МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Красноярский государственный педагогический университет
им. В.П.Астафьева»

Институт математики, физики и информатики
(наименование института/факультета)
Кафедра-разработчик физики, технологии и методики обучения
(наименование кафедры)

| УТВЕРЖДЕНО | ОДОБРЕНО |
| --- | --- |
| На заседании кафедры<br>Протокол № 10 от «07» мая 2025<br>Латынцев Сергей Васильевич | На заседании научно-методического совета специальности (направления подготовки)<br>Протокол № 8 от 14 мая 2025 |

# ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

для проведения текущего контроля успеваемости
и промежуточной аттестации обучающихся

по элементарной физике

Для профилей по направлениям подготовки: 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки), направленность (профиль) образовательной программы Физика и математика
реализуемых на основе единых подходов к структуре и содержанию
«Ядра высшего педагогического образования»

Квалификация: бакалавр

Составитель: Латынцев Сергей Васильевич, доцент
(ФИО, должность)

## Задачи для самостоятельного решения

### *Прямолинейное движение*

**1.1.** Две прямые дороги пересекаются под углом $\alpha=60°$. От перекрестка по ним удаляются машины: одна со скоростью $v_1=60$ км/ч, другая со скоростью $v_2=80$ км/ч. Определить скорости $v'$ и $v''$, с которыми одна машина удаляется от другой. Перекресток машины прошли одновременно.

**1.2.** Точка двигалась в течение $t_1=15$ с со скоростью $v_1=5$ м/с, в течение $t_2=10$ с со скоростью $v_2=8$ м/с и в течение $t_3=6$ с со скоростью $v_3=20$ м/с. Определить среднюю путевую скорость $\langle v \rangle$ точки.

**1.3.** Три четверти своего пути автомобиль прошел со скоростью $v_1=60$ км/ч, остальную часть пути — со скоростью $v_2=80$ км/ч. Какова средняя путевая скорость $\langle v \rangle$ автомобиля?

**1.4.** Первую половину пути тело двигалось со скоростью $v_1=2$ м/с, вторую — со скоростью $v_2=8$ м/с. Определить среднюю путевую скорость $\langle v \rangle$.

**1.6.** Зависимость скорости от времени для движения некоторого тела представлена на рис. 1.4. Определить среднюю путевую скорость $\langle v \rangle$ за время $t=14$ с.

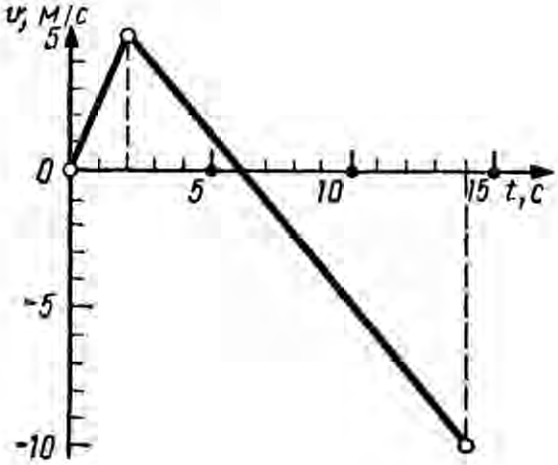


Рис. 1.4

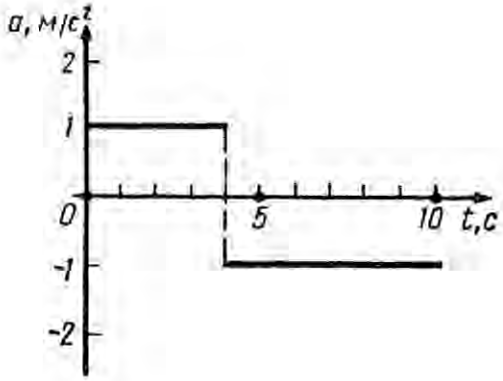


Рис. 1.5

**1.7.** Зависимость ускорения от времени при некотором движении тела представлена на рис. 1.5. Определить среднюю путевую скорость $\langle v \rangle$ за время $t=8$ с. Начальная скорость $v_0=0$.

**1.8.** Уравнение прямолинейного движения имеет вид $x=At+Bt^2$, где $A=3$ м/с, $B=-0{,}25$ м/с². Построить графики зависимости координаты и пути от времени для заданного движения.

**1.9.** На рис. 1.5 дан график зависимости ускорения от времени для некоторого движения тела. Построить графики зависимости скорости и пути от времени для этого движения, если в начальный момент тело покоилось.

**1.15.** Движения двух материальных точек выражаются уравнениями:

$$x_1=A_1+B_1t+C_1t^2,\ x_2=A_2+B_2t+C_2t^2,$$

где $A_1=20$ м, $A_2=2$ м, $B_2=B_1=2$ м/с, $C_1=-4$ м/с², $C_2=0{,}5$ м/с².

В какой момент времени $t$ скорости этих точек будут одинаковыми? Определить скорости $v_1$ и $v_2$ и ускорения $a_1$ и $a_2$ точек в этот момент:

**1.16.** Две материальные точки движутся согласно уравнениям:

$$x_1=A_1t+B_1t^2+C_1t^3,\ x_2=A_2t+B_2t^2+C_2t^3,$$

где $A_1=4$ м/с, $B_1=8$ м/с², $C_1=-16$ м/с³, $A_2=2$ м/с, $B_2=-4$ м/с², $C_2=1$ м/с³.

В какой момент времени $t$ ускорения этих точек будут одинаковы? Найти скорости $v_1$ и $v_2$ точек в этот момент.

## *Криволинейное движение*

**1.26.** Материальная точка движется по плоскости согласно уравнению $\mathbf{r}(t)=\mathbf{i}At^3+\mathbf{j}Bt^2$. Написать зависимости: 1) $\mathbf{v}(t)$; 2) $\mathbf{a}(t)$.

**1.27.** Движение материальной точки задано уравнением $\mathbf{r}(t)=A(\mathbf{i}\cos\omega t+\mathbf{j}\sin\omega t)$, где $A=0{,}5$ м, $\omega=5$ рад/с. Начертить траекторию точки. Определить модуль скорости $|\mathbf{v}|$ и модуль нормального ускорения $|\mathbf{a}_n|$.

**1.28.** Движение материальной точки задано уравнением $\mathbf{r}(t)=\mathbf{i}(A+Bt^2)+\mathbf{j}Ct$, где $A=10$ м, $B=-5$ м/с², $C=10$ м/с. Начертить траекторию точки. Найти выражения $\mathbf{v}(t)$ и $\mathbf{a}(t)$. Для момента времени $t=1$ с вычислить: 1) модуль скорости $|\mathbf{v}|$; 2) модуль ускорения $|\mathbf{a}|$; 3) модуль тангенциального ускорения $|\mathbf{a}_\tau|$; 4) модуль нормального ускорения $|\mathbf{a}_n|$.

**1.29.** Точка движется по кривой с постоянным тангенциальным ускорением $a_\tau=0{,}5$ м/с². Определить полное ускорение $a$ точки на участке кривой с радиусом кривизны $R=3$ м, если точка движется на этом участке со скоростью $v=2$ м/с.

**1.44.** Тело брошено под некоторым углом $\alpha$ к горизонту. Найти этот угол, если горизонтальная дальность $s$ полета тела в четыре раза больше максимальной высоты $H$ траектории.

**1.45.** Миномет установлен под углом $\alpha=60°$ к горизонту на крыше здания, высота которого $h=40$ м. Начальная скорость $v_0$ мины равна 50 м/с. Требуется: 1) написать кинематические уравнения движения и уравнения траектории и начертить эту траекторию с соблюдением масштаба; 2) определить время $\tau$ полета мины, максимальную высоту $H$ ее подъема, горизонтальную дальность $s$ полета, скорость $v$ в момент падения мины на землю. Сопротивлением воздуха пренебречь.

*Указание.* Начало координат поместить на поверхности земли так, чтобы оно находилось на одной вертикали с минометом и чтобы вектор скорости $\mathbf{v}$ лежал в плоскости $xOy$.

**1.53.** На цилиндр, который может вращаться около горизонтальной оси, намотана нить. К концу нити привязали грузик и предоставили ему возможность опускаться. Двигаясь равноускоренно, грузик за время $t=3$ с опустился на $h=1{,}5$ м. Определить угловое ускорение $\varepsilon$ цилиндра, если его радиус $r=4$ см.

**1.54.** Диск радиусом $r=10$ см, находившийся в состоянии покоя, начал вращаться с постоянным угловым ускорением $\varepsilon=0{,}5$ рад/с$^2$. Найти тангенциальное $a_\tau$, нормальное $a_n$ и полное $a$ ускорения точек на окружности диска в конце второй секунды после начала вращения.

## *Второй закон Ньютона*

**2.1.** На гладком столе лежит брусок массой $m=4$ кг. К бруску привязан шнур, ко второму концу которого приложена сила $F=10$ Н, направленная параллельно поверхности стола. Найти ускорение $a$ бруска.

**2.2.** На столе стоит тележка массой $m_1=4$ кг. К тележке привязан один конец шнура, перекинутого через блок. С каким ускорением $a$ будет двигаться тележка, если к другому концу шнура привязать гирю массой $m_2=1$ кг?

**2.7.** Материальная точка массой $m=2$ кг движется под действием некоторой силы $F$ согласно уравнению $x=A+Bt+Ct^2+Dt^3$, где $C=1$ м/с², $D=-0{,}2$ м/с³. Найти значения этой силы в моменты времени $t_1=2$ с и $t_2=5$ с. В какой момент времени сила равна нулю?

**2.8.** Молот массой $m=1$ т падает с высоты $h=2$ м на наковальню. Длительность удара $t=0{,}01$ с. Определить среднее значение силы $\langle F \rangle$ удара.

**2.9.** Шайба, пущенная по поверхности льда с начальной скоростью $v_0=20$ м/с, остановилась через $t=40$ с. Найти коэффициент трения $f$ шайбы о лед.

