МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
"Тульский государственный университет"

Естественнонаучный институт

Кафедра "*Физики*"

Утверждено на заседании кафедры *"Физика"*
«_30_» _августа___ 2019 г., протокол №_1_

Заведующий кафедрой

_____Р.Н. Ростовцев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению самостоятельной работы по дисциплине
"Физика"

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
01.03.03 Механика и математическое моделирование

с направленностью (профилем)
Механика деформируемого твердого тела

Форма обучения: *очная*

Идентификационный номер образовательной программы: 010303-01-18

Тула 2019 год

Разработчик методических указаний

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

1. Общие положения о самостоятельной работе студентов

Самостоятельная работа – это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется вне времени, отведенного на занятия по учебному расписанию, т. е. после аудиторных занятий. Основным видом контролируемой самостоятельной работы студентов данного направления подготовки является решение задач и ответов на контрольные задания, проверяющие владение учебным материалом. Задания на выполнение самостоятельной работы (2 – 3 задачи, 2 – 3 контрольных задания) выдает преподаватель в форме домашнего задания после изучения соответствующей темы на каждом практическом занятии по физике. Для выполнения заданий по самостоятельной внеаудиторной работе студент может пользоваться информационными источниками, рекомендованными преподавателем, а также находить информацию самостоятельно в учебной литературе или в сети Интернет.

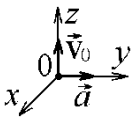
Контроль и оценивание выполнения домашних заданий для самостоятельной работы студентов осуществляется преподавателем. Результаты оценивания (соответствующая отметка) учитываются при текущей и промежуточной аттестации студентов.

Перечень рекомендуемых задач для внеаудиторной самостоятельной работы для каждого практического занятия приведены в разделе 2, перечень контрольных заданий – в разделе 3, завершает текст методических указаний перечень литературы, рекомендуемой для самостоятельной подготовки.

2. Задачи для самостоятельной работы студентов

Общий перечень задач разбит по темам практических занятий по физике

1. Кинематика материальной точки. Кинематические уравнения движения материальной точки. Скорость и ускорение материальной точки.



1.1. Материальная точка движется так, что её радиус-вектор зависит от времени по закону $\vec{r} = At^3\vec{i} + (Bt^2 - Ct^3)\vec{j}$, где A = 1 м/с^3, B = 3 м/с^2, C = 2 м/с^3. Определить ускорение точки в момент t = 0,5 с. *Ответ*: 3 м/с^2.

1.2. В начальный момент t_0 = 0 материальная точка находилась в точке 0 начала координат и двигалась со скоростью v_0 = 4 м/с вдоль оси z. Ускорение точки все время направлено вдоль оси y и возрастает со временем t по закону $a = kt^4$, где k = 1 м/с^6. Найти величину скорости данной точки в момент времени t = 2 с. *Ответ*: 7,547 м/с.

1.3. Начальная скорость точки $\vec{v}_0 = A\vec{i} - B\vec{j}$, где A = 4 м/с, B = 2 м/с. Ускорение точки зависит от времени по закону $\vec{a}(t) = Ct\vec{i} + Dt^2\vec{j}$, где C = 2 м/с^3, D = 6 м/с^4. На каком расстоянии от начала координат О окажется точка в момент времени t = 3 с, если в начальный момент t_0 = 0 она находилась в точке О? Определить также тангенс угла наклона вектора скорости точки к оси y в момент времени t = 3 с. *Ответ*: 40,4 м, 0,25.

1.4. Материальная точка движется так, что её радиус-вектор меняется по закону $\vec{r} = A\sin(bt)\vec{i} + A\cos(bt)\vec{j}$, где A = 2 м, b = 3 рад/с. Определить путь, пройденный точкой за время t = 2 с. *Ответ*: 12 м.

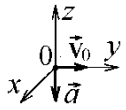
1.5. Точка движется по оси x так, что её координата меняется со временем по закону $x(t) = A\sin(2\pi t / T)$, где T = 6 с, A = 0,3 м. Определить минимальное время, через которое ускорение точки достигнет максимального значения. *Ответ*: 1,5 с

1.6. Материальная точка движется так, что её координата зависит от времени по закону $x(t) = At^4 - Bt^5$, где A = 5 м/с^4, B = 2 м/с^5. Определить координату точки, в которой изменится направление движения. *Ответ*: 16 м

1.7. Материальная точка движется так, что её радиус-вектор зависит от времени по закону $\vec{r} = At^2\vec{i} + Bt^3\vec{j}$, где A = 4 м/с^2, B = 2 м/с^3. В какой момент времени t скорость точки будет направлена под углом α = 45° к оси x? *Ответ*: 1,33 с

1.8. Начальная скорость точки $\vec{v}_0 = A\vec{i} - B\vec{j}$, где A = 4 м/с, B = 2 м/с. Ускорение точки зависит от времени по закону $\vec{a}(t) = Ct\vec{i} + Dt^2\vec{j}$, где C = 2 м/с^3, D = 6 м/с^4. Определить величину скорости точки в момент t = 2 с. *Ответ*: 16,1 м/с

1.9. В начальный момент t_0 = 0 материальная точка находилась в точке 0 начала координат и двигалась со скоростью v_0 = 3 м/с вдоль оси y. Ускорение точки все время направлено вдоль оси z и возрастает со временем t по закону $a = kt^2$, где k = 1 м/с^4. Найти расстояние от данной точки до начала координат 0 в момент времени t = 2 с.



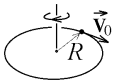
Ответ: 7,21 м

1.10. Начальная скорость точки $\vec{v}_0 = A\vec{i} - B\vec{j}$, где A = 4 м/с, B = 2 м/с. Ускорение точки зависит от времени по закону $\vec{a}(t) = Ct\vec{i} + Dt^2\vec{j}$, где C = 2 м/с^3, D = 6 м/с^4. В какой момент времени t скорость будет направлена перпендикулярно оси у?

Ответ: 1 с

2. Кинематика движения твёрдого тела. Вращение твёрдого тела вокруг неподвижной оси. Связь между линейными и угловыми величинами.

2.1. Точка равнозамедленно вращается по окружности радиусом R = 2 м с постоянным угловым ускорением ε = 3 рад/с^2. В начальный момент t_0 = 0 величина её скорости v_0 = 2 м/с. Во сколько раз полное ускорение этой точки будет больше её нормального ускорения в момент времени t = 1 с? Чему будет равен в этот момент угол между вектором скорости и вектором полного ускорения точки?



Ответ: 1,25, 53,1°.

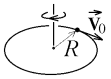
2.2. В момент времени t_0 = 0 диск радиусом R = 1 м начинает так вращаться вокруг оси симметрии, что путь пройденный точкой на ободе диска, меняется со временем по закону $s(t) = A\left(1 - \exp\left(-bt^2\right)\right)$, где A = 2 м, b = 0,5 с$^{-2}$. Найти максимальную величину угловой скорости этой точки в последующий момент времени. *Ответ*: 1,21 рад/с.

2.3. Первоначально покоившийся диск начал вращаться вокруг оси симметрии OO' так, что величина центростремительного ускорения точки на его ободе изменяется со временем t по закону $a_n = kt^8$, где k = 8 м/с^{10}. Найти радиус R диска, если в момент τ = 1 с тангенциальное ускорение этой точки a_τ = 16 м/с^2. Найти также угол поворота диска к этому моменту времени. *Ответ*: 2 м, 0,4 рад.

2.4. Под каким углом к горизонту надо бросить камень с ровной горизонтальной поверхности, чтобы радиус кривизны траектории в начальной точке траектории был в 8 раз больше, чем радиус кривизны в верхней точке траектории? *Ответ*: 60°

2.5. Колесо радиусом R = 0,4 м вращалось с угловой скоростью ω_0 = 10 рад/с. В момент t = 0 на него начинает действовать тормозящий момент сил, и через некоторое время угловая скорость вращения уменьшается в 5 раз. Сколько оборотов сделает колесо за это время, если его угловое ускорение ε = 4 рад/с^2? *Ответ*: 1,91

2.6. Частица вращается по окружности радиусом R= 2 м равноускоренно с угловым ускорением ε = 3 рад/с^2. Найти величину начальной скорости v_0 частицы в момент времени t_0 = 0, если момент t = 0,4 с величина полного ускорения частицы больше величины её тангенциального ускорения в k = 1,25 раз.



Ответ: 0,6 м/с

2.7. Колесо радиусом R = 20 см начинает вращаться так, что угол его поворота зависит от времени по закону φ = At^3, где A = 18 рад/с^3. В какой момент времени угол между векторами скорости и полного ускорения точки на ободе колеса станет равным 45°?

Ответ: 0,333 с

2.8. Точка вращается по окружности радиусом R = 2 м так, что угол поворота изменяется со временем t по закону $\varphi(t) = \alpha t^4 - \beta t^3 + \gamma t^2$, где α = 0,1 рад/с^4, β = 0,1 рад/с^3, γ = 0,1 рад/с^2. Во сколько раз величина полного ускорения точки превышает величину её тангенциального ускорения в момент времени t = 2 с? *Ответ*: в 1,82 раз

2.9. Колесо радиусом R = 20 см начинает вращаться так, что угол его поворота меняется со временем по закону $\varphi = At^3 - Bt^2$, где A = 0,5 рад/с^3, B = 2 рад/с^2. Найти величину полного ускорения точки на ободе колеса в тот момент, когда оно вернётся в исходное положение.

Ответ: 12,9 м/с2

2.10. Точка вращается по окружности так, что угол поворота изменяется со временем t по закону $\varphi(t) = A\cos\alpha t$, где $a = \pi/4$ с$^{-1}$, A = 2 рад. Найти величину радиусом R окружности, если в момент времени t = 2 с ускорение точки равно a = 3 м/с^2.

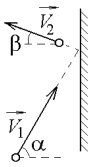
Ответ: R = 1,216 м

3. Динамика материальной точки. Законы Ньютона. Центр масс механической системы. Уравнение движения центра масс. Уравнение моментов.

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

Ответ: 9,43 Н

3.2. Небольшой шарик массой m = 4 кг летит со скоростью V_1 = 10 м/с под углом α = 60° к горизонту и падает на вертикальную стену. После неупругого удара он отскакивает со скоростью V_2 = 6 м/с под углом β = 30° к горизонту. Время соударения τ = 0,01 с. Найти модуль средней силы трения шарика о стену.

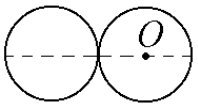


Ответ: 2224 Н

3.3. Частица с начальным импульсом $\vec{p}_0 = A\vec{i}$ движется в плоскости под действием силы, которая зависит от времени по закону $\vec{F}(t) = B\left(\frac{t}{\tau}\right)^3\vec{j}$. Найти модуль импульса через $t = \tau$ = 1 с, если A = 1 кг·м/с, B = 1 Н. *Ответ*: 1,031 кг·м/с

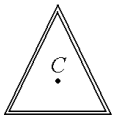
3.4. Маленький шарик поместили в точку с радиусом-вектором $\vec{r} = A\vec{i} + B\vec{j} + C\vec{k}$. В некоторый момент на шарик подействовали силой $\vec{F} = D\vec{i} + E\vec{j} + G\vec{k}$. Найти проекцию момента силы на ось y относительно начала координат. A, B, C, D, E и G – некоторые постоянные.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

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

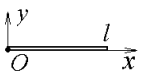


Ответ: 5 кг·м^2

3.6. Деталь в виде равностороннего треугольника сварили из трех одинаковых однородных тонких стержней массой m = 1 кг и *длиной* l = 1 м каждый. Ось C проходит перпендикулярно плоскости детали через центр масс треугольника. Найти момент инерции детали относительно этой оси. *Ответ*: 0,5 кг·м^2

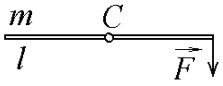


3.7. Тонкий стержень постоянного сечения длиной l = 1 м лежит на оси x и его левый конец совпадает с началом координат O. Линейная плотность вещества, из которого сделан стержень, зависит от координаты x по закону $\rho = \rho_0\left(\frac{x}{l}\right)^5$, где $\rho_0 = 1$ кг/м. Найти координату центра масс стержня. *Ответ*: 0,857 м



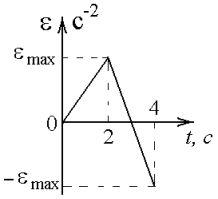
3.8. Некоторое тело вращается вокруг закрепленной оси без трения. Его момент импульса относительно оси вращения зависит от времени по закону $L = A\left(\frac{t}{\tau}\right)^3$, где A = 4 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2}{\text{с}}$. Через время t = 1 с тело имеет угловое ускорение ε = 5 рад/с^2. Найти момент инерции тела, если τ = 1 с. *Ответ*: 2,4 кг·м^2

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



Ответ: 1,68 рад/с^2

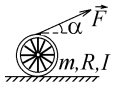
3.10. Тело вращается вокруг закрепленной оси с угловым ускорением, зависимость от времени которого задается графиком. Момент инерции тела относительно оси вращения равен I = 5 $\text{кг}\cdot\text{м}^2$. Найти момент импульса тела в момент времени t = 4 с, если ε_{max} = 4 с$^{-2}$.



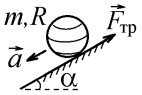
Ответ: 20 Н·м·с

4. Основное уравнение динамики вращательного движения твёрдого тела. Движение материальной точки в поле центральных сил.

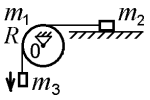
4.1. Тонкую нить, намотанную на обод колеса массой m = 1,5 кг и радиусом R = 10 см, имеющего момент инерции I = 0,01 кг·м^2 относительно оси симметрии, тянут с силой F = 9 Н под углом α = 30° к горизонту. Колесо катится по горизонтальной поверхности без проскальзывания. Найти ускорение a колеса и величину постоянной силы трения в точке опоры. *Ответ*: 6,72 м/с^2, 2,28 Н.



4.2. Сплошной шар с радиусом R катится без проскальзывания по наклонной плоскости, образующей угол α =30° с горизонтом. В точке опоры на шар действует сила трения $F_{тр}$ = 3 Н, направленная вдоль плоскости. Принимая g = 9,8 м/с^2, определите массу шара m. *Ответ*: 2,143 кг.

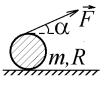


4.3. Сплошной диск массой m_1 = 1 кг и радиусом R вращается без трения вокруг горизонтальной закрепленной оси симметрии О. Через обод диска перекинута невесомая, не проскальзывающая по ободу нить, к концам которой прикреплены движущиеся с ускорением a = 2 м/с^2 грузы. Правый груз с массой m_2 = 3 кг скользит по горизонтальной поверхности и на него действует сила трения скольжения $F_{тр}$ = 4,7 Н. Принимая g = 9,8 м/с^2, найти массу m_3 левого груза, опускающегося вниз под действием силы тяжести. *Ответ*: 1,5 кг.

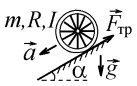


4.4. Тонкую нить, намотанную на обод цилиндра массой m = 2 кг и радиусом R, тянут в горизонтальном направлении. Цилиндр катится по горизонтальной поверхности без проскальзывания с ускорением a = 8 м/с^2. Сила трения в точке опоры постоянна. Найти силу F, с которой тянут нить. *Ответ*: 12 Н

4.5. Тонкую нить, намотанную на обод цилиндра радиусом R, тянут с силой F под углом α = 30° к горизонту. Цилиндр катится без проскальзывания по горизонтальной поверхности с ускорением a = 4 м/с^2. Величина горизонтально направленной силы трения в точке опоры равна $F_{тр}$ = 3 Н. Найти массу m цилиндра. *Ответ*: 2,47 кг



4.6. Колесо массой m = 2 кг и радиусом R = 10 см, имеющее момент инерции I = 0,015 кг·м^2 относительно оси симметрии, катится без проскальзывания по наклонной плоскости, образующей угол α =30° с горизонтом. Принимая g = 9,8 м/с^2, определите величину действующей на него силы трения $F_{тр}$, направленной вдоль плоскости.



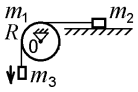
Ответ: 4,2 Н

4.7. Диск массой m_1 и радиусом R вращается без трения вокруг горизонтальной закрепленной оси симметрии О. К намотанной на обод диска нити прикреплен груз массой m_2, падающий вниз с ускорением 4,8 м/с^2. Принимая g = 9,8 м/с^2, найти отношение m_2/m_1 массой груза к массе диска. *Ответ*: 0,48

4.8. Диск радиусом R = 8 см вращается вокруг горизонтальной закрепленной оси симметрии О. К намотанной на его обод нити прикреплен падающий вниз груз массой m_2 = 1 кг. При этом диск вращается с угловым ускорением 30 рад/с^2, а из-за трения в его оси возникает постоянный тормозящий вращение момент сил $M_{тр}$ = 0,2 Н·м. Принимая g = 9,8 м/с^2, найти массу диска m_1. *Ответ*: 4,08 кг

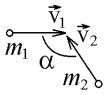
4.9. Сплошной диск массой m_1 = 3 кг и радиусом R = 10 см вращается вокруг горизонтальной закрепленной оси симметрии О. Из-за трения в оси диска возникает постоянный тормозящий вращение момент сил $M_{тр}$ = 0,28 Н·м. Через обод диска перекинута невесомая, не проскальзывающая нить, к концам которой прикреплены движущиеся с ускорением 3,6 м/с^2 грузы с массами m_2 и m_3 = 3 кг. Принимая g = 9,8 м/с^2, найти массу m_2 левого груза. *Ответ*: 0,776 кг

4.10. Цилиндр массой m_1 = 2 кг и радиусом R = 10 см вращается вокруг горизонтальной закрепленной оси симметрии О. В его оси возникает постоянный тормозящий момент сил $M_{тр}$ = 1,3 Н·м. Через обод диска перекинута невесомая нить с прикрепленными к её концам грузами. Груз с массой m_2 = 3 кг скользит без трения по горизонтальной поверхности, а с массой m_3 = 2 кг движется вертикально вниз под действием силы тяжести. Принимая g = 9,8 м/с^2, найти величину силы натяжения правого конца нити, к которой привязан груз m_2. *Ответ*: 3,3 Н



5. Закон сохранения импульса. Закон сохранения момента импульса. Работа переменной силы.

5.1. Два тела с одинаковыми массами $m_1 = m_2$, летевшие со скоростями v_1 = 2 м/с и v_2 под углом α = 120° друг к другу, столкнулись и слиплись. Найти величину скорости v_2 второго тела до удара, если после столкновения слипшиеся тела летят со скоростью v = 2 м/с. *Ответ*: 4,606 м/с

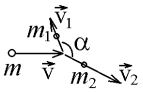


5.2. Два тела с импульсами p_1 и p_2 = 6 кг·м/с, летевшие под углом друг к другу, столкнулись и слиплись. Слипшиеся тела летят под углом α = 60° к направлению движения первого тела. Найти величину импульса p слипшихся тел, если она в два раза меньше величины импульса p_1 первого тела до столкновения.

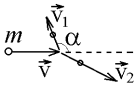
Ответ: 3,46 кг·м/с

5.3. Снаряд массой m разорвался на два осколка. Масса второго осколка в 2 раза больше массой первого осколка ($m_2 = 2m_1$). Сразу после разрыва осколки разлетаются под углом α = 150° друг к другу с одинаковыми по величине скоростями $v_1 = v_2$ = 60 м/с. Найти величину скорости v снаряда до разрыва.

