

Задачи для самостоятельного решения

К главе 1. Механика

1.1. Рыбак, плывя на лодке вверх по реке, уронил под мостом в воду багор. Через $t = 60$ мин он это обнаружил и, повернув назад, догнал багор на расстоянии $s = 6,0$ км от моста. Какова скорость течения реки, если рыбак, двигаясь вверх и вниз по реке, греб одинаково?

1.2. Из некоторой точки одновременно брошены два тела с одинаковой скоростью v_0 одно вертикально вверх, другое вертикально вниз. На каком расстоянии s друг от друга будут эти тела через время t ? Сопротивлением воздуха пренебречь.

1.3. Стрелок целится в мишень, представляющую собой груз, висящий на нити. В каком направлении должен целиться стрелок, чтобы попасть в мишень, если известно, что в момент выстрела нить обрывается и груз начинает падать? Сопротивлением воздуха пренебречь.

1.4. Мяч брошен со скоростью $v_0 = 20$ м/с под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту. Во время полета он упруго ударяется о вертикальную стену, расположенную перпендикулярно плоскости, в которой лежит траектория мяча на расстоянии $l = 30$ м от места бросания. На каком расстоянии s от стены упадет мяч? Сопротивлением воздуха пренебречь.

1.5. Камень брошен горизонтально со скоростью $v_0 = 10,0$ м/с. Определить угол α , который составит с вертикалью вектор скорости камня через $t = 2,0$ с после начала движения, а также тангенциальное a_t и нормальное a_n ускорения камня в этот момент.

1.6. Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону, выражаемому формулой $\varphi = 10 + 20t - 2t^2$. Найти модуль полного ускорения в точке, находящейся на расстоянии $r = 0,10$ м от оси вращения, для момента времени $t_0 = 4,0$ с. Какой угол α составляет вектор \mathbf{a} с нормалью к траектории в этот момент времени?

2.1. На гладком горизонтальном столе лежит брускок, к которому привязана нить, перекинутая через блок, укрепленный на краю стола. Если за нить тянуть с силой $F_1 = 2,0$ кгс, то брускок будет двигаться с ускорением $a_1 = 9,8$ м/с². Каковы будут ускорение a_2 бруска и сила натяжения F_2 нити, если к ее концу привязать груз массой $m = 2$ кг?

2.2. Через блок перекинута нить, к концам которой прикреплены грузы m_1 и m_2 ($m_1 \neq m_2$), общая масса которых $m = 1,00$ кг. Грузы начинают равноускоренно двигаться и за $t = 0,50$ с проходят путь $s = 0,75$ м. Определить силу давления F на ось блока.

2.3. Определить скорость v велосипедиста, если при повороте по кругу радиуса R он наклоняется внутрь закругления под углом α к горизонту.

2.4. Небольшой грузик подвешен на нити длиной $l = 1,50$ м. Вследствие толчка грузик начинает двигаться в горизонтальной плоскости по окружности радиуса $r < l$. Какова частота вращения грузика?

2.5. С какой максимальной скоростью v может двигаться автомобиль по закруглению дороги радиуса $R = 50$ м, если коэффициент трения скольжения между шинами и асфальтом $\mu = 0,60$?

2.6. Решить задачу № 2-5 (стр. 23), полагая, что сила F приложена не к тележке, а к грузу. Рассмотреть два случая 1) $F = 1,00$ кгс, 2) $F = 3,00$ кгс.

2.7. Установка, изображенная на рис. 2-4, подвешена к потолку вагона, движущегося в горизонтальном направлении с постоянным ускорением a . Определить ускорения грузов a_1 и a_2 относительно вагона и силу натяжения T нити.

3.1. Три лодки одинаковой массой m плывут друг за другом с одинаковой скоростью v . Из средней лодки бросают одновременно в переднюю и заднюю лодки по грузу массой m' каждый со скоростью v относительно средней лодки. Каковы скорости лодок после переброски грузов?

3.2. На какую высоту h поднимется тело, скользя вверх по наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 45^\circ$, если ему сообщить скорость $v_0 = 10,0 \text{ м/с}$, а коэффициент трения между телом и плоскостью $\mu = 0,20$? Какова будет скорость v тела, когда оно вернется в нижнюю точку?

3.3. Гири массой $m = 0,20 \text{ кг}$ вращается на нити в вертикальной плоскости. Определить разность ΔF между наибольшим и наименьшим значениями силы натяжения нити.

3.4. Тело массой m , движущееся со скоростью v по горизонтальной поверхности, настает на лежащий на ней клин массой M и скользит по нему вверх. Пренебрегая трением между телом и клином, а также между клином и горизонтальной поверхностью, определить наибольшую высоту h подъема тела.

3.5. Горизонтально летящая пуля массой m попадает в подвешенный на нити деревянный шар массой M и пробивает его, проходя через центр. Определить изменение ΔW механической энергии системы в результате удара, если скорости пули до и после удара соответственно равны v_1 и v_2 .

4.1. Два однородных шара с массами $m_1 = 40 \text{ г}$ и $m_2 = 120 \text{ г}$ соединены стержнем, масса которого пренебрежимо мала. Расстояние между центрами шаров $l = 20 \text{ см}$. Определить момент инерции I системы относительно оси, проходящей перпендикулярно стержню через центр инерции системы. Шары считать материальными точками.

4.2. В медном диске радиуса $R = 5,0 \text{ см}$ и толщиной $h = 1,00 \text{ мм}$ сделаны симметрично относительно его центра два круглых выреза радиуса $r = 2,00 \text{ см}$ каждый, причем их центры удалены от центра диска на $a = 2,50 \text{ см}$. Определить момент инерции I диска с вырезами относительно оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через его центр. Плотность меди $\rho = 8,9 \text{ г/см}^3$.

4.3. Определить ускорения a_1 и a_2 грузов в задаче № 2-4 (стр. 22), учитывая момент инерции I уравнительного (неподвижного) блока и приняв его радиус равным R .

4.4. Каток в виде однородного цилиндра массой $m = 2,00 \text{ кг}$ катится по горизонтальной поверхности под действием силы $F = 10,0 \text{ Н}$, приложенной к его оси. Полагая, что сила F направлена перпендикулярно оси катка и образует с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$, определить ускорение a , с которым перемещается ось катка.

4.5. Массивный диск массой M плотно наложен на ось, подвешенную горизонтально на двух накрученных на нее нитях. Нити постепенно раскручиваются с оси, колесо, вращаясь вместе с осью, опускается. Найти силу натяжения T каждой из двух нитей и ускорение a центра диска, если его радиус R , а радиус оси r . Массой оси пренебречь.

4.6. Какая относительная ошибка в допущена в задаче № 2-3 (стр. 21) при вычислении ускорения вагона вследствие того, что не учтено вращение колес? Считать колеса дисками, суммарная масса которых равна m .

4.7. Человек стоит на скамье Жуковского и держит в руках горизонтально расположенный стержень длиной $l = 2,00 \text{ м}$ и массой $m = 3,00 \text{ кг}$. Скамейка с человеком вращается, совершая $n_1 = 0,50 \text{ об/с}$, при этом центр стержня находится на оси вращения. В результате поворота человеком стержня вокруг его центра в вертикальное положение частота вращения системы увеличилась до $n_2 = 0,80 \text{ об/с}$. Определить работу A , совершенную человеком для поворота стержня.

5.1. Определить приближенно ускорение силы тяжести на поверхности Марса, полагая, что его радиус вдвое меньше радиуса Земли, а масса составляет $1/8$ от массы Земли.

5.2. Найти отношение скоростей двух космических кораблей, обращающихся вокруг Земли по круговым орбитам на расстояниях h_1 и h_2 от поверхности Земли.

5.3. Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы забросить тело массой $m' = 1000 \text{ кг}$ с поверхности Луны на Землю? Считать, что радиус Луны

в 4 раза меньше радиуса R Земли, а масса Луны составляет $1/81$ от массы M Земли. Сравнить полученный результат с ответом к задаче № 5-4 (стр. 58).

5.4. Сколько времени t будет падать на Солнце тело с расстояния, равного радиусу земной орбиты? Начальную скорость тела принять равной нулю

К главе 2. Молекулярная физика

6.1. Баллон емкостью $V = 0,50$ л, содержащий воздух при нормальных условиях, герметически закрывают, после чего нагревают до температуры $t = 400^\circ\text{C}$. Определить давление p воздуха в баллоне при этой температуре. На сколько процентов увеличивается давление газа в нагретом сосуде, если перед герметизацией в него попало $m = 0,90$ г воды?

6.2. В баллоне емкостью V_1 находится азот, а в баллоне емкостью V_2 — водород. Давление и температура газов соответственно равны p_1 , T_1 , p_2 , T_2 . Баллоны соединяют трубкой пренебрежимо малого объема. Считая оба газа идеальными, найти установившееся давление p смеси после того, как в обоих баллонах газ примет температуру T окружающей среды.

6.3. Воздушный шар объемом $V = 200 \text{ м}^3$ наполнен гелием. При подъеме шара в атмосфере давление и температура гелия внутри шара остаются приблизительно равными давлению и температуре наружного воздуха (избыток геля вытекает через клапан). Считая температуру воздуха не зависящей от высоты и равной $t = 0^\circ\text{C}$, определить максимальную высоту h_{\max} подъема шара, если масса его оболочки и снаряжения $m = 20$ кг. Атмосферное давление у поверхности Земли принять равным $p_0 = 1,00 \cdot 10^5$ Па.