**2.11.** Тело массой $m=5$ кг брошено под углом $\alpha=30°$ к горизонту с начальной скоростью $v_0=20$ м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найти: 1) импульс силы $F$, действующей на тело, за время его полета; 2) изменение $\Delta p$ импульса тела за время полета.

**2.12.** Шарик массой $m=100$ г упал с высоты $h=2{,}5$ м на горизонтальную плиту, масса которой много больше массы шарика, и отскочил от нее вверх. Считая удар абсолютно упругим, определить импульс $p$, полученный плитой.

**2.19.** На горизонтальной поверхности находится брусок массой $m_1=2$ кг. Коэффициент трения $f_1$ бруска о поверхность равен 0,2. На бруске находится другой брусок массой $m_2=8$ кг. Коэффициент трения $f_2$ верхнего бруска о нижний равен 0,3. К верхнему бруску приложена сила $F$. Определить: 1) значение силы $F_1$, при котором начнется совместное скольжение брусков по поверхности; 2) значение силы $F_2$, при котором верхний брусок начнет проскальзывать относительно нижнего.

**2.31.** Катер массой $m=2$ т трогается с места и в течение времени $\tau=10$ с развивает при движении по спокойной воде скорость $v=4$ м/с. Определить силу тяги $F$ мотора, считая ее постоянной. Принять силу сопротивления $F_c$ движению пропорциональной скорости; коэффициент сопротивления $k=100$ кг/с.

**2.34.** Шар массой $m_1=10$ кг, движущийся со скоростью $v_1=4$ м/с, сталкивается с шаром массой $m_2=4$ кг, скорость $v_2$ которого равна 12 м/с. Считая удар прямым, неупругим, найти скорость $u$ шаров после удара в двух случаях: 1) малый шар нагоняет большой шар, движущийся в том же направлении; 2) шары движутся навстречу друг другу.

**2.35.** В лодке массой $m_1=240$ кг стоит человек массой $m_2=60$ кг. Лодка плывет со скоростью $v_1=2$ м/с. Человек прыгает с лодки в горизонтальном направлении со скоростью $v=4$ м/с (относительно лодки). Найти скорость $u$ движения лодки после прыжка человека в двух случаях: 1) человек прыгает вперед по движению лодки и 2) в сторону, противоположную движению лодки.

**2.41.** Два конькобежца массами $m_1=80$ кг и $m_2=50$ кг, держась за концы длинного натянутого шнура, неподвижно стоят на льду один против другого. Один из них начинает укорачивать шнур, выбирая его со скоростью $v=1$ м/с. С какими скоростями $u_1$ и $u_2$ будут двигаться по льду конькобежцы? Трением пренебречь.

**2.45.** Самолет описывает петлю Нестерова радиусом $R=200$ м. Во сколько раз сила $F$, с которой летчик давит на сиденье в нижней точке, больше силы тяжести $P$ летчика, если скорость самолета $v=100$ м/с?

**2.46.** Грузик, привязанный к шнуру длиной $l=50$ см, описывает окружность в горизонтальной плоскости. Какой угол $\varphi$ образует шнур с вертикалью, если частота вращения $n=1$ с$^{-1}$?

**2.55.** Вал вращается с частотой $n=2400$ мин$^{-1}$. К валу перпендикулярно его длине прикреплен стержень очень малой массы, несущий на концах грузы массой $m=1$ кг каждый, находящиеся на расстоянии $r=0,2$ м от оси вала. Найти: 1) силу $F$, растягивающую стержень при вращении вала; 2) момент $M$ силы, которая действовала бы на вал, если бы стержень был наклонен под углом $\varphi=89°$ к оси вала.

## *Работа и энергия*

**2.57.** Под действием постоянной силы $F$ вагонетка прошла путь $s=5$ м и приобрела скорость $v=2$ м/с. Определить работу $A$ силы, если масса $m$ вагонетки равна 400 кг и коэффициент трения $f=0,01$.

**2.58.** Вычислить работу $A$, совершаемую при равноускоренном подъеме груза массой $m=100$ кг на высоту $h=4$ м за время $t=2$ с.

**2.59.** Найти работу $A$ подъема груза по наклонной плоскости длиной $l=2$ м, если масса $m$ груза равна 100 кг, угол наклона $\varphi=30°$, коэффициент трения $f=0,1$ и груз движется с ускорением $a=1$ м/с$^2$.

**2.70.** Мотоциклист едет по горизонтальной дороге. Какую наименьшую скорость $v$ он должен развить, чтобы, выключив мотор, проехать по треку, имеющему форму «мертвой петли» радиусом $R=4$ м? Трением и сопротивлением воздуха пренебречь.

**2.71.** При выстреле из орудия снаряд массой $m_1=10$ кг получает кинетическую энергию $T_1=1{,}8$ МДж. Определить кинетическую энергию $T_2$ ствола орудия вследствие отдачи, если масса $m_2$ ствола орудия равна 600 кг.

**2.81.** Шар массой $m_1=2$ кг налетает на покоящийся шар массой $m_2=8$ кг. Импульс $p_1$ движущегося шара равен 10 кг·м/с. Удар шаров прямой, упругий. Определить непосредственно после удара: 1) импульсы $p_1'$ первого шара и $p_2'$ второго шара; 2) изменение $\Delta p_1$ импульса первого шара; 3) кинетические энергии $T_1'$ первого шара и $T_2'$ второго шара; 4) изменение $\Delta T_1$ кинетической энергии первого шара; 5) долю $\omega$ кинетической энергии, переданной первым шаром второму.

**2.83.** Молот массой $m_1=5$ кг ударяет небольшой кусок железа, лежащий на наковальне. Масса $m_2$ наковальни равна 100 кг. Массой куска железа пренебречь. Удар неупругий. Определить КПД $\eta$ удара молота при данных условиях.

**2.84.** Боек свайного молота массой $m_1=500$ кг падает с некоторой высоты на сваю массой $m_2=100$ кг. Найти КПД $\eta$ удара бойка, считая удар неупругим. Изменением потенциальной энергии сваи при углублении ее пренебречь.

**2.91.** На покоящийся шар налетает со скоростью $v_1=2$ м/с другой шар одинаковой с ним массы. В результате столкновения этот шар изменил направление движения на угол $\alpha=30°$. Определить: 1) скорости $u_1$ и $u_2$ шаров после удара; 2) угол $\beta$ между вектором скорости второго шара и первоначальным направлением движения первого шара. Удар считать упругим.

**2.92.** Частица массой $m_1=10^{-24}$ г имеет кинетическую энергию $T_1=9$ нДж. В результате упругого столкновения с покоящейся частицей массой $m_2=4\cdot10^{-24}$ г она сообщает ей кинетическую энергию $T_2=5$ нДж. Определить угол $\alpha$, на который отклонится частица от своего первоначального направления.

**3.34.** Платформа, имеющая форму диска, может вращаться около вертикальной оси. На краю платформы стоит человек массой $m_1=60$ кг. На какой угол $\varphi$ повернется платформа, если человек пойдет вдоль края платформы и, обойдя его, вернется в исходную точку на платформе? Масса $m_2$ платформы равна 240 кг. Момент инерции $J$ человека рассчитывать как для материальной точки.

**3.35.** Платформа в виде диска радиусом $R=1$ м вращается по инерции с частотой $n_1=6$ мин$^{-1}$. На краю платформы стоит человек, масса $m$ которого равна 80 кг. С какой частотой $n$ будет вращаться платформа, если человек перейдет в ее центр? Момент инерции $J$ платформы равен 120 кг·м$^2$. Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.

## *Силы тяготения. Гравитационное поле*

**4.1.** Центры масс двух одинаковых однородных шаров находятся на расстоянии $r=1$ м друг от друга. Масса $m$ каждого шара равна 1 кг. Определить силу $F$ гравитационного взаимодействия шаров.

**4.2.** Как велика сила $F$ взаимного притяжения двух космических кораблей массой $m=10$ т каждый, если они сблизятся до расстояния $r=100$ м?

**4.3.** Определить силу $F$ взаимного притяжения двух соприкасающихся железных шаров диаметром $d=20$ см каждый.

**4.4.** На какой высоте $h$ над поверхностью Земли напряженность $g_h$ гравитационного поля равна 1 Н/кг? Радиус $R$ Земли считать известным.

**4.9.** Масса Земли в $n=81,6$ раза больше массы Луны. Расстояние $l$ между центрами масс Земли и Луны равно $60,3R$ ($R$ — радиус Земли). На каком расстоянии $r$ (в единицах $R$) от центра Земли находится точка, в которой суммарная напряженность гравитационного поля Земли и Луны равна нулю?

**4.15.** Зная среднюю скорость $v_1$ движения Земли вокруг Солнца (30 км/с), определить, с какой средней скоростью $v_2$ движется малая планета, радиус орбиты которой в $n=4$ раза больше радиуса орбиты Земли.

## ***Молекулярная физика***

*Молекулярное строение вещества*

**8.1.** Определить относительную молекулярную массу $M_r$: 1) воды; 2) углекислого газа $CO_2$; 3) поваренной соли NaCl.

**8.2.** Найти молярную массу $M$ серной кислоты $H_2SO_4$.

**8.3.** Определить массу $m_1$ молекулы: 1) углекислого газа; 2) поваренной соли.

**8.4.** В сосуде вместимостью $V=2$ л находится кислород, количество вещества $\nu$ которого равно 0,2 моль. Определить плотность $\rho$ газа.

**8.5.** Определить количество вещества $\nu$ и число $N$ молекул азота массой $m=0{,}2$ кг.

**8.6.** В баллоне вместимостью $V=3$ л находится кислород массой $m=4$ г. Определить количество вещества $\nu$ и число $N$ молекул газа.

**8.7.** Кислород при нормальных условиях заполняет сосуд вместимостью $V=11{,}2$ л. Определить количество вещества $\nu$ газа и его массу $m$.