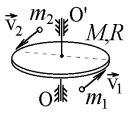
Ответ: 24,8 м/с



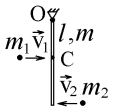
5.4. Летевший со скоростью v = 40 м/с снаряд разорвался на два равных осколка, один из которых летит под углом α = 150° к первоначальному направлению движения снаряда со скоростью v_1 = 20 м/с. Найти величину скорости v_2 второго осколка. *Ответ*: 97,8 м/с



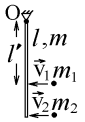
5.5. Первоначально покоящийся диск радиусом R = 16 см может вращаться без трения вокруг своей вертикальной закрепленной оси симметрии OO'. К ободу диска по касательным подлетают два пластилиновых шарика с массами m_1 = 8 г и m_2 = 12 г, размерами которых можно пренебречь, летевшие в противоположных направлениях с горизонтально направленными скоростями v_1 = 15 м/с и v_2 = 10 м/с. Шарики одновременно прилипают к ободу диска, после чего он начинает вращаться с угловой скоростью ω = 15 рад/с. Найти величину массой M диска. *Ответ*: 160 г



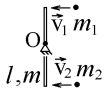
5.6. Тонкий стержень с массой m = 6 кг может вращаться вокруг горизонтальной оси подвеса О, проходящей через его центр, и первоначально неподвижен в вертикальном положении. В его нижний конец врезается и застревает тяжёлая пуля с массой m' = 500 г, размерами которой можно пренебречь, летевшая горизонтально со скоростью v = 15 м/с. Найти длину стержня l, если сразу после удара стержень с застрявшей в нём пулей начинает вращаться с угловой скоростью ω = 4 рад/с. *Ответ*: 1,5 м



5.7. Два шарика, размерами которых можно пренебречь, летели горизонтально в противоположных направлениях перпендикулярно к горизонтальной оси подвеса О висевшего неподвижно тонкого стержня массой m = 3 кг и *длиной* l = 2 м (см. рисунок). Шарик с массой m_1 = 0,8 кг и скоростью v_1 = 6 м/с прилип к центру С стержня, а шарик с массой m_2 = 0,2 кг одновременно прилип к его нижней точке. Найти скорость v_2 нижнего шарика до удара, если сразу после удара стержень начал вращаться против часовой стрелки с угловой скоростью ω = 0,6 рад/с. *Ответ*: 3,6 м/с



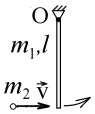
5.8. Две пули, размерами которых можно пренебречь, летели горизонтально в одном направлении перпендикулярно к горизонтальной оси подвеса О неподвижно висевшего тонкого стержня массой m = 3 кг и *длиной* l = 2 м, и одновременно врезались и застряли в стержне (см. рисунок). Пуля с массой m_1 = 0,4 кг и скоростью v_1 = 2 м/с застряла на расстоянии l' = 1,5 м от оси подвеса, а пуля с массой m_2 и скоростью v_2 = 4 м/с – в нижней точке стержня. Найти массу m_2 нижней пули, если после удара стержень начал вращаться с угловой скоростью ω = 0,5 рад/с. *Ответ*: 0,208 кг



5.9. Тонкий стержень массой m = 3 кг и *длиной* l = 2 м может вращаться вокруг горизонтальной оси подвеса О, проходящей через его центр, и первоначально неподвижен в вертикальном положении. К его нижнему и верхнему краю одновременно прилипают два шарика с массами m_1 = 0,8 кг и m_2 = 0,3 кг, размерами которых можно пренебречь. Шарики летели горизонтально в одном направлении перпендикулярно к оси О со скоростями v_1 = 3 м/с и v_2 (см. рисунок). Найти скорость v_2 нижнего шарика до удара, если сразу после удара стержень с прилипшими к нему шариками начал вращаться по часовой стрелке с угловой скоростью ω = 0,6 рад/с. *Ответ*: 12,2 м/с

5.10. Массивный диск может вращаться вокруг закрепленной оси без трения. На диск начинает действовать момент сил, который зависит от угла поворота φ по закону $M = F\left(\frac{\varphi}{\varphi_0}\right)^2$, где $A = 4\ \text{Н}\cdot\text{м}$. Найдите работу момента силы при повороте диска на угол φ_0 = 5 рад. *Ответ*: 6,67 Дж

6. Потенциальная энергия материальной точки. Кинетическая энергия материальной точки. Закон сохранения полной механической энергии.

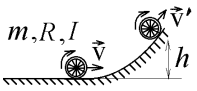


6.1. Тонкий стержень массой m_1= 45 г и длиной l, висит неподвижно и может вращаться вокруг закрепленной горизонтальной оси подвеса О, проходящей через его край. В противоположный конец стержня врезается летящий горизонтально и перпендикулярно к оси О со скоростью v = 8 м/с маленький стальной шарик той же массой $m_2 = m_1$. Удар абсолютно упругий. Какая часть кинетической энергии налетающего шарика (в %) превращается сразу после удара в кинетическую энергию стержня?

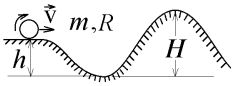
Ответ: 75 %

6.2. Тонкий стержень массой m_1= 30 г и длиной l висит неподвижно и может вращаться вокруг закрепленной горизонтальной оси подвеса О, проходящей через его край. В центр стержня С врезается летящий со скоростью v = 10 м/с горизонтально и перпендикулярно к оси О маленький стальной шарик с массой m_2. Удар абсолютно упругий. При какой величине массой m_2 скорость шарика после удара будет равна нулю?

Ответ: 40 г

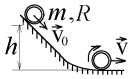


6.3. Колесо радиусом R = 10 см, момент инерции которого относительно горизонтальной оси симметрии равен I = 1 кг·м^2, катится без проскальзывания по горизонтальной поверхности с первоначальной скоростью v = 2 м/с. Закатившись на высоту h = 1 м вверх по склону, оно имеет скорость v' = 1 м/с. Чему равна масса m колеса? Принять g = 10 м/с^2. *Ответ*: 17,6 кг

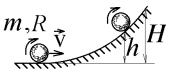


6.4. Цилиндр массой m и радиусом R катится без проскальзывания со скоростью v, скатывается в яму глубиной h = 2 м и закатывается на её противоположный склон высоты H = 3 м (см. рисунок). При какой наименьшей величине скорости v диск поднимется на вершину горба высоты H? Принять g = 10 м/с^2.

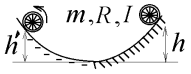
Ответ: 3,65 м/с



6.5. Тонкий обруч массой m и радиусом R скатывается без проскальзывания с начальной скоростью v_0 = 3 м/с по наклонной поверхности с высоты h = 2 м и имеет внизу скорость v. Во сколько раз возросла бы эта скорость, если бы обруч соскальзывал с той же высоты h и с той же начальной скоростью v_0 без трения, не вращаясь? Принять g = 10 м/с^2. *Ответ*: в 1,30 раз

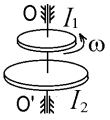


6.6. Шар массой m = 3 кг и радиусом R катится без проскальзывания со скоростью v по горизонтальной поверхности, а затем закатывается вверх по склону. Поднявшись на высоту h = 2 м, он имеет кинетическую энергию поступательного движения, равную $E_{кин}$ = 15 Дж. На какую максимальную высоту H может подняться шар по склону? Принять g = 10 м/с^2. *Ответ*: H = 2,7 м

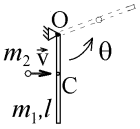


6.7. Колесо массой m = 2 кг и радиуса R, момент инерции которого относительно горизонтальной оси симметрии равен $I = mR^2/3$, скатывается без проскальзывания и без начальной скорости с высоты h = 3 м по правому шершавому склону ямы и продолжает скользить без трения по левому идеально гладкому склону ямы, вращаясь вокруг своей оси (см. рисунок). Чему равна величина кинетической энергии колеса в верхней точке подъёма h'? Принять g = 10 м/с^2.

Ответ: 15 Дж.



6.8. Два диска могут вращаться без трения вокруг общей вертикальной оси симметрии OO'. Верхний диск с моментом инерции I_1 = 3 кг·м^2 относительно этой оси, вращавшийся с угловой скоростью ω, упал на нижний покоившийся диск. Диски слиплись и вращаются вместе, а кинетическая энергия вращательного движения данной системы уменьшилась при этом в k = 4 раза. Найти величину момента инерции I_2 нижнего диска. *Ответ*: 9 кг·м^2



6.9. Тонкий стержень массой m_1 и длиной l = 40 см, висит неподвижно и может вращаться без трения вокруг закрепленной горизонтальной оси O подвеса, проходящей через его край. К центру стержня C прилипает летевший горизонтально и перпендикулярно к оси O маленький пластилиновый шарик той же массой $m_2 = m_1$. При какой величине скорости шарика v стержень с прилипшим к нему шариком отклонится от первоначального положения на максимальный угол θ = 180º? Принять g = 10 м/с^2.

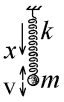
Ответ: 6,11 м/с

6.10. Тонкий стержень массой m_1=160 г и длиной l может вращаться вокруг закрепленной горизонтальной оси O, проходящей через его середину. Первоначально стержень расположен вертикально и неподвижен. В его нижний край врезается и прилипает летящий перпендикулярно к оси O горизонтально со скоростью v = 7 м/с маленький пластилиновый шарик массой m_2 = 40 г. Сколько тепла выделится при неупругом ударе?

Ответ: 0,56 Дж

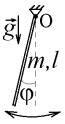
7. Гармонические колебания и их сложение. Свободные колебания. Физический маятник.

7.1. Грузик на пружинке с жёсткостью k = 0,8 Н/м совершает вертикальные незатухающие колебания. В начальный момент t = 0 смещение грузика относительно положения равновесия равно x_0 = 2 см, а величина его скорости в этот момент времени v_0 = 0,1 м/с. Найти массу грузика m, если максимальное смещение грузика относительно положения равновесия равно x_{max} = 3 см. *Ответ*: 40 г.

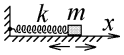


7.2. Тонкий стержень совершает незатухающие гармонические колебания вокруг горизонтальной оси подвеса О, проходящей через его край. В начальный момент времени t_0 = 0 угловая скорость вращения стержня относительно оси О равна нулю. В момент времени t = 0,4 с величина угла отклонения стержня φ от положения равновесия в первый раз уменьшилась в три раза. Найти длину стержня l. Принять g = 9,8 м/с^2.

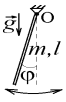
Ответ: 1,55 м.



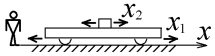
7.3. Грузик на пружинке с жёсткостью k = 0,8 Н/м совершает незатухающие колебания, скользя по абсолютно гладкой горизонтальной плоскости. В начальный момент t_0 = 0 скорость грузика была максимальной и равной v_0 = 9 см/с. За последующий интервал времени $t = T/3$, где T – период колебаний, грузик проделал путь s = 1,8 см. Найти массу m грузика (в г). *Ответ*: 24,9 г.



7.4. Грузик массой m = 15 г, подвешенный на пружинке с жёсткостью k = 0,96 Н/м, совершает незатухающие колебания. В начальный момент t_0 = 0 скорость грузика была равна нулю. За последующий интервал времени $t = 3T/8$, где T – период колебаний, грузик проделал путь s = 3 см. Найти величину максимальной скорости, которую грузик может иметь в процессе движения. *Ответ*: 0,141 м/с.

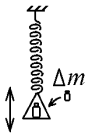


7.5. Тележка совершает колебания в горизонтальном направлении относительно неподвижного наблюдателя по закону $x_1 = A_1\cos(\omega t + \alpha_1)$. Лежащий на тележке груз одновременно совершает колебания с той же частотой относительно горизонтальной поверхности тележки по закону $x_2 = A_2\cos(\omega t + \alpha_2)$. Относительно наблюдателя груз движется по закону $x = A\cos(\omega t + \alpha)$, где α = π/4. Найдите величину амплитуды A результирующего колебания, если A_1 = 10 см, $\alpha_1 = \pi/6$, $\alpha_2 = \pi/3$. *Ответ*: 19,3 см.



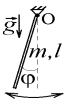
7.6. Чашка весов с гирей, подвешенная на пружине с коэффициентом жёсткости k = 20 Н/м, совершала вертикальные незатухающие колебания с периодом T_0 = 2 с. После того как на чашку добавили ещё одну гирю, период колебаний возрос на величину ΔT = 0,5 с. Найти массу Δm добавленной гири. Принять g = 9,8 м/с^2.

Ответ: 1,14 кг

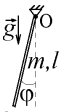


7.7. Грузик массой m = 40 г на пружинке совершает вертикальные незатухающие колебания. В начальный момент времени t = 0 смещение грузика относительно положения равновесия равно x_0 = 1,5 см, а величина его скорости в этот момент времени равна v_0 = 0,2 м/с. Найти коэффициент жёсткости пружинки, если максимальная величина скорости, которую будет иметь грузик, окажется равной v_{max} = 0,25 м/с.

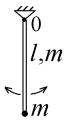
Ответ: 4 Н/м



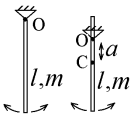
7.8. Тонкий стержень массой m совершает незатухающие гармонические колебания вокруг горизонтальной оси подвеса О, проходящей через его край. В начальный момент времени t = 0 величина угловой скорости вращения стержня вокруг оси О равна ω_0 = 0,3 рад/с, а угол отклонения стержня от положения равновесия равен φ_0 = 0,05 рад. В дальнейшем максимальная величина угла отклонения окажется равной φ_{max} = 0,1 рад. Найти длину стержня l. Принять g = 10 м/с^2. *Ответ*: 1,25 м



7.9. Тонкий стержень с массой m подвешен за край и совершает незатухающие гармонические колебания с периодом T = 2 с, причем на его противоположном конце закреплен груз той же массjq m, размером которого можно пренебречь. Найти длину l стержня. Принять g = 9,8 м/с^2. *Ответ*: 1,12 м



7.10. Два одинаковых тонких стержня длины l = 90 см совершают незатухающие гармонические колебания. У одного из них горизонтальная ось подвеса О проходит через край, а у другого находится на расстоянии a от центра С стержня



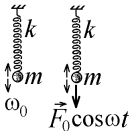
(см. рисунок). Определить расстояние a, если периоды колебаний обоих стержней одинаковы.
Ответ: 15 см

8. Затухающие и вынужденные колебания в механике. Резонанс.

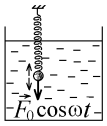
8.1. Грузик на пружинке совершает вертикальные колебания с постоянной амплитудой в вязкой жидкости под действием внешней силы $F_0\cos\omega t$. При частоте внешней силы, равной $\omega = \omega_1$, максимальна амплитуда смещения грузика, а при частоте $\omega = \omega_2$ максимальна амплитуда его скорости. Если действие внешней силы убрать, то грузик начнет совершать затухающие колебания с циклической частотой ω_3. Найти величину отношения частот ω_1/ω_3, если $\omega_2/\omega_1 = 3$. *Ответ*: 0,447.

8.2. Маленький грузик прикреплен за пружинку с жёсткостью $k = 5$ Н/м к вертикальной стенке и совершает колебания по горизонтальной поверхности под действием внешней силы $F = F_0\cos\omega t$, меняющейся по гармоническому закону с циклической частотой $\omega = 5$ с$^{-1}$ и амплитудой $F_0 = 0{,}08$ Н. Трение отсутствует. Найти массу m грузика, если амплитуда его колебаний равна $A = 2$ см. *Ответ*: 40 г.

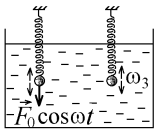
8.3. Грузик массы $m = 30$ г на пружинке совершал вертикальные незатухающие колебания с циклической частотой $\omega_0 = 6$ с$^{-1}$. Когда на грузик начала действовать вертикально направленная внешняя сила $F = F_0\cos\omega t$ с амплитудой $F_0 = 0{,}012$ Н, он стал колебаться относительно положения равновесия с амплитудой $A = 2$ см. Вязкое трение отсутствует. Найти максимальную величину скорости вынужденных колебаний грузика. *Ответ*: 0,08 м/с.



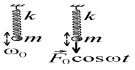
8.4. Шарик массы $m = 60$ г на пружинке совершал вертикальные колебания в вязкой жидкости под действием внешней силы $F_0\cos\omega t$, меняющейся по гармоническому закону с циклической частотой ω, причем при частоте $\omega = \omega_1 = 8$ с$^{-1}$ наблюдалось максимальное увеличение амплитуды колебаний. Если вязкость жидкости увеличить в два раза, то амплитуда смещения шарика снова окажется максимальной при другом значении циклической частоты внешней силы $\omega = \omega_2 = 6$ с$^{-1}$. Найти величину коэффициента жёсткости k пружинки. *Ответ*: 4,4 Н/м.



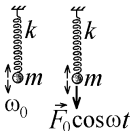
8.5. Два одинаковых грузика на одинаковых пружинках совершают вертикальные колебания в вязкой жидкости. Левый грузик колеблется с постоянной амплитудой под действием внешней силы $F_0\cos\omega t$, меняющейся по гармоническому закону с циклической частотой ω. При частоте внешней силы, равной $\omega = \omega_1$ максимальна амплитуда смещения левого грузика, а при частоте $\omega = \omega_2$ максимальна амплитуда его скорости. Правый грузик совершает свободные затухающие колебания с циклической частотой ω_3. Найти величину отношения частот ω_1/ω_3, если $\omega_2/\omega_3 = 1{,}4$.
Ответ: 0,2



8.6. Один конец пружинки с жёсткостью $k = 6$ Н/м прикреплен к стене, а на другом конце закреплен маленький грузик, который совершает незатухающие колебания по горизонтальной абсолютно гладкой поверхности с циклической частотой $\omega_0 = 6$ с$^{-1}$. Когда на грузик начала действовать внешняя сила $F = F_0\cos\omega t$, меняющаяся по гармоническому закону с циклической частотой $\omega = 4$ с$^{-1}$, он стал колебаться с амплитудой $A = 2{,}4$ см. Найти величину амплитуды F_0 этой силы. *Ответ*: 0,08 Н

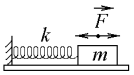


8.7. Грузик на пружинке с жёсткостью $k = 5$ Н/м совершал вертикальные незатухающие колебания с циклической частотой ω_0. Когда на грузик начала действовать вертикально направленная внешняя сила $F = F_0\cos\omega t$ с амплитудой $F_0 = 0{,}084$ Н, меняющаяся по гармоническому закону с циклической частотой ω, он стал колебаться относительно положения равновесия с амплитудой $A = 2$ см. Вязкое трение отсутствует. Найти величину отношения частот ω_0/ω. *Ответ*: 2,5



8.8. Шарик массы $m = 40$ г на пружинке с жёсткостью $k = 4{,}8$ Н/м совершает вертикальные колебания в вязкой жидкости под действием внешней силы $F_0\cos\omega t$, меняющейся по гармоническому закону с циклической частотой ω, причем при частоте $\omega = \omega_1 = 6$ с$^{-1}$ наблюдается

максимальное увеличение амплитуды колебаний. Во сколько раз надо уменьшить коэффициент вязкости жидкости, чтобы максимум амплитуды смещения шарика наблюдался при новом значении частоты внешней силы $\omega = \omega_2 = 10$ с$^{-1}$?

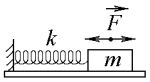


Ответ: в 2,05 раз

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

Ответ: 224 Н/м

8.10. Невесомая пружинка жесткости k одним концом прикреплена к стене, а другим – к бруску массы m, лежащему на горизонтальной поверхности. Вдоль поверхности на брусок действует гармоническая сила $F = F_0 \cos(\omega t)$.



Найдите амплитуду вынужденных колебаний бруска (в см). Диссипативные силы в системе отсутствуют. Собственными колебаниями пренебречь. $F_0 = 4$ Н, $m = 5$ кг, $k = 6$ Н/м, $\omega = 7$ с$^{-1}$.

Ответ: 1,67 см

9. Методы решения термодинамических задач. Использование уравнения состояния системы, уравнений термодинамических процессов и первого начала термодинамики при расчете процессов в идеальном газе. Работа газа в различных процессах.

9.1. Идеальный газ совершает процесс, при котором его давление растёт с изменением объёма по закону $p = \alpha V^6$, где $\alpha = 1400\ \text{Н}\cdot\text{м}^{-20}$. Объём газа возрастает от начального значения $V_1 = 1$ м^3 до $V_2 = 2$ м^3. При этом газу сообщается теплота $Q = 292{,}1$ кДж. Найти приращение внутренней энергии газа ΔU (в кДж). *Ответ*: 266,7 кДж.

9.2. Один моль идеального газа совершает процесс, при котором его температура (в К) изменяется с изменением объёма по закону $T = \frac{\alpha}{R} V^{1/4}$, где $\alpha = 100\ \text{Н}\cdot\text{м}^{1/4}/\text{моль}$, R – универсальная газовая постоянная, а объём газа увеличивается от начального значения $V_1 = 1$ м^3 до $V_2 = 16$ м^3. При этом газу сообщается теплота $Q = 700$ Дж. Найти приращение внутренней энергии газа ΔU (в Дж). *Ответ*: 300 Дж.