7.1. Определить максимальное число молекул азота ($\sigma = 3,0 \cdot 10^{-10}$ м), находящихся в сферическом сосуде диаметром $d = 5,00$ см, допускаемое состоянием вакуума.

7.2. Вычислить концентрацию молекул кислорода, если их средняя квадратичная скорость $v_{\text{ср}} = 400$ м/с, а давление газа $p = 760$ мм рт. ст.

7.3. В сосуде объемом $V = 5,00$ л находится водород под давлением $p = 1,00$ атм и при температуре $T = 300$ К. Найти число молекул газа, скорости которых отличаются от наиболее вероятной скорости не выше чем на 5 м/с ($\Delta v = 10$ м/с).

8.1. Какое количество теплоты Q надо сообщить смеси газов, состоящей из $m_1 = 100$ г водорода и $m_2 = 200$ г гелия, для ее изохорного нагревания на $\Delta t = 10^\circ$?

8.2. Найти увеличение внутренней энергии ΔU гелия при его изобарном расширении от $V_1 = 10,0$ л до $V_2 = 20,0$ л, если давление газа $p = 2,0$ атм.

8.3. Воздух сжимают один раз изотермически, другой — адиабатически. Определить отношение работ сжатия газа, если в обоих случаях его объем уменьшается в $N = 2,00$ раза.

8.4. Какое количество теплоты Q необходимо сообщить v молям идеального одноатомного газа, чтобы перевести его из состояния, характеризуемого давлением p_1 , объемом V_1 и температурой T_1 , в состояние с давлением p_2 и объемом V_2 ? Рассмотреть два случая, соответствующих путям *abc* и *adc* (см. рис. 8-2).

8.5. Выразить холодильный коэффициент η' (см. стр. 84) идеальной холодильной машины, работающей по обратному циклу Карно, через коэффициент полезного действия η тепловой машины, работающей по прямому циклу Карно в том же температурном интервале, что и данная холодильная машина.

8.6. Вода массой $m = 2,00$ кг нагревается от $t_1 = 10^\circ\text{C}$ до $t_2 = 100^\circ\text{C}$ и при этой температуре обращается в пар. Найти изменение энтропии. Удельная теплоемкость и удельная теплота парообразования воды соответственно равны $c = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К), $\lambda = 2,25 \cdot 10^6$ Дж/К.

9.1. Критическая температура углекислоты $t_K = 31^\circ\text{C}$, критическое давление $p_K = 73$ атм. Определить критический объем V_K для $v = 10,0$ молей углекислоты.

9.2. Две капли ртути радиусом $r = 5,0$ мм каждая, двигаясь навстречу друг другу с одинаковой по модулю скоростью $v = 0,50$ м/с, сливаются в одну каплю. Считая процесс слияния капель адниабатическим, определить изменение температуры Δt ртути. Удельная теплоемкость и коэффициент поверхностного натяжения ртути равны $c = 0,14 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К), $\alpha = 0,49$ Н/м.

9.3. Между двумя горизонтально расположенными стеклянными пластинами находится капля ртути массой $m = 2,00$ г. С какой силой F надо прижимать друг к другу пластины, чтобы расстояние между ними стало равно $h = 0,010$ мм? Считать, что ртуть полностью не смачивает стекло, а размеры пластины таковы, что при их сближении до расстояния h ртуть не доходит до краев пластин. Плотность и коэффициент поверхностного натяжения ртути равны $\rho = 1,36 \cdot 10^4$ кг/м³, $\alpha = 0,49$ Н/м.

9.4. В воде на глубине $h = 35$ см находится пузырек воздуха диаметром $d = 0,10$ мм. Полагая атмосферное давление равным $p_0 = 750$ мм рт. ст. и температуру воды $t = 20^\circ\text{C}$, определить давление p воздуха внутри пузырька.

К главе 3. Электростатика

10.1. Сравнить силу $F_{\text{эл}}$ электростатического взаимодействия в вакууме с силой F_g гравитационного взаимодействия: а) для двух однородных шаров одинаковой массы $m = 100$ кг, но поверхности которых равномерно распределены одинаковые заряды $q = 15$ СГС; б) для двух электронов.

10.2. Три одинаковых заряда q расположены в вершинах равностороннего треугольника. Какой заряд q_0 надо поместить в центре этого треугольника, чтобы вся система зарядов оказалась в равновесии? Будет ли устойчивым это равновесие?

10.3. Заряженная капелька масла радиусом $r = 1,0 \cdot 10^{-3}$ мм находится в равновесии между горизонтально расположенными пластинами плоского конденсатора, напряженность поля которого $E = 7,85$ кВ/м. Приняв плотность масла $\rho = 900$ кг/м³, определить заряд капельки.

10.4. Две непроводящие сферы радиусами $R_1 = 3,0$ см и $R_2 = 2,0$ см расположены в вакууме и несут равномерно распределенные по их поверхностям заряды $q_1 = 1,00 \cdot 10^{-9}$ Кл и $q_2 = -2,00 \cdot 10^{-9}$ Кл. Расстояние между центрами сфер $r = 10,0$ см. Определить напряженность поля, созданного зарядами q_1 и q_2 в точке A , удаленной от центров обеих сфер соответственно на расстояния r_1 и r_2 . Решить задачу для двух случаев: а) $r_1 = 9$ см, $r_2 = 7$ см; б) $r_1 = 2$ см; $r_2 = 8$ см.

10.5. Две бесконечно длинные нити, расстояние между которыми $r = 5,00$ см, равномерно заряжены с линейной плотностью заряда $\tau_1 = \tau_2 = \tau = 1,00 \times 10^{-8}$ Кл/м. Найти максимальное значение $E_{\text{макс}}$ напряженности электрического поля для точек, принадлежащих плоскости симметрии нитей. Принять $e = 1$.

10.6. Два коаксиальных диска одинакового радиуса $R = 10,0$ см заряжены равномерно по поверхностным плотностям зарядов, равными $\sigma_1 = 5,0$ мкКл/м² и $\sigma_2 = 0,35$ мкКл/м², и сближены до расстояния $d = 3,1$ мм. Определить силу электрического взаимодействия дисков, полагая, что они находятся в вакууме.

11.1. Принимая Землю за проводящий шар радиуса $R = 6400$ км, определить заряд q и потенциал Φ Земли, если напряженность электрического поля около ее поверхности $E = 100$ В/м. Принять для воздуха $\epsilon = 1$.

11.2. Из условия задачи № 10.4 определить потенциал электрического поля Φ в точке A . Решить задачу для двух случаев, указанных в условии

11.3. Тонкое кольцо радиуса R несет заряд, равномерно распределенный с линейной плотностью τ . Найти потенциал Φ и напряженность E электрического поля на оси кольца как функции расстояния h от центра кольца.

11.4. Электрон с начальной энергией $W = 500$ эВ движется издалека в вакууме по направлению к центру равномерно заряженной сферы радиуса $R = 6,0$ см. Полагая заряд сферы $q = -5,0$ нКл, определить минимальное расстояние r , на которое приблизится электрон к поверхности сферы.

11.5. Две одинаковые металлические пластины, имеющие положительный заряд Q_1 и отрицательный заряд Q_2 , сближены до расстояния, значительно меньше их линейных размеров (рис. 11-4). Как распределяются заряды по четырем поверхностям пластин?

11.6. Точечный заряд q находится в центре уединенной сферической проводящей оболочки, внутренний и внешний радиусы которой равны r_1 и r_2 соответственно. Определить ее потенциал Φ . Чему будет равен потенциал Φ' оболочки, если ее на короткое время соединить с Землей? Потенциал Земли принять равным нулю.

11.7. Точечный заряд q помещен в центр уединенной проводящей сферической оболочки через небольшое отверстие. Полагая внутренний и внешний радиусы оболочки равными r_1 и r_2 , определить минимальную работу A , которую надо совершить, чтобы вывести заряд наружу и удалить в бесконечность.

11.8. Решить предыдущую задачу, полагая, что проводящая оболочка зачлена. Потенциал Земли считать равным нулю.

12.1. Металлический шар радиуса $r = 5,00$ см, несущий заряд $q = 2,00 \text{ нКл}$, покрыт слоем однородного и изотропного диэлектрика ($\epsilon = 6,0$) толщиной $a = 1,00$ см. Найти напряженности электрического поля E_1 и E_2 в точках, удаленных от центра шара соответственно на $r_1 = 5,50$ см и $r_2 = 7,00$ см, а также поверхностную плотность σ' связанных зарядов на внешней поверхности диэлектрика.

12.2. На плоский конденсатор, в котором диэлектриком служит слюда ($\epsilon = 7,5$), а расстояние между пластинами $d = 1,00$ мм, наложено напряжение $U = 1000$ В. Определить плотность энергии электрического поля конденсатора.

12.3. Какой энергией обладало бы электрическое поле медного шарика радиусом $r = 1,00$ см, если бы из каждого его атома удалили по одному электрону?

12.4. Используя закон сохранения энергии, решить задачу № 11.7, полагая, что проводящая сферическая оболочка перед выведением из неё заряда q соединяется на короткое время с Землей. Потенциал Земли принять равным нулю.