**8.13.** Рассматривая молекулы жидкости как шарики, соприкасающиеся друг с другом, оценить порядок размера диаметра молекулы сероуглерода $CS_2$. При тех же предположениях оценить порядок размера диаметра атомов ртути. Плотности жидкостей считать известными.

**8.14.** Определить среднее расстояние $\langle l \rangle$ между центрами молекул водяных паров при нормальных условиях и сравнить его с диаметром $d$ самих молекул ($d=0{,}311$ нм).

*Уравнение газового состояния*

**8.16.** В цилиндр длиной $l=1{,}6$ м, заполненный воздухом при нормальном атмосферном давлении $p_0$, начали медленно вдвигать поршень площадью $S=200$ см$^2$. Определить силу $F$, которая будет действовать на поршень, если его остановить на расстоянии $l_1=10$ см от дна цилиндра.

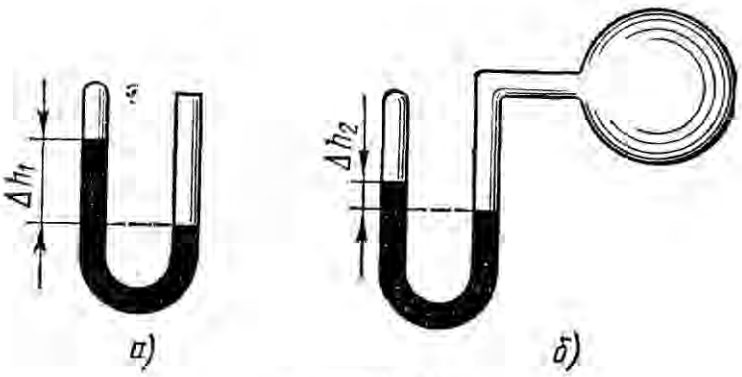


Рис. 8.1

**8.19.** Манометр в виде стеклянной U-образной трубки с внутренним диаметром $d=5$ мм (рис. 8.1, *а*) наполнен ртутью так, что оставшийся в закрытом колене трубки воздух занимает при нормальном атмосферном давлении объем $V_1=10$ мм³. При этом разность уровней $\Delta h_1$ ртути в обоих коленах трубки равна 10 см. При соединении открытого конца трубки с большим сосудом (рис. 8.1, *б*) разность $\Delta h_2$ уровней ртути уменьшилась до 1 см. Определить давление $p$ в сосуде.

**8.27.** Баллон вместимостью $V=12$ л содержит углекислый газ. Давление $p$ газа равно 1 МПа, температура $T=300$ К. Определить массу $m$ газа в баллоне.

**8.28.** Какой объем $V$ занимает идеальный газ, содержащий количество вещества $\nu=1$ кмоль при давлении $p=1$ МПа и температуре $T=400$ К?

**8.29.** Котел вместимостью $V=2$ м³ содержит перегретый водяной пар массой $m=10$ кг при температуре $T=500$ К. Определить давление $p$ пара в котле.

**8.36.** Какой объем $V$ занимает смесь газов — азота массой $m_1=1$ кг и гелия массой $m_2=1$ кг — при нормальных условиях?

**8.37.** В баллонах вместимостью $V_1=20$ л и $V_2=44$ л содержится газ. Давление в первом баллоне $p_1=2{,}4$ МПа, во втором — $p_2=1{,}6$ МПа. Определить общее давление $p$ и парциальные $p_1'$ и $p_2'$ после соединения баллонов, если температура газа осталась прежней.

### *Концентрация молекул*

**9.1.** В сосуде вместимостью $V=12$ л находится газ, число $N$ молекул которого равно $1{,}44\cdot10^{18}$. Определить концентрацию $n$ молекул газа.

**9.2.** Определить вместимость $V$ сосуда, в котором находится газ, если концентрация молекул $n=1{,}25\cdot10^{20}$ м$^{-3}$, а общее их число $N=2{,}5\cdot10^{23}$.

**9.3.** В сосуде вместимостью $V=20$ л находится газ количеством вещества $\nu=1{,}5$ кмоль. Определить концентрацию $n$ молекул в сосуде.

**9.4.** Идеальный газ находится при нормальных условиях в закрытом сосуде. Определить концентрацию $n$ молекул газа.

**9.5.** В сосуде вместимостью $V=5$ л находится кислород, концентрация $n$ молекул которого равна $9{,}41\cdot10^{23}$ м$^{-3}$. Определить массу $m$ газа.

**9.19.** Определить среднюю кинетическую энергию $\langle\varepsilon_п\rangle$ поступательного движения и среднее значение $\langle\varepsilon\rangle$ полной кинетической энергии молекулы водяного пара при температуре $T=600$ К. Найти также кинетическую энергию $W$ поступательного движения всех молекул пара, содержащего количество вещества $\nu=1$ кмоль.

**9.20.** Определить среднее значение $\langle\varepsilon\rangle$ полной кинетической энергии одной молекулы гелия, кислорода и водяного пара при температуре $T=400$ К.

**9.21.** Определить кинетическую энергию $\langle\varepsilon_i\rangle$, приходящуюся в среднем на одну степень свободы молекулы азота, при температуре $T=1$ кК, а также среднюю кинетическую энергию $\langle\varepsilon_п\rangle$ поступательного движения, $\langle\varepsilon_{вр}\rangle$ вращательного движения и среднее значение полной кинетической энергии $\langle\varepsilon\rangle$ молекулы.

**9.25.** Найти среднюю квадратичную $\langle v_{кв}\rangle$, среднюю арифметическую $\langle v\rangle$ и наиболее вероятную $v_в$ скорости молекул водорода. Вычисления выполнить для трех значений температуры: 1) $T=20$ К; 2) $T=300$ К; 3) $T=5$ кК.

**9.26.** При какой температуре $T$ средняя квадратичная скорость атомов гелия станет равной второй космической скорости $v_2=11{,}2$ км/с?

**9.27.** При какой температуре $T$ молекулы кислорода имеют такую же среднюю квадратичную скорость $\langle v_{кв}\rangle$, как молекулы водорода при температуре $T_1=100$ К?

## *Распределение Больцмана*

**10.1.** Пылинки, взвешенные в воздухе, имеют массу $m=10^{-18}$ г. Во сколько раз уменьшится их концентрация $n$ при увеличении высоты на $\Delta h=10$ м? Температура воздуха $T=300$ К.

**10.2.** Одинаковые частицы массой $m=10^{-12}$ г каждая распределены в однородном гравитационном поле напряженностью $G=0{,}2$ мкН/кг. Определить отношение $n_1/n_2$ концентраций частиц, находящихся на эквипотенциальных уровнях, отстоящих друг от друга на $\Delta z=10$ м. Температура $T$ во всех слоях считается одинаковой и равной 290 К.

**10.3.** Масса $m$ каждой из пылинок, взвешенных в воздухе, равна 1 аг. Отношение концентрации $n_1$ пылинок на высоте $h_1=1$ м к концентрации $n_0$ их на высоте $h_0=0$ равно 0,787. Температура воздуха $T=300$ К. Найти по этим данным значение постоянной Авогадро $N_A$.

**10.14.** Ротор ультрацентрифуги радиусом $a=0{,}2$ м заполнен атомарным хлором при температуре $T=3$ кК. Хлор состоит из двух изотопов: $^{37}Cl$ и $^{35}Cl$. Доля $w_1$ атомов изотопа $^{37}Cl$ составляет 0,25. Определить доли $w_1'$ и $w_2'$ атомов того и другого изотопов вблизи стенок ротора, если ротору сообщить угловую скорость вращения $\omega$, равную $10^4$ рад/с.

## *Распределение молекул по скоростям и импульсам*

**10.15.** Зная функцию распределения молекул по скоростям, вывести формулу наиболее вероятной скорости $v_в$.

**10.16.** Используя функцию распределения молекул по скоростям, получить функцию, выражающую распределение молекул по относительным скоростям $u$ ($u=v/v_в$).

**10.22.** По функции распределения молекул по скоростям определить среднюю квадратичную скорость $\langle v_{кв}\rangle$.

**10.23.** Определить, какая из двух средних величин, $\langle 1/v\rangle$ или $1/\langle v\rangle$, больше, и найти их отношение $k$.

**10.24.** Распределение молекул по скоростям в молекулярных пучках при эффузионном истечении * отличается от максвелловского и имеет вид $f(v)dv=Cv^3e^{-mv^2/(2kT)}v^3dv$. Определить из условия нормировки коэффициент $C$.

**10.25.** Зная функцию распределения молекул по скоростям в некотором молекулярном пучке $f(v)=\frac{m^2}{2k^2T^2}e^{-mv^2/(2kT)}v^3$, найти выражения для: 1) наиболее вероятной скорости $v_в$; 2) средней арифметической скорости $\langle v\rangle$.

## *Явления переноса: диффузия, вязкость, теплопроводность*

**10.60.** Средняя длина свободного пробега $\langle l \rangle$ атомов гелия при нормальных условиях равна 180 нм. Определить диффузию $D$ гелия.

**10.61.** Диффузия $D$ кислорода при температуре $t=0$ °С равна 0,19 см²/с. Определить среднюю длину свободного пробега $\langle l \rangle$ молекул кислорода.

**10.62.** Вычислить диффузию $D$ азота: 1) при нормальных условиях; 2) при давлении $p=100$ Па и температуре $T=300$ К.

**10.63.** Определить, во сколько раз отличается диффузия $D_1$ газообразного водорода от диффузии $D_2$ газообразного кислорода, если оба газа находятся при одинаковых условиях.

**10.64.** Определить зависимость диффузии $D$ от температуры $T$ при следующих процессах: 1) изобарном; 2) изохорном.

**10.74.** Вычислить теплопроводность $\lambda$ гелия при нормальных условиях.

**10.75.** В приближенной теории явлений переноса получается соотношение $\lambda/\eta=c_V$. Более строгая теория приводит к значению $\lambda/\eta=Kc_V$, где $K$ — безразмерный коэффициент, равный $(9\gamma-5)/4$ ($\gamma$ — показатель адиабаты). Найти значения $K$, вычисленные по приведенной формуле и по экспериментальным данным, приведенным в табл. 12, для следующих газов: 1) аргона; 2) водорода; 3) кислорода; 4) паров воды.