9.3. Один моль идеального газа совершает процесс, при котором его давление изменяется с ростом температуры по закону $p = \alpha R^3 T^3$, где R – универсальная газовая постоянная, $\alpha = 10^{-6}\ \text{Н}^{-2}\cdot\text{м}^{-5}$, а объём газа увеличивается от начального значения $V_1 = 1$ м^3 до $V_2 = 16$ м^3. При этом газ отдаёт теплоту $Q = 500$ Дж. На какую величину ΔU изменится внутренняя энергия газа? *Ответ*: – 2 кДж.

9.4. Один моль идеального газа совершает процесс, при котором его объём уменьшается с ростом давления по закону $V = \alpha p^{-1}$, где $\alpha = 4$ кДж/моль. Начальное давление газа $p_1 = 25$ кПа. Найти величину конечного давления после того, как газ отдаст теплоту $Q = 6$ кДж.

Ответ: 112 кПа.

9.5. Один моль идеального газа совершает процесс, при котором его давление уменьшается с увеличением объёма по закону $p = \alpha / V^5$, где $\alpha = 6400\ \text{Н}\cdot\text{м}^{13}$, а объём газа увеличивается от начального значения $V_1 = 1$ м^3 до $V_2 = 2$ м^3. При этом газ отдаёт теплоту $Q = 7{,}5$ кДж. На какую величину ΔU (в кДж) изменится внутренняя энергия газа?

Ответ: уменьшится на 9 кДж

9.6. Один моль идеального газа совершает процесс, при котором его объём изменяется с изменением давления по закону $V = \alpha p^4$, где $\alpha = 6{,}25\cdot 10^{-10}\ \text{Н}^{-4}\cdot\text{м}^{11}$, а давление газа

увеличивается от начального значения p_1= 200 Па до p_2 = 400 Па. При этом газу сообщается теплота Q = 14,26 кДж. Найти приращение внутренней энергии газа ΔU.

Ответ: 9,3 кДж

9.7. Один моль идеального газа совершает процесс, при котором его температура (в К) изменяется с изменением объёма по закону $T = \alpha V^4$, где $\alpha \cdot R = 4000\ \text{Н} \cdot \text{м}^{-11}$, R – универсальная газовая постоянная, а объём газа увеличивается от начального значения V_1= 1 м^3 до V_2= 2 м^3. Какое тепло (в кДж) получает при этом газ, если его внутренняя энергия возрастает на величину ΔU = 90 кДж? *Ответ*: 105 кДж

9.8. Один моль идеального газа совершает процесс, при котором его температура (в К) уменьшается с увеличением объёма по закону $T = \alpha V^{-5}$, где $\alpha \cdot R = 8000\ \text{Н} \cdot \text{м}^{16}$, R – универсальная газовая постоянная, а объём газа увеличивается от начального значения V_1= 1 м^3 до V_2= 2 м^3. Какую теплоту (в кДж) отдает при этом газ, если его внутренняя энергия уменьшается на величину ΔU = 23,25 кДж? *Ответ*: 21,7 кДж

9.9. Один моль идеального газа совершает процесс, при котором его температура (в К) изменяется с изменением давления по закону $T = \frac{\alpha}{R} p^4$, где $\alpha = 10^{-6}\ \text{м}^9 / \left(\text{Н}^3 \cdot \text{моль}\right)$, R – универсальная газовая постоянная, а объём газа увеличивается от начального значения V_1= 1 м^3 до V_2= 8 м^3. При этом газу сообщается теплота Q = 5625 Дж. Найти приращение внутренней энергии газа ΔU. *Ответ*: 4,5 кДж

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

10. Число степеней свобод. Вычисление теплоемкости газов в различных термодинамических процессах.

10.1. Метан CH_4, который можно считать идеальным газом, совершает процесс, при котором его давление возрастает с ростом температуры по закону $p = \alpha T^3$, где α = const. Найти величину молярной теплоёмкости C этого процесса. R =8,31 Дж/К·моль.

Ответ: 8,31 Дж/К·моль

10.2. Водород H_2, который можно считать идеальным газом, совершает процесс, при котором его температура возрастает с ростом давления по закону $T = (\alpha \cdot p)^4$, где α = const. Найти величину молярной теплоёмкости этого процесса. R =8,31 Дж/К·моль.

Ответ: 27 Дж/К·моль

10.3. Три моля идеального газа совершают политропический процесс, молярная теплоёмкость которого в четыре раза больше молярной теплоёмкости этого газа при постоянном давлении. Если газ отдаст 99,7 кДж тепла, то его термодинамическая температура уменьшится в два раза. Определить число степеней свободы молекул газа. Начальная температура газа t^{o}C = 227°C. R =8,31 Дж/К·моль. *Ответ:* 6

10.4. Один моль кислорода O_2, который можно считать идеальным газом, совершает процесс, при котором молярная теплоёмкость меняется с температурой газа по закону $C = C_0 (T/T_0)^8$, где T_0 = 250 К – начальная температура газа, C_0 = 8,31 Дж/К·моль,. Какую работу совершит газ, нагреваясь до температуры T = 500 К? R =8,31 Дж/К·моль.

Ответ: 112,8 кДж.

10.5. Кислород O_2, который можно считать идеальным газом, совершает процесс, при котором его объём возрастает с ростом температуры по закону $V = \alpha T^4$, где α = const. Найти величину молярной теплоёмкости этого процесса. R =8,31 Дж/К·моль.

Ответ: 54,0 Дж/К·моль

10.6. Метан CH_4, который можно считать идеальным газом, совершает процесс, при котором его объём уменьшается с ростом температуры по закону $V = \alpha T^{-2}$, где α = const. Найти величину молярной теплоёмкости этого процесса. R =8,31 Дж/К·моль.

Ответ: 8,31 Дж/К·моль

10.7. Азот N_2, который можно считать идеальным газом, совершает процесс, при котором его давление уменьшается с ростом температуры по закону $p = \alpha T^{-4}$, где α = const. Найти величину молярной теплоёмкости этого процесса. R =8,31 Дж/К·моль.

Ответ: 62,3 Дж/К·моль

10.8. Аммиак NH_3, который можно считать идеальным газом, совершает процесс, при котором его температура уменьшается с ростом давления по закону $T = (\alpha \cdot p)^{-4}$, где α = const. Найти величину молярной теплоёмкости этого процесса. R =8,31 Дж/К·моль.

Ответ: 35,3 Дж/К·моль

10.9. Гелий He, который можно считать идеальным газом, совершает политропический процесс, молярная теплоёмкость которого в три раза меньше молярной теплоёмкости этого газа при постоянном давлении. Отдавая 3 кДж тепла, газ охлаждается от температуры 27 ºС до температуры -27 ºС. Определить количество гелия (в молях). Универсальная газовая постоянная R =8,31 Дж/К·моль. *Ответ*: 8,02 моля

10.10. Один моль углекислого газа CO_2, который можно считать идеальным, совершает процесс, при котором молярная теплоёмкость меняется с температурой газа по закону $C = C_0 (T/T_0)^3$, где T_0 = 300 К – начальная температура газа, C_0 = 8,31 Дж/К·моль. Какую работу совершит газ, нагреваясь до температуры T = 600 К? R =8,31 Дж/К·моль.

Ответ: 1,87 кДж

11. Расчет изменения энтропии термодинамической системы в различных процессах. Второе начало термодинамики.

11.1. Неидеальная термодинамическая система, сжимаясь, нагревается до температуры T_1 = 480 К, совершая процесс, при котором её энтропия изменяется с температурой по закону $S = S_0 \cdot (T/T_0)^3$, где S_0 = 100 Дж/К, T_0 = 240 К – начальная температура системы. Найти величину изменения внутренней энергии системы, если внешние силы совершают над ней работу A = 100 кДж. *Ответ:* 370 кДж.

11.2. Термодинамическая система совершает процесс, при котором величина её теплоёмкости убывает с ростом температуры T по закону $C = C_0\sqrt{T_0/T}$, где C_0 = 100 Дж/К, T_0 = 200 К – начальная температура системы. На какую величину увеличится энтропии системы при возрастании её температуры до T_1 = 400 К? *Ответ:* 58,6 Дж/К.

11.3. Два моля гелия He, который можно считать идеальным газом, совершают политропический процесс, молярная теплоёмкость которого в три раза больше молярной теплоёмкости этого газа при постоянном объёме. Найти приращение энтропии газа, если его температура T возрастает в четыре раза. R = 8,31 Дж/К·моль. *Ответ:* 103,7 Дж/К.

11.4. Четыре моля водорода H_2, который можно считать идеальным газом, совершают политропический процесс, молярная теплоёмкость которого в два раза больше молярной теплоёмкости этого газа при постоянном давлении. Начальная температура газа T_0 = 300 К. Найти конечную температуру этого газа после того, как его энтропия уменьшится на величину ΔS = 100 Дж/К. R =8,31 Дж/К·моль. *Ответ:* 195,2 К.

11.5. Неидеальная термодинамическая система совершает процесс, при котором её энтропия убывает с ростом температуры по закону $S = S_0 \cdot (T/T_0)^{-5}$, где S_0 = 100 Дж/К, T_0 = 320 К – начальная температура системы. Какую работу совершат над системой внешние силы, если она нагрвается до температуры T_1 = 640 К, а её внутренняя энергия возрастает при этом на величину ΔU = 22,5 кДж? *Ответ*: 60 кДж

11.6. Термодинамическая система совершает процесс, при котором её теплоёмкость возрастает с ростом температуры T по закону $C = C_0 \cdot (T/T_0)^7$, где C_0 = 10 Дж/К, T_0 = 250 К – начальная температура системы. На какую величину увеличится энтропия системы при возрастании её температуры до T_1 = 500 К? *Ответ*: на 181,4 Дж/К

11.7. Термодинамическая система совершает процесс, при котором её теплоёмкость убывает с ростом температуры T по закону $C = C_0 \cdot (T_0/T)^2$, где C_0 = 100 Дж/К, T_0 = 300 К – начальная температура системы. На какую величину изменится энтропия системы при возрастании её температуры в четыре раза? *Ответ*: увеличится на 46,9 Дж/К

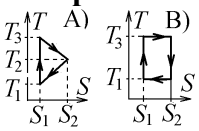
11.8. Два моля углекислого газа CO_2, который можно считать идеальным газом, совершают политропический процесс, молярная теплоёмкость которого в четыре раза больше молярной теплоёмкости этого газа при постоянном давлении. Найти приращение энтропии газа, если его температура T возрастает в два раза? R =8,31 Дж/К·моль.

Ответ: 184,3 Дж/К

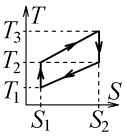
11.9. Два моля азота N_2, который можно считать идеальным газом, совершают политропический процесс, молярная теплоёмкость которого в шесть раз меньше молярной теплоёмкости этого газа при постоянном объёме. Начальная температура газа T_0 = 200 К. Найти конечную температуру этого газа после того, как его энтропия возрастёт на величину ΔS = 10 Дж/К. R =8,31 Дж/К·моль. *Ответ*: 847,6 К

11.10. Шесть молей идеального газа совершают политропический процесс, молярная теплоёмкость которого в восемь раз меньше молярной теплоёмкости этого газа при постоянном давлении. Газ нагревается от температуры T_0 = 300 К до температуры T_1 = 600 К, причем его энтропия возрастает на ΔS = 15,1 Дж/К. Найти число степеней свободы молекул этого газа. R =8,31 Дж/К·моль. *Ответ*: 5

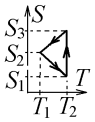
12. Циклические процессы и вычисление к.п.д. тепловых машин. Цикл Карно.



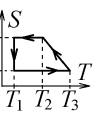
12.1. На диаграмме T-S (температура-энтропия), где T_1= 300 К, T_2= 400 К, T_3= 500 К, S_1= 5 Дж/К, S_2= 10 Дж/К, изображены два циклических процесса, совершаемых идеальным газом. Во сколько раз КПД правого процесса η_B больше КПД левого процесса η_A? *Ответ:* 1,8.



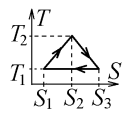
12.2. Идеальный газ совершает циклический процесс с КПД η = 50 %, изображенный на диаграмме T-S (температура-энтропия), где T_2= 300 К, T_3= 700 К, S_1= 4 Дж/К, S_2= 8 Дж/К. Определить температуру T_1. *Ответ:* 200 К.



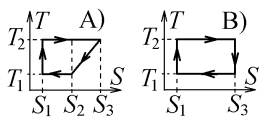
12.3. Вычислить в % КПД циклического процесса идеального газа, изображенного на диаграмме S-T (энтропия- температура), где T_1= 300 К, T_2= 450 К, S_1= 10 Дж/К, S_2= 20 Дж/К, S_3= 30 Дж/К. *Ответ:* 16,67%.



12.4. Идеальный газ совершает циклический процесс с КПД η = 40 %, изображенный на диаграмме S-T (энтропия- температура), где T_1= 350 К, T_2= 500 К, S_1= 3 Дж/К, S_2= 6 Дж/К. Определить температуру T_3. *Ответ:* 666,7 К.



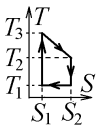
12.5. Идеальный газ совершает циклический процесс с КПД η = 20 %, изображенный на диаграмме T-S (температура-энтропия), где T_1= 250 К, S_1= 2 Дж/К, S_2= 4 Дж/К, S_3= 6 Дж/К. Определить температуру T_2. *Ответ*: 375 К



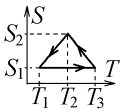
12.6. На диаграмме T-S, где T_1= 200 К, T_2= 500 К, S_1= 2 Дж/К, S_2= 4 Дж/К, S_3= 6 Дж/К, изображены два циклических процесса, совершаемых идеальным газом. Найти разность η_B-η_A КПД правого и левого процессов

(в %). *Ответ*: η_B-η_A = 15%

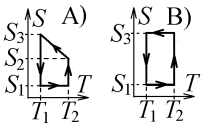
12.7. Идеальный газ совершает циклический процесс с КПД η = 50 %, изображенный на диаграмме *T-S*, где T_1= = 400 К, T_2= 600 К, S_1= 2 Дж/К, S_2= 4 Дж/К. Определить температуру T_3. *Ответ*: 1000 К



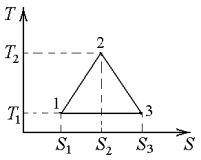
12.8. Идеальный газ совершает циклический процесс с КПД η = 30 %, изображенный на диаграмме *S-T* (энтропия- температура), где T_2= 600 К, T_3= 800 К, S_1= 3 Дж/К, S_2= 6 Дж/К. Определить температуру T_1. *Ответ*: 380 К



12.9. На диаграмме *S-T* (энтропия- температура), где T_1= 300 К, T_2= 400 К, S_1= 4 Дж/К, S_2= 6 Дж/К, S_3= 8 Дж/К изображены два циклических процесса, совершаемых идеальным газом. Найти разность η_B-η_A КПД правого и левого процессов (в %). *Ответ*: η_B-η_A = 5%



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



13. Функция распределения Максвелла молекул газа по величинам скоростей и её применение к расчету средних величин. Функция распределения Больцмана и барометрическая формула.

13.1. Аммиак NH_3, который можно считать идеальным газом с молярной массой μ=17 г/моль, имеет температуру 27ºС. Найти вероятность (в %) того, что молекулы этого газа имеют величины скоростей в интервале $v_1 \le v \le v_1 + \Delta v$, где v_1 – средняя скорость молекул газа, а Δv = 0,1 м/с. Универсальная газовая постоянная *R* = 8,31 Дж/К·моль.

Ответ: 0,01485 %.

13.2. Определите величину молярной массы идеального газа, если известно, что при температуре *T* = 600 К в каждом моле этого газа величины скоростей от v_1 до $v_1 + \Delta v$ имеют $\Delta N = 10^{20}$ молекул. Здесь v_1 – величина средней квадратичной скорости молекул газа; $\Delta v = 0{,}1$ м/с; *R* = 8,31 Дж/К·моль; $N_{Авогадро} = 6{,}023 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$. *Ответ:* 48,18 г/моль.

13.3. Гелий, который является идеальным газом с молярной массой μ=4 г/моль, находится в закрытом сосуде с объёмом V = 30 литров. Найти давление газа, если сумма квадратов скоростей всех его молекул $\Sigma v_i^2 = 4 \cdot 10^{29}$ м^2/с^2. Число Авогадро $N_{Авогадро}$=6,023·10^{23} моль$^{-1}$.

Ответ: 29,5 кПа.

13.4. В сосуде с объёмом V = 40 литров находятся N = 5·10^{22} молекул идеального газа. Давление газа *p* = 90 кПа, а величина средней скорости его молекул равна 800 м/с. Найти массу одной молекулы данного газа. *Ответ:* 2,86·10^{-25} кг.

13.5. В закрытом сосуде под давлением *p* = 162 кПа находится идеальный газ. Величина скорости, которой обладает наибольшая доля молекул этого газа, равна 450 м/с. Найти величину плотности газа ρ. *Ответ:* 1,6 кг/м^3.

13.6. В первом сосуде с объёмом *V* = 20 литров находятся *N* = =4·10^{22} молекул азота N_2, у которого средняя энергия одной молекулы равна $\langle E_N \rangle$= 5·10^{-20} Дж, а во втором таком же сосуде находится такое же количество молекул кислорода O_2. Давление азота больше давления кислорода на величину Δ*p* = 24 кПа. Считая оба газа идеальными, найти величину средней энергии $\langle E_O \rangle$ одной молекулы кислорода. *Ответ:* 2·10^{-20} Дж.

13.7. ΔN_1 и ΔN_2 – число молекул идеального газа со скоростями от v_1 до $v_1 + \Delta v$ и от v_2 до $v_2 + \Delta v$ соответственно. Найти величину отношения $\Delta N_1/\Delta N_2$, если v_1 – средняя квадратичная, а v_2 – наиболее вероятная скорость молекул этого газа, а Δv = 0,1 м/с.

Ответ: 0,9098

13.8. Метан, имеющий молярную массу μ=16 г/моль, можно считать идеальным газом. Найти температуру этого газа, если вероятность того, что его молекулы имеют величину скорости в пределах от v_1 до $v_1 + \Delta v$, где v_1 – наиболее вероятная скорость молекул, а $\Delta v = 0{,}1$ м/с, равна $P = 0{,}01\,\%$. R = 8,31 Дж/К·моль. *Ответ*: 663,5 К

13.9. Атмосфера планеты имела во всех точках температуру T_1 = 400 К. После того, как температура атмосферы увеличилась на ΔT = 100 К, давление атмосферы вблизи поверхности планеты (на высоте h = 0) уменьшилось в 1,24 раза. На какой высоте h над поверхностью планеты давление атмосферы уменьшилось в 1,2 раза? Ускорение свободного падения g = 10 м/с^2; молярная масса образующей атмосферу смеси газов μ = 30 г/моль; R = 8,31 Дж/К·моль.

Ответ: 1817 м

13.10. На высоте h = 500 м над поверхностью планеты плотность газа, образующего её атмосферу, составляет 95% от величины плотности газа вблизи поверхности планеты. Определить температуру атмосферы, считая её постоянной и одинаковой во всех точках. Ускорение свободного падения g = 12 м/с^2; молярная масса газа, который можно считать идеальным, μ = 20 г/моль; R = 8,31 Дж/К·моль. *Ответ*: 281,5 К

14. Частота столкновения молекул газа со стенкой. Средняя длина свободного пробега и число столкновений молекул газа.

14.1. Один моль идеального газа находится в сосуде, объём и температуру которого меняют так, что давление газа возрастает с ростом объёма по закону $p = \alpha \cdot \sqrt{V}$, где α = const. Во сколько раз изменится число соударений молекул газа с участком площади S = 1 см^2 на стенке сосуда за единицу времени, если давление газа возрастёт в 4 раза?

Ответ: в 2 раза.

