения на сопротивлении R_2 равно 1 В . Внутренним сопротивлением источников пренебречь. [1 мА].

9.36. На рис. 9.11 $\varepsilon_1 = 1,5\text{ В}$, $\varepsilon_2 = 1,6\text{ В}$, $R_1 = 1\text{ кОм}$, $R_2 = 2\text{ кОм}$. Определите показания вольтметра, если его сопротивление $R_V = 2\text{ кОм}$. Сопротивлением источников пренебречь. [$0,35\text{ В}$].

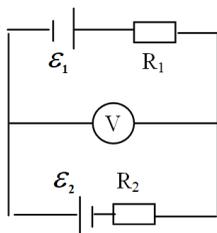


Рис. 9.11

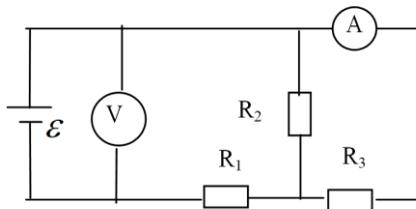


Рис. 9.12

9.37. На рис. 9.12 сопротивления $R_1 = 50\text{ Ом}$, $R_2 = 6\text{ Ом}$, $R_3 = 3\text{ Ом}$. Найдите показание амперметра, если вольтметр показывает $2,1\text{ В}$. Сопротивлением источника и амперметра пренебречь. [$0,2\text{ А}$].

9.38. Определите ЭДС источника в схеме на рис. 9.13, если сила тока, текущего через него, равна $0,9\text{ А}$, внутреннее сопротивление источника $0,4\text{ Ом}$. $R_1 = 30\text{ Ом}$, $R_2 = 24\text{ Ом}$, $R_3 = 50\text{ Ом}$,

$R_4 = 40 \text{ Ом}$, $R_5 = 60 \text{ Ом}$.

9.39. Найдите показания амперметра в схеме на рис. 9.14, если ЭДС равна $19,8 \text{ В}$, внутреннее сопротивление $0,4 \text{ Ом}$, $R_1 = 30 \text{ Ом}$, $R_2 = 24 \text{ Ом}$, $R_3 = 50 \text{ Ом}$, $R_4 = 40 \text{ Ом}$, $R_5 = 60 \text{ Ом}$.

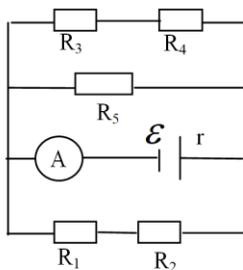


Рис. 9.13

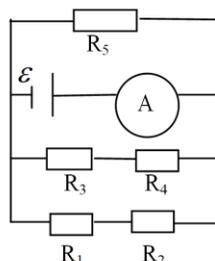


Рис. 9.14

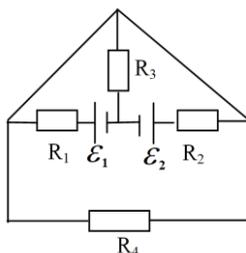


Рис. 9.15

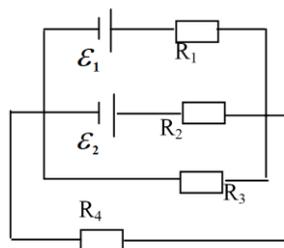


Рис. 9.16

9.40. Найдите величины всех сопротивлений в схеме на рис. 9.15, если через сопротивление R_1 течёт ток $0,4 \text{ мкА}$, через сопротивление R_2 ток $0,7 \text{ мкА}$, через сопротивление R_3 – $1,1 \text{ мкА}$, через сопротивление R_4 ток не течёт. Внутренним сопротивлением элементов пренебречь. $\mathcal{E}_1 = 1,5 \text{ В}$; $\mathcal{E}_2 = 1,8 \text{ В}$.

9.41. Определите \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 в схеме на рис. 9.16, если $R_1 = R_4 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = R_3 = 4 \text{ Ом}$. Ток, текущий через сопротивление R_3 , равен 1 А , а через сопротивление R_2 ток не течёт. Внутренние сопротивления элементов $r_1 = r_2 = 0,5 \text{ Ом}$.

9.42. Определите силу тока во всех участках цепи в схеме на рис. 9.17, если $\mathcal{E}_1 = 11 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 4 \text{ В}$, $\mathcal{E}_3 = 6 \text{ В}$, $R_1 = 5 \text{ Ом}$, $R_2 = 10 \text{ Ом}$, $R_3 = 2 \text{ Ом}$.

Внутренние сопротивления источников $r_1=r_2=r_3=0,5$ Ом.

9.43. В схеме на рис. 9.18 $R_1=1$ Ом, $R_2=2$ Ом, $R_3=3$ Ом, сила тока через источник равна 2А, разность потенциалов между точками 1 и 2 равна 2 В. Найдите сопротивление R_4 .

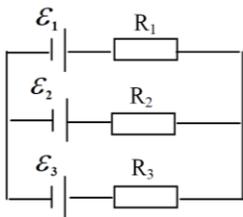


Рис. 9.17

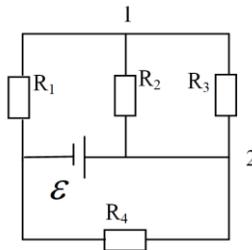


Рис. 9.18

Литература

1. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. Изд. доп. и перераб. – СПб.: Изд-во «Специальная литература»; Изд-во «Лань», 1999. – 328 с.
2. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики для вузов. – 3-е изд.- М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»»; ООО «Издательство «Мир и Образование»», 2013.-384 с.