12.5. Как изменится емкость плоского конденсатора, помещенного в металлическую коробку (см. задачу № 12-9, стр. 140), если последнюю соединить с одной из пластин?

12.6. Определить разность потенциалов между точками a и b в цепи, изображенной на рис. 12-10, при разомкнутом ключе K . Необходимые данные взять из условия задачи № 12-11 (стр. 142).

К главе 4 Постоянный ток

13.1. Какой заряд пройдет по проводнику сопротивлением $R = 1,00 \text{ кОм}$ при равномерном нарастании напряжения на его концах от $U_1 = 15$ В до $U_2 = 25$ В в течение $t = 20 \text{ с}^2$

13.2. Медный диск радиуса $r = 3,00$ см с концентрическим вырезом радиуса $r_0 = 3,0$ мм плотно насажен на стальной цилиндрический стержень и также плотно вставлен в алюминиевую трубку. Между трубкой и стержнем через диск идет ток. Определить сопротивление R диска, если его толщина $d = 1,00$ мм, а температура $t = 20^\circ\text{C}$.

13.3. Определить э. д. с. и внутреннее сопротивление гальванического элемента, если при замыкании на сопротивление $R_1 = 1,80 \text{ Ом}$ он дает ток $I_1 = 0,70 \text{ А}$, а при замыкании на сопротивление $R_2 = 2,30 \text{ Ом}$ — ток $I_2 = 0,56 \text{ А}$. Чему будет равен ток I_0 короткого замыкания?

13.4. Сопротивление каждого ребра проволочного куба равно r . Чему равно сопротивление R куба, если он включен в цепь своими вершинами, лежащими на пространственной диагонали?

13.5. Если в схеме, изображенной на рис. 13-10, переключить вольтметр, присоединив его к зажимам источника, то амперметр будет показывать силу тока I в резисторе R . При этом вольтметр будет давать показание U , превышающее напряжение на резисторе R за счет падения напряжения на амперметре. Полагая сопротивление амперметра равным R_A , определить относительную погрешность, которая будет допущена при вычислении сопротивления R без учета падения напряжения на амперметре.

13.6. Определить силу тока на всех участках цепи, изображенной на рис. 13-11, если точки a , b соединить проводником пренебрежимо малого сопротивления.

13.7. При включении в сеть электроплитки с номинальной мощностью $P_0 = 700 \text{ Вт}$ разность потенциалов на клеммах розетки уменьшилась, а фактическая мощность электроплитки стала $P_1 = 580 \text{ Вт}$. Какова мощность двух таких плиток, включенных параллельно в розетку? Изменением сопротивления плиток при изменениях их накала пренебречь.

- 14.1.** По медному проводнику сечением $S = 1,00 \text{ мм}^2$ идет ток силой $I = 60 \text{ А}$. Определить среднюю скорость направленного движения электронов в проводнике. Считать число свободных электронов равным числу атомов меди.
- 14.2.** На пластины плоского конденсатора наложено напряжение $U = 500 \text{ В}$. Гальванометр, включенный в цепь конденсатора, показывает ток силой $I = 18 \text{ мА}$, возникающий вследствие ионизации воздуха между пластинами рентгеновским излучением, причем насыщение не имеет места. Определить концентрацию n ионов, если площадь каждой пластины $S = 200 \text{ см}^2$, а расстояние между пластинами $d = 4,00 \text{ см}$. Ионы воздуха считать одновалентными, а их подвижности $u_+ = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ и $u_- = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

К главе 5. Электромагнетизм

- 15.1.** Часть длинного прямого провода согнута в виде полуокружности радиуса $R = 126 \text{ мм}$. Определить индукцию магнитного поля в центре кривизны, если по проводу идет ток силой $I = 4,00 \text{ А}$.

- 15.2.** По тонкому проводу, изогнутому в виде прямоугольника со сторонами $a = 30 \text{ см}$, $b = 40 \text{ см}$, идет ток силой $I = 6,00 \text{ А}$. Определить индукцию магнитного поля тока в центре симметрии фигуры.

- 15.3.** По двум длинным параллельным проводам текут в противоположных направлениях одинаковые токи силой $I = 15,0 \text{ А}$. Расстояние между проводами $a = 30 \text{ см}$. Найти максимальное значение индукции магнитного поля для точек, принадлежащих плоскости симметрии проводов.

- 15.4.** Решить предыдущую задачу при условии, что токи текут в одном направлении.

- 15.5.** Тонкое металлическое полукольцо радиуса $R = 25 \text{ см}$ помещено в однородное магнитное поле с индукцией $B = 30 \text{ мкТ}$, так что вектор \mathbf{B} направлен перпендикулярно плоскости, содержащей полукольцо. Определить магнитную силу, действующую на полукольцо, если по нему идет ток силой $I = 100 \text{ А}$.

- 15.6.** Два проводящих кольца одинакового радиуса R расположены в параллельных плоскостях на расстоянии a друг от друга. Определить силу взаимодействия между кольцами, если по ним текут одинаково направленные токи $I_1 = I_2 = I$, в двух случаях: 1) $a \ll R$, 2) $a \gg R$.

- 15.7.** Используя условие задачи № 15-6 (стр. 84), определить работу A , которую совершают силы магнитного поля, приложенные к рамке, если последняя повернется вокруг оси $O O'$ на угол α .

- 16.1.** Автомобиль едет со скоростью $v = 72 \text{ км}/\text{ч}$ в направлении, перпендикулярно плоскости магнитного меридиона. Определить э. д. с. индукции, возникающую в установленной на машине антенне, расположенной вертикально и имеющей длину $l = 50 \text{ см}$, вследствие движения автомобиля в магнитном поле Земли. Принять горизонтальную составляющую индукции магнитного поля Земли равной $B_r = 0,05 \text{ мТ}$. Что покажет установленный в автомобиле микровольтметр, если его присоединить к концам антенны?

- 16.2.** Плоская прямоугольная катушка со сторонами $a = 15 \text{ см}$ и $b = 30 \text{ см}$ имеет $N = 100$ витков. Катушка вращается вокруг одной из средних линий прямоугольника в однородном магнитном поле с индукцией $B = 20 \text{ мТ}$, совершая $n = 40 \text{ об}/\text{с}$. Определить максимальное значение э. д. с. индукции в катушке, если ее ось вращения перпендикулярна направлению поля.

- 16.3.** Металлический стержень длины $l = 400 \text{ мм}$ вращается с частотой $n = 50 \text{ об}/\text{с}$ в однородном магнитном поле с индукцией $B = 10,0 \text{ мТ}$ в плоскости, перпендикулярной направлению поля, вокруг оси, проходящей через его середину. Определить разность потенциалов U , возникающую между одним из концов стержня и его серединой. Чему равна разность потенциалов U' между концами стержня?

- 16.4.** Какое количество электричества q протечет по рамке $abcd$, рассматриваемой в условии задачи № 16-1 (стр. 190), за время $\Delta t = 0,10 \text{ с}$, если проводник ad двигался равномерно, а сопротивление рамки оставалось в течение промежутка Δt практически постоянным и равным $R = 1,00 \text{ кОм}$?

- 16.5.** Решить предыдущую задачу при условии, что сопротивление рамки равномерно возрастало в течение промежутка Δt от $R_0 = 1,0 \text{ Ом}$ до $R_t = 3,0 \text{ Ом}$.

- 16.6.** На цилиндрический картонный каркас длиной $l = 25,0 \text{ см}$ и диамет-

тром $D = 2,0$ см намотан в два слоя провод диаметром $d = 0,20$ мм с весьма тонкой изоляцией так, что витки плотно прилегают друг к другу. Вычислить индуктивность этой катушки.

16.7. Катушка с медным проводом подключена к источнику постоянного напряжения. Через какой промежуток времени τ сила тока в катушке достигнет $\alpha = 0,9$ установленного значения? Необходимые данные взять из условия предыдущей задачи.

17.1. Железный тороид сечением $S = 100 \text{ mm}^2$ и средним диаметром $D = 150 \text{ mm}$ имеет две обмотки, состоящих из $N_1 = 500$ и $N_2 = 40$ витков. По первичной обмотке пропускают постоянный ток силой $I = 0,30 \text{ A}$. В цепь вторичной обмотки включен баллистический гальванометр. Если изменить направление тока в первичной обмотке, то при этом через баллистический гальванометр проходит заряд $q = 120 \text{ мКл}$. Зная, что общее сопротивление вторичной обмотки и гальванометра $R = 50 \text{ Ом}$, определить магнитную проницаемость μ железа при данных условиях.

17.2. Железный тороид сечением $S = 400 \text{ mm}^2$ и средним диаметром $D = 300 \text{ mm}$ имеет поперечную прорезь шириной $a = 2,0 \text{ mm}$. На тороид нанесена обмотка с числом витков $N = 1800$. Когда по обмотке пустили ток силой $I = 1,00 \text{ A}$, индукция магнитного поля в зазоре стала $B = 0,65 \text{ T}$. Определить магнитную проницаемость μ железа при данных условиях.

17.3. Определить энергию магнитного поля, заключенную в сердечнике тороида из условия задачи № 17.1.