14.2. Один моль идеального газа находится в сосуде, объём и температуру которого меняют так, что давление газа растёт с ростом его температуры по закону $p = \alpha \cdot T^{3/2}$, где α = const. Во сколько раз изменится число соударений молекул газа с участком площади S = 1 см^2 на стенке сосуда за Δt = 1 с, если температура газа возрастёт в 4 раза?

Ответ: возрастёт в 4 раза.

14.3. Идеальный газ совершает процесс, при котором его температура растёт с увеличением объёма по закону $T = \alpha V^3$, где α = const. Чему равна средняя длина свободного пробега молекул газа при температуре T_2 = 600 К, если при температуре T_1 = 300 К она равна λ_1 = 300 нм? *Ответ:* 378 нм.

14.4. Идеальный газ совершает процесс, при котором его давление уменьшается с увеличением объёма по закону $p = \alpha \cdot V^{-1/3}$, где α = const. Чему равна средняя длина свободного пробега молекул газа при температуре T_2 = 600 К, если при температуре T_1 = 300 К она равна λ_1 = 200 нм? *Ответ:* 565,6 нм.

14.5. В сосуде, заполненном идеальным газом, имеющем температуру t^o = 75°С, проделано маленькое отверстие с площадью S = 1 мм^2. Известно, что средняя длина свободного пробега молекул газа в сосуде равна λ = 1 мкм, эффективный диаметр молекулы d = 0,3 нм, а за секунду из отверстия в окружающий сосуд вакуум вылетает N = $4 \cdot 10^{20}$ молекул. Найти величину молярной массы этого газа. Универсальная газовая постоянная R = 8,31 Дж/К·моль.

Ответ: 18 г/моль.

14.6. Один моль идеального газа находится в сосуде, объём и температуру которого меняют так, что давление газа возрастает с ростом объёма по закону $p = \alpha V^2$, где α = const. Во сколько раз изменится число соударений молекул газа с участком площади S = 1 см^2 на стенке сосуда за одну секунду, если объём сосуда возрастёт в 4 раза?

Ответ: увеличится в 2 раза

14.7. Один моль идеального газа находится в сосуде, объём и температуру которого меняют так, что объём газа возрастает с ростом его давления по закону $V = \alpha p^3$, где α = const. Во

сколько раз изменится число соударений молекул газа с участком площади $S = 1$ см^2 на стенке сосуда за одну секунду, если объём сосуда возрастёт в 4 раза?

Ответ: уменьшится в 1,587 раз

14.8. Один моль идеального газа находится в сосуде, объём и температуру которого меняют так, что температура газа возрастает с ростом его давления по закону $T = \alpha p^6$, где α = const. Во сколько раз изменится число соударений молекул газа с участком площади $S = 1$ см^2 на стенке сосуда за одну секунду, если давление возрастёт в 4 раза?

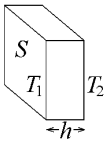
Ответ: уменьшится в 16 раз

14.9. Один моль идеального газа находится в сосуде, объём и температуру которого меняют так, что температура газа уменьшается с ростом его объёма по закону $T = \alpha/V^2$, где α = const. Во сколько раз изменится частота соударений молекул газа со стенкой, если давление газа возрастёт в 8 раз? *Ответ*: увеличится в 4 раза

14.10. В закрытом сосуде с объёмом $V = 100$ литров находится $N = 2{,}4\cdot10^{24}$ молекул углекислого газа, который можно считать идеальным газом. Масса этого газа $m = 176$ г. За промежуток времени $\Delta t = 3$ сек из маленького отверстия с площадью $S = 3$ мм^2 в стенке сосуда должно вылетать наружу $\Delta N = 2\cdot10^{22}$ молекул. Найти величину давления газа в сосуде.

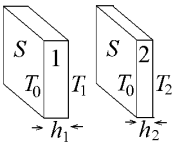
Ответ: 94,8 кПа

15. Явления переноса (теплопроводность и вязкость).



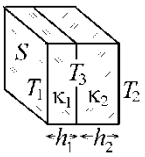
15.1. Кирпичная стена толщиной в два кирпича ($h = 50$ см) имеет площадь $S = 15$ м^2. Коэффициент теплопроводности кирпича к = 0,7 Вт/м·К. Какое количество теплоты переносится сквозь стену из отапливаемой комнаты на улицу за сутки? Температуру воздуха в комнате $t_1^o = 27^oC$ и на улице $t_2^o = -10^oC$ считать неизменными.

Ответ: 67,13 МДж.

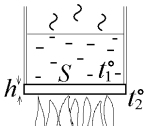


15.2. Два плоских слоя с одинаковой поперечной площадью S сделаны из разных металлов. Слой “1” с толщиной $h_1 = 4$ см – из стали, а слой “2” с толщиной $h_2 = 8$ см – из меди. Температура $T_0 = 300$ К по левую сторону этих слоёв одинакова. По их правую сторону температуры равны $T_1 = 450$ К и $T_2 = 400$ К. За 3 минуты через стальной слой переносится 5,2 МДж теплоты. За какое время через медный слой будет перенесено 19 МДж теплоты? Коэффициенты теплопроводности стали и меди равны $к_1 = 52$ Вт/м·К и $к_2 = 380$ Вт/м·К.

Ответ: 4,5 мин.

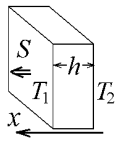


15.3. Два плотно прижатых друг к другу плоских слоя с поперечной площадью $S = 16$ м^2 изготовлены из разных материалов с коэффициентами теплопроводности $к_1 = 3$ Вт/м·К и $к_2 = 4$ Вт/м·К и имеют толщину $h_1 = 20$ см и $h_2 = 40$ см соответственно. Найти промежуток времени, за который через слои переносится количество теплоты, равное 360 кДж? Температуры слева и справа от слоёв неизменны и равны $T_1 = 300$ К и $T_2 = 360$ К. *Ответ:* 62,5 с.



15.4. Вода кипит в стальном сосуде при температуре $t_1^o = 100^oC$. Температура противоположной стороны плоского дна сосуда с площадью $S = 500$ см^2 равна $t_2^o = 100{,}3^oC$. Определить толщину h дна сосуда, если за две минуты из сосуда выкипает, превращаясь в пар, масса воды, равная $\Delta m = 8$ г. Удельная теплота парообразования воды $q = 2250$ кДж/кг, коэффициент теплопроводности стали к = 52 Вт/м·К.

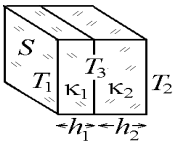
Ответ: 5,2 мм.

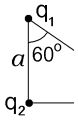


15.5. Поток тепла направлен вдоль оси x и одинаков во всех точках плоского слоя с поперечной площадью $S = 1$ м^2 с толщиной $h = 50$ см. Температуры по обе стороны слоя неизменны и равны $T_1 = 300$ К и $T_2 = 600$ К. Коэффициент теплопроводности материала этого слоя зависит от температуры T по закону $к = \alpha\cdot\sqrt{T/T_1}$, где α = 10 Вт/м·К. Какое количество теплоты будет перенесено через слой за одну минуту? *Ответ:* 438,8 кДж.

15.6. Бетонная стена здания толщиной 20 см за счет теплопроводности пропускала за сутки количество теплоты, равное 240 МДж. Какой должна быть толщина деревянной стены с той же поперечной площадью, чтобы она за неделю пропускала вдвое меньшее количество теплоты при условии, что разность температур по обе стороны бетонной и деревянной стен одинакова? Коэффициенты теплопроводности бетона и древесины равны $\kappa_Б$ = 1,7 Вт/м·К и $\kappa_Д$ = 0,15 Вт/м·К. *Ответ*: 24,7 см

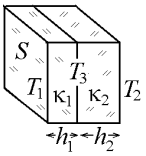
15.7. Две стены с одинаковой поперечной площадью S сделаны из разных материалов. Стена “1” толщиной h_1 = 25 см – из кирпича, а стена “2” толщиной h_2 = 20 см – из бетона. Температура T_0 = 300 К по одну сторону этих стен одинакова. По другую сторону стен температуры равны T_1 = 250 К и T_2 = 260 К. Через кирпичную стену за пять минут переносится 60 кДж теплоты. Какое количество теплоты переносится за две минуты через бетонную стену? Коэффициенты теплопроводности кирпича и бетона равны κ_1 = 0,8 Вт/м·К и κ_2 = 1,6 Вт/м·К соответственно.





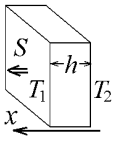
Ответ: 48 кДж

15.8. Стена с площадью S состоит из двух плотно прижатых плоских слоёв. Материалы этих слоёв имеют разные коэффициенты теплопроводности κ_1 = 4 Вт/м·К и κ_2 = 5 Вт/м·К. Температуры слева и справа от слоёв, а также в точке их соприкосновения, равны T_1 = 300 К, T_2 = 400 К и T_3 = 360 К соответственно. Чему равна толщина h_1 левого слоя, если толщина правого слоя h_2 = 30 см?

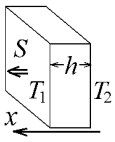


Ответ: 36 см

15.9. Поток тепла направлен вдоль оси x и одинаков во всех точках плоского слоя с толщиной h = 21 см. Температуры по обе стороны слоя неизменны и равны T_1 = 300 К и T_2 = 600 К. Коэффициент теплопроводности материала из которого изготовлен слой, зависит от температуры T по закону $\kappa = \alpha \cdot \left(T/T_1\right)^5$, где α = 10 Вт/м·К. Найти площадь S поперечного сечения слоя, если за одну минуту через это сечение переносится количество теплоты, равное 27 МДж. *Ответ*: 3 м^2



15.10. Поток тепла направлен вдоль оси x и одинаков во всех точках плоского слоя с поперечной площадью S = 16 м^2. Температуры по обе стороны слоя неизменны и равны T_1 = 300 К и T_2 = 600 К. Коэффициент теплопроводности материала этого слоя зависит от температуры T по закону $\kappa = \alpha \cdot \left(T_1/T\right)^6$, где α = 10 Вт/м·К. Через слой за один час переносится количество теплоты, равное 210 МДж. Найти толщину слоя h. *Ответ*: 16,2 см

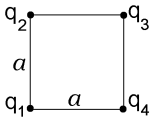


16. Закон Кулона. Напряжённость электростатического поля. Поток вектора напряжённости электростатического поля. Теорема Гаусса. Потенциал электростатического поля. Связь между напряжённостью электростатического поля и его потенциалом. Явление поляризованности диэлектрика. Вектор поляризованности. Электрическая ёмкость проводников. Энергия электрического поля.

16.1. Точечные заряды одного знака q_1 = 1 мкКл, q_2 = 2 мкКл и q_3 находятся в вершинах прямоугольного треугольника с углом 60° и с прилежащим катетом a = 1 м. Определить величину заряда q_3, если величина электрической силы, действующей на него со стороны двух других зарядов q_1 и q_2, равна F = 6 мН. Определить величину энергии заряда q_3.

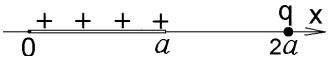
Ответ: 0,747 мкКл; 11,1 мВ.

16.2. Точечные заряды разного знака q_1, q_2, q_3 и q_4 находятся в вершинах квадрата со стороной a = = 2 м. Определить величину положительного заряда q_1, если модуль электрической силы, действующей на него со стороны трёх других зарядов q_2, q_3. и q_4., равен F = 0,2 мН. Найти потенциал, созданный зарядами q_2, q_3 и q_4 в точке, где находится заряд q_1. Учесть, что $q_2 = q_4$ = –2 мкКл, q_3 = +6 мкКл.



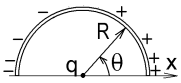
Ответ: 0,518 мкКл, 1092 В.

16.3. Тонкий стержень длины a направлен вдоль оси x. По стержню равномерно с линейной плотностью ρ = 0,2 мкКл/м распределен положительный электрический заряд. На расстоянии a от правого конца стержня на оси x находится точечный заряд q = 0,5 мкКл того же знака (см. рисунок). Заряд на стержне действует на заряд q с силой F = 0,9 Н. Найти длину a стержня, а также энергию заряда q. *Ответ*: 0,5 м, 0,624 Дж.

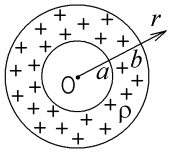


16.4. Положительный точечный заряд q = 7 мкКл находится в центре тонкого полукольца, по которому неравномерно, с линейной плотностью $\rho = \rho_0 \cdot \cos\theta$, где ρ_0 = 1,77 мкКл/м, распределен другой электрический заряд (угол θ указан на рисунке). Найти радиус R полукольца, если заряд на нём действует на заряд q с силой, величина проекции которой на ось x равна $|F_x|$ = 0,5 Н.

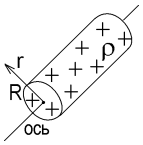
Ответ: 0,35 м.



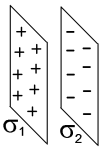
16.5. Заряд с плотностью ρ =3,75 мКл/м^3 равномерно распределён по шаровому слою, ограниченному двумя сферическими поверхностями с общим центром О и с радиусами a и b. Чему равен радиус a, если b = = 9 м, а на расстоянии r = 5 м от центра О величина вектора электрической индукции поля, созданного этим зарядом, равна D = 6,2 мКл/м^2? *Ответ*: 1 м.



16.6. Очень длинный цилиндр радиуса R = 4 см равномерно с плотностью ρ = const заряжен по объёму. На расстоянии r_1 = 3 см от оси цилиндра напряжённость электрического поля, имеет величину E_1 = 24 В/м, а на расстоянии $r_2 > r_1$ от оси E_2 = 16 В/м. Найти расстояние r_2. *Ответ*: 8 см.



16.7. По двум параллельным бесконечным плоскостям равномерно распределены электрические заряды с поверхностными плотностями σ_1 = +8 мкКл/м^2 и σ_2 = −4 мкКл/м^2 разного знака. Во сколько раз величина вектора электрической индукции $\boldsymbol{D}$ между заряженными плоскостями больше величины вектора $\boldsymbol{D}$ слева от обеих плоскостей? *Ответ*: в 3 раза.



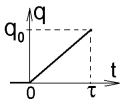
16.8. Потенциал электростатического поля зависит от координат по закону $\varphi = \alpha \cdot xyz$, где α = const. Величина напряженности такого поля в точке с координатами $x_1 = y_1 = z_1$ = 1 м равна E_1 = 30 В/м. Найти величину напряжённости этого поля в точке с координатами x_2 = 1 м, y_2 = 2 м, z_2 = 3 м. *Ответ*: 121 В/м.

16.9. Заряженный плоский конденсатор, имеющий энергию W = 0,004 Дж, заполнен диэлектриком и отключен от источника напряжения. Чтобы вынуть диэлектрик, надо совершить работу A = 0,003 Дж. Чему равна диэлектрическая проницаемость диэлектрика? *Ответ*: 1,75.

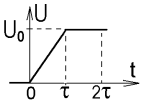
16.10. Расстояние между горизонтально расположенными пластинами плоского воздушного конденсатора d = 1 см. Между пластин неподвижно висит заряженная пылинка с массой m = 0,05 г. Ёмкость конденсатора C = 0,03 мкФ, заряд на его пластинах q = 6 мкКл. Найти величину заряда пылинки. Принять g = 10 м/с^2. *Ответ*: 25 нКл.

17. Электрический ток. Электродвижущая сила. Законы Ома и Джоуля-Ленца. Правила Кирхгофа.

17.1. В начальный момент t = 0 по проводнику с сопротивлением R = 8 Ом начинает течь ток, причем величина протекшего через поперечное сечение проводника заряда q линейно растёт со временем t (см.рисунок). Найти величину заряда q_0 протекшего к моменту времени τ = 3 с, если за промежуток времени $0 \le t \le \tau$ в проводнике выделится джоулево тепло Q = 24 Дж? *Ответ*: 3 Кл.



17.2. Падение напряжения на участке проводника с сопротивлением R = 24 Ом вначале линейно возрастает со временем t, а потом постоянно и равно U_0 = 12 В (см. рисунок, где τ = 1 мин). Какое джоулево тепло выделится в проводнике за промежуток времени $0 \le t \le 2\tau$? *Ответ*: 480 Дж.



17.3. К клеммам источника постоянного тока подключена нагрузка с сопротивлением $R = 30$ Ом. За какой промежуток времени Δt в нагрузке выделится джоулево тепло $Q = 15$ Дж, если за это же время по цепи протечёт заряд $q = 5$ Кл?

Ответ: 50 с.

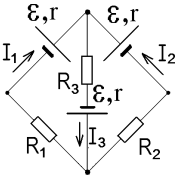
17.4. Найти удельную проводимость σ однородного материала, из которого изготовлен цилиндрический проводник радиуса $r_0 = 5$ мм, если во всех точках проводника напряженность стороннего электрического поля равна $E = 0{,}004$ В/м, а по проводнику течет ток $I = 10$ А.

Ответ: $3{,}18 \cdot 10^7$ (Ом·м)$^{-1}$.

17.5. Однородный проводник с удельным сопротивлением $\rho = 5 \cdot 10^{-6}$ Ом·м имеет поперечное сечение в форме квадрата со стороной $a = 5$ мм. Величина напряженности квазистационарного стороннего электрического поля, направленного вдоль проводника, меняется со временем t по линейному закону: $E = At + B$, где $A = 5$ В/м·с, $B = 3$ В/м. Какой заряд протечет через поперечное сечение проводника за промежуток времени $0 \le t \le 2$ с?

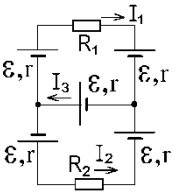
Ответ: 80 Кл.

17.6. Три одинаковых источника тока с внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом каждый включены в разветвленную цепь, изображённую на рисунке справа. Найти величину ЭДС ε каждого из источников тока, если $R_1 = 1$ Ом; $R_2 = 2$ Ом; $R_3 = 3$ Ом; $I_3 = 5$ А. *Ответ*: 13 В.



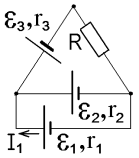
17.7. Пять одинаковых источников тока с ЭДС $\varepsilon = 11$ В каждый включены в разветвленную цепь, показанную на рисунке слева. Найти величину внутреннего сопротивления r источника тока, если $R_1 = 2$ Ом; $R_2 = 6$ Ом; $I_1 = 1$ А.

Ответ: 1,5 Ом



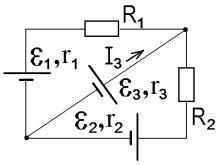
17.8. Внутренние сопротивления всех источников тока, приведенных на рисунке справа одинаковы: $r_1 = r_2 = r_3 = 1$ Ом. Найти величину тока I_1, текущего через источник ε_1, если известно, что $R = 5$ Ом; $\varepsilon_1 = 8$ В; $\varepsilon_2 = 4$ В; $\varepsilon_3 = 32$ В.

Ответ: 0 А.



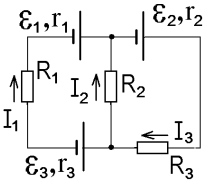
17.9. Внутренние сопротивления всех источников тока, приведенных на рисунке слева одинаковы:

$r_1 = r_2 = r_3 = 1$ Ом. Найти величину ЭДС ε_3, , если известно, что $R_1 = 3$ Ом; $R_2 = 4$ Ом; $\varepsilon_1 = 2$ В; $\varepsilon_2 = 10$ В; $I_3 = 2$ А. *Ответ*: 12 В.



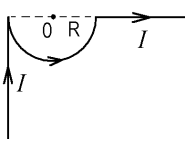
17.10. Внутренние сопротивления всех источников тока, приведенных на рисунке справа одинаковы: $r_1 = r_2 = r_3 = 1$ Ом. Найти величину тока I_2, текущего через сопротивление R_2 , если известно, что
$R_1 = R_3 = 3$ Ом; $R_2 = 2$ Ом; $\varepsilon_1 = 12$ В; $\varepsilon_2 = 14$ В; $\varepsilon_3 = 4$ В.

Ответ: 1 А

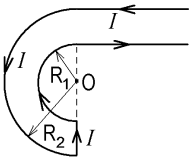


18. Расчет магнитных полей с помощью закона Био-Савара и с помощью теоремы о циркуляции. Силы Лоренца и Ампера. Движение заряженной частицы в стационарных электрическом и магнитном полях. Силы, действующие на электрический и магнитный диполь (контур с током).

