

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

На заседании кафедры
Протокол № 10 от «07»мая 2025
Латынцев Сергей Васильевич

ОДОБРЕНО

На заседании научно-методического
совета специальности (направления
подготовки)
Протокол № 8 от 14 мая 2025

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

для проведения текущего контроля успеваемости
и промежуточной аттестации обучающихся

по дисциплине «Физический практикум в обучении на профильном уровне»

Для профилей по направлениям подготовки: 44.04.01 Педагогическое образование,
направленность (профиль) образовательной программы Физическое и технологическое
образование в новой образовательной практике

Квалификация: магистр

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

Задачи для самостоятельного решения

Прямолинейное движение

1.1. Две прямые дороги пересекаются под углом $\alpha=60^\circ$. 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.

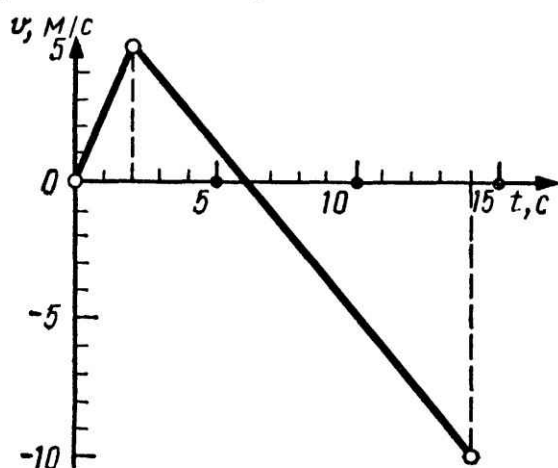


Рис. 1.4

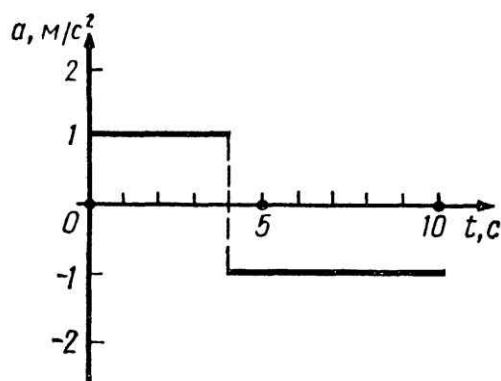


Рис. 1.5

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:

$$x_1 = A_1 + B_1 t + C_1 t^2, \quad x_2 = A_2 + B_2 t + C_2 t^2,$$

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:

$$x_1 = A_1 t + B_1 t^2 + C_1 t^3, \quad x_2 = A_2 t + B_2 t^2 + C_2 t^3,$$

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 одинаковыми? Найти скорости v_1 и v_2 точек в этот момент.

Криволинейное движение

1.26. Материальная точка движется по плоскости согласно уравнению $\mathbf{r}(t) = \mathbf{i} A t^3 + \mathbf{j} B t^2$. 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 $\mathbf{r}(t) = \mathbf{i}(A + B t^2) + \mathbf{j} C t$, 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 α 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 $\alpha = 60^\circ$ 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 τ 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 ε 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/с². Найти тангенциальное a_t , 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 гирию 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 $\alpha=30^\circ$ 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 Δp 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 φ 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 $\varphi=89^\circ$ 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 $\varphi=30^\circ$, коэффициент трения $f=0,1$ и груз движется с ускорением $a=1$ м/с².

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 Δp_1 импульса первого шара; 3) кинетические энергии T'_1 первого шара и T'_2 второго шара; 4) изменение ΔT_1 кинетической энергии первого шара; 5) долю ω 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 η 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 η 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 $\alpha=30^\circ$. Определить: 1) скорости u_1 и u_2 шаров после удара; 2) угол β 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 $m_2=4 \cdot 10^{-24}$ г она сообщает ей кинетическую энергию $T_2=5$ нДж. Определить угол α , 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 φ 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 $\cdot$ 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 ν которого равно 0,2 моль. Определить плотность ρ газа.

8.5. Определить количество вещества ν 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 ν и число N молекул газа.

8.7. Кислород при нормальных условиях заполняет сосуд вместимостью $V=11,2$ л. Определить количество вещества ν 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 $S=200$ см². Определить силу F , которая будет действовать на поршень, если его остановить на расстоянии $l_1=10$ см от дна цилиндра.

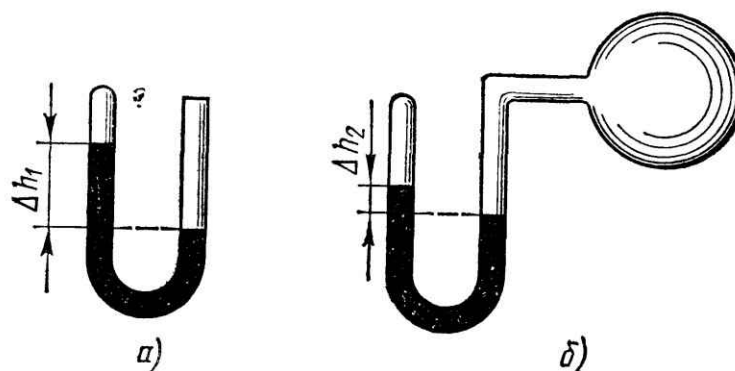


Рис. 8.1

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 Δh_1 ртути в обоих коленях трубки равна 10 см. При соединении

открытого конца трубки с большим сосудом (рис. 8.1, б) разность Δh_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 $1,44 \cdot 10^{18}$. Определить концентрацию n молекул газа.