## *Теплоемкость идеального газа*

**11.1.** Вычислить удельные теплоемкости $c_V$ и $c_p$ газов: 1) гелия; 2) водорода; 3) углекислого газа.

**11.2.** Разность удельных теплоемкостей $c_p-c_V$ некоторого двухатомного газа равна 260 Дж/(кг·К). Найти молярную массу $M$ газа и его удельные теплоемкости $c_V$ и $c_p$.

**11.3.** Каковы удельные теплоемкости $c_V$ и $c_p$ смеси газов, содержащей кислород массой $m_1=10$ г и азот массой $m_2=20$ г?

**11.4.** Определить удельную теплоемкость $c_V$ смеси газов, содержащей $V_1=5$ л водорода и $V_2=3$ л гелия. Газы находятся при одинаковых условиях.

**11.7.** Смесь газов состоит из хлора и криптона, взятых при одинаковых условиях и в равных объемах. Определить удельную теплоемкость $c_p$ смеси.

**11.17.** При адиабатном сжатии газа его объем уменьшился в $n=10$ раз, а давление увеличилось в $k=21,4$ раза. Определить отношение $C_p/C_V$ теплоемкостей газов.

*Первое начало термодинамики*

**11.25.** Азот массой $m=5$ кг, нагретый на $\Delta T=150$ К, сохранил неизменный объем $V$. Найти: 1) количество теплоты $Q$, сообщенное газу; 2) изменение $\Delta U$ внутренней энергии; 3) совершенную газом работу $A$.

**11.26.** Водород занимает объем $V_1=10$ м³ при давлении $p_1=100$ кПа. Газ нагрели при постоянном объеме до давления $p_2=300$ кПа. Определить: 1) изменение $\Delta U$ внутренней энергии газа; 2) работу $A$, совершенную газом; 3) количество теплоты $Q$, сообщенное газу.

**11.27.** При изохорном нагревании кислорода объемом $V=50$ л давление газа изменилось на $\Delta p=0{,}5$ МПа. Найти количество теплоты $Q$, сообщенное газу.

**11.34.** Водяной пар расширяется при постоянном давлении. Определить работу $A$ расширения, если пару передано количество теплоты $Q=4$ кДж.

**11.35.** Азот массой $m=200$ г расширяется изотермически при температуре $T=280$ К, причем объем газа увеличивается в два раза. Найти: 1) изменение $\Delta U$ внутренней энергии газа; 2) совершенную при расширении газа работу $A$; 3) количество теплоты $Q$, полученное газом.

## Задачи

*Уравнение Ван-дер-Ваальса*

**12.1.** В сосуде вместимостью $V=10$ л находится азот массой $m=0{,}25$ кг. Определить: 1) внутреннее давление $p'$ газа; 2) собственный объем $V'$ молекул.

**12.2.** Определить давление $p$, которое будет производить кислород, содержащий количество вещества $\nu=1$ моль, если он занимает объем $V=0{,}5$ л при температуре $T=300$ К. Сравнить полученный результат с давлением, вычисленным по уравнению Менделеева — Клапейрона.

**12.3.** В сосуде вместимостью $V=0{,}3$ л находится углекислый газ, содержащий количество вещества $\nu=1$ моль при температуре $T=300$ К. Определить давление $p$ газа: 1) по уравнению Менделеева — Клапейрона; 2) по уравнению Ван-дер-Ваальса.

*Критическое состояние*

**12.8.** Вычислить постоянные $a$ и $b$ в уравнении Ван-дер-Ваальса для азота, если известны критические температуры $T_{кр}=126$ К и давление $p_{кр}=3{,}39$ МПа.

**12.9.** Вычислить критические температуру $T_{кр}$ и давление $p_{кр}$: 1) кислорода; 2) воды.

**12.10.** Критическая температура $T_{кр}$ аргона равна 151 К и критическое давление $p_{кр}=4{,}86$ МПа. Определить по этим данным критический молярный объем $V_{m\,кр}$ аргона.

## *Взаимодействие точечных зарядов*

**13.1.** Определить силу взаимодействия двух точечных зарядов $Q_1=Q_2=1$ Кл, находящихся в вакууме на расстоянии $r=1$ м друг от друга.

**13.3.** Два одинаковых заряженных шарика подвешены в одной точке на нитях одинаковой длины. При этом нити разошлись на угол $\alpha$. Шарики погружаются в масло плотностью $\rho_0=8\cdot10^2$ кг/м$^3$. Определить диэлектрическую проницаемость $\varepsilon$ масла, если угол расхождения нитей при погружении шариков в масло остается неизменным. Плотность материала шариков $\rho=1{,}6\cdot10^3$ кг/м$^3$.

**13.8.** Два одинаковых проводящих заряженных шара находятся на расстоянии $r=60$ см. Сила отталкивания $F_1$ шаров равна 70 мкН. После того как шары привели в соприкосновение и удалили друг от друга на прежнее расстояние, сила отталкивания возросла и стала равной $F_2=160$ мкН. Вычислить заряды $Q_1$ и $Q_2$, которые были на шарах до их соприкосновения. Диаметр шаров считать много меньшим расстояния между ними.

**13.14.** Тонкий стержень длиной $l=10$ см равномерно заряжен. Линейная плотность $\tau$ заряда равна 1 мкКл/м. На продолжении оси стержня на расстоянии $a=20$ см от ближайшего его конца находится точечный заряд $Q=100$ нКл. Определить силу $F$ взаимодействия заряженного стержня и точечного заряда.

**13.15.** Тонкий длинный стержень равномерно заряжен с линейной плотностью $\tau$ заряда, равной 10 мкКл/м. На продолжении оси стержня на расстоянии $a=20$ см от его конца находится точечный заряд $Q=10$ нКл. Определить силу $F$ взаимодействия заряженного стержня и точечного заряда.

**14.3.** Электрическое поле создано двумя точечными зарядами $Q_1=10$ нКл и $Q_2=-20$ нКл, находящимися на расстоянии $d=20$ см друг от друга. Определить напряженность $E$ поля в точке, удаленной от первого заряда на $r_1=30$ см и от второго на $r_2=50$ см.

**14.4.** Расстояние $d$ между двумя точечными положительными зарядами $Q_1=9Q$ и $Q_2=Q$ равно 8 см. На каком расстоянии $r$ от первого заряда находится точка, в которой напряженность $E$ поля зарядов равна нулю? Где находилась бы эта точка, если бы второй заряд был отрицательным?

**14.5.** Два точечных заряда $Q_1=2Q$ и $Q_2=-Q$ находятся на расстоянии $d$ друг от друга. Найти положение точки на прямой, проходящей через эти заряды, напряженность $E$ поля в которой равна нулю.

*Напряженность поля заряженной линии*

**14.11.** Очень длинная тонкая прямая проволока несет заряд, равномерно распределенный по всей ее длине. Вычислить линейную плотность $\tau$ заряда, если напряженность $E$ поля на расстоянии $a=0{,}5$ м от проволоки против ее середины равна 200 В/м.

**14.12.** Расстояние $d$ между двумя длинными тонкими проволоками, расположенными параллельно друг другу, равно 16 см. Проволоки равномерно заряжены разноименными зарядами с линейной плотностью $|\tau|=150$ мкКл/м. Какова напряженность $E$ поля в точке, удаленной на $r=10$ см как от первой, так и от второй проволоки?

*Напряженность поля заряженной плоскости*

**14.21.** Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными пластинами, несущими одинаковый равномерно распределенный по площади заряд ($\sigma=1$ нКл/м$^2$). Определить напряженность $E$ поля: 1) между пластинами; 2) вне пластин. Построить график изменения напряженности вдоль линии, перпендикулярной пластинам.

**14.22.** Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными пластинами, несущими равномерно распределенный по площади заряд с поверхностными плотностями $\sigma_1=1$ нКл/м$^2$ и $\sigma_2=3$ нКл/м$^2$. Определить напряженность $E$ поля: 1) между пластинами; 2) вне пластин. Построить график изменения напряженности вдоль линии, перпендикулярной пластинам.

*Напряженность поля заряда, распределенного по объему*

**14.27.** Эбонитовый сплошной шар радиусом $R=5$ см несет заряд, равномерно распределенный с объемной плотностью $\rho=10$ нКл/м$^3$. Определить напряженность $E$ и смещение $D$ электрического поля в точках: 1) на расстоянии $r_1=3$ см от центра сферы; 2) на поверхности сферы; 3) на расстоянии $r_2=10$ см от центра сферы. Построить графики зависимостей $E(r)$ и $D(r)$.

*Сила, действующая на заряд в электрическом поле*

**14.36.** Тонкая нить несет равномерно распределенный по длине заряд с линейной плотностью $\tau=2$ мкКл/м. Вблизи средней части нити на расстоянии $r=1$ см, малом по сравнению с ее длиной, находится точечный заряд $Q=0{,}1$ мкКл. Определить силу $F$, действующую на заряд.

**14.40.** Параллельно бесконечной пластине, несущей заряд, равномерно распределенный по площади с поверхностной плотностью $\sigma=20$ нКл/м², расположена тонкая нить с равномерно распределенным по длине зарядом ($\tau=0{,}4$ нКл/м). Определить силу $F$, действующую на отрезок нити длиной $l=1$ м.

**14.41.** Две одинаковые круглые пластины площадью по $S=100$ см² каждая расположены параллельно друг другу. Заряд $Q_1$ одной пластины равен $+100$ нКл, другой $Q_2=-100$ нКл. Определить силу $F$ взаимного притяжения пластин в двух случаях, когда расстояние между ними: 1) $r_1=2$ см; 2) $r_2=10$ м.