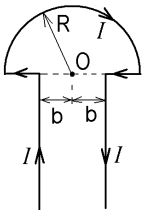
18.1. По бесконечному проводнику, согнутому, как показано на рисунке, течет ток $I = 3$ А. Найти величину индукции магнитного поля, создаваемого этим током в центре 0 дуги с радиусом $R = 20$ см. *Ответ*: 3,21 мкТл.



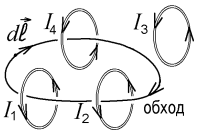
18.2. По бесконечному проводнику, согнутому в виде двух параллельных прямых линий, двух полуокружностей с радиусами R_1 = 50 см и R_2 = 1 м и соединяющего их отрезка, как показано на рисунке, течет ток I = 5 А. Найти величину напряженности магнитного поля, создаваемого этим током в центре О полуокружностей. *Ответ*: 1,648 А/м.



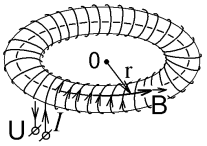
18.3. По замкнутому проводнику, согнутому в виде дуги с радиусом R = 20 см и соединяющей её концы хорды (см. рисунок), течет ток I = 3 А. Найти величину напряженности магнитного поля в центре О дуги, если угол α = 90°. *Ответ*: 8,01 А/м.



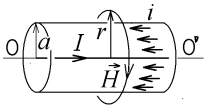
18.4. Замкнутый контур проходит по оси нескольких замкнутых круговых проводников с токами I_1= 1 А, I_2= 2 А, I_3= 3 А и I_4 (см. рисунок). Циркуляция вектора индукции магнитного поля по этому контуру отрицательна и равна $\oint \vec{B}d\vec{l}$ = –2 мкТл·м. Найти величину тока I_4. *Ответ*: 1,41 А.



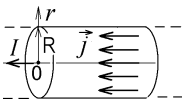
18.5. Провод с сопротивлением R = 30 Ом равномерно навит на тороидальный сердечник из материала с магнитной проницаемостью μ = 25. Ток I, текущий по виткам получившейся катушки, имеющей N = 600 витков, создаёт в сердечнике на удалении r = 9 см от центра катушки О магнитное поле с индукцией B = 0,05 Тл. Чему равно напряжение U, приложенное к концам провода? *Ответ*: 45 В.



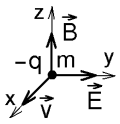
18.6. По осевому тонкому проводнику-жиле длинного прямого коаксиального кабеля течёт ток I = 3 А. По второму тонкому цилиндрическому проводнику с радиусом a = 4 мм протекает встречный ток с поверхностной плотностью i = 100 А/м. На каком расстоянии r от оси кабеля OO' напряженность магнитного поля равна H = 3 А/м? *Ответ*: 2,58 см



18.7. Ток I = 1 А протекает по длинному цилиндрическому проводнику радиуса R = 1 см и имеет однородную плотность $\vec{j} = \text{const}$. Чему равна величина индукции $\vec{B}$ магнитного поля на расстоянии r = 5 мм от оси проводника? *Ответ*: 10 мкТл.

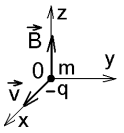


18.8. Отрицательно заряженная частица с массой m = 0,4 мг двигалась с постоянной скоростью v = 300 м/с вдоль оси x в электрическом поле с напряженностью E = 600 В/м, направленной вдоль оси y, и в магнитном поле с индукцией B, направленной вдоль оси z. После выключения электрического поля частица продолжила вращение по окружности радиуса R = 2 м. Чему равна величина заряда частицы? *Ответ*: 30 мкКл.



18.9. Ускоренная разностью потенциалов Δφ = 18 кВ заряженная частица движется по окружности радиуса R = 25 мм в однородном постоянном магнитном поле с индукцией B = 0,3 Тл. Чему равна величина q/m удельного заряда частицы? *Ответ*: $6{,}4\cdot10^8$ Кл/кг.

18.10. Частица с удельным зарядом q/m= $-4\cdot10^9$ Кл/кг была ускорена разностью потенциалов Δφ и оказалась в магнитном поле с индукцией B = 5 мТл, направленной вдоль оси z. В начальный момент t_0= 0 частица находилась в точке 0 и двигалась со скоростью **v**, направленной вдоль оси x (см. рисунок). В дальнейшем наибольшее удаление частицы от точки 0 равно 20 см. Чему равна величина ускоряющей разности потенциалов Δφ? *Ответ*: 500 В.

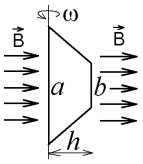


Занятие 19

Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея. Явления самоиндукции и

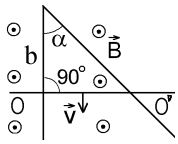
взаимной индукции. Вычисление индуктивности. Энергия магнитного поля.

19.1. Замкнутый проводящий контур из тонкого провода с сопротивлением R = 9 Ом имеет вид равнобедренной трапеции с основаниями a = 12 см, b = 6 см и с высотой h = 8 см. Контур вращается в магнитном поле с индукцией B = 0,2 Тл вокруг оси, проходящей через бо̀льшее основание трапеции и перпендикулярной к линиям $\vec{B}$. Найти величину угловой скорости вращения ω, если максимальная величина индукционного тока в контуре I_{max} = 4 мА. *Ответ:* 25 рад/с.



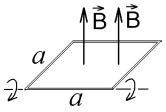
19.2. Замкнутый проводящий контур образован двумя прямыми проводниками, согнутыми под углом α = 45° и проводником-перемычкой, скользящим со скоростью v = 0,8 м/с (см. рисунок). Перпендикулярно к его плоскости создано магнитное поле. Единица длины каждого из проводников, образующих прямоугольный треугольник, имеет сопротивление R_1 = 2 Ом/м. Чему равна величина индукции магнитного поля B, если в контуре создаётся индукционный ток I = 0,2 А?

Ответ: 1,71 Тл.

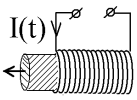


19.3. Угол между линиями индукции магнитного поля B = 0,2 Тл и нормалью к плоскости не имеющей сопротивления проводящей П-образной рамки равен α = 30°. По рамке без трения со скоростью v = 9 м/с скользит проводящая перемычка с сопротивлением R = 20 Ом. В ней возникает индукционный ток I =60 мА. Найти длину перемычки l, а также величину силы, с которой тянут перемычку. *Ответ:* 0,77 м, 9,24 мН.

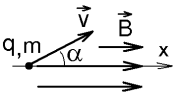
19.4. Вначале замкнутая проводящая рамка, сделанная в виде квадрата из четырёх одинаковых тонких проводников с сопротивлением R = 3 Ом и длиной a = = 15 см каждый, располагалась в магнитном поле так, что линии его индукции $\vec{B}$ были перпендикулярны плоскости рамки. При повороте рамки на угол 180° вокруг одной из её сторон, по рамке протёк заряд q = 6 мКл. Найти величину индукции магнитного поля B. *Ответ:* 1,6 Тл.



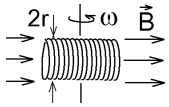
19.5. Ферромагнитный сердечник извлекают из катушки таким образом, что её индуктивность уменьшается со временем t по закону $L(t) = \alpha/t$, где α = 4 Гн·с. При этом ток, текущий по катушке, возрастает со временем: $I(t) = \beta \cdot t^3$, где β = 3 А/с^3. Найти величину индуктивности катушки в тот момент времени, когда возникающая в ней ЭДС самоиндукции ε = 8 В. *Ответ:* 12 Гн.



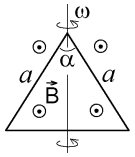
19.6. Виток из тонкого провода с радиусом r = 5 см вращается с угловой скоростью ω = 20 рад/с в магнитном поле с индукцией B = 2 Тл. Чему равна величина сопротивления R витка, если ось вращения перпендикулярна к линиям индукции, а в витке создаётся индукционный ток с максимальной величиной I_{max} = 4 мА? *Ответ*: 78,5 Ом.



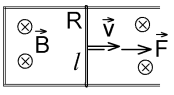
19.7. Короткозамкнутая катушка из N = 20 витков вращается с угловой скоростью ω = 15 рад/с в магнитном поле с индукцией B = 4 мТл. Ось вращения перпендикулярна как к линиям индукции, так и к оси катушки. Чему равен радиус витков катушки, если максимальная величина ЭДС электромагнитной индукции в ней ε_{max} = 4 мВ? *Ответ*: 3,26 см.

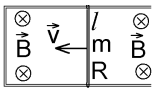


19.8. В магнитном поле с индукцией B = 0,25 Тл вращается замкнутый проводящий контур с сопротивлением R = 6 Ом имеющий вид равнобедренного треугольника со стороной a = 8 см и с углом α = 30° (см. рисунок). Ось вращения совпадает с биссектрисой угла α и перпендикулярна к линиям индукции $\vec{B}$. Индукционный ток в контуре имеет амплитуду I_{max} = 5 мА. Найти величину угловой скорости вращения ω. *Ответ*: 75 рад/с.



28.9. Линии индукции магнитного поля с величиной B = 2 Тл перпендикулярны плоскости П-образной проводящей рамки, не имеющей сопротивления. По рамке с постоянной скоростью без трения скользит проводящая перемычка длины l = 60 см с сопротивлением R = 8 Ом. Для этого перемычку тянут с силой F = 0,9 Н. Чему равна скорость перемычки? *Ответ*: 5 м/с.

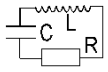




19.10. Магнитное поле с индукцией B = 1,5 Тл приложено к П-образной проводящей рамке, не имеющей сопротивления. Линии индукции перпендикулярны к плоскости рамки. По рамке без трения скользит проводящая перемычка длины l = 40 см с сопротивлением R = 15 Ом. Чему равна масса m перемычки, если в тот момент, когда её скорость равна v = 3 м/с, она движется с ускорением a = 4 м/с^2?

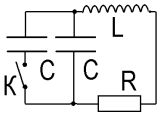
Ответ: 18 г.

20. Собственные электрические колебания в цепях. Электрический колебательный контур и его параметры. Вынужденные электрические колебания



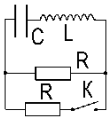
20.1. Напряжение на конденсаторе в колебательном контуре меняется со временем t по закону $U_C=U_0\cdot\exp(-at)\cos(bt)$, где U_0 = const; $a = 10^4$ с$^{-1}$; $b = 3\cdot10^4$ рад/с. Ёмкость конденсатора C = 4 мкФ. Найти сопротивление R контура.

Ответ: 5 Ом.

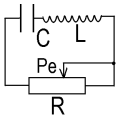


20.2. В колебательном контуре, изображённом на рисунке, замкнули ключ К. Во сколько раз уменьшился при этом период собственных электрических колебаний? L= 100 Гн; C= 50 мкФ; R= 1 кОм.

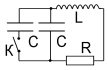
Ответ: в 1,53 раза.



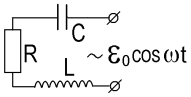
20.3. В колебательном контуре, изображённом на рисунке, замкнули ключ К. При этом логарифмический декремент затухания собственных электрических колебаний увеличился в два раза. Чему равна индуктивность L контура? C= 0,8 мкФ; R= 5 кОм. *Ответ:* 1 Гн.



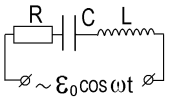
20.4. Движок реостата “Ре” перемещают слева направо, увеличивая сопротивление R. При нулевом сопротивлении, $R=R_1$ = 0 Ом, циклическая частота собственных электрических колебаний в контуре была равна ω_1. При сопротивлении $R=R_2$ = 15 кОм частота колебаний уменьшилась в два раза: $\omega_2 = \omega_1/2$. При какой величине сопротивления реостата R_3 колебания прекратятся? *Ответ:* 17,3 кОм.



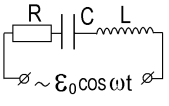
20.5. В колебательном контуре заряд конденсатора меняется со временем t по закону $q=q_0\cdot\exp(-bt)\sin(at)$, где q_0, a, b – постоянные. Найти величину отношения b/a, если R = 2 кОм; L = 30 Гн; C = 6 мкФ. *Ответ*: 0,5.



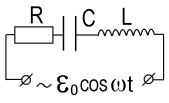
20.6. В колебательный контур включен источник внешней ЭДС с амплитудой ε_0 и с циклической частотой ω. Наибольшая величина амплитуды вынужденных колебаний напряжения на конденсаторе наблюдается при $\omega = \omega_1$ = 1000 с$^{-1}$. При каком значении частоты ω достигается наибольшая величина амплитуды вынужденных колебаний тока в цепи? Активное сопротивление контура R = 8 кОм, его индуктивность L = 2 Гн. *Ответ*: 3000 с$^{-1}$.



20.7. Амплитуда тока в электрическом колебательном контуре оказывается одинаковой при двух значениях циклической частоты внешней ЭДС: ω_1=3000 рад/с и ω_2=4000 рад/с. Чему равна ёмкость C контура, если его индуктивность L = 1 Гн ? *Ответ*: 83,3 нФ.

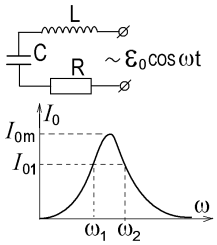


20.8. В цепи, изображённой на рисунке, максимальная амплитуда тока наблюдается при циклической частоте внешней ЭДС $\omega = \omega_1$=2000 рад/с, а при частоте $\omega = \omega_2$=3000 рад/с амплитуда тока уменьшается в три раза. Чему равно сопротивление R контура, если C = 2 мкФ ? *Ответ*: 49,1 Ом.



20.9. В цепи, изображённой на рисунке, максимальная амплитуда тока наблюдается при циклической частоте внешней ЭДС $\omega = \omega_1$=4000 рад/с, а при частоте $\omega = \omega_2$=5000 рад/с амплитуда тока уменьшается в два раза. Чему равна ёмкость C контура, если R = 15 кОм ? *Ответ*: 4,33 нФ.

20.10. На рисунке представлен график зависимости амплитуды тока I_0 от циклической частоты ω внешней ЭДС. Эта амплитуда имеет одинаковую величину $I_{01} = 3I_{0m}/5$ при двух значениях ω_1 и ω_2 частоты, где I_{0m} – максимальное возможное значение амплитуды тока при вынужденных колебаниях. Найти величину разности частот $\omega_2 - \omega_1$. Параметры контура: $\beta = R/2L = \omega_0 = 1/\sqrt{LC} =$ 9000 с$^{-1}$. *Ответ*: 24000 с$^{-1}$.

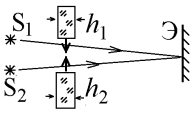


21. Электромагнитные волны. Интерференция световых (электромагнитных) волн. Интерференционные схемы. Дифракция света (электромагнитных волн) на узкой щели и на круглом отверстии. Дифракционная решетка.

21.1. Два когерентных источника света находятся на малом расстоянии $2d$ = 1,5 мм друг от друга и испускают световые волны с частотой $\nu = 5{,}4\cdot10^{14}$ Гц в одной фазе. Ширина центральной полосы интерференционной картины, созданной на удалённом на большое расстояние экране, равна 0,5 мм. Найти расстояние l от щелей до экрана.

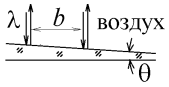
Ответ: 1,35 м.

21.2. На пути лучей в интерференционном опыте Юнга помещают тонкие прозрачные пленки с одинаковым показателем преломления n = 1,7. При этом интерференционная картина на экране Э сдвигается на N =35 полос. Какой может быть толщина h_2 нижней пленки, если толщина верхней пленки h_1 = 0,1 мм, а когерентные источники S_1 и S_2 испускают свет длиной волны λ = 600 нм?



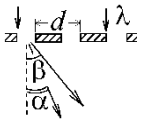
Ответ: 0,13 мм или 0,07 мм.

21.3. Две плоские поверхности тонкой пленки образуют очень малый угол $\theta = 8\cdot10^{-6}$ рад (см.рисунок). При нормальном отражении от пленки монохроматического света с длиной волны λ = 560 нм на поверхности пленки видны интерференционные полосы. Расстояние между центрами соседних полос равно b = 25 мм. Определить величину показателя преломления n пленки. *Ответ*: 1,4

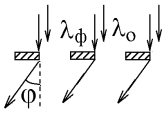


21.4. Плоско-выпуклая стеклянная линза с радиусом сферической поверхности R= 126 см освещается падающей сверху нормально плоской световой волной с длиной волны λ= 560 нм. Четвертое светлое кольцо Ньютона имеет радиус r_4 = 1,4 мм. Определить показатель преломления n жидкости, находящейся между линзой и стеклянной опорой. *Ответ*: 1,26.

21.5. На дифракционную решетку падает нормально плоская монохроматическая световая волна с длиной λ. Два **соседних** главных интерференционных максимума света наблюдаются за решеткой под углами α= arcsin(0,6) и β = arcsin(0,8) к направлению падения света (см.рисунок). Найти порядок главного максимума, наблюдаемого под углом α. *Ответ*: m = 3.

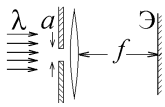


21.6. Лучи фиолетового и оранжевого света с длинами волн $\lambda_ф$= 450 нм и $\lambda_о$= 600 нм падают нормально на дифракционную решетку. Какое **наибольшее** число щелей (штрихов) должно приходиться на один сантиметр ширины решетки, чтобы главные интерференционные максимумы данных цветов наблюдались за решеткой под одним и тем же углом φ = 30° к направлению падающего света?



Ответ: 2778.

21.7. Плоская световая волна с λ = 480 нм падает нормально на узкую щель ширины a = 1,6 мм в непрозрачной преграде. За щелью установлена тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием f = 2 м, оптическая ось которой перпендикулярна к преграде (см.рисунок). В фокальной плоскости линзы размещен экран “Э”. Найти ширину дифракционного изображения щели на экране.



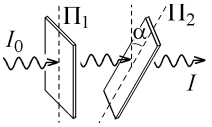
Ответ: 1,2 мм.

21.8. За щелью ширины a = 0,4 мм, сделанной в непрозрачной плоской преграде, установлена тонкая собирающая линза, а в ее фокальной плоскости – экран "Э". Чему равно фокусное расстояние f линзы, если при нормальном падении света с длиной волны λ = 600 нм

наименьшее расстояние между соседними минимумами освещенности на экране $\Delta x = 3{,}6$ мм?

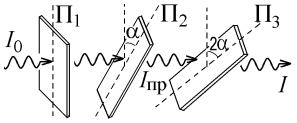
Ответ: 2,4 м.

21.9. Естественный свет с интенсивностью I_0 проходит через систему из двух поляризаторов, у которых оси пропускания $П_1$ и $П_2$ повернуты на угол $\alpha = 15^o$. Чему равна при этом интенсивность I света, вышедшего из системы? Если угол α между осями $П_1$ и $П_2$ увеличить в 2 раза то интенсивность света, вышедшего из системы окажется равной $I' = 4$ Вт/м^2.



Ответ: 4,976 Вт/м^2.

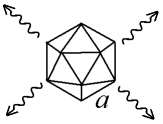
21.10. Естественный свет с интенсивностью I_0 проходит через систему из трёх поляризаторов, оси пропускания которых повёрнуты на углы α и 2α (см. рисунок). Из последнего поляризатора $П_3$ выходит свет с интенсивностью $I = 2$ Вт/м^2, а после поляризатора $П_2$ интенсивность света равна $I_{пр} = 3$ Вт/м^2. Найти интенсивность I_0 падающего света.



Ответ: 9 Вт/м^2.

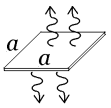
22. Законы теплового излучения. Внешний фотоэффект. Эффект Комптона. Давление света.

22.1. Икосаэдр – правильный многогранник, имеющий двадцать одинаковых граней в виде равносторонних треугольников – изготовлен из материала, который можно считать абсолютно черным телом. Температура икосаэдра поддерживается постоянной и равной 227°С. Чему равна величина ребра a икосаэдра, если каждый час он излучает в окружающий вакуум тепловую энергию $W = 4$ МДж?