17.4. Коаксиальный кабель состоит из тонкой металлической трубы длиной l и радиуса R ($R \ll l$) и расположенного вдоль ее оси провода радиуса r . Силы токов в трубке и проводе равны, направления противоположны. Определить энергию магнитного поля кабеля при силе тока, равной I . Магнитным полем внутри металла пренебречь, а магнитную проницаемость μ среды, разделяющей проводники, принять равной единице.

18.1. Пучок электронов влетает в плоский конденсатор параллельно его пластинам длиной $l = 5,00 \text{ см}$. Напряженность электрического поля конденсатора $E = 40 \text{ кВ/м}$. Определить кинетическую энергию T электронов, влетающих в конденсатор, если, пройдя его, пучок отклоняется от первоначального направления на угол $\alpha = 22^\circ$.

18.2. Пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 2,0 \text{ кВ}$, электрон влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B = 1,6 \text{ мТ}$ перпендикулярно линиям индукции поля. Определить радиус r окружности, по которой будет двигаться электрон, и его момент импульса L .

18.3. В электроннолучевой трубке пучок электронов, пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 15 \text{ кВ}$, движется затем по направлению от анода к экрану и создает в центре последнего световое пятно. При наложении однородного магнитного поля с индукцией $B = 0,45 \text{ мТ}$, направленного перпендикулярно оси трубы, пятно на экране сместилось на $a = 50 \text{ мм}$. Зная, что экран удален от анода на $l = 300 \text{ мм}$, определить удельный заряд e/m электрона.

18.4. Электрон движется со скоростью $v = 9,0 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,63 \text{ мТ}$ так, что угол между векторами v , B весьма мал. Определить шаг h винтовой линии, по которой движется электрон.

18.5. Определить скорость v и импульс p заряженной частицы, которая прошла ускоряющую разность потенциалов $U = 1,5 \text{ МВ}$. Рассмотреть два случая, соответствующие: а) протону и б) электрону.

К главе 6. Колебания и волны

19.1. Определить максимальную скорость и максимальное ускорение точки, колеблющейся по закону $x = 2 \cos \pi (t + 1)$ (смещение дано в сантиметрах).

19.2. Точка участвует одновременно в трех колебаниях, происходящих по одной прямой и выраженных уравнениями: $x_1 = 2 \cos \omega t$; $x_2 = -2 \sin (\omega t - \pi/4)$; $x_3 = 2 \cos (\omega t + \pi/2)$ (смещение x дано в сантиметрах). Определить амплитуду A_0 и начальную фазу ϕ_0 результирующего колебания.

19.3. Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выраженных уравнениями: $x = 3 \sin \omega t$, $y = 2 \sin (\omega t + \pi/2)$. Найти уравнение траектории и показать, в каком направлении происходит движение.

19.4. Математический маятник, подвешенный к потолку вагона, совершают колебания. Найти относительное изменение периода колебаний маятника, если вагон начнет двигаться в горизонтальном направлении с постоянным ускорением $a = 0,5 \text{ м/с}^2$.

19.5. Тело, неподвижно висящее на цилиндрической пружине, растягивает ее на $\Delta x = 40 \text{ мм}$. Затем тело было смешено из положения равновесия по вертикали вниз на $\Delta x_0 = 20 \text{ мм}$ и отпущено, в результате чего оно стало совершать гармонические колебания. Определить скорость тела в момент прохождения им положения равновесия.

19.6. На концах тонкого стержня длиной $l = 50 \text{ см}$ укреплены по одинаковому грузику. Под действием силы тяжести система колебается в вертикальной плоскости вокруг оси, которая делит длину стержня в отношении $\alpha = 4 : 5$. Пренебрегая массой стержня, определить период колебаний маятника.

19.7. Тонкий диск подвешен в горизонтальной плоскости на трех параллельных нитях одинаковой длины l так, что точки подвеса расположены симметрично относительно его центра. Определить период T крутильных колебаний диска, если амплитуда их мала.

19.8. Найти время t , в течение которого энергия колебаний камертонов с частотой $v = 440 \text{ Гц}$ уменьшится в $N = 1,00 \cdot 10^8$ раз, если логарифмический декремент затухания $\lambda = 1,00 \cdot 10^{-3}$.

20.1. Медный стержень длиной $l = 1,00 \text{ м}$ закреплен на концах. Найти частоты собственных продольных колебаний стержня.

20.2. Наблюдатель, стоящий на шоссе, слышит звуковой сигнал проезжающего мимо автомобиля. Когда он приближается, частота звука, регистрируемого наблюдателем, $v_1 = 3,00 \text{ кГц}$; когда удаляется, регистрируемая частота $v_2 = 2,50 \text{ кГц}$. Каковы скорость v автомобиля и частота колебаний v источника звука? Скорость звука принять $c = 340 \text{ м/с}$.

21.1. Заряженный конденсатор емкостью $C = 40 \text{ мкФ}$ соединяют при помощи ключа с катушкой индуктивностью $L = 100 \text{ мГн}$. Пренебрегая омическим сопротивлением полученного колебательного контура, определить время t , по истечении которого сила тока в контуре достигнет максимального значения.

21.2. В цепи, состоящей из последовательно включенных резистора сопротивлением $R = 1,00 \text{ кОм}$, катушки индуктивностью $L = 300 \text{ мГн}$ и конденсатора переменной емкости, действует синусоидальная э. д. с. с действующим значением $\mathcal{E} = 60 \text{ В}$ и частотой $v = 50 \text{ кГц}$. Определить значение емкости C конденсатора, при котором в цепи наступит явление резонанса. Определить также действующее значение силы тока $I_{\text{рез}}$ в цепи при резонансе.

К главе 7. Оптика

22.1. Показать, что кажущаяся глубина водоема, если смотреть по вертикальному направлению, составляет $3/4$ его истинной глубины.

22.2. Луч, дважды преломляясь на гранях равнобочной призмы, выходит из нее, будучи отклоненным на $\delta = 37^{\circ}10'$ от первоначального направления. Определить преломляющий угол A призмы, если внутри призмы луч идет параллельно ее основанию. Показатель преломления $n = 1,5$.

22.3. Перемещая линзу между светящимся предметом и экраном, получили при одном ее положении увеличенное изображение предмета, при другом — уменьшенное. Зная, что расстояние между предметом и экраном $l = 1000 \text{ мм}$, а расстояние между двумя положениями линзы, соответствующими увеличенному и уменьшенному изображениям, $s = 650 \text{ мм}$, определить оптическую силу Φ линзы.

22.4. Объектив телескопа состоит из двух сложенных вплотную линз: собирающей с фокусным расстоянием $f_1 = 2,00 \text{ м}$ и рассевающей $f_2 = -4,00 \text{ м}$. Какой оптической силы следует взять окуляр, чтобы телескоп давал увеличение $G = 100$?

22.5. Точечный изотропный источник S света находится на высоте h над горизонтальной поверхностью. Во сколько раз изменится освещенность поверхности в точке A , находящейся под источником, если на расстоянии от S , равном h , поместить вертикально расположенное плоское зеркало, отражающее свет в A ? Коэффициент отражения принять равным единице.

22.6. Светильник в виде шара из молочного стекла создает на расстоянии $r = 5,0$ м при нормальном падении лучей освещенность $E = 6,0$ лк. Определить яркость B светильника, если его диаметр $D = 20$ см.

22.7. Источник света имеет форму цилиндра длиной $l = 40$ м и диаметром $D = 30$ мм, расположенного параллельно освещаемой им плоской поверхности на расстоянии $h = 1,00$ м. Его яркость $B = 4,2 \cdot 10^3$ кд/м². Полагая, что источник излучает свет по закону Ламберта, определить освещенность E поверхности в точке, ближайшей к середине источника.

23.1. Плоскопараллельная пластиинка с показателем преломления $n = 1,50$ освещается параллельным пучком монохроматического света ($\lambda = 0,59$ мкм). При постепенном увеличении угла i падения лучей интерференционная картина в отраженном свете изменяется. Зная, что при изменении угла i в некотором интервале имеются лишь два значения $i_1 = 30^\circ$ и $i_2 = 34^\circ$, соответствующие максимальной интенсивности отраженного света, определить толщину h пластиинки.

23.2. Плосковыпуклая линза ($n = 1,50$) с оптической силой $\Phi = 2,00$ дп выпуклой стороной лежит на стеклянной пластиинке. Радиус четвертого темного кольца Ньютона в отраженном свете $r = 0,70$ мм. Определить длину световой волны λ .

24.1. Между точечным источником монохроматического света ($\lambda = 0,50$ мкм) и экраном поместили диафрагму с круглым отверстием радиуса $r_1 = 0,75$ мм. Расстояние R от источника до диафрагмы равно расстоянию r_0 от диафрагмы до экрана: $R = r_0 = 0,75$ м. Увеличится или уменьшится освещенность экрана в точке P , лежащей против центра отверстия, если его радиус увеличить до $r_1 = 0,87$ мм?

24.2. На дифракционную решетку, содержащую $N = 400$ штрихов на $\Delta l = 1,00$ мм, падает нормально монохроматический свет ($\lambda = 0,60$ мкм). Найти общее число k_{\max} дифракционных максимумов, которые дает эта решетка, и угловое положение φ_{\max} последних максимумов.