*Потенциальная энергия и потенциал поля точечных зарядов*

**15.1.** Точечный заряд $Q=10$ нКл, находясь в некоторой точке поля, обладает потенциальной энергией $\Pi=10$ мкДж. Найти потенциал $\varphi$ этой точки поля.

**15.52.** Какая ускоряющая разность потенциалов $U$ требуется для того, чтобы сообщить скорость $v=30$ Мм/с: 1) электрону; 2) протону?

**15.53.** Разность потенциалов $U$ между катодом и анодом электронной лампы равна 90 В, расстояние $r=1$ мм. С каким ускорением $a$ движется электрон от катода к аноду? Какова скорость $v$ электрона в момент удара об анод? За какое время $t$ электрон пролетает расстояние от катода до анода? Поле считать однородным.

**15.59.** Вдоль силовой линии однородного электрического поля движется протон. В точке поля с потенциалом $\varphi_1$ протон имел скорость $v_1=0{,}1$ Мм/с. Определить потенциал $\varphi_2$ точки поля, в которой скорость протона возрастает в $n=2$ раза. Отношение заряда протона к его массе $e/m=96$ МКл/кг.

*Поляризация диэлектриков*

**16.20.** Указать, какими типами поляризации (электронной — *е*, атомной — а, ориентационной — о) обладают следующие атомы и молекулы: 1) H; 2) He; 3) $O_2$; 4) HCl; 5) $H_2O$; 6) CO; 7) $CO_2$; 8) $CH_3$; 9) $CCl_4$.

**16.21.** Молекула HF обладает электрическим моментом $p = 6{,}4 \cdot 10^{-30}$ Кл·м. Межъядерное расстояние $d = 92$ пм. Найти заряд $Q$ такого диполя и объяснить, почему найденное значение $Q$ существенно отличается от значения элементарного заряда $|e|$.

*Электрическое поле в диэлектрике*

**16.25.** Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено диэлектриком, молекулы которого можно рассматривать как жесткие диполи с электрическим моментом $\mu_м = 2 \cdot 10^{-30}$ Кл·м. Концентрация $n$ диполей равна $10^{26}$ м$^{-3}$. Определить напряженность $E$ среднего макроскопического поля в таком диэлектрике, если при отсутствии диэлектрика напряженность $E_0$ поля между пластинами конденсатора была равна 100 МВ/м. Дезориентирующим действием теплового движения молекул пренебречь.

**16.28.** При какой максимальной диэлектрической проницаемости $\varepsilon$ погрешность при замене напряженности $E_{лок}$ локального поля напряженностью $E_0$ внешнего поля не превысит 1%?

**16.37.** Определить поляризуемость $\alpha$ молекул азота, если диэлектрическая проницаемость $\varepsilon$ жидкого азота равна 1,445 и его плотность $\rho = 804$ кг/м$^3$.

**16.38.** Поляризуемость $\alpha$ молекулы водорода можно принять равной $1{,}0 \cdot 10^{-29}$ м$^3$. Определить диэлектрическую восприимчивость $\varkappa$ водорода для двух состояний: 1) газообразного при нормальных условиях; 2) жидкого, плотность $\rho$ которого равна 70,8 кг/м$^3$.

**17.1.** Найти электроемкость $C$ уединенного металлического шара радиусом $R = 1$ см.

**17.2.** Определить электроемкость $C$ металлической сферы радиусом $R = 2$ см, погруженной в воду.

**17.3.** Определить электроемкость $C$ Земли, принимая ее за шар радиусом $R = 6400$ км.

**17.4.** Два металлических шара радиусами $R_1 = 2$ см и $R_2 = 6$ см соединены проводником, емкостью которого можно пренебречь. Шарам сообщен заряд $Q = 1$ нКл. Найти поверхностную плотность $\sigma$ зарядов на шарах.

**17.5.** Шар радиусом $R = 6$ см заряжен до потенциала $\varphi = 300$ В

**17.11.** Электроемкость $C$ плоского конденсатора равна 1,5 мкФ. Расстояние $d$ между пластинами равно 5 мм. Какова будет электроемкость $C$ конденсатора, если на нижнюю пластину положить лист эбонита толщиной $d_1=3$ мм?

**17.12.** Между пластинами плоского конденсатора находится плотно прилегающая стеклянная пластинка. Конденсатор заряжен до разности потенциалов $U_1=100$ В. Какова будет разность потенциалов $U_2$, если вытащить стеклянную пластинку из конденсатора?

**17.20.** Конденсаторы соединены так, как это показано на рис. 17.1. Электроемкости конденсаторов: $C_1=0{,}2$ мкФ, $C_2=0{,}1$ мкФ, $C_3=0{,}3$ мкФ, $C_4=0{,}4$ мкФ. Определить электроемкость $C$ батареи конденсаторов.

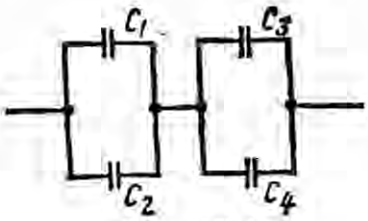

Рис. 17.1

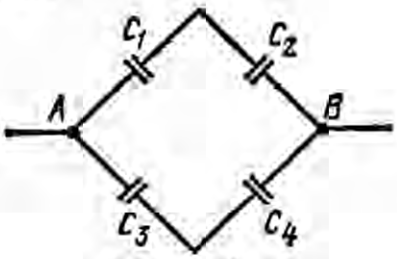

Рис. 17.2

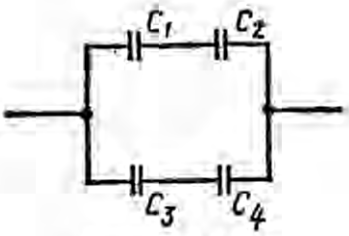

Рис. 17.3

**17.21.** Конденсаторы электроемкостями $C_1=0{,}2$ мкФ, $C_2=0{,}6$ мкФ, $C_3=0{,}3$ мкФ, $C_4=0{,}5$ мкФ соединены так, как это указано на рис. 17.2. Разность потенциалов $U$ между точками $A$ и $B$ равна 320 В. Определить разность потенциалов $U_i$ и заряд $Q_i$ на пластинах каждого конденсатора ($i=1, 2, 3, 4$).

**17.22.** Конденсаторы электроемкостями $C_1=10$ нФ, $C_2=40$ нФ, $C_3=2$ нФ и $C_4=30$ нФ соединены так, как это показано на рис. 17.3. Определить электроемкость $C$ соединения конденсаторов.

### *Закон Ома для участка цепи*

**19.1.** Сила тока в проводнике равномерно нарастает от $I_0=0$ до $I=3$ А в течение времени $t=10$ с. Определить заряд $Q$, прошедший в проводнике.

**19.2.** Определить плотность тока $j$ в железном проводнике длиной $l=10$ м, если провод находится под напряжением $U=6$ В.

**19.3.** Напряжение $U$ на шинах электростанции равно 6,6 кВ. Потребитель находится на расстоянии $l=10$ км. Определить площадь $S$ сечения медного провода, который следует взять для устройства двухпроводной линии передачи, если сила тока $I$ в линии равна 20 А и потери напряжения в проводах не должны превышать 3 %.

**19.9.** Катушка и амперметр соединены последовательно и присоединены к источнику тока. К зажимам катушки присоединен вольтметр сопротивлением $R_в = 1$ кОм. Показания амперметра $I = 0{,}5$ А, вольтметра $U = 100$ В. Определить сопротивление $R$ катушки. Сколько процентов от точного значения сопротивления катушки составит погрешность, если не учитывать сопротивления вольтметра?

*Закон Ома для всей цепи*

**19.12.** Внутреннее сопротивление $r$ батареи аккумуляторов равно 3 Ом. Сколько процентов от точного значения ЭДС составляет погрешность, если, измеряя разность потенциалов на зажимах батареи вольтметром с сопротивлением $R_в = 200$ Ом, принять ее равной ЭДС?

**19.13.** К источнику тока с ЭДС $\mathscr{E} = 1{,}5$ В присоединили катушку с сопротивлением $R = 0{,}1$ Ом. Амперметр показал силу тока, равную $I_1 = 0{,}5$ А. Когда к источнику тока присоединили последовательно еще один источник тока с такой же ЭДС, то сила тока $I$ в той же катушке оказалась равной 0,4 А. Определить внутренние сопротивления $r_1$ и $r_2$ первого и второго источников тока.

*Правила Кирхгофа*

**19.19.** Две батареи аккумуляторов ($\mathscr{E}_1 = 10$ В, $r_1 = 1$ Ом; $\mathscr{E}_2 = 8$ В, $r_2 = 2$ Ом) и реостат ($R = 6$ Ом) соединены, как показано на рис. 19.7. Найти силу тока в батареях и реостате.

**19.20.** Два источника тока ($\mathscr{E}_1 = 8$В, $r_1 = 2$ Ом; $\mathscr{E}_2 = 6$ В, $r_2 = 1{,}5$ Ом) и реостат ($R = 10$ Ом) соединены, как показано на рис. 19.8. Вычислить силу тока $I$, текущего через реостат.

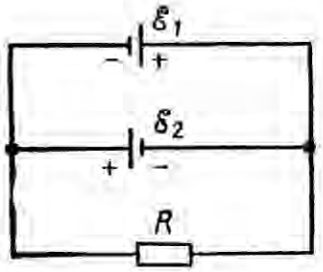

Рис. 19.7

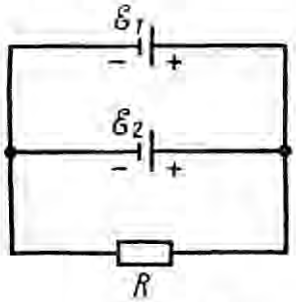

Рис. 19.8

## *Работа и мощность тока*

**19.25.** Лампочка и реостат, соединенные последовательно, присоединены к источнику тока. Напряжение $U$ на зажимах лампочки равно 40 В, сопротивление $R$ реостата равно 10 Ом. Внешняя цепь потребляет мощность $P=120$ Вт. Найти силу тока $I$ в цепи.