9.2. Определить вместимость V сосуда, в котором находится газ, если концентрация молекул $n=1,25 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$, а общее их число $N=2,5 \cdot 10^{23}$.

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 $9,41 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$. Определить массу m газа.

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

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

9.21. Определить кинетическую энергию $\langle \epsilon_1 \rangle$, приходящуюся в среднем на одну степень свободы молекулы азота, при температуре $T=1 \text{ К}$, а также среднюю кинетическую энергию $\langle \epsilon_n \rangle$ поступательного движения, $\langle \epsilon_{вр} \rangle$ вращательного движения и среднее значение полной кинетической энергии $\langle \epsilon \rangle$ молекулы.

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

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

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

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 ω , 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_B .

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

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

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_B ; 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 $t=0^\circ\text{C}$ равна $0,19\text{ см}^2/\text{с}$. Определить среднюю длину свободного пробега $\langle l \rangle$ молекул кислорода.

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

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 λ 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 $(9\gamma-5)/4$ (γ — 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 $260\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. 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 $m_1=10\text{ г}$ и азот массой $m_2=20\text{ г}$?

11.4. Определить удельную теплоемкость c_V смеси газов, содержащей $V_1=5\text{ л}$ водорода и $V_2=3\text{ л}$ 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 ΔU 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 ΔU 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 ΔU 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 $V_{мкр}$ 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 α . Шарика погружаются в масло плотностью $\rho_0=8 \cdot 10^2$ кг/м³. Определить диэлектрическую проницаемость ϵ масла, если угол расхождения нитей при погружении шариков в масло остается неизменным. Плотность материала шариков $\rho=1,6 \cdot 10^3$ кг/м³.

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 τ 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 τ 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 τ 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/м²). 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/м² и $\sigma_2=3$ нКл/м². 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/м³. 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 φ 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 φ_1 протон имел скорость $v_1 = 0,1$ Мм/с. Определить потенциал φ_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 — e , атомной — a , ориентационной — o) 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 $\mu_m = 2 \cdot 10^{-30}$ 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 ϵ погрешность при замене напряженности $E_{\text{лок}}$ локального поля напряженностью E_0 внешнего поля не превысит 1%?

16.37. Определить поляризуемость α молекул азота, если диэлектрическая проницаемость ϵ жидкого азота равна 1,445 и его плотность $\rho = 804 \text{ кг/м}^3$.

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

17.1. Найти емкость C уединенного металлического шара радиусом $R = 1 \text{ см}$.

17.2. Определить емкость C металлической сферы радиусом $R = 2 \text{ см}$, погруженной в воду.

17.3. Определить емкость C Земли, принимая ее за шар радиусом $R = 6400 \text{ км}$.

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

17.5. Шар радиусом $R = 6 \text{ см}$ соединен с потенциалом $\varphi = 200 \text{ В}$

17.11. Ёмкость C плоского конденсатора равна $1,5 \text{ мкФ}$. Расстояние d между пластинами равно 5 мм . Какова будет ёмкость C конденсатора, если на нижнюю пластину положить лист эбонита толщиной $d_1=3 \text{ мм}$?

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

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

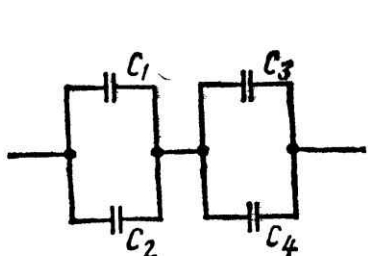


Рис. 17.1

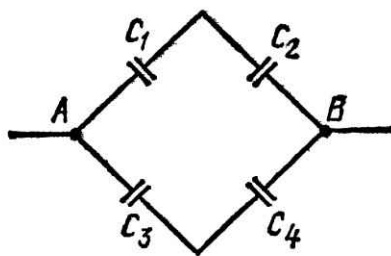


Рис. 17.2

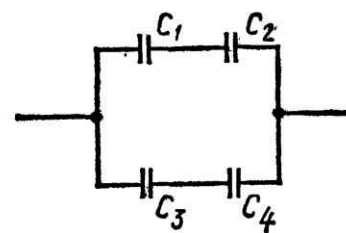


Рис. 17.3

17.21. Конденсаторы ёмкостями $C_1=0,2 \text{ мкФ}$, $C_2=0,6 \text{ мкФ}$, $C_3=0,3 \text{ мкФ}$, $C_4=0,5 \text{ мкФ}$ 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 ёмкостями $C_1=10 \text{ нФ}$, $C_2=40 \text{ нФ}$, $C_3=2 \text{ нФ}$ и $C_4=30 \text{ нФ}$ соединены так, как это показано на рис. 17.3. Определить ёмкость C соединения конденсаторов.

Закон Ома для участка цепи

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

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

19.3. Напряжение U на шинах электростанции равно $6,6 \text{ кВ}$. Потребитель находится на расстоянии $l=10 \text{ км}$. 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 $R_v=1$ 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 $R_v=200$ Ом, принять ее равной ЭДС?

19.13. К источнику тока с ЭДС $\mathcal{E}=1,5$ 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 ($\mathcal{E}_1=10$ В, $r_1=1$ Ом; $\mathcal{E}_2=8$ 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 ($\mathcal{E}_1=8$ В, $r_1=2$ Ом; $\mathcal{E}_2=6$ 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.