24.3. Определить максимальный размер a_{\max} зерен эмульсии фотопленки, при котором еще можно полностью использовать разрешающую силу телесъемочного фотоаппарата с относительным отверстием $D/f = 1 : 3,5$. Длину световой волны, на которую приходится максимум чувствительности фотопленки, принять $\lambda = 0,55$ мкм.

25.1. Угол полной поляризации при отражении от кристалла кианитовой солн $\varphi = 57^\circ 05'$. Определить скорость v распространения света в этом кристалле.

25.2. Степень поляризации частично поляризованного света $P = 0,25$. Найти отношение интенсивности I_p плоскополяризованной составляющей этого света к интенсивности I_n естественной составляющей.

25.3. Естественный свет падает на систему из двух последовательно расположенных никелей, главные плоскости которых образуют между собой угол $\Phi = 50^\circ$. Зная, что при падении на каждый никель линейно поляризованного света максимальный коэффициент пропускания $\tau = 0,90$, определить, во сколько раз уменьшится интенсивность света после прохождения данной системы.

26.1. Длины волн $\lambda_{01}, \lambda_{02}$, соответствующие максимумам спектральной плотности энергетической светимости в спектрах двух абсолютно черных тел, различаются на $\Delta\lambda = \lambda_{02} - \lambda_{01} = 0,50$ мкм. Определить температуру T_2 второго тела, если температура первого $T_1 = 2,50 \cdot 10^3$ К.

26.2. Вольфрамовая нить диаметром $d_1 = 0,10$ мм соединена последовательно с вольфрамовой нитью неизвестного диаметра. Нити накаливаются в вакууме током, при этом их установившиеся температуры $T_1 = 2,00 \cdot 10^3$ К, $T_2 = 3,00 \cdot 10^3$ К. Найти диаметр d_2 второй нити. Коэффициенты полного излучения вольфрама и его удельное сопротивление, соответствующие данным температурам, равны $a_1 = 0,260$, $a_2 = 0,334$, $\rho_1 = 5,91 \cdot 10^{-7}$ Ом · м, $\rho_2 = 9,62 \cdot 10^{-7}$ Ом · м.

27.1. Найти длину волны λ_{\min} коротковолновой границы сплошного рентгеновского спектра, если скорость электронов, подлетающих к аноду трубки, $v = 0,85$ с, где c — скорость света.

27.2. Параллельный пучок монохроматических лучей ($\lambda = 0,662$ мкм) падает нормально на зачерненную поверхность ($\rho = 0$) и производит давление $P = 3,0 \cdot 10^{-7}$ Па. Определить концентрацию n фотонов в световом пучке.

27.3. Плоская световая волна с интенсивностью I освещает шар с зеркаль-

ной поверхностью радиуса R ($R \gg \lambda$). Приняв, что коэффициент отражения ρ не зависит от угла падения, определить силу светового давления, действующую на шар.

К главе 8. Атомная и ядерная физика

28.1. Вычислить частоты n_1 , n_2 обращения электрона на первой и второй боровских орбитах атома водорода, а также частоту v фотона, соответствующую переходу электрона между этими орбитами.

28.2. Найти интервал длин волн, в котором заключена спектральная серия Бальмера для атома водорода.

28.3. Определить скорость v , которую приобретает покоящийся ион гелия He^+ в результате излучения фотона при переходе из первого возбужденного состояния в основное.

29.1. Какую ускоряющую разность потенциалов U должен пройти электрон, чтобы его де-бройлевская длина волны стала $\lambda = 1,00 \text{ \AA}$?

29.2. При каком значении кинетической энергии T де-бройлевская длина волны λ электрона равна его комптоновской длине волны λ_c ?

29.3. Частица находится в возбужденном состоянии ($n = 3$) в одномерном потенциальном ящике шириной l . В каких точках интервала $0 < x < l$ плотность вероятности нахождения частицы имеет экстремальные значения?

29.4. Вычислить полную энергию W и орбитальный момент импульса M_l электрона, находящегося в $2p$ -состоянии в атоме водорода.

29.5. Найти максимально возможный полный механический момент (M_J) мано атома натрия, если его валентный электрон имеет главное квантовое число $n = 4$.

30.1. На какую часть уменьшится активность a изотопа ^{236}U за время Δt ? Рассмотреть случаи: 1) $\Delta t = 1000$ лет; 2) $\Delta t = T$, где $T = 7,1 \cdot 10^8$ лет — период полураствора ^{236}U ; 3) $\Delta t = 10^9$ лет.

30.2. В урановой руде на $m_1 = 1,00 \text{ кг}$ урана ^{238}U приходится $m_2 = 0,32 \text{ кг}$ свинца ^{208}Pb . Определить возраст t урановой руды, считая, что весь свинец является конечным продуктом распада уранового ряда. Период полураствора урана-238 $T = 4,5 \cdot 10^9$ лет.

31.1. Сколько тепла выделяется при образовании $m = 1 \text{ г}$ гелия в результате ядерной реакции ${}_1^2\text{H} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_2^3\text{He} + {}_1^0\text{n}$?

31.2. Какова наименьшая энергия e_{\min} фотона, способного вызвать рождение пары позитрон-электрон, при его взаимодействии с покоявшейся частицей? Рассмотреть два случая, соответствующих взаимодействию фотона со следующими частицами: а) электроном; б) протоном.

Ответы

- 1.1. $v = s/2t = 3,0 \text{ км/ч}$. 1.2. $s = 2v_0t$. 1.4. $s = v_0^2 \sin 2\alpha/g - l$. Указание: использовать симметрию задачи, обусловленную зеркальным отражением мяча от стены при упругом ударе. 1.5. $\alpha = \arcsin(v_0/\sqrt{v_0^2 + g^2t^2}) = 26^\circ$; $a_n = gv_0/\sqrt{v_0^2 + g^2t^2} = 4,4 \text{ м/с}^2$; $a_\tau = g^2t/\sqrt{v_0^2 + g^2t^2} = 8,8 \text{ м/с}^2$. 1.6. $a = r\sqrt{(d^2\phi/dt^2)^2 + (d\phi/dt)^2} = 1,6 \text{ м/с}^2$; $\alpha = 14^\circ$. 2.1. $a_2 = ma_1/(ma_1 + F_1) = 4,9 \text{ м/с}^2$; $F_2 = F_1mg/(ma_1 + F_1) = 1 \text{ кгс}$. 2.2. $F = mg(1 - 4s^2/g^2t^4) = 6 \text{ Н}$. 2.3. $v = \sqrt{gR \operatorname{ctg} \alpha}$. 2.4. $n = (1/2\pi)\sqrt{l/g} = 0,41 \text{ с}^{-1}$. Указание: учесть, что для малых углов $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$. 2.5. $v = \sqrt{\mu g R} = 17 \text{ м/с}$; 2.6. 1) $a = F/(M + m) = 0,33 \text{ м/с}^2$; $F_{\text{тр}} = FM/(M + m) = 6,5 \text{ Н}$; 2) $F_{\text{тр}} = \mu mg = 9,8 \text{ Н}$; $a_1 = \mu mg/M = 0,5 \text{ м/с}^2$; $a_2 = F/m - \mu g = 2,0 \text{ м/с}^2$. 2.7. $a_1 = 2(m_1 - m_2)\sqrt{g^2 + a^2/(4m_1 + m_2)}$; $a_2 = (2m_1 - m_2)\sqrt{g^2 + a^2/(4m_1 + m_2)}$; $T = 3m_1m_2\sqrt{g^2 + a^2/(4m_1 + m_2)}$. Указание: применить систему отсчета, связанную с вагоном. 3.1. $v_1 = [m'(v + u) + mu]/(m + m')$; $v_2 = v$; $v_3 = [m'(v - u) + mu]/(m + m')$. 3.2. $h = v_0^2/2g(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) = 4,2 \text{ м}$; $v = v_0(1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha)/(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) = 8 \text{ м/с}$. 3.3. $\Delta F = 6 \text{ mg} = 12 \text{ Н}$. 3.4. $h = Mv^2/2(M + m)g$. 3.5. $\Delta W = -m[v_1^2 - v_2^2 - (v_1 - v_2)^2 m/M]/2$. 4.1. $I = m_1m_2t^2/(m_1 + m_2)$.

$+ m_2) = 1,2 \cdot 10^4 \text{ г} \cdot \text{см}^2$. 4.2. $I = 0,5$ лрн $[R^4 - 2r^2(r^2 + a^2)] = 7,6 \cdot 10^8 \text{ г} \cdot \text{см}^3$. Указание: использовать аддитивность момента инерции. 4.3. $a_1 = \frac{2(m_1 - m_2)g}{4m_1 + m_2 + 4I/R_2}$; $a_2 = \frac{(2m_1 - m_2)g}{4m_1 + m_2 + 4I/R_2}$. 4.4. $a = 2F \cos \alpha / 3m = 0,29 \text{ м/с}^2$. 4.5. $T = MgR^2/2(R^2 + 2r^2)$; $\alpha = 2gr^2/(R^2 + 2r^2)$. 4.6. $\varepsilon = m/2M$. 4.7. $A = \pi^2 m l^2 n_1 n_2 / 6 = 7,9$ Дж. 5.1. $g_M = M_M R_M^3 g / M_3 R_M \approx 0,5$ г. 5.2. $v_3/v_1 = \sqrt{(R_3 + h_1)/(R_3 + h_2)}$. 5.3. $A = 0,047 \gamma Mm'/R \approx 0,3 \cdot 10^{10}$ Дж. 5.4. $t = T/4\sqrt{2} = 65$ сут (T — период обращения Земли вокруг Солнца). Указание: рассматривая падение тела на Солнце как предельный случай движения по эллипсу, применить третий закон Кеплера.