**19.26.** ЭДС батареи аккумуляторов $\mathscr{E}=12$ В, сила тока $I$ короткого замыкания равна 5 А. Какую наибольшую мощность $P_{max}$ можно получить во внешней цепи, соединенной с такой батареей?

**19.35.** Сила тока в проводнике сопротивлением $R=15$ Ом равномерно возрастает от $I_0=0$ до некоторого максимального значения в течение времени $\tau=5$ с. За это время в проводнике выделилось количество теплоты $Q=10$ кДж. Найти среднюю силу тока $\langle I \rangle$ в проводнике за этот промежуток времени.

**19.36.** Сила тока в проводнике равномерно увеличивается от $I_0=0$ до некоторого максимального значения в течение времени $\tau=10$ с. За это время в проводнике выделилось количество теплоты $Q=1$ кДж. Определить скорость нарастания тока в проводнике, если сопротивление $R$ его равно 3 Ом.

## *Ток в металлах*

**20.1.** Сила тока $I$ в металлическом проводнике равна 0,8 А, сечение $S$ проводника 4 мм². Принимая, что в каждом кубическом сантиметре металла содержится $n=2{,}5\cdot10^{22}$ свободных электронов, определить среднюю скорость $\langle v \rangle$ их упорядоченного движения.

**20.2.** Определить среднюю скорость $\langle v \rangle$ упорядоченного движения электронов в медном проводнике при силе тока $I=10$ А и сечении $S$ проводника, равном 1 мм². Принять, что на каждый атом меди приходится два электрона проводимости.

**20.3.** Плотность тока $j$ в алюминиевом проводе равна 1 А/мм². Найти среднюю скорость $\langle v \rangle$ упорядоченного движения электронов, предполагая, что число свободных электронов в 1 см³ алюминия равно числу атомов.

**20.11.** Исходя из модели свободных электронов, определить число $z$ соударений, которые испытывает электрон за время $t=1$ с, находясь в металле, если концентрация $n$ свободных электронов равна $10^{29}$ м⁻³. Удельную проводимость $\gamma$ металла принять равной 10 МСм/м.

**20.12.** Исходя из классической теории электропроводности металлов, определить среднюю кинетическую энергию $\langle \varepsilon \rangle$ электронов в металле, если отношение $\lambda/\gamma$ теплопроводности к удельной проводимости равно $6{,}7\cdot10^{-8}$ В²/К.

### *Связь между напряженностью и индукцией магнитного поля в вакууме*

**21.1.** Напряженность $H$ магнитного поля равна 79,6 кА/м. Определить магнитную индукцию $B_0$ этого поля в вакууме.

**21.2.** Магнитная индукция $B$ поля в вакууме равна 10 мТл. Найти напряженность $H$ магнитного поля.

**21.3.** Вычислить напряженность $H$ магнитного поля, если его индукция в вакууме $B_0=0{,}05$ Тл.

**21.11.** Обмотка катушки диаметром $d=10$ см состоит из плотно прилегающих друг к другу витков тонкой проволоки. Определить минимальную длину $l_{min}$ катушки, при которой магнитная индукция в середине ее отличается от магнитной индукции бесконечного соленоида, содержащего такое же количество витков на единицу длины, не более чем на 0,5 %. Сила тока, протекающего по обмотке, в обоих случаях одинакова.

### *Поле прямого тока*

**21.14.** По прямому бесконечно длинному проводнику течет ток $I=50$ А. Определить магнитную индукцию $B$ в точке, удаленной на расстояние $r=5$ см от проводника.

**21.15.** Два длинных параллельных провода находятся на расстоянии $r=5$ см один от другого. По проводам текут в противоположных направлениях одинаковые токи $I=10$ А каждый. Найти напряженность $H$ магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии $r_1=2$ см от одного и $r_2=3$ см от другого провода.

### *Сила Ампера*

**22.1.** Прямой провод, по которому течет ток $I=1$ кА, расположен в однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции. С какой силой $F$ действует поле на отрезок провода длиной $l=1$ м, если магнитная индукция $B$ равна 1 Тл?

**22.4.** Тонкий провод в виде дуги, составляющей треть кольца радиусом $R=15$ см, находится в однородном магнитном поле ($B=20$ мТл). По проводу течет ток $I=30$ А. Плоскость, в которой лежит дуга, перпендикулярна линиям магнитной индукции, и подводящие провода находятся вне поля. Определить силу $F$, действующую на провод.

**22.5.** По тонкому проводу в виде кольца радиусом $R=20$ см течет ток $I=100$ А. Перпендикулярно плоскости кольца возбуждено однородное магнитное поле с индукцией $B=20$ мТл. Найти силу $F$, растягивающую кольцо.

**23.8.** Заряженная частица, двигаясь в магнитном поле по дуге окружности радиусом $R_1=2$ см, прошла через свинцовую пластину, расположенную на пути частицы. Вследствие потери энергии частицей радиус кривизны траектории изменился и стал равным $R_2=1$ см. Определить относительное изменение энергии частицы.

**23.9.** Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов $U=600$ В, влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B=0{,}3$ Тл и начал двигаться по окружности. Вычислить ее радиус $R$.

**23.31.** Электрон движется по окружности в однородном магнитном поле со скоростью $v=0{,}8\,c$ ($c$ — скорость света в вакууме). Магнитная индукция $B$ поля равна 0,01 Тл. Определить радиус окружности в двух случаях: 1) не учитывая увеличение массы со скоростью; 2) учитывая это увеличение.

**23.32.** Электрон движется в магнитном поле по окружности радиусом $R=2$ см. Магнитная индукция $B$ поля равна 0,1 Тл. Определить кинетическую энергию $T$ электрона *.

### *Магнитный поток*

**24.5.** Найти магнитный поток $\Phi$, создаваемый соленоидом сечением $S=10$ см², если он имеет $n=10$ витков на каждый сантиметр его длины при силе тока $I=20$ А.

**24.6.** Плоский контур, площадь $S$ которого равна 25 см², находится в однородном магнитном поле с индукцией $B=0{,}04$ Тл. Определить магнитный поток $\Phi$, пронизывающий контур, если плоскость его составляет угол $\beta=30°$ с линиями индукции.

**24.7.** При двукратном обводе магнитного полюса вокруг проводника с током $I=100$ А была совершена работа $A=1$ мДж. Найти магнитный поток $\Phi$, создаваемый полюсом.

## Оптика и физика атома

### *Отражение и преломление света*

**28.1.** Два плоских прямоугольных зеркала образуют двугранный угол $\varphi=179°$. На расстоянии $l=10$ см от линии соприкосновения зеркал и на одинаковом расстоянии от каждого зеркала находится точечный источник света. Определить расстояние $d$ между мнимыми изображениями источника в зеркалах.

**28.2.** На сферическое зеркало падает луч света. Найти построением ход луча после отражения в двух случаях: а) от вогнутого зеркала (рис. 28.4, *а*); б) от выпуклого зеркала (рис. 28.4, *б*). На рисунке: $P$ — полюс зеркала; $O$ — оптический центр.

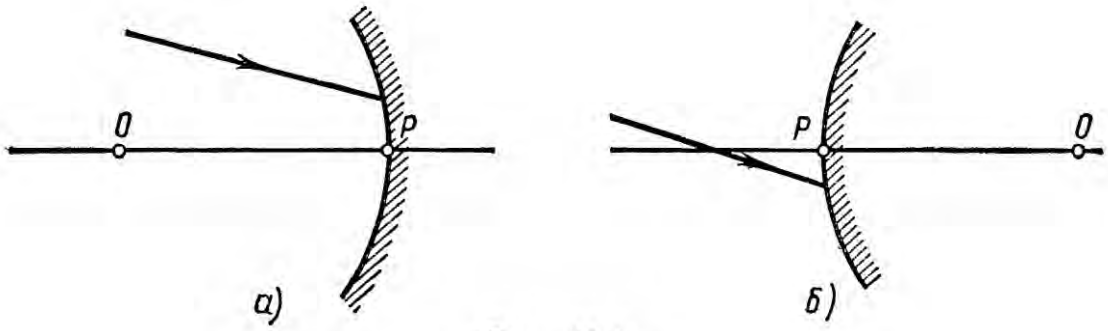


Рис. 28.4

**28.4.** Фокусное расстояние $f$ вогнутого зеркала равна 15 см. Зеркало дает действительное изображение предмета, уменьшенное в три раза. Определить расстояние $a$ от предмета до зеркала.

**28.6.** Вогнутое зеркало дает на экране изображение Солнца в виде кружка диаметром $d=28$ мм. Диаметр Солнца на небе в угловой мере $\beta=32'$. Определить радиус $R$ кривизны зеркала.

**28.7.** Радиус $R$ кривизны выпуклого зеркала равен 50 см. Предмет высотой $h=15$ см находится на расстоянии $a$, равном 1 м, от зеркала. Определить расстояние $b$ от зеркала до изображения и его высоту $H$.

**28.14.** На стеклянную призму с преломляющим углом $\theta=60°$ падает луч света. Определить показатель преломления $n$ стекла, если при симметричном ходе луча в призме угол отклонения $\sigma=40°$.

*Оптические системы*

**28.20.** На тонкую линзу падает луч света. Найти построением ход луча после преломления его линзой: а) собирающей (рис. 28.7, *а*); б) рассеивающей (рис. 28,7 *б*). На рисунке: $O$ — оптический центр линзы; $F$ — главный фокус.

**28.21.** На рис. 28.8, *а*, *б*, указаны положения главной оптической оси $MN$ линзы и ход луча *1*. Построить * ход луча *2* после преломления его линзой.