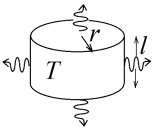
Ответ: 0,19 м.

22.2. Тонкая квадратная пластинка находится в вакууме и была нагрета до температуры $T = 1000$ К. Верхнюю плоскость пластинки нагрели до температуры $T_1 = 1050$ К. До какой температуры T_2 надо нагреть нижнюю плоскость пластинки, чтобы мощность испускаемого всей пластинкой теплового излучения увеличилась в полтора раза?



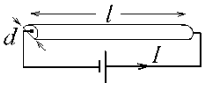
Ответ: 1156 К.

22.3. Цилиндр длиной $l = 20$ см излучает как тело с коэффициентом поглощения $A = 0{,}6$. Радиус цилиндра $r = 20$ см, а его температура поддерживается постоянной. За какое время Δt цилиндр испустит тепловую энергию $W = 4$ МДж, если максимум его спектральной излучательной способности приходится на длину волны λ_m=1,61 мкм?



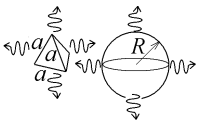
Ответ: 22,3 с.

22.4. Постоянный ток $I = 0{,}3$ А протекает по прямому тонкому длинному проводнику, имеющему вид половины тонкого цилиндра, разрезанного по диаметру, равному $d = 1{,}2$ мм, и нагревает его до температуры $t^o = 727^o$С. Найти длину l этого проводника, если его материал имеет коэффициент поглощения $A = 0{,}7$, а сопротивление проводника при данной температуре равно $R = 6$ кОм.



Ответ: 4,41 м.

22.5. Правильный тетраэдр и шар изготовлены из материала, который можно считать абсолютно черным телом. Рёбра тетраэдра a равны радиусу шара. Температура тетраэдра в два раза больше температуры шара. Во сколько раз мощность теплового излучения, испускаемого тетраэдром больше тепловой мощности, испускаемой шаром?



Ответ: в 2,205 раз.

22.6. Найти работу выхода (в эВ) для металла, из которого фотоны с импульсами $p = 4\cdot10^{-27}$ кг·м/с выбивают электроны, вылетающие с максимальной скоростью $v = 9\cdot10^5$ м/с.

Ответ: 5,20 эВ.

22.7. Максимальная кинетическая энергия электронов, выбиваемых фотонами с частотой $\nu_1 = 6\cdot10^{15}$ Гц из металла с работой выхода $A = 4$ эВ, в 3 раза больше максимальной кинетической энергии электронов, выбиваемых из того же металла фотонами с другой частотой ν_2. Чему равна частота ν_2?

Ответ: $2{,}64\cdot10^{15}$ Гц.

22.8. Фотоны с импульсами $p_1 = 3\cdot10^{-27}$ кг·м/с и с импульсами p_2 выбивают электроны из металла с работой выхода $A = 3$ эВ. В первом случае максимальная кинетическая энергия выбитых электронов в 4 раза меньше, чем во втором. Найти отношение импульсов p_2/p_1.

Ответ: 2,4.

22.9. Максимальная скорость вылета электронов, выбиваемых из металла с работой выхода A = 4 эВ фотонами с энергией E_1 в n = 2,5 раза меньше максимальной скорости вылета электронов, выбиваемых из того же металла фотонами с другой энергией E_2 = 36 эВ. Чему равна энергия фотона E_1? *Ответ*: 9,12 эВ.

22.10. Фотоны с энергией 3,9 эВ выбивали из металла с работой выхода 2,6 эВ электроны. Длину волны фотонов уменьшили в 6 раз. Во сколько раз увеличилась максимальная скорость выбиваемых электронов? *Ответ*: в 4 раза.

23. Волны де Бройля. Соотношения неопределённостей. Волновая функция. Уравнение Шрёдингера. Движение микрочастиц в потенциальных полях.

23.1. Нерелятивистский электрон имел кинетическую энергию $E_к$ = 36 эВ. Величина этой энергии увеличилась на $\Delta E_к$ = 64 эВ. Во сколько раз изменилась при этом длина волны де Бройля электрона? *Ответ*: уменьшилась в 1,667 раз.

23.2. Покоившаяся частица с зарядом $q = 1{,}3\cdot10^{-16}$ Кл начинает ускоряться в постоянном электрическом поле. Чему равна величина напряженности E этого поля, если спустя промежуток времени t = 3 с после начала ускорения длина волны де Бройля частицы станет равной $\lambda_Б = 4\cdot10^{-20}$ м? *Ответ*: 42,5 В/м.

23.3. Фотоны с импульсом $p = 4\cdot10^{-27}$ кг·м/с выбивают из металла электроны, наименьшая возможная длина волны де Бройля которых равна $\lambda_Б$ = 0,51 нм. Чему равна величина работы выхода A электрона из этого металла (в эВ)?

Ответ: 1,70 эВ.

23.4. Состояние микрочастицы, совершающей одномерное движение, описывается волновой функцией $\psi = \begin{cases} 0 \text{ при } x < 0; \\ A\sqrt{x}\cdot\exp(-\alpha x) \text{ при } x \ge 0, \end{cases}$, где $A = 2\alpha$, $\alpha = 2\cdot10^9$ м$^{-1}$. Чему равна координата x точки, в которой плотность вероятности обнаружения частицы dP/dx максимальна?

Ответ: 0,25 нм

23.5. Волновая функция микрочастицы, зависит от единственной координаты x и имеет вид $\psi = \begin{cases} A\cdot\exp(-\alpha x) \text{ при } x \ge 0, \\ A\cdot\exp(+\alpha x) \text{ при } x < 0, \end{cases}$ где $A = 4\cdot10^5$ м$^{-1/2}$. Чему равна постоянная величина α (в м$^{-1}$)?

Ответ: $1{,}6\cdot10^{11}$ м$^{-1}$.

23.6. Вначале состояние микрочастицы с массой $m = 4\cdot10^{-29}$ кг описывалось волновой функцией $\psi_1 = A_1\cdot\sin(\alpha x)\cdot\exp(-\beta y)$, а затем она поглотила фотон с энергией $E_ф$ =5 эВ и перешла в новое состояние, которое описывается волновой функцией $\psi_2 = A_2\cdot\sin(\alpha x)$, где x, y – координаты (x, $y \ge 0$), A_1, A_2 – постоянные нормировочные множители, $\alpha = 6\cdot10^{10}$ м$^{-1}$. Принимая постоянную Планка равной $\hbar = 10^{-34}$ Дж·с и считая потенциальную энергию микрочастицы равной нулю, найти величину постоянной β (в м$^{-1}$). *Ответ*: $8\cdot10^{10}$ м$^{-1}$.

23.7. Первоначально состояние микрочастицы описывалось волновой функцией $\psi = A\cdot\sin(\alpha x)\cdot\cos(\beta y)\cdot\exp(-\gamma z)$, а затем она перешла в состояние с волновой функцией $\psi' = A'\cdot\sin(\alpha' x)\cdot\cos(\beta y)\cdot\exp(-\gamma z)$, где x, y, z – координаты (x, y, $z \ge 0$), A, A' – постоянные нормировочные множители, $\alpha = 5\cdot10^{10}$ м$^{-1}$, $\beta = 4\cdot10^{10}$ м$^{-1}$, $\gamma = 3\cdot10^{10}$ м$^{-1}$. Величина энергии частицы при таком переходе увеличилась в 4 раза. Во сколько раз новая постоянная α' больше постоянной α (потенциальную энергию микрочастицы принять равной нулю)?

Ответ: в 2,2 раз.

23.8. Известно, что первый одномерный квантовый гармонический осциллятор переходит из основного в третье возбужденное состояние, поглощая фотон с длиной волны λ_1 = 560 нм, а второй одномерный квантовый гармонический осциллятор переходит из основного в

четвертое возбужденное состояние, поглощая фотон с длиной волны $\lambda_2 = \lambda_1+\Delta\lambda$. Чему равна величина $\Delta\lambda$ (в нм), если известно, что энергия первого осциллятора в третьем возбужденном состоянии в три раза больше энергии второго осциллятора в четвертом возбужденном состоянии? *Ответ*: 1060 нм.

23.9. Поглотив фотон с длиной волны λ = 180 нм, микрочастица, находящаяся в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечными стенками, перешла из второго возбужденного в четвертое возбужденное состояние. Чему равна энергия микрочастицы (в эВ) в основном состоянии? *Ответ*: 0,431 эВ.

23.10. Испустив фотон с импульсом $p = 6{,}4\cdot10^{-27}$ кг·м/с, микрочастица, находящаяся в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечными стенками, перешла из четвертого возбужденного во второе возбужденное состояние. Чему стала равной энергия микрочастицы (в эВ)? *Ответ*: 6,75 эВ.

24. Атом водорода в квантовой механике. Сложные атомы.

24.1. Электрон в одноэлектронном ионе находится на боровской орбите с радиусом r_n = 0,07963 нм. Заряд ядра иона равен +6*e*. Чему равен номер *n* данной орбиты?

Ответ: 3.

24.2. В боровском одноэлектронном атоме электрон переходит с одной боровской орбиты на другую, радиус которой в 36/25 раз меньше радиуса первой орбиты. Во сколько раз при этом уменьшится величина момента импульса электрона?

Ответ: в 1,2 раза.

24.3. Электрон в атоме водорода перешел с 1-й на 6-ю боровскую орбиту, а затем, испустив фотон с **минимальной возможной** частотой, оказался в возбужденном состоянии. Фотон с какой циклической частотой ω, соответствующей спектральной серии Лаймана, испускает затем такой возбужденный атом? *Ответ*: $1{,}982\cdot10^{16}$ с$^{-1}$.

24.4. Электрон в атоме водорода перешел с 1-й на 5-ю боровскую орбиту, а потом совершил второй переход, испустив фотон с **максимальной возможной** длиной волны λ_1. Затем электрон совершает третий переход, испуская второй фотон с длиной волны λ_2, соответствующий спектральной серии Бальмера. Найти отношение λ_1/λ_2 длин волн испущенных фотонов.

Ответ: 8,333.

24.5. Известно, что оболочка многоэлектронного атома полностью заполнена, а наибольшая величина орбитального магнитного момента электрона из этой оболочки равна $p_{m\ max}$= $3{,}21261\cdot10^{-23}$ А·м^2. Сколько электронов заполняют эту оболочку?

Ответ: 32.

24.6. Некоторая оболочка многоэлектронного атома полностью заполнена электронами, и в ней находится в *k*=16/7=2,285 раз больше электронов, чем в последней подоболочке из этой оболочки. Какую максимальную величину орбитального момента импульса может иметь электрон из данной оболочки? *Ответ*: $3{,}651\cdot10^{-34}$ Дж·с.

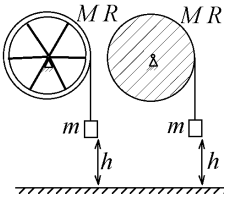
24.7. В полностью заполненной оболочке многоэлектронного атома находится в *k* = 25/9=2,778 раз больше электронов, чем в последней подоболочке А из этой оболочки. Найти отношение максимальной величины орбитального магнитного момента к максимальной величине проекции орбитального магнитного момента на выделенную ось *z* для электрона из этой оболочки. *Ответ*: 1,118.

24.8. В полностью заполненной оболочке многоэлектронного атома находится в *k* = 16/7=2,286 раз больше электронов, чем в последней подоболочке А из этой оболочки. Найти отношение максимальных величин орбитального магнитного момента электрона из последней подоболочки А электрона из предпоследней подоболочки В этой оболочки.

Ответ: 1,414.

24.9. В некоторой полностью заполненной электронами оболочке многоэлектронного атома находится 32 электрона. Чему равна сумма $\Sigma|L_z|$ модулей проекций на выделенную ось *z* орбитальных моментов импульса всех электронов из последней, самой большой

подоболочки этой оболочки? *Ответ*: $2{,}53\cdot10^{-33}$ Дж·с.

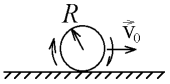


24.10. Максимальное возможное значение величины орбитального магнитного момента электрона в некоторой полностью заполненной электронами оболочке атома равно $p_{\mathrm{m\,max}}= 2{,}27166\cdot10^{-23}$ А·м^2. Чему равна сумма $\Sigma|p_{msz}|$ модулей проекций на выделенную ось z собственных (спиновых) магнитных моментов всех электронов из последней, самой большой подоболочки этой оболочки?

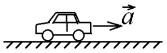
Ответ: $9{,}274\cdot10^{-23}$ А·м^2.

3. Задания, проверяющие владение изученным учебным материалом

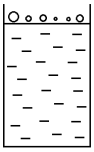
Такие задания приводятся в открытой форме (без выбора варианта ответа), позволяющей проверить умение студента самостоятельно оценить суть вопроса и выбрать подходящий закон или формулу для ответа.



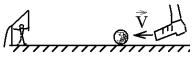
1. Диск радиуса R катится по горизонтальной шероховатой поверхности без проскальзывания со скоростью v_0. Оцените величину наибольшей и наименьшей скорости, которую могут иметь точки на ободе диска. Ответ обоснуйте с помощью формул.



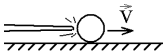
2. Стоявшая автомашина начинает двигаться с ускорением $\vec{a}$. Первый наблюдатель считает, что причиной этого является трение колес о поверхность дороги, поскольку других сил, тянущих автомобиль вперед нет. Второй уверен в том, что трение может только затормозить движение автомобиля. Выскажите своё мнение о том, кто из наблюдателей прав. Оцените роль трения колес о дорогу: будет оно причиной ускорения или замедления автомобиля. Ответ обоснуйте с помощью физических законов и формул.



3. В высокий сосуд с растительным маслом одновременно высыпали множество маленьких металлических шариков разного радиуса r. Проанализируйте процесс падения шариков в жидкости и объясните порядок их падения на дно. Ответ обоснуйте с помощью физических законов и формул.

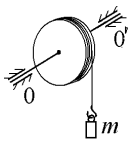


4. Футболист бьёт пенальти. В момент удара нога футболиста имеет скорость v, а масса бьющей по мячу ноги во много раз больше массы мяча. Предложите способ, позволяющий с помощью законов механики найти скорость мяча после удара, и найдите эту скорость.

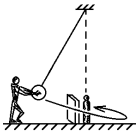


5. Сразу после удара кием в центр покоившегося биллиардного шара, он движется поступательно со скоростью v_0. Проанализируйте дальнейшее движение шара и опишите, какие законы динамики приводят к тому, что шар попадает в лузу со скоростью, меньшей v_0 и с механической энергией, меньшей $mv_0^2/2$. Как найти эту скорость, если известно, что силы трения совершают работу $A_{\text{тр}}$? Обоснуйте свое суждение соответствующими формулами физики.

6. На обод колеса со спицами и на обод сплошного диска того же радиуса R и той же массы M намотаны невесомые нити, к которым прикреплены одинаковые грузы массой m. И колесо, и диск могут вращаться вокруг горизонтальной закрепленной оси симметрии без трения и первоначально покоятся, а грузы находятся на одинаковой высоте h над полом. С помощью физических законов и формул оцените, какой из грузов быстрее упадет на пол.

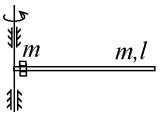


7. Шкив может вращаться вокруг своей закрепленной горизонтально оси 00’ без трения. Под рукой имеется линейка, секундомер, и также грузик массы m, который можно подвесить к нити, намотанной на шкив. Предложите процедуру определения момента инерции шкива относительно оси 00’ с помощью имеющихся под рукой предметов. Обоснуйте предложенную процедуру формулами, позволяющими вычислить требуемый момент инерции.

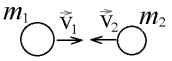


8. В аттракционе человек должен отвести тяжелый шар, подвешенный на шнуре и толкнуть его так, чтобы во время возвратного движения шар сбил кеглю, стоящую прямо под точкой, в которой шнур подвешен к потолку (перед кеглей стоит препятствие, не позволяющее сбить её прямым ударом). Оценить возможность сбить шаром кеглю в таком аттракционе. Как следует толкать шар? Ответ обоснуйте с помощью физических законов и формул.

9. На неподвижной круговой платформе, способной вращаться без трения вокруг закрепленной вертикальной оси симметрии сидит человек. Первоначально платформа покоится. Предложите способ, которым человек, не вставая, может постепенно раскрутить платформу до большой угловой скорости. Обоснуйте предложенный способ законами механики, подтвердив его записанными формулами и уравнениями физики.

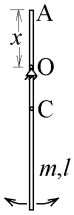


10. В начальный момент времени стержень массы m и длины l свободно вращается без трения с угловой скоростью ω_0 в горизонтальной плоскости вокруг закрепленной оси, проходящей через его край. По стержню может свободно без трения скользить надетая на него муфта той же массы m. Сначала муфта находилась вблизи оси вращения. Проанализируйте дальнейшее движение муфты, изменение кинетической энергии, импульса и момента импульса системы со временем и выскажите свое мнение о сохранении этих величин или о причинах их изменения. Обоснуйте свой ответ законами и формулами физики.

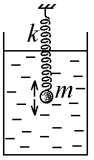


11. При абсолютно упругом соударении двух металлических шариков с массами m_1 и m_2, двигавшихся навстречу друг другу со скоростями v_1 и v_2, в момент наибольшего сближения шарики движутся с одной скоростью v_0, определяемой законом сохранения импульса $|m_1 v_1 - m_2 v_2| = (m_1 + m_2) v_0$ и только потом разлетаются в стороны. При этом кинетическая энергия меняется на величину $\Delta E_{кин} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) v_0^2}{2} > 0$. Выскажите своё мнение о причине такого изменения энергии при абсолютно упругом ударе или об ошибках в записанных формулах.

12. Имеется металлический стержень, который можно подвесить за крючок на конце. Линейки под рукой нет, но имеются часы. Предложите процедуру определения длины стержня с помощью имеющихся часов. Обоснуйте предложенную процедуру формулами, позволяющими вычислить требуемую длину стержня.

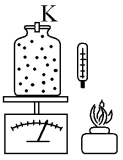


13. Однородный тонкий стержень массы m и длины l может вращаться без трения вокруг горизонтальной оси О, проходящей через точку подвеса на расстоянии x от верхнего конца стержня. Необходимо получить минимальную величину периода колебаний такого физического маятника. Предложите процедуру получения такой величины и порядок необходимых для этого действий. Обоснуйте своё предложение формулами, описывающими процесс колебаний.

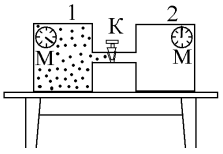


14. Шарик, подвешенный на невесомой пружинке, совершает вертикальные колебания в глицерине. Утверждается, что после того, как в глицерин добавили воду, а шарик подвесили на другой пружинке с мѐньшей жесткостью, он перестал совершать колебания. Выскажите своё суждение о возможности или невозможности такого результата. Найдите причины, которые могли или не могли привести к данному результату. Ответ обоснуйте с помощью физических законов и формул.

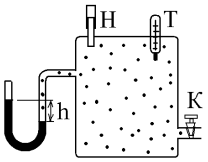
15. Футболист пробивает штрафной ударом, обводящим стенку. Выскажите своё мнение о причине, по которой мяч летит по кривой траектории, огибая стенку. Проанализируйте полет мяча и действующие на него силы с точки зрения физических законов.



16. Газ, который можно считать идеальным, закачан под давлением в трехлитровый стеклянный сосуд, закрытая крышка которого имеет клапан К, выпускающий газ в том случае, когда его давление достигает величины p_0. Имеются весы, позволяющие точно измерить массу сосуда с газом; горелка, позволяющая нагреть сосуд до большой температуры, и термометр, позволяющий измерить его температуру. Предложите и обоснуйте процедуру определения молярной массы μ газа в сосуде с помощью данных устройств.