6.1. $p = p_0 T/T_0 = 2,48 \cdot 10^5$ Па; $\Delta p/p = mRT_0/\mu Vp_0 = 2,2$ или 220%. 6.2. $p = T(p_1V_1/T_1 + p_2V_2/T_2)/(V_1 + V_2)$. 6.3. $h_{\max} = (RT/\mu_B g) \ln [(\mu_B - \mu_F) p_0 V / mRT] = 30$ км. Указание: применив закон Архимеда и барометрическую формулу, выразить подъемную силу F как функцию $F(h)$. 7.1. $N = d^2/6\sqrt{2}\sigma^2 = 0,33 \cdot 10^{16}$. 7.2. $n = 3Rp/\mu_{\text{кива}}^2 = 3,6 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$. 7.3. $\Delta N = 4\Delta vpV\sqrt{\mu}/\sqrt{\rho kT}V^2\sqrt{R}T = 6,35 \cdot 10^{20}$. 8.1. $Q = (R/2)(i_1m_1/\mu_1 + i_2m_2/\mu_2)\Delta t = 17$ кДж. 8.2. $\Delta U = ip\Delta V/2 = 3,0$ кДж. 8.3. $A_2/A_1 = (1 - N^{1/2}) \times \times [(1 - \eta) \ln N]^{-1} = 1,15$. 8.4. $Q_1 = (3/2)vRT_1[(p_2V_2 - p_1V_1)/p_1V_1] + p_1(V_2 - V_1)$; $Q_2 = (3/2)vRT_1[(p_3V_3 - p_1V_1)/p_1V_1] + p_2(V_2 - V_1)$. Указание: применить первое начало термодинамики. 8.5. $\eta' = (1 - \eta)/\eta$. 8.6. $\Delta S = mc \ln(T_2/T_1) + \lambda mT_2 = 14$ кДж/К. 9.1. $V_K = 3vRT_K/8\rho_K = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. 9.2. $\Delta t = |v_2 + 3(2 - \sqrt[3]{4})\alpha/2\rho|/c = 1,8 \cdot 10^{-3}$ К. Указание: согласно закону сохранения энергии суммарная убыль кинетической и поверхностной энергий системы, происходящая в процессе слияния капель, равна приращению энергии теплового движения молекул ртути. 9.3. $F = 2\alpha m/\rho h^2 = 1,4$ кН. 9.4. $p = p_0 + \rho gh + 4\alpha/d - p_{\text{насыщ}} = 793$ мм рт. ст. Указание: внутри пузырька находятся смеси газов: воздуха и насыщающего пара воды. По закону Даллуга, $p_{\text{см}} = p + p_{\text{насыщ}}$, где значение $p_{\text{насыщ}}$ находится из таблиц при $t = 20^\circ\text{C}$ $p_{\text{насыщ}} = 17,5$ мм рт. ст.

10.1. $F_{\text{эл}}/F_{\text{г}} = q^2/4\pi\epsilon_0\gamma m^2$; а) 0,34; б) $4,2 \cdot 10^{42}$. 10.2. $q_0 = q\sqrt{3}$; равновесие будет неустойчивым. 10.3. $q = 4\pi r^3 \rho / 3E = 4,8 \cdot 10^{-19}$ Кл. 10.4. а) $E = \sqrt{1/(q_1/r_1^2)^2 + (q_2/r_2^2)^2 + q_1q_2(r_1^2 + r_2^2 - r^2)/r_1^2r_2^2/4\pi\epsilon_0} = 3,6 \cdot 10^8 \text{ В/м}$; б) $E = |q_2|/4\pi\epsilon_0 r_2^2 = 2,8 \cdot 10^3 \text{ В/м}$. 10.5. $E_{\max} = \tau/\pi\epsilon_0 r = 7,2 \text{ кВ/м}$. Указание: выразить напряженность E электрического поля нитей в произвольной точке плоскости симметрии как функцию расстояния этой точки до плоскости, содержащей нити. 10.6. $F = \pi\sigma_1\sigma_2 R^2/2\epsilon_0 = 3,1 \text{ мН}$. 11.1. $q = 4\pi\epsilon_0 R^2 E = 4,5 \cdot 10^6$ Кл; $\varphi = ER = 6,4 \cdot 10^8 \text{ В}$. 11.2. а) $\varphi = (1/4\pi\epsilon_0)(\varphi_1/r_1 + \varphi_2/r_2) = -160 \text{ В}$; б) $\varphi = (1/4\pi\epsilon_0)(\varphi_1/r_1 + \varphi_2/r_2) = 75 \text{ В}$. 11.3. $\varphi = \tau R/2\epsilon_0 \sqrt{R^2 + h^2}$; $E = \tau Rh/2\epsilon_0 (R^2 + h^2)^{3/2}$. Указание: сначала найти потенциал, а затем, используя соотношение (11.6), — напряженность. 11.4. $r = eq/4\pi\epsilon_0 W - R = 3,0 \text{ см}$. 11.5. $q_1 = q_4 = (|Q_1| - |Q_2|)/2$; $q_2 = -q_3 = (|Q_1| + |Q_2|)/2$ (сблизления зарядов соответствуют рис. 11-4). Указание: сначала, применив теорему Гаусса и свойство проводников, в силу которого $E_{\text{внутр}} = 0$, доказать, что $q_2 = -q_3$. Затем, используя метод, примененный при решении задачи № 11-4 (стр. 117), вывести соотношение $q_1 = q_4$. 11.6. $\varphi = q/4\pi\epsilon_0 r_2$; $\varphi' = 0$. Указание: учесть заряды, индуцированные на внутренней и внешней поверхностях оболочки. 11.7. $A = q^2(r_2 - r_1)/8\pi\epsilon_0 r_1 r_2$. Указание: задача можно решить двумя способами: 1) искомая работа равна по модулю и противоположна по знаку работе сил электрического поля, индуцированных на поверхностях оболочки зарядов, совершающей по перемещению заряда q , т. е.

$A = - \int_0^q (\varphi_1 - \varphi_2) dq$, где φ_1 — потенциал поля индуцированных зарядов в центре оболочки, $\varphi_2 = \varphi_\infty = 0$; 2) искомая работа равна изменению энергии электрического поля системы рассматриваемых тел, т. е. $A = -\Delta W$, где $W = \int_V w dV$, а объемная плотность энергии w определяется формулой (12.11). При интегрировании необходимо учесть существование поля внутри проводящей оболочки.

лочки. 11.8. $A = q^2/8\pi e_0 r_1$. 12.1. $E_1 = q/e_0 e r_1^2 = 0,12 \text{ кВ/м}$; $E_2 = q/e_0 r_2^2 = 0,46 \text{ кВ/м}$; $\sigma' = (e - 1)q/e(r + a)^2 = 0,46 \text{ мкКл/м}^2$. 12.2. $\omega = e_0 e U^2/2d^2 = 33 \text{ Дж/м}^3$. 12.3. $W = 2\pi N_A^2 \cdot r^2 \rho^2/9e_0 \mu^2 = 1,4 \cdot 10^{25} \text{ Дж}$. 12.4. $A = q^2(r_1 + r_2)/8\pi e_0 r_1 r_2$. Указание: учесть, что после удаления заряда q на оболочке остается индуцированный заряд $q' = -q$. 12.5. Увеличится в два раза. 12.6. $\Phi_A - \Phi_B = (C_4/(C_3 + C_4) - C_3/(C_1 + C_3))U = -33 \text{ В}$. 13.1. $g = (U_1 + U_2)t/2R = 0,40 \text{ Кл}$. 13.2. $R = \rho \ln(r/r_0)/2\pi d = 6,2 \text{ мкОм}$. 13.3. $\mathcal{J} = I_1 I_2 (R_3 - R_1)/(I_1 - I_2) = 1,4 \text{ А}$; $r = (I_2 R_3 - I_1 R_1)/(I_1 - I_2) = 0,20 \text{ Ом}$; $I_0 = I_1 I_2 (R_2 - R_1)/(I_2 R_2 - I_1 R_1) = 7,0 \text{ А}$. 13.4. $R = 5r/6$. Указание: найти точки равного потенциала. 13.5. $\Delta R/R = IR_A/U$. 13.6. $I_1 = \mathcal{E}_1/R_1 = 1,5 \text{ мА}$; $I_2 = \mathcal{E}_2/R_2 = 0,8 \text{ мА}$; $I = I_1 - I_2 = 0,7 \text{ мА}$. 13.7. $P_2 = 2P_1 P_0/(2\sqrt{P_0} - \sqrt{P_1})^2 = 980 \text{ Вт}$. Указание: учесть, что уменьшение разности потенциалов на клеммах розетки вызвано падением напряжения на подводящих проводах вследствие протекания по ним тока. При этом э. д. с. источника остается постоянной. 14.1. $\langle v \rangle = 1\mu/eN_A \rho S = 0,44 \text{ см/с}$. 14.2. $n = Id/e(u_+ + u_-)SU = 1,4 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$.