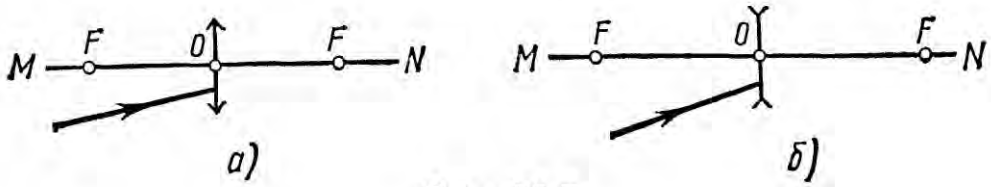


Рис. 28.7

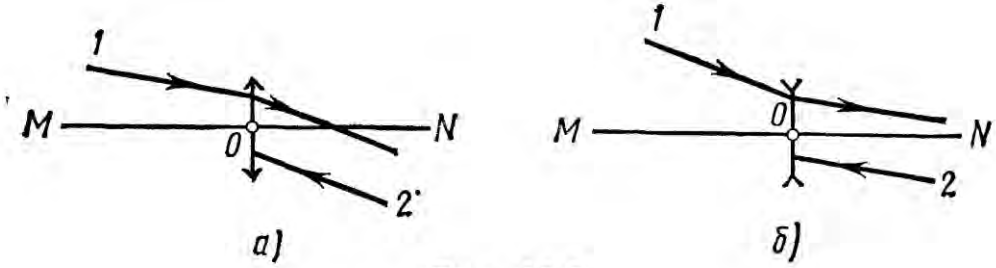


Рис. 28.8

**28.29.** Отношение $k$ радиусов кривизны поверхностей линзы равно 2. При каком радиусе кривизны $R$ выпуклой поверхности оптическая сила $\Phi$ линзы равна 10 дптр?

**28.30.** Определить радиус $R$ кривизны выпуклой поверхности линзы, если при отношении $k$ радиусов кривизны поверхностей линзы, равном 3, ее оптическая сила $\Phi=-8$ дптр.

### *Световой поток и сила света*

**29.1.** Определить силу света $I$ точечного источника, полный световой поток $\Phi$ которого равен 1 лм.

**29.2.** Лампочка, потребляющая мощность $P=75$ Вт, создает на расстоянии $r=3$ м при нормальном падении лучей освещенность $E=8$ лк. Определить удельную мощность $p$ лампочки (в ваттах на канделу) и световую отдачу $\eta$ лампочки (в люменах на ватт).

**29.3.** В вершине кругового конуса находится точечный источник света, посылающий внутри конуса световой поток $\Phi=76$ лм. Сила света $I$ источника равна 120 кд. Определить телесный угол $\omega$ и угол раствора $2\vartheta$ конуса.

**29.4.** Какую силу тока $I$ покажет гальванометр, присоединенный к селеновому фотоэлементу, если на расстоянии $r=75$ см от него поместить лампочку, полный световой поток $\Phi_0$ которой равен 1,2 клм? Площадь рабочей поверхности фотоэлемента равна 10 см², чувствительность $i=300$ мкА/лм.

### *Яркость и светимость*

**29.12.** Отверстие в корпусе фонаря закрыто плоским молочным стеклом размером $10\times15$ см. Сила света $I$ фонаря в направлении, составляющем угол $\varphi=60°$ с нормалью, равна 15 кд. Определить яркость $L$ стекла.

**29.13.** Вычислить и сравнить между собой силы света раскаленного металлического шарика яркостью $L_1=3$ Мкд/м² и шарового светильника яркостью $L_2=5$ ккд/м², если их диаметры $d_1$ и $d_2$ соответственно равны 2 мм и 20 см.

**29.15.** Солнце, находясь вблизи зенита, создает на горизонтальной поверхности освещенность $E=0{,}1$ Млк. Диаметр Солнца виден под углом $\alpha=32'$. Определить видимую яркость $L$ Солнца.

**29.16.** Длина $l$ раскаленной добела металлической нити равна 30 см, диаметр $d=0{,}2$ мм. Сила света $I$ нити в перпендикулярном ей направлении равна 24 кд. Определить яркость $L$ нити.

*Интерференция волн от двух когерентных источников*

**30.1.** Сколько длин волн монохроматического света с частотой колебаний $\nu=5\cdot10^{14}$ Гц уложится на пути длиной $l=1{,}2$ мм: 1) в вакууме; 2) в стекле?

**30.2.** Определить длину $l_1$ отрезка, на котором укладывается столько же длин волн в вакууме, сколько их укладывается на отрезке $l_2=3$ мм в воде.

**30.3.** Какой длины $l_1$ путь пройдет фронт волны монохроматического света в вакууме за то же время, за какое он проходит путь длиной $l_2=1$ м в воде?

**30.4.** На пути световой волны, идущей в воздухе, поставили стеклянную пластинку толщиной $h=1$ мм. На сколько изменится оптическая длина пути, если волна падает на пластинку: 1) нормально; 2) под углом $\varepsilon=30°$?

**30.22.** Две плоскопараллельные стеклянные пластинки приложены одна к другой так, что между ними образовался воздушный клин с углом $\theta$, равным 30″. На одну из пластинок падает нормально монохроматический свет ($\lambda=0{,}6$ мкм). На каких расстояниях $l_1$ и $l_2$ от линии соприкосновения пластинок будут наблюдаться в отраженном свете первая и вторая светлые полосы (интерференционные максимумы)?

**30.23.** Две плоскопараллельные стеклянные пластинки образуют клин с углом $\theta=30''$. Пространство между пластинками заполнено глицерином. На клин нормально к его поверхности падает пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda=500$ нм. В отраженном свете наблюдается интерференционная картина. Какое число $N$ темных интерференционных полос приходится на 1 см длины клина?

**30.33.** На экране наблюдается интерференционная картина от двух когерентных источников света с длиной волны $\lambda=480$ нм. Когда на пути одного из пучков поместили тонкую пластинку из плавленого кварца с показателем преломления $n=1{,}46$, то интерференционная картина сместилась на $m=69$ полос. Определить толщину $d$ кварцевой пластинки.

**30.36.** Определить перемещение зеркала в интерферометре Майкельсона, если интерференционная картина сместилась на $m=100$ полос. Опыт проводился со светом с длиной волны $\lambda=546$ нм.

**30.37.** Для измерения показателя преломления аргона в одно из плеч интерферометра Майкельсона поместили пустую стеклянную трубку длиной $l=12$ см с плоскопараллельными торцовыми поверхностями. При заполнении трубки аргоном (при нормальных условиях) интерференционная картина сместилась на $m=106$ полос. Определить показатель преломления $n$ аргона, если длина волны $\lambda$ света равна 639 нм.

### *Зоны Френеля*

**31.1.** Зная формулу радиуса $k$-й зоны Френеля для сферической волны $\left(\rho_k = \sqrt{abk\lambda/(a+b)}\right)$, вывести соответствующую формулу для плоской волны.

**31.3.** Радиус $\rho_4$ четвертой зоны Френеля для плоского волнового фронта равен 3 мм. Определить радиус $\rho_6$ шестой зоны Френеля.

**31.4.** На диафрагму с круглым отверстием диаметром $d=4$ мм падает нормально параллельный пучок лучей монохроматического света ($\lambda=0{,}5$ мкм). Точка наблюдения находится на оси отверстия на расстоянии $b=1$ м от него. Сколько зон Френеля укладывается в отверстии? Темное или светлое пятно получится в центре дифракционной картины, если в месте наблюдений поместить экран?

**31.5.** Плоская световая волна ($\lambda=0{,}5$ мкм) падает нормально на диафрагму с круглым отверстием диаметром $d=1$ см. На каком расстоянии $b$ от отверстия должна находиться точка наблюдения, чтобы отверстие открывало: 1) одну зону Френеля? 2) две зоны Френеля?

### *Дифракция на щели. Дифракционная решетка*

**31.10.** На щель шириной $a=0{,}05$ мм падает нормально монохроматический свет ($\lambda=0{,}6$ мкм). Определить угол $\varphi$ между первоначальным направлением пучка света и направлением на четвертую темную дифракционную полосу.

**31.26.** На дифракционную решетку, содержащую $n=500$ штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda=700$ нм. За решеткой помещена собирающая линза с главным фокусным расстоянием $f=50$ см. В фокальной плоскости линзы расположен экран. Определить линейную дисперсию $D_l$ такой системы для максимума третьего порядка. Ответ выразить в миллиметрах на нанометр.

### *Дифракция на кристаллической решетке*

**31.29.** На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновского излучения ($\lambda=147$ пм). Определить расстояние $d$ между атомными плоскостями кристалла, если дифракционный максимум второго порядка наблюдается, когда излучение падает под углом $\vartheta=31°30'$ к поверхности кристалла.

## *Закон Брюстера. Закон Малюса*

**32.1.** Пучок света, идущий в воздухе, падает на поверхность жидкости под углом $\varepsilon_1 = 54°$. Определить угол преломления $\varepsilon_2'$ пучка, если отраженный пучок полностью поляризован.

**32.2.** На какой угловой высоте $\varphi$ над горизонтом должно находиться Солнце, чтобы солнечный свет, отраженный от поверхности воды, был полностью поляризован?

**32.3.** Пучок естественного света, идущий в воде, отражается от грани алмаза, погруженного в воду. При каком угле падения $\varepsilon_в$ отраженный свет полностью поляризован?

**32.4.** Угол Брюстера $\varepsilon_в$ при падении света из воздуха на кристалл

**35.1.** Определить работу выхода $A$ электронов из натрия, если красная граница фотоэффекта $\lambda_0 = 500$ нм.

**35.2.** Будет ли наблюдаться фотоэффект, если на поверхность серебра направить ультрафиолетовое излучение с длиной волны $\lambda = 300$ нм?

**35.6.** На цинковую пластинку падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 220$ нм. Определить максимальную скорость $v_{max}$ фотоэлектронов.