17. Два одинаковых тонкостенных металлических сосуда соединены достаточно широкой трубкой, перекрытой плотно прижатым краном К. Манометр М в левом сосуде 1 показывал давление воздуха $p_1 = 2$ атм, а второй манометр в правом сосуде 2 показывал $p_2 = 0$ атм. Экспериментатор открыл кран К и, когда показания манометров в обоих сосудах сравнялись, снова быстро и плотно закрыл кран, считая, что давление воздуха останется равным $p_3 = 1$ атм. Прав ли он? Проанализируйте процессы, происходящие с газом, и выскажите своё суждение о том, что будет происходить с показаниями манометров в обоих сосудах и почему? Ответ обосновать с помощью физических законов и формул.



18. В трубку U-образного манометра, соединенного с сосудом, залита жидкость с неизвестной плотностью $\rho_ж$. Можно измерить разность уровней h жидкости в манометре, но нельзя определить разность давлений $\Delta p = \rho_ж g h$ внутри и вне сосуда. С помощью насоса Н можно закачать в сосуд воздух под большим давлением. С помощью крана К можно быстро выпустить закачанный воздух. Термометр Т позволяет точно определить температуру воздуха в сосуде. Известно, что показатель адиабаты воздуха $\gamma = 1{,}4$, а атмосферное давление равно $p_{атм}$. Предложите процедуру определения плотности $\rho_ж$ неизвестной жидкости с помощью данных измерительных приборов. Обоснуйте предложенную процедуру формулами, позволяющими вычислить требуемый результат.

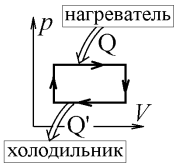
19. Некоторое количество газа следует перевести из состояния с давлением p_1 и объемом V_1 в состояние с давлением $p_2 = 2p_1$ и с объемом $V_2 = 2V_1$. Это можно сделать, используя (комбинируя) **только два** обратимых процесса из четырех перечисленных: изотермический, изобарический, изохорический и адиабатический процессы. Предложите такую комбинацию из двух перечисленных процессов, в результате которой газ перейдёт из начального в конечное состояние, совершив при этом наибольшую работу. Ответ обоснуйте с помощью физических законов и формул, изобразив выбранную комбинацию процессов на диаграмме $p - V$.

20. В комнате включают нагреватель, постепенно повышая его температуру (барометр при этом продолжает показывать атмосферное давление). Выскажите свое мнение о том,

приведет ли это нагревание к изменению внутренней энергии воздуха, **находящегося в пределах комнаты**? Обоснуйте ваш вывод с помощью законов и формул физики. Воздух считать идеальным двухатомным газом. На что расходуется та часть энергии, которая поступает в воздух от нагревателя?

21. Тепловая машина совершает циклический процесс, забирая тепло Q_1 у нагревателя и отдавая тепло Q_2 холодильнику. Температуры нагревателя T_1 и холодильника T_2 неизменны. Используя законы физики, сравните величины (модули) изменения энтропии нагревателя, холодильника и рабочего тела машины за один цикл её работы. У какого из данных тел эта величина больше, а у какого меньше и по какой причине. Обоснуйте свой ответ формулами и законами физики.

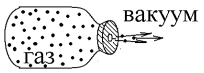
22. Любые массивные частицы (легчайшие частички пыли или сажи, например) со временем должны падать на землю под действием силы тяжести. Однако атмосфера Земли, имеющая значительную массу, не падает на её поверхность. Выскажите свое суждение о том, какие физические законы приводят к этому результату. Изменение каких величин в этих законах надо принять во внимание и почему?



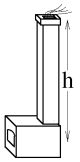
23. Монтажник настраивает реальную тепловую машину, использующую нагреватель (источник тепла) с неизменной температурой 227°С, от которого рабочее тело машины получает за цикл работы количество теплоты 200 Дж. Эта машина контактирует с холодильником, температура которого 27°С также постоянна. Монтажник убеждает клиента, что за один цикл работы машина будет отдавать холодильнику не больше 120 Дж теплоты, а клиент считает, что машина за один цикл должна отдавать холодильнику больше 120 Дж теплоты. Выскажите свое мнение о том, кто из них прав. Ответ обоснуйте с помощью физических законов и формул.

24. При 20°С плотность воды равна 1000 кг/м^3, плотность подсолнечного масла 925 кг/м^3, плотность нефти 830 кг/м^3, плотность этилового спирта 789 кг/м^3. Тем не менее, более легкий спирт растворяется в воде, а более тяжелые масло и нефть всплывают на поверхность воды. Выскажите свое суждение о том, какие физические законы приводят к этому результату. Изменение каких величин в этих законах надо принять во внимание и почему?

25. Три экспериментатора спорят о том, что происходит после нагревания газа с числом его молекул, величины скоростей которых отличаются от скорости v_1, равной половине средней скорости молекул данного газа, не более, чем на $\Delta v = \pm 1$ м/с. Первый считает, что число таких молекул после нагревания газа увеличится, второй – что не изменится, а третий – что уменьшится. Выскажите свое мнение о том, кто из них прав, и обоснуйте его с помощью физических законов.



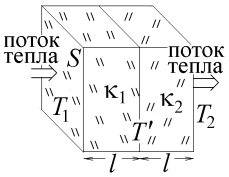
26. В плотно закрытой крышке банки имеется маленькое отверстие, через которое в окружающий банку вакуум вылетают молекулы газа, заполняющего банку. Давление газа внутри банки при этом меняется со временем t по линейному закону: $p = \text{const} \cdot t$. Чтобы число молекул, ежесекундно вылетающих из банки, не изменялось, экспериментатор предлагает нагревать банку, увеличивая температуру T газа в ней. Как надо менять температуру газа, чтобы число молекул, покидающих её ежесекундно, не менялось? Получите зависимость T от времени.



27. Выскажите свое мнение и с помощью законов физики объясните причину того, что увеличение высоты h печной трубы приводит к увеличению потока воздуха,

затягиваемого в дверцу печи и к лучшему горению дров. Ответ обоснуйте полученными вами формулами такой зависимости.

28. Приходя зимой в своё жилище человек может сесть или на железный стул, или в мягкое кресло. В первом случае ему будет холодно, а во втором – тепло, хотя температура и стула, и кресла равна температуре воздуха в комнате. Определите причину такого различия в результатах и объясните её с помощью законов и формул физики.

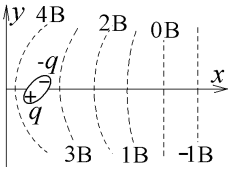


29. Два прижатых друг к другу слоя теплоизоляционного материала имеют одинаковую площадь S и толщину l, но разные коэффициенты теплопроводности κ_1 и $\kappa_2 = 2\kappa_1$. Температуры с разных сторон равны $T_1 = 2T$ и $T_2 = T$. Первый студент считает, что, так как теплопроводность второго материала в 2 раза больше, то он пропускает в 2 раза больший поток тепла, а температура соприкасающейся поверхности слоев равна $T' = 3T/2$. По мнению второго студента, эту температуру надо считать по другой формуле $T' = 5T/3$. Согласны ли вы с ними? Если нет, то предложите процедуру решения, позволяющую найти температуру T' и получите её значение.

30. За летательными аппаратами обтекаемой формы, летящими со сравнительно небольшой скоростью, не образуется турбулентных завихрений, и со стороны воздуха на них действует сила вязкого трения. Первый авиапассажир считает, что такие самолеты летают на высоте нескольких километров, поскольку давление воздуха там меньше и сила вязкого трения, тормозящая движения самолета значительно меньше, чем у поверхности земли. Второй авиапассажир возражает ему, считая, что сила вязкого трения на любой высоте практически одинакова, а самолеты летают на большой высоте по другой причине. Выскажите свое мнение о том, кто из них прав. Обоснуйте свой ответ с помощью законов и формул физики. По какой причине, по вашему мнению, самолеты летят на большой высоте?

31. Зависимость потенциала электростатического поля от координат имеет вид $\varphi = \beta \cdot \sqrt{x^2 + y^2}$, где β– положительная константа. Нарисуйте на плоскости xy несколько эквипотенциальных поверхностей и силовых линий такого поля. Укажите направление вектора напряженности $\vec{E}$. Ответ обосновать и подтвердить формулами.

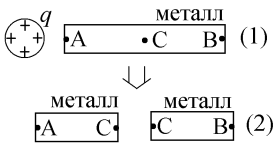
32. Напряженность электростатического поля зависит от координат x, y и z следующим образом: $\vec{E} = \vec{i}\alpha x^3 - \vec{j}\alpha y^2 - \vec{k}\alpha z$, где $\alpha = 1\ \text{В/м}^3$. На плоскости $z = 0$ нарисуйте линию $y = y(x)$ из точек, в которых объемная плотность электрического заряда, создающего данное поле, равна нулю. Ответ обосновать выводом формул.



33. На плоскости xy показана картина эквипотенциальных поверхностей электростатического поля, в котором находится полярная молекула с зарядами $+q$ и $-q$ на концах (см. рисунок). Какое положение примет эта молекула и как она будет двигаться? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

34. Свободная полярная молекула оказалась во внешнем однородном электростатическом поле с величиной напряженности E_0, силовые линии которого перпендикулярны оси z, и повернулась так, что её электрический дипольный момент принял выражение $\vec{p}_e = -\vec{i} \cdot 3p_0 + \vec{j} \cdot 4p_0$, где p_0 – положительная константа, а $\vec{i}$ и $\vec{j}$ – орты декартовой системы координат. Нарисуйте линии $\vec{E}$ на плоскости xy, укажите их направление, получите выражение зависимости потенциала данного поля от координат.

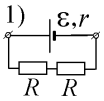
35. Плоскость $z = 0$ равномерно заряжена с поверхностной плотностью электрического заряда σ. Другие заряды отсутствуют. Объясните, как найти зависимость потенциала φ электростатического поля от координаты *z*, если известно, что потенциал точки $x = y = z = 0$ равен φ_0. Получите формулу для определения зависимости $\varphi(z)$ и постройте график зависимости величины $\varphi = \varphi(z)$ в интервале $-a \le z \le a$.



36. В эксперименте первоначально незаряженный металлический стержень АСВ подносят к телу с зарядом *q* (1). После этого стержень разделяют на две части АС и СВ и переносят разделенные части на очень большое удаление от заряженного тела (2). Выскажите свое мнение о том, какой должна быть разность потенциалов $\varphi_A - \varphi_B$ в точках А и В на концах стержня до разделения (рисунок 1) и после разделения и перемещения (рисунок 2). Определите причины возможного изменения величины $\varphi_A - \varphi_B$ или отсутствия этого изменения. Ответ обоснуйте физическими законами.

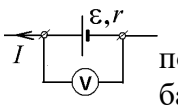
37. По металлическому шару радиуса r_1 равномерно с поверхностной плотностью σ распределен электрический заряд. Этот шар окружен тонкой металлической сферической поверхностью радиуса r_2 (центры шара и сферической поверхности совпадают). Как определить величину энергии электрического поля, заключенного между данными проводниками? Получите формулу этой энергии.

38. Плоский конденсатор подключен к источнику постоянной ЭДС ε, а его пластины, на которых находится заряд *q*, погружены в жидкий диэлектрик. Диэлектрик убирают, и по цепи при этом протекает заряд Δq Можно ли по этим данным определить величину диэлектрической проницаемости ε диэлектрика? Если это можно сделать, то получите формулу для её вычисления

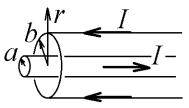


39. Два электронагревательных элемента с сопротивлениями *R* каждый в одном случае подключают к батарее с ЭДС ε и с внутренним сопротивлением $r = R$ последовательно (рисунок 1), а в другом – параллельно (рисунок 2). В каком случае нагреватели выделяют больше тепла и во сколько раз? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

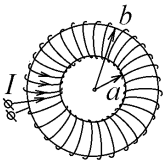
40. Сопротивление реостата, подключенного к источнику постоянной ЭДС ε с внутренним сопротивлением *r*, было равно *R*. Передвинув ползунок реостата, увеличили его сопротивление в 2 раза: $R \to 2R$. Первый экспериментатор считает, что при этом тепловая мощность, выделяемая на реостате, обязательно должна измениться. Второй экспериментатор утверждает, что выделяемая на реостате тепловая мощность не изменится при определенном соотношении между *R* и *r*. Выскажите свое обоснованное законами физики мнение о том, кто из них прав, и если прав второй экспериментатор, то получите и необходимое соотношение между *R* и *r*.



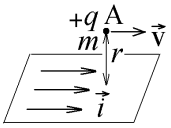
41. Через батарею с ЭДС ε с внутренним сопротивлением *r* течет ток *I*, как показано на рисунке слева. Чему равна величина разности потенциалов на клеммах батареи и как, по Вашему мнению, она изменится, если ток *I* поменяет направление?



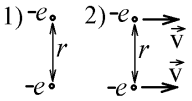
42. По центральной жиле радиуса *a* прямого коаксиального кабеля течёт ток *I*. такой же ток *I* течет по внешнему цилиндрическому слою ("стакану") радиуса *b* навстречу. Нарисуйте график зависимости величины напряженности магнитного поля, созданного этими токами, от расстояния *r* до оси кабеля. Ответ обосновать и подтвердить формулами.



43. На ферромагнитный тороидальный сердечник равномерно намотаны N витков провода, по которому течет постоянный ток I (см. рисунок). Может ли величина индукции магнитного поля внутри в разных точках сердечника отличаться в два раза? Если да, то при каком условии? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



44. По бесконечной плоскости, участок которой показан на рисунке, течет однородный постоянный электрический ток с поверхностной плотностью $\vec{i}$. Над плоскостью на расстоянии r параллельно направлению тока летит со скоростью $\vec{v}$ частица с положительным зарядом $+q$ и массой m. Может ли частица спустя некоторое время снова вернуться в точку А, не столкнувшись с плоскостью? Если да, то при каком условии это происходит и через какой промежуток времени Δt частица вернется в точку А? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

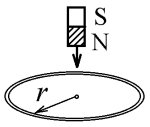


45. Два электрона находятся на одинаковом расстоянии r, но в случае (1) они покоятся, а в случае (2) летят параллельно друг другу с одинаковыми скоростями $\vec{v}$. Объясните, почему силы их взаимодействия имеют разную величину. Определите, в каком случае сила взаимодействия больше и во сколько раз. Ответ обосновать и подтвердить необходимыми законами и формулами.

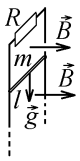
46. Постоянный магнит прямоугольной формы, изготовленный из ферромагнетика, находится в вакууме. Нарисуйте две картины: линий индукции магнитного поля, созданного магнитом, и линий напряженности этого поля. При построении учтите граничные условия для полей $\vec{B}$ и $\vec{H}$. Могут ли линии напряженности $\vec{H}$ обрываться? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

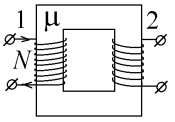
47. Постоянный магнит быстро приближают и удаляют от куска железа, которое при этом нагревается. Объясните причину и механизм этого нагревания.

48. К закрепленному проводящему витку радиуса r приближают магнит так, что поток магнитной индукции через площадь витка убывает со временем t по закону $\Phi = \Phi_0 \exp(-\alpha t)$, где α – положительная константа. Определите величину и направление вектора напряженности $\vec{E}$ электрического поля, возникающего в витке. По какой причине возникает это поле? Нарисуйте приблизительный график зависимости E от времени.



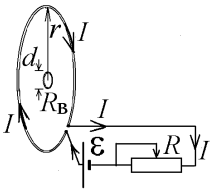
49. По двум вертикальным металлическим проводникам может без трения скользить поперечная металлическая перекладина длины l с массой m. Сопротивление проводников и перекладины равно нулю, а проводники сверху соединены сопротивлением R (см. рисунок). Перпендикулярно плоскости проводников создано магнитное поле с индукцией $\vec{B}$. Перекладину отпускают, и она начинает падать под действием силы тяжести с ускорением g. По какой причине скорость падения перекладины становится постоянной? При какой величине индукции B скорость падения перекладины не превысит значения v_0? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



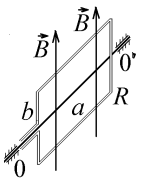


50. На ферромагнитный сердечник из материала с магнитной проницаемостью μ намотана первичная катушка (обмотка) из N витков провода"1" и вторичная обмотка "2" (см. рисунок). На клеммы обмотки "1" подается меняющееся с частотой ω по гармоническому закону напряжение с амплитудой U_0. Сколько витков и почему должна содержать обмотка "2", чтобы на её клеммах создавалось

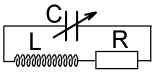
бóльшее напряжение с амплитудой $2U_0$? По какой причине происходит увеличение напряжения? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



51. В центре круглого проводящего витка с радиусом r находится маленький проводящий виток с диаметром d и с сопротивлением $R_в$ ($d \ll r$, плоскости витков совпадают). Меняя сопротивление R реостата (см. рисунок) изменяют ток I, протекающий по внешнему витку, причем этот ток меняется со временем t по закону $I = I_0 + \alpha t + \beta t^2$, где $I_0, \alpha, \beta -$ положительные константы. Выскажите своё обоснованное мнение о том, появится ли индукционный ток в маленьком внутреннем витке? Если да, то как этот ток будет зависеть от времени t и от параметров $R_в$, d, r, I_0, α, β. Получите формулы и нарисуйте график зависимости индукционного тока от времени t.

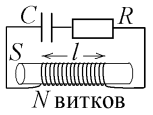


52. Экспериментатор уверен, что может продемонстрировать действие электромотора, пропуская ток по прямоугольной проволочной рамке с сопротивлением R, способной вращаться без трения в постоянном магнитном поле с индукцией B вокруг оси 00' (см. рисунок). Объясните, прав он или не прав, и что ему надо сделать, чтобы рамка, как и электромотор, вращалась все время в одну сторону? Ответ подтвердить с помощью физических законов и формул.

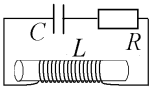


53. Первый экспериментатор считает, что собственные электрические колебания в цепи, изображенной на рисунке, имеют место при любой величине ёмкости C переменного конденсатора. Второй экспериментатор уверен, что колебания прекращаются при некотором значении ёмкости C_0. Выскажите своё мнение о том, кто из них прав, обосновав его законами и формулами физики. Нарисуйте и объясните примерный график зависимости T от величины C. Если, по Вашему мнению, прав второй экспериментатор, то получите величину C_0, выразив её через параметры цепи L и R.

54. В цепь, показанную на рисунке, включена внешняя переменная ЭДС с циклической частотой ω. Меняя эту частоту, определили, что амплитуда напряжения на конденсаторе C имеет максимальную величину при $\omega = \omega_1$. Может ли максимальная величина амплитуды тока в цепи наблюдаться при частоте $\omega = 2\omega_1$? Если может, то как при этом индуктивность цепи L должна зависеть от параметров R и C? Если нет, то почему? Ответ обосновать и подтвердить формулами.



55. Электрический колебательный контур содержит конденсатор с емкостью C, активное сопротивление R и катушку индуктивности, из провода, не имеющего активного сопротивления и намотанного на ферритовый сердечник с поперечным сечением S. Меняя число витков N в катушке и длину намотки l, т.е. меняя индуктивность катушки, экспериментатор после долгих опытов определил самое большое значение частоты собственных колебаний тока в такой цепи при заданных величинах C и R. Предложите свой способ найти это значение с помощью законов физики. Приведите его обоснование и получите формулу для максимальной частоты ω, выраженной через параметры C и R.

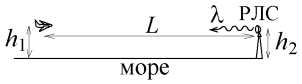


56. Два экспериментатора рассуждают о том, как может изменяться величина θ логарифмического декремента затухания собственных электрических колебаний в электрическом колебательном контуре, где величины активного сопротивления цепи R и емкости конденсатора C фиксированы, а индуктивность катушки L можно изменять в любых пределах $0 \le L \le \infty$. Первый считает, что величина θ не может превысить некоторого значения, а второй уверен в том, что величина θ меняется неограниченно и

достигает величины $\theta = \infty$ при $L = \infty$. Приведите свое мнение о том, кто из них прав, и обоснуйте его, определив пределы изменения величины θ. Может ли θ стать равной бесконечности или нулю, и если да, то при каком значении L? Нарисуйте приблизительный график зависимости θ от L.