15.1. $B = \mu_0 l/4R = 10,0 \text{ мкТ}$. 15.2. $B = 2\mu_0 I \times \sqrt{a^2 + b^2}/lab = 20 \text{ мкТ}$. 15.3. $B_{\max} = 2\mu_0 l/la = 40 \text{ мкТ}$. 15.4. $B_{\max} = \mu_0 l/la = 20 \text{ мкТ}$. Указание: сначала выразить величину B в произвольной точке плоскости симметрии как $B = B(x)$, где x — расстояние точки от плоскости, содержащей провод. 15.5. $F = 2Rl/B = 1,5 \text{ мН}$. 15.6. 1) $F = \mu_0 l^2 R/a$; 2) $F = 3\pi\mu_0 l^2 R^4/2a^4$. Указание: в первом случае соседние элементы двух колец взаимодействуют так, как если бы они принадлежали двум параллельным бесконечно длинным проводам; во втором — можно применить формулу для индукции магнитного поля на оси кругового тока в точках, удаленных от контура на расстояние $a \gg R$. $B = \mu_0 \rho M/2la^3$. Затем следует использовать метод, изложенный в решении задачи № 15-6 (второй способ, стр. 186). 15.7. $A = (\mu_0/\pi)lH' \ln(a_0 + l)/a_0$. 16.1. $\mathcal{E} = B_F v = 0,5 \text{ мВ}$; $U = 0$; 16.2. $\mathcal{E}_{\max} = 2\pi lab NB = 23 \text{ В}$. 16.3. $U = \pi ln^2 B/4 = 63 \text{ мВ}$; $U' = 0$. 16.4. $q = Blv\Delta t/R = 2,5 \text{ мКл}$. 16.5. $q = Blv\Delta t \times \ln(R_t/R_0)/(R_t - R_0) = 1,4 \text{ мКл}$. Указание: использовать вытекающую из условия зависимости $R(t)$: $R = R_0 + kt$, где k — постоянная величина. 16.6. $L = \mu_0 \pi D^2 l/d^2 = 10 \text{ мГ}$. 16.7. $\tau = -\ln(1 - \alpha)\pi\mu_0 D^2/8\rho = 0,28 \text{ мс}$. 17.1. $\mu = \pi DRq/2\mu_0 N_1 N_2 IS = 1,9 \cdot 10^3$. 17.2. $\mu = \pi DB/(\mu_0 NI - Ba) = 0,61 \cdot 10^3$. 17.3. $W = N_1 q_1 R/4N_2 = 5,6 \text{ мДж}$. 17.4. $W = (\mu_0 l^2/4\pi) \ln(R/r)$. Указание: использовать результат, полученный при решении задачи № 15-3 (стр. 180), и формулу (17.8) для объемной плотности энергии магнитного поля. 18.1. $T = eEl/2 \operatorname{tg} \alpha = 2,5 \text{ кэВ}$. 18.2. $r = \sqrt{2mU/eB} = 9 \text{ см}$; $L = 2mU/B = 2,3 \cdot 10^{-24} \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$. 18.3. $e/m = 8a^2 U/B^2 (l^2 + a^2)^2 = 1,8 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$. 18.4. $h = 2\pi m v/eB = 5,0 \text{ см}$. 18.5. а) $v = \sqrt{2eU/mp} = 1,7 \cdot 10^7 \text{ м/с}$; $\rho = \sqrt{2eUm_p} = 2,83 \cdot 10^{-20} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; б) $v = c\sqrt{1 - W_0^2/(eU + W_0)^2} = 2,9 \times 10^8 \text{ м/с}$; $\rho = (1/c)\sqrt{eU(eU + 2W_0)} = 3,0 \cdot 10^{-21} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$, где $W_0 = m_0 c^2$ — энергия покоя электрона.

19.1. $v_{\max} = 6,28 \text{ см/с}$; $a_{\max} = 19,7 \text{ см/с}^2$. 19.2. $A_0 = (1 + \sqrt{2})A = 4,82 \text{ см}$; $\Phi_0 = \pi/4$. Указание: применить метод векторных диаграмм. 19.3. $x^2/9 + y^2/4 = 1$; точка движется по эллипсу по часовой стрелке. 19.4. $(T - T')/T = 1 - \sqrt{g/(g^2 + a^2)}/2$. Указание: использовать неинерциальную систему отсчета, связанную с движущимся вагоном. 19.5. $v = \Delta x_0 \sqrt{g/\Delta x} = 31 \text{ см/с}$. 19.6. $T = 2\pi \sqrt{l(1 + a^2)/g(1 - a^2)} = 3,0 \text{ с}$. 19.7. $T = 2\pi \sqrt{l/2g}$. 19.8. $t = \ln \sqrt{N/\lambda} v = 16 \text{ с}$. Указание: учесть, что энергия колебаний пропорциональна квадрату амплитуды. 20.1. $v = k\sqrt{E/\rho}/2l = k \cdot 1,8 \cdot 10^3 \text{ Гц}$, где $k = 1, 2, 3, \dots$. 20.2. $u = c(v'_1 - v'_2)/(v'_1 + v'_2) = 31 \text{ м/с}$; $v = 2v'_1 v'_2 / (v'_1 + v'_2) = 2,7 \text{ кГц}$. 21.1. $t = \pi \sqrt{L/C/2} = 3,1 \text{ мс}$. 21.2. $C = 1/4\pi^2 v^2 L = 1,3 \text{ нФ}$; $I = \mathcal{E}/R = 60 \text{ мА}$.

22.2. $A = 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg}(\sin(\delta/2)/[n - \cos(\delta/2)]) = 60^\circ$. 22.3. $\Phi = 4l/(l^2 - s^2) = 6,9 \text{ дл}$. 22.4. $\Phi = \Gamma(f_1 + f_2)/f_1 f_2 = 25 \text{ дл}$. 22.5. $E_2/E_1 = 1 + 1/5\sqrt{5} = 1,09$. 22.6. $B = 4Er^2/\pi D^2 = 5 \cdot 10^3 \text{ кд/м}^2$. 22.7. $E = \pi BD/h = 200 \text{ лк}$.

Указание: используя формулы (22.12) и (22.14), найти освещенность в заданной точке от произвольно расположенного элемента цилиндра длиной dl . Затем, рассматривая цилиндр как бесконечно длинный, проинтегрировать получение выражение. 23.1. $h = \lambda/2 (\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} - \sqrt{n^2 - \sin^2 i_2}) = 2,7 \text{ мкм}$. 23.2. $\lambda = \rho^2 \Phi / 4(n-1) = 0,49 \text{ мкм}$. 24.1. Освещенность уменьшится. 24.2. $k_{\max} = 2E(\Delta t/N\lambda) + 1 = 2E(4,16) + 1 = 2 \cdot 4 + 1 = 9$; фиксировано $= 74^\circ$. 24.3. $a_{\max} = 1,22\lambda/D = 2,4 \text{ мкм}$. 25.1. $v = c \operatorname{tg} \phi = 1,94 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. 25.2. $I_p/I_n = P/(1-P) = 0,33$. 25.3. $I_0/I = 2/\tau^2 \cos^2 \phi = 6,0$. 26.1. $T_2 = bT_1/(b+T_1\Delta\lambda) = 1,75 \cdot 10^3 \text{ К}$. 26.2. $a_2 = d_1 \frac{1}{1/a_1 \rho_1 T_1^4 / a_2 \rho_1 T_2^4} = 0,06$. 27.1. $\lambda_{\min} = \sqrt{1-v^2/c^2}/mc (1-\sqrt{1-v^2/c^2}) = 0,028 \text{ \AA}$. Указание: электрон следует рассматривать как релятивистскую частицу, кинетическая энергия которой выражается формулой (18.6). 27.2. $n = P\lambda/hc = 1,0 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$. 27.3. $F = \pi R^2 I/c$. Указание: рассмотреть две части потока фотонов, взаимодействующих с шаром, поглощаемую $(1-\rho)$ и отражаемую ρ . Для расчета давления во втором случае использовать результат, полученный при решении задачи № 27-5 (стр. 295). 28.1. $n_1 = 8cR/4 = 6,58 \cdot 10^{15} \text{ об/с}$; $n_2 = cR/4 = 0,822 \cdot 10^{15} \text{ об/с}$; $v = 3cR/4 = 2,47 \cdot 10^{16} \text{ Гц}$. 28.2. [3650 \AA, 6570 \AA]. 28.3. $v = 3Z^2 h R / 4M = 3,2 \text{ м/с}$. 29.1. $U = h^2/2m/\lambda^2 = 0,15 \text{ кВ}$. 29.2. $T = m_0 c^2 (\sqrt{2}-1) = 0,21 \text{ МэВ}$. 29.3. Максимальное значение при $x_1 = l/6$, $x_2 = l/2$, $x_3 = 5l/6$; минимальное при $x_2 = l/3$; $x_4 = 2l/3$. 29.4. $W = -3,4 \text{ эВ}$; $M_l = \sqrt{2}\hbar = 1,50 \cdot 10^{-34} \text{ Дж \cdot с}$. 29.5. $(M_l)_{\max} = (\sqrt{63}/2)\hbar = 4,18 \cdot 10^{-34} \text{ Дж/с}$. 30.1. 1) $\Delta a/a = \ln 2 \Delta t/T = 0,97 \cdot 10^{-6}$; 2) $\Delta a/a = 1/2$; 3) $\Delta a/a = 1 - 2^{-\Delta t/T} = 0,62$. 30.2. $t = T \ln(1 + \mu_1 m_2 / \mu_2 m_1) / \ln 2 = 2,2 \cdot 10^8 \text{ лет}$. 31.1. $W = N_A m Q / \mu = 8,1 \cdot 10^7 \text{ кДж}$. 31.2. а) $\epsilon_{\min} = 4m_e c^2 = 2,04 \text{ МэВ}$; б) $\epsilon_{\min} = 2m_e c^2 (1 + m_e/m_p) = 1,02 \text{ МэВ}$. Указание: применить законы сохранения полной релятивистской энергии и импульса. Учесть, что значению ϵ_{\min} соответствует нулевая относительная скорость частицы — продуктов реакции (см. задачу № 31-4, стр. 330).