**35.7.** Определить длину волны $\lambda$ ультрафиолетового излучения, падающего на поверхность некоторого металла, при максимальной скорости фотоэлектронов, равной 10 Мм/с. Работой выхода электронов из металла пренебречь.

**38.1.** Вычислить радиусы $r_2$ и $r_3$ второй и третьей орбит в атоме водорода.

**38.2.** Определить скорость $v$ электрона на второй орбите атома водорода.

**38.3.** Определить частоту обращения электрона на второй орбите атома водорода.

**38.4.** Определить потенциальную П, кинетическую $T$ и полную $E$ энергии электрона, находящегося на первой орбите атома водорода.

**38.5.** Определить длину волны $\lambda$, соответствующую третьей спектральной линии в серии Бальмера.

**38.6.** Найти наибольшую $\lambda_{max}$ и наименьшую $\lambda_{min}$ длины волн в первой инфракрасной серии спектра водорода (серии Пашена).

**38.7.** Вычислить энергию $\varepsilon$ фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода с третьего энергетического уровня на первый.

**38.11.** Вычислить длину волны $\lambda$, которую испускает ион гелия $He^+$ при переходе со второго энергетического уровня на первый. Сделать такой же подсчет для иона лития $Li^{++}$.

**38.12.** Найти энергию $E_i$ и потенциал $U_i$ ионизации ионов $He^+$ и $Li^{++}$.

**38.13.** Вычислить частоты $f_1$ и $f_2$ вращения электрона в атоме водорода на второй и третьей орбитах. Сравнить эти частоты с частотой $\nu$ излучения при переходе электрона с третьей на вторую орбиту.

**38.14.** Атом водорода в основном состоянии поглотил квант света с длиной волны $\lambda = 121{,}5$ нм. Определить радиус $r$ электронной орбиты возбужденного атома водорода.

## Контрольные задания (примеры контрольных заданий)

**1.12.** Прожектор $O$ (рис. 1.7) установлен на расстоянии $l=100$ м от стены $AB$ и бросает светлое пятно на эту стену. Прожектор вращается вокруг вертикальной оси, делая один оборот за время $T=20$ с. Найти: 1) уравнение движения светлого пятна по стене в течение первой четверти оборота; 2) скорость $v$, с которой светлое пятно движется по стене, в момент времени $t=2$ с. За начало отсчета принять момент, когда направление луча совпадает с $OC$.

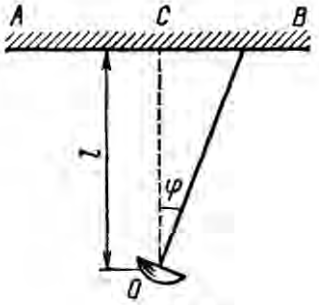


Рис. 1.7

**1.31.** По окружности радиусом $R=5$ м равномерно движется материальная точка со скоростью $v=5$ м/с. Построить графики зависимости длины пути $s$ и модуля перемещения $|\Delta \mathbf{r}|$ от времени $t$. В момент времени, принятый за начальный ($t=0$), $s(0)$ и $|\Delta \mathbf{r}(0)|$ считать равными нулю.

**1.41.** Тело, брошенное с башни в горизонтальном направлении со скоростью $v=20$ м/с, упало на землю на расстоянии $s$ (от основания башни), вдвое большем высоты $h$ башни. Найти высоту башни.

**2.7.** Материальная точка массой $m=2$ кг движется под действием некоторой силы $F$ согласно уравнению $x=A+Bt+Ct^2+Dt^3$, где $C=1$ м/с², $D=-0{,}2$ м/с². Найти значения этой силы в моменты времени $t_1=2$ с и $t_2=5$ с. В какой момент времени сила равна нулю?

**2.19.** На горизонтальной поверхности находится брусок массой $m_1=2$ кг. Коэффициент трения $f_1$ бруска о поверхность равен 0,2. На бруске находится другой брусок массой $m_2=8$ кг. Коэффициент трения $f_2$ верхнего бруска о нижний равен 0,3. К верхнему бруску приложена сила $F$. Определить: 1) значение силы $F_1$, при котором начнется совместное скольжение брусков по поверхности; 2) значение силы $F_2$, при котором верхний брусок начнет проскальзывать относительно нижнего.

**2.38.** На железнодорожной платформе установлено орудие. Масса платформы с орудием $M=15$ т. Орудие стреляет вверх под углом $\varphi=60°$ к горизонту в направлении пути. С какой скоростью $v_1$ покатится платформа вследствие отдачи, если масса снаряда $m=20$ кг и он вылетает со скоростью $v_2=600$ м/с?

**8.14.** Определить среднее расстояние $\langle l \rangle$ между центрами молекул водяных паров при нормальных условиях и сравнить его с диаметром $d$ самих молекул ($d=0{,}311$ нм).

**8.20.** В баллоне содержится газ при температуре $t_1=100$ °С. До какой температуры $t_2$ нужно нагреть газ, чтобы его давление увеличилось в два раза?

**8.41.** Сухой воздух состоит в основном из кислорода и азота. Если пренебречь остальными составными частями воздуха, то можно считать, что массовые доли кислорода и азота соответственно $w_1=0{,}232$, $w_2=0{,}768$. Определить относительную молекулярную массу $M_r$ воздуха.

**9.16.** В колбе вместимостью $V=100$ см³ содержится некоторый газ при температуре $T=300$ К. На сколько понизится давление $p$ газа в колбе, если вследствие утечки из колбы выйдет $N=10^{20}$ молекул?

**10.55.** Найти среднюю продолжительность $\langle \tau \rangle$ свободного пробега молекул кислорода при температуре $T=250$ К и давлении $p=100$ Па.

**13.13.** В вершинах квадрата находятся одинаковые заряды $Q=0{,}3$ нКл каждый. Какой отрицательный заряд $Q_1$ нужно поместить в центре квадрата, чтобы сила взаимного отталкивания положительных зарядов была уравновешена силой притяжения отрицательного заряда?

**14.12.** Расстояние $d$ между двумя длинными тонкими проволоками, расположенными параллельно друг другу, равно 16 см. Проволоки равномерно заряжены разноименными зарядами с линейной плотностью $|\tau|=150$ мкКл/м. Какова напряженность $E$ поля в точке, удаленной на $r=10$ см как от первой, так и от второй проволоки?

**14.42.** Плоский конденсатор состоит из двух пластин, разделенных стеклом. Какое давление $p$ производят пластины на стекло перед пробоем, если напряженность $E$ электрического поля перед пробоем равна 30 МВ/м?

**17.19.** Три одинаковых плоских конденсатора соединены последовательно. Электроемкость $C$ такой батареи конденсаторов равна 89 пФ. Площадь $S$ каждой пластины равна 100 см². Диэлектрик — стекло. Какова толщина $d$ стекла?

**19.18.** Два элемента ($\mathscr{E}_1=1{,}2$ В, $r_1=0{,}1$ Ом; $\mathscr{E}_2=0{,}9$ В, $r_2=0{,}3$ Ом) соединены одноименными полюсами. Сопротивление $R$ соединительных проводов равно 0,2 Ом. Определить силу тока $I$ в цепи.

**28.14.** На стеклянную призму с преломляющим углом $\theta=60°$ падает луч света. Определить показатель преломления $n$ стекла, если при симметричном ходе луча в призме угол отклонения $\sigma=40°$.

**28.25.** Каково наименьшее возможное расстояние $l$ между предметом и его действительным изображением, создаваемым собирающей линзой с главным фокусным расстоянием $f=12$ см?

**30.11.** В опыте Юнга расстояние $d$ между щелями равно 0,8 мм. На каком расстоянии $l$ от щелей следует расположить экран, чтобы ширина $b$ интерференционной полосы оказалась равной 2 мм?

**31.8.** Точечный источник $S$ света ($\lambda=0,5$ мкм), плоская диафрагма с круглым отверстием радиусом $r=1$ мм и экран расположены, как это указано на рис. 31.4 ($a=1$ м). Определить расстояние $b$ от экрана до диафрагмы, при котором отверстие открывало бы для точки $P$ три зоны Френеля.

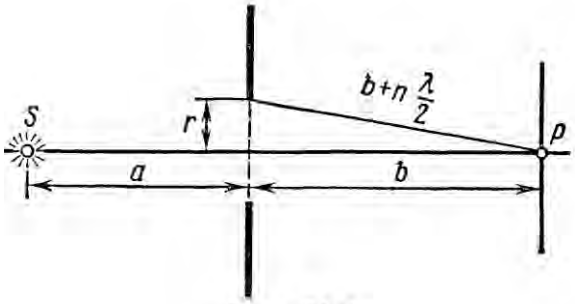


Рис. 31.4

**34.9.** Принимая коэффициент теплового излучения $\varepsilon$ угля при температуре $T=600$ К равным 0,8, определить: 1) энергетическую светимость $M_e$ угля; 2) энергию $W$, излучаемую с поверхности угля с площадью $S=5$ см² за время $t=10$ мин.

**34.17.** Максимум спектральной плотности энергетической светимости $(M_{\lambda,T})_{max}$ яркой звезды Арктур приходится на длину волны $\lambda_m=580$ нм. Принимая, что звезда излучает как черное тело, определить температуру $T$ поверхности звезды.

## Вопросы к зачету

1. Кинематика прямолинейного движения,
2. Кинематика криволинейного движения,
3. Динамика поступательного и вращательного движения,
4. Законы сохранения в механике.
5. Основы молекулярно- кинетических представлений.
6. Уравнения состояния идеального газа,
7. Первое начало термодинамики,
8. Процессы переноса,
9. Фазовые переходы,
10. Закон Кулона, границы применимости,
11. Напряженность электрического поля, потенциал,
12. Проводники и диэлектрики в электрическом поле,
13. Законы постоянного тока,
14. Магнитное поле, магнитостатика,
15. Элементы геометрической оптики,
16. Оптические системы,
17. Волновые явления в оптике,
18. Планетарная модель атома,
19. Законы излучения атома,
20. Законы излучения