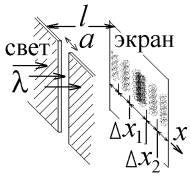
57. Для улучшения оптических свойств на поверхность линз фотоаппаратов, биноклей и т.п. наносят покрытия в виде тончайших пленок. В результате в солнечном свете на поверхности линз видны фиолетово-красные блики. Объясните причину, по которой стеклянные линзы покрывают подобными пленками, а также причину и цвет таких бликов. Свой ответ обоснуйте с помощью необходимых физических законов, принципов и формул.

58. В американских университетах студентам предлагают следующий пример: “Когда авиация союзных войск находилась на большом удалении L от берега над поверхностью моря на высоте h_1, радиолокационные станции (РЛС) немецких войск, стоящие на берегу на высоте h_2 над уровнем моря и излучавшие электромагнитные волны с длиной волны λ, не получали отраженный от самолетов сигнал. Это позволяло авиации союзников беспрепятственно пролетать над линией обороны на берегу, и было одной из причин их победы во II-й мировой войне”. Изложите свое мнение о том, какие законы волновой оптики могли бы позволить сделать такой вывод. Используя их, определите высоту h_1. Приведите также свои аргументы о невозможности описанной ситуации.



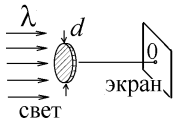
59. Белый немонохроматический свет падает на тонкую прозрачную пленку с показателем преломления n неравной толщины, находящуюся в воздухе. Почему на поверхности пленки видны полосы? Как определить расстояние между этими полосами? Опишите цвет каждой полосы в направлении, указанном на рисунке стрелкой. Ответ обосновать и подтвердить формулами.

60. Плоская монохроматическая световая волна падает на узкую щель в непрозрачном препятствии. Ширина щели a сравнима с длиной волны λ света. На экране, стоящем за щелью на расстоянии l, освещен ряд параллельных полос. Каким образом по измеренным размерам Δx_1, Δx_2, Δx_3 наблюдаемых полос определить длину волны падающего света? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

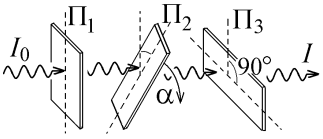


61. Известно, что дифракционная картина от непрозрачного тонкого предмета совпадает с дифракционной картиной от прорези-щели в непрозрачном экране, имеющей ту же форму и размеры, что и предмет. Предложите на этом основании способ измерения толщины человеческого волоса оптическими методами. Нарисуйте картину эксперимента и приведите формулы для расчета толщины волоса.

62. На пути плоской монохроматической световой волны с длиной λ помещают непрозрачный диск достаточно большого диаметра d. На оси диска в точке 0 экрана, наблюдается темное пятно. Три экспериментатора, отвечая на вопрос о том, что будет происходить с освещенностью экрана в точке 0 при постепенном уменьшении диаметра диска d до очень малых размеров в доли миллиметра, высказывают разное мнение. Первый считает, что в точке 0 все время будет наблюдаться темное пятно, поскольку эта точка находится в области тени. Второй уверен, что освещенность в точке 0 при постепенном уменьшении d начнет периодически меняться, и в точке 0 будет наблюдаться то максимум, то минимум освещенности. Третий полагает, что при постепенном уменьшении диаметра препятствия d освещенность точки 0, закрытой от прямого попадания света, постепенно станет такой же, как и при отсутствии диска. Выскажите свое мнение о том,

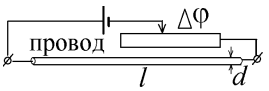


кто из экспериментаторов прав и почему, обосновав его с помощью законов физики.

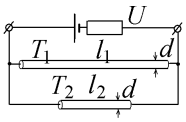


63. Естественный свет с интенсивностью I_0, проходит через систему из трех поляризаторов. Оси пропускания двух поляризаторов $П_1$ и $П_3$ составляют угол 90°, а средний поляризатор $П_2$ поворачивают вокруг луча света на угол $0 \le \alpha \le 360^o$ (см. рисунок). Найдите зависимость от угла α интенсивности I света, прошедшего через систему поляризаторов, и нарисуйте график зависимости I от α. Сколько раз при таком повороте интенсивность I будет достигать максимального значения? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

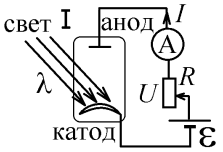
64. Поток энергии солнечного излучения на орбите Земли составляет 1,37 кВт на 1 м^2 площади. Зная эту величину, предложите способ оценить среднюю температуру Земли и изложите свое мнение о том, что произошло бы с этой температурой при увеличении температуры поверхности Солнца, которая равна ~6000 К, в 2 раза. Ответ обосновать и подтвердить формулами.



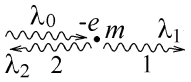
65. С помощью реостата на концах металлического провода длины l с диаметром d создана разность потенциалов $\Delta\varphi$. Объясните, как изменится температура поверхности провода, которую можно считать “серым” телом с коэффициентом поглощения A, если и диаметр d провода, и величину $\Delta\varphi$ увеличить в два раза, не меняя длину l провода. Ответ обосновать и подтвердить формулами.



66. К источнику постоянного напряжения U параллельно подключены два тонких металлических провода из одинакового материала, который можно считать абсолютно черным телом. Диаметры d проводов одинаковы, а их длины отличаются в два раза: $l_1/l_2 = 2$. Что можно сказать об отношении температур поверхностей этих проводов T_1/T_2? Ответ обосновать и подтвердить расчетом.



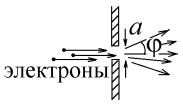
67. Монохроматический свет с длиной волны λ падает на катод двухэлектродной лампы. Движком реостата R меняют величину падения напряжения U на электродах лампы, увеличивая её от нуля. Кроме того, меняют интенсивность **I** падающего на катод света. Почему ток I через амперметр появляется только при $\lambda \ge \lambda_0$ при любом увеличении интенсивности падающего света? Как найти величину λ_0? Нарисуйте на одном поле несколько графиков зависимости тока I от напряжения U при разных значениях интенсивности **I**. Ответ обосновать и подтвердить формулами.



68. На покоящийся электрон с зарядом $-e$ и с массой m падают фотоны с длиной волны λ_0, рассеиваясь на нем и разлетаясь в разные стороны. Что можно сказать о длине волны λ_1 и λ_2 фотонов, улетающих вдоль направления движения падающих фотонов и противоположно этому направлению? Чему равна величина разности $\lambda_1 - \lambda_2$? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

69. Радиусы трех последовательных боровских орбит электрона в двукратно ионизированном атоме лития Li^{++} равны 0,01764 нм; 0,07053 нм; 0,15869 нм. Объясните, чему будет равен радиус следующей боровской орбиты в этом ионе. Получите его. Ответ обосновать и подтвердить вычислением.

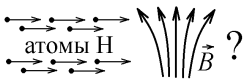
70. Определите, по какой причине ускоренные большой разностью потенциалов $\Delta\varphi$ электроны, пролетая через узкую щель ширины a в непрозрачном препятствии, не могут рассеиваться за щелью под отдельными углами φ_n. Обоснуйте свое мнение физическими законами, приведите схему расчета и получите выражения для данных углов φ_n.



71. Возбужденный атом водорода испустил фотон, относящийся к спектральной серии Бальмера. Оцените возможность того, что в дальнейшем этот атом испустит фотон света в видимой человеческому глазу части оптического спектра. Определите возможный интервал длин волн дальнейшего излучения. Ответ обосновать и подтвердить с помощью физических законов и формул.

72. Чему равно отношение наибольшей длины волны λ_1 в спектральной серии Бальмера к наименьшей возможной длине волны λ_2 в спектральной серии Пашена для излучения нагретого водорода. Почему, по Вашему мнению, излучение с длиной волны λ_1 увидеть можно, а излучение с длиной волны λ_2 – нельзя? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

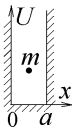
73. Два тонких пучка атомов водорода влетают в очень сильное неоднородное магнитное поле, линии индукции $\vec{B}$ которого показаны на рисунке. В первом пучке атомы находятся в основном состоянии, а во втором пучке – в первом возбужденном состоянии. Выскажите свое мнение о том, что произойдет с пучками атомов после пролета через магнитное поле. Обоснуйте свой ответ с помощью физических законов и формул. Оцените величину изменений, происходящих с пучками, и подтвердите свою оценку формулами.



74. Объясните, как изменится энергетический уровень (энергия) каждого из электронов $3d$– подоболочки атома железа, если этот атом попадет во внешнее очень сильное магнитное поле с индукцией B. На какую максимальную величину может измениться эта энергия? При ответе не учитывать влияние спина электрона. Ответ обосновать и подтвердить формулами.

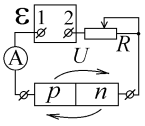
75. Отношение величин орбитального магнитного момента первого и второго электрона в многоэлектронном атоме отличаются в $\sqrt{2}$ раз. В какой, по Вашему мнению, подоболочке находится первый электрон, если второй электрон находится в d – подоболочке? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

76. Микрочастица с массой m находится в одномерной потенциальной яме прямоугольной формы с бесконечными стенками ширины a, причем состояние микрочастицы описывается волновой функцией $\psi = A\cdot x(a-x)$, где A - нормировочная константа. Если подставить эту функцию в стационарное уравнение Шредингера $\frac{d^2\psi}{dx^2}+\frac{2m}{\hbar^2}(E-U_0)\psi=0$, где $U_0=0$ внутри ямы, то окажется, что полная энергия E частицы зависит от координаты x. В действительности частица может иметь только отдельные дискретные значения энергии: $E_n=\frac{\pi^2\hbar^2n^2}{2ma^2}=\text{const}$, где $n=1,2,3,\ldots$. Предложите свою версию объяснения возникшего противоречия. Ответ необходимо обосновать и подтвердить физическими законами.

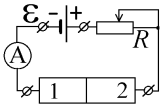


77. Известна концентрация n_e свободных электронов из зоны проводимости некоторого металла. Можно ли, зная эту величину, определить температуру $T_э$ газа свободных электронов из зоны проводимости в этом металле? Или для этого надо знать температуру T металла? Ответ обосновать и с помощью законов и формул физики получить выражение для $T_э$ и обсудить его зависимость от температуры T.

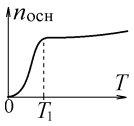
76. При температуре $T > 0$ K вероятность заполнения электронами разрешенных уровней энергии в зоне проводимости металла с энергией Ферми $E_ф$ может принимать любые значения в интервале $0 \le E < \infty$. Определить энергию E уровня, вероятность заполнения которого электроном равна n, где $n < 1$. Ответ обосновать с помощью законов и формул физики. Проверить ответ для значения $n = 1/2$.



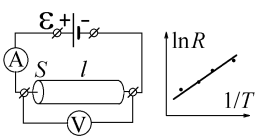
79. Желая измерить зависимость тока, текущего через полупроводниковый диод (p-n-переход), от подаваемого на его клеммы напряжения, экспериментатор подключил диод к источнику тока с помощью реостата R, как показано на рисунке. Однако при любом положении движка реостата ток, фиксируемый амперметром, не изменялся. Тогда экспериментатор перевернул диод, поменяв его клеммы, и ток в цепи начал резко изменяться при перемещении движка реостата. Возможно ли это, и если возможно, то по какой причине амперметр сначала не показывал изменений тока. Определите, какая клемма источника тока “1” или “2” имеет больший потенциал, а также, что происходит с текущим по цепи после переключения диода током при смещении движка реостата вправо (см. рисунок): будет ли этот ток расти или уменьшаться? Ответ обосновать и объяснить с помощью законов и формул физики.



80. Полупроводниковый диод (p-n-переход) был изготовлен из четырёхвалентного собственного полупроводника – кремния легированием. При этом область “1” была легирована трёхвалентной примесью, а область “2” легирована пятивалентной примесью. Такой диод подключен к аккумуляторной батарее, как показано на рисунке. Первый студент утверждает, что для уменьшения величины тока, текущего через амперметр, движок реостата надо смещать влево. По мнению второго студента его надо смещать вправо. Третий студент настаивает на том, что при смещении движка реостата ток в цепи практически изменяться не будет. Определите, кто из них прав и по какой причине. Ответ обосновать и объяснить с помощью законов и формул физики.



81. Экспериментатор построил график зависимости от температуры T концентрации основных носителей тока в примесном полупроводнике, полученном при легировании четырехвалентного собственного полупроводника-кремния небольшим количеством атомов пятивалентной примеси с концентрацией $n_{прим}$ (см. рисунок. Можно ли по этому графику оценить величину энергии донорного электрона, находящегося в атоме примеси (дну зоны проводимости соответствует энергетический уровень $E = 0$)? Можно ли определить ширину запрещенной зоны полупроводника? Если можно, то сделайте это. Ответ обосновать и объяснить с помощью законов и формул физики.



82. Для того, чтобы измерить величину постоянной Больцмана, экспериментатор подключил к источнику постоянного тока резистор цилиндрической формы с длиной l и поперечным сечением S, изготовленный из собственного полупроводника-кремния, ширину запрещенной зоны которой он знал. С помощью амперметра и вольтметра экспериментатор измерял сопротивление $R = U/I$ резистора при различных температурах T, а затем построил график зависимости логарифма этого сопротивления $\ln R$ от обратной величины температуры T (в К), показанный на рисунке. Можно ли, по Вашему мнению, с помощью этого графика определить величину постоянной Больцмана? Если можно, то как это сделать? Если нельзя, то какие данные нужны для этого кроме приведенного графика? Ответ обосновать и объяснить с помощью законов и формул физики.

83. Радиоактивный образец содержит нестабильные ядра двух разных изотопов: период

полураспада ядер первого изотопа равен 1 минуте, а ядер второго – 2 минутам. В исходный момент времени образец на 89,89% состоит из ядер первого изотопа и на 11,11% – из ядер второго изотопа. Оцените возможность того, что спустя некоторое время число ядер двух данных изотопов в образце сравняется. Если это возможно, то через какой промежуток времени это произойдет? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

84. В результате цепочки радиоактивных превращений первоначальное ядро испытывает реакцию β^+ – распада, затем реакцию α – распада (испускание α – частицы), затем последовательно происходят две реакции β^- – распада. Какая ядерная реакция должна произойти после этого, чтобы оставшееся ядро превратилось в изотоп первоначального ядра? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

4. Правила оформления домашних заданий

Решения домашних заданий выполняются на отдельных листах. На титульной странице необходимо указать следующую информацию: ФГБОУ ВО “Тульский государственный университет”, каф физики, ФИО студента, индекс группы, Домашнее задание №…, номер варианта, дата сдачи задания.

Условия заданий не переписываются, в решение необходимо вложить выданный листок с условиями. Проверяются подробные решения. Поэтому для каждой задачи должны быть приведены:

1) числовые данные (Дано:);

2) рисунок с указанием векторов, цепей, направления токов и т.п. с указанием всех буквенных обозначений;

3) подробное решение с получением конечной формулы;

4) подстановка чисел в эту формулу и

5) числовой ответ с указанием размерности.

5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

5.1 Основная литература

1. Савельев И.В. Курс физики : учеб. пособие для вузов : в 3 т.: Т. 1: Механика. Молекулярная физика/ И. В. Савельев . — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург, Москва, Краснодар : Лань, 2008.— 352 с. — ISBN 978-5-8114-0685-2 (Том 1).

Савельев И.В. Курс физики. В 3-х тт. Т.1. Механика. Молекулярная физика [Электронный ресурс]: учебное пособие/ — Электрон.текстовые данные. — СПб, М.: Лань, 2017. — 356 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/95163#book_name.— ЭБС “Лань”, по паролю.

2. Савельев И.В. Курс физики : учеб. пособие для вузов : в 3 т.: Т. 2: Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика / И. В. Савельев . — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург, Москва, Краснодар : Лань, 2008 .— 468 с. —ISBN 978-5-8114-0686-9 (Том 2).

Савельев И.В. Курс физики. В 3-х тт. Т.2. Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика [Электронный ресурс]: учебное пособие/ — Электрон.текстовые данные. — СПб, М.: Лань, 2018. — 468 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/100927#book_name.— ЭБС “Лань”, по паролю.

3. Савельев, И. В. Курс физики : учеб. пособие для вузов : в 3 т. Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / И. В. Савельев . — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург, Москва, Краснодар : Лань, 2008 .— 303 с. — ISBN 978-5-8114-0684-5 (Том 3).

Савельев И.В. Курс физики. В 3-х тт. Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц [Электронный ресурс]: учебное

пособие/ — Электрон.текстовые данные. — СПб, М.: Лань, 2018. — 308 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/98247#book_name.— ЭБС “Лань”, по паролю.

5.2 Дополнительная литература

1. Чертов А.Г., Воробьев А.А., под ред. Общая физика (для бакалавров) [Электронный ресурс]: учебное пособие/— Электрон.текстовые данные. —М.: КноРус, 2016. — 800 с. — ISBN 978-5-406-05760-5 —Режим доступа: https://www.book.ru/book/922169.— ЭБС “BOOK.ru”, по паролю.

2. Колмаков Ю.Н., Пекар Ю.А., Лежнева Л.С. Термодинамика и молекулярная физика. Лекции по физике : учеб. пособие [Электронный ресурс]/ Электрон.текстовые данные. — Тула : Изд-во ТулГУ, 2008 .— 139 с. : ил.— ISBN 978-5-7679-1221-6. .- Режим доступа: https://tsutula.bibliotech.ru/Reader/Book/20141128102651895491000053 90. – ЭБС “БиблиоТех”, по паролю.

3. Колмаков Ю. Н., Пекар Ю. А., Лагун И. М. Электричество и магнетизм : лекции по физике [Электронный ресурс]/ Электрон.текстовые данные. — Тула : Изд-во ТулГУ, 2008 .— 140 с. — ISBN 5-7679-0186-4. .- Режим доступа: https://tsutula.bibliotech.ru/Reader/Book/ 20141128103345386077000082 98. – ЭБС “БиблиоТех”, по паролю.

4. Колмаков Ю.Н., Пекар Ю.А., Лежнева Л.С. Электромагнетизм и оптика : лекции по физике [Электронный ресурс]/ Электрон.текстовые данные. — Тула, 2010 .— 130 с. : ил .— ISBN 5-7679-0187-2. .- Режим доступа: https://tsutula.bibliotech.ru/Reader/Book/ 20141128103842759517000034 47. – ЭБС “БиблиоТех”, по паролю.

5. Колмаков Ю.Н., Пекар Ю.А., Лежнева Л.С., Семин В.А. Основы квантовой теории и атомной физики: учеб. пособие [Электронный ресурс]/ Электрон.текстовые данные. — Тула : Изд-во ТулГУ, 2010 .— 148 с.— ISBN 5-7679-0352-2. - Режим доступа: https://tsutula.bibliotech.ru/Reader/Book/ 20141128110012577717000094 42. – ЭБС “БиблиоТех”, по паролю.

6. Колмаков Ю. Н., Кажарская С.Е. Физика. Электромагнетизм: руководство к проведению самостоятельной работы студентов: учебн. пособие [Электронный ресурс]/ Электрон.текстовые данные. — Тула : Изд-во ТулГУ, 2017.— 156 с. .— ISBN 978–5–7679–33915–2. - Режим доступа: https://tsutula.bibliotech.ru/Reader/Book/20171008211439385188000016096 – ЭБС “БиблиоТех”, по паролю.

7. Колмаков Ю. Н., Левин Д.М., Семин В.А. Основы физики конденсированных сред и физики микромира: Ч.1 [Электронный ресурс]: учебн. пособие/ Электрон.текстовые данные. — Тула : Изд-во ТулГУ, 2014.— 185 с. .— ISBN 978–5–7679–2655–8. - Режим доступа:

https://tsutula.bibliotech.ru/Reader/Book/20141128110617203736000081 63 – ЭБС “БиблиоТех”, по паролю.

8. Колмаков Ю. Н., Левин Д.М., Семин В.А. Основы физики конденсированных сред и физики микромира: Ч.2 [Электронный ресурс]: учебн. пособие/ Электрон.текстовые данные. — Тула : Изд-во ТулГУ, 2014.— 150 с. .— ISBN 978–5–7679–2661–9. - Режим доступа:

https://tsutula.bibliotech.ru/Reader/Book/20141128111203077271000056 32 – ЭБС “БиблиоТех”, по паролю.