Таблица номеров задач из задачников [10], [15]

(Звездочками отмечены задачи, к решению которых после таблицы даны указания.)

	[10]	[15]		[10]	[15]
1-1	1.4	—	4-5	3.24	3.45*
1-2	1.7	1-1	4-6	3.43	3.26
1-3	1.10	1-18	4-7	—	3.24
1-4	1.37	1-36	5-1	—	4.4
1-5	1.24	1-6	5-2	2.151	4.7
1-6	1.58	1.43	5-3	2.140	4.33
2-1	2.22	2-2	5-4	2.152	4.34
2-2	2.101	2-40	5-5	2.158	4.17
2-3	—	2-21	6-1	5.4	8.1
2-4	2.34	2-4	6-2	5.33	8.27
2-5	2.23	2.19	6-3	5.14	8.2
2-6	2.35	2.6	6-4	5.111	9.24
2-8	—	2-41	7-1	5.45	9.13
3-1	2.61	2.31	7-2	5.56	9.22
3-2	2.67	2-34*	7-3	5.97	—
3-3	2.129	2.53	7-4	5.100	—
3-4	2.118	5.20	7-5	5.117	9.41
3-5	2.108	2.62	8-1	5.160	10.1
3-6	2.90	2.78	8-2	5.173	10.15
3-7	2.82	2.73	8-3	5.185*	10.33*
4-2	3.12	3.18	8-4	5.194	10.44
4-3	3.14	3.20	8-5	5.198	10.48
4-4	3.37	3.46	8-6	5.201	10.49

	[10]	[15]		[10]	[15]
8-8	5.222*	10.55*		16-4	11.13
9-1	6.5	11.4		16-5	11.128
9-2	6.6	11.5		16-6	—
9-3	6.8	—		17-1	11.123
9-4	6.22	11.3		17-2	11.124
9-5	7.33	11.9		17-3	11.53
9-6	7.40	11.12		17-5	11.112
9-7	7.49	11.22		18-1	9.70
9-8	7.65	11.15		18-2	11.72
9-9	7.1	—		18-3	11.84
10-1	9.10	13.12		18-4	11.86
10-2	9.13	14.6		18-5	17.14
10-4	9.32	14.7		18-6	—
10-5	—	14.20		19-1	12.10
10-6	9.20	14.10		19-2	12.7
10-7	9.26	14.24		19-3	12.32
11-1	9.44	15.6		19-4	12.34
11-3	9.98*	15.21*		19-5	12.41
11-4	9.52	15.25		19-6	3.50
11-5	9.42	15.38		19-7	12.27
11-6	—	14.54		19-8	12.29
11-7	—	15.35		19-9	12.48
11-8	—	51.29*		19-10	12.52*
11-9	9.38	15.55		19-11	12.54
12-1	9.85	14.28		20-1	12.62
12-2	9.89	14.29		20-3	12.66
12-3	9.86	17.9		20-4	13.26
12-4	9.118	18.6		20-5	13.12
12-5	9.126	—		20-6	—
12-7	9.112	14.42		20-7	13.19*
12-8	9.90	17.10		21-1	14.9
12-9	9.103	17.17		21-2	14.11
12-10	—	17.25		21-3	14.28
12-11	9.109	17.24		21-4	14.26
13-1	10.1	19.1		21-5	14.4
13-2	10.10	19.3		22-1	15.12
13-3	10.4	19.4		22-2	15.13
13-5	10.36	—		22-3	15.19
13-6	10.24	19.12		22-4	15.35
13-7	10.23	19.17		22-5	15.37
13-8	—	19.6*		22-6	—
13-9	10.21	19.11		22-7	15.33
13-10	10.33	19.21		22-8	15.36
13-11	10.83	19.24		22-9	15.45
13-12	10.46	19.25		22-10	15.54
13-13	10.50	19.27		22-11	15.66
13-14	10.64	19.29		22-12	15.52
13-15	10.70*	19.30		22-14	15.51
14-1	10.120	20.3		23-1	16.5
14-4	10.112	—		23-2	16.7
14-5	10.115	20.22		23-3	16.9
14-6	10.114	20.25		23-4	16.12
15-1	11.15	21.30		23-5	16.17
15-2	11.22	21.20		24-1	16.32
15-3	—	24.4		24-2	16.34
15-4	11.29	21.13*		24-3	16.44
15-5	11.60	22.28		24-4	16.50
15-6	11.56	25.5		24-5	—
16-1	11.100	25.8*		25-1	16.61
16-2	11.102	25.11		25-2	16.66

	[10]	[15]		[10]	[15]
25-3	16 67	—	29-3	—	45-9
25-5	16 64	32 7	29-4	—	46-11
26-1	18 2	34 4	29-5	—	46 19
26-2	18 6	—	29-6	—	46-40*
26-3	18 12	34 8	29-7	—	46 60
26-4	18 19	—	29-8	—	47-6*
26-6	18 17	34 12	29-9	—	47-24
27-1	20 28	39-1	29-10	—	47-22
27-2	19 19	35-5	30-1	21 5	41-13
27-3	—	35-10	30-2	21 11	41-28
27-4	19 27	36-3	30-3	21 15	—
27-5	19 7	36-11	30-4	21 18	—
27-7	19 31	37-3	30-5	20 40	42-3
28-1	20 2	38-2	31 1	22 8	43-4
28-2	20 10	33 10	31-2	—	43-14
28-4	20 20	38 7	31-3	22 15	44-9
28-5	20 33	39 9	31 4	22 33	—
29-1	19 39	40 8*	31 5	23 13	44 28
29-2	19 10	40 10			

Указания к решению задач

5.185. Сравнить графики двух процессов, изображенных в одной и той же системе координат p, V .

5.222. Применить соотношение $dQ = c_p m dT$, где c_p — удельная теплоемкость водорода при постоянном давлении.

9.98. Сначала с помощью формулы (11.10) найти заряд внутренней сферы учитывая, что заряды обкладок конденсатора равны по величине и противо положны по знаку. Затем учесть соотношение (10.76).

10.70. Считать скорость рассеяния теплоты термостатом в течение данного промежутка времени постоянной

12.52. При апериодическом движении $\omega_0^2 - \beta^2 \ll 0$.

13.19. Считать частоту звука близкой к стандартной частоте $v = 1000$ Гц.

2-34. Скорость сближения комет бежцев $v = |v_1 - v_2|$, где v_1 и v_2 — их скорости относительно Земли. Так как векторы v_1 и v_2 направлены противоположно то $|v_1 - v_2| = v_1 + v_2$.

3.45. Так как движение центра С обруча равноускоренное, то для определения искомого времени достаточно найти конечную скорость v_c .

10-33. Можно считать, что выпущенная из баллона половина газа перешла в другой баллон такого же объема, соединенный с первым баллоном, и, таким образом, объем газа увеличился в два раза.

10-55. Применить соотношение $dQ = c_v m dT$, где c_v — удельная теплоемкость водорода при постоянном объеме.

15-21. 1) При соединении шара с проводящей оболочкой заряды шара передадут на оболочку, а потенциалы шара и оболочки сравняются. 2) При заземлении проводящей оболочки ее потенциал становится равным нулю. Разность потенциалов между шаром и оболочкой можно вычислить по формуле (11.5), имея в виду условие (10.76).

19-6 Используя соображения симметрии найти в каждой схеме точки равного потенциала.

21-13. Применить формулу, выражающую индукцию магнитного поля соленоида конечной длины в произвольной точке, лежащей на его оси: $B = \mu_0 n l (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)/2$, где α_1, α_2 — углы между направлением оси соленоида и радиусами векторами, проведенными из данной точки к его концам.

25-8. При равномерном движении проводника искомая сила уравновешивает силу Ампера $F = IlB$, действующую на проводник вследствие того, что по нему идет индукционный ток.

30-19. Учесть, что вдоль линии соприкосновения пластинок располагается интерференционный минимум, обусловленный изменением фазы на $\pi/2$ при отражении световой волны от нижней пластиинки.

40-8. См. текст к формуле (27.6)

46-40. Сначала найти волновое число $k_2 = 2\pi/\lambda_2$.

47-6. Условие нормировки: $\int_V |\psi(r)|^2 dV = 1$, где интегрирование проводится по всему пространству. Интеграл вычислить в сферических координатах.

51-29. Рассмотреть явление в неинерциальной системе отсчета, врачающейся вместе с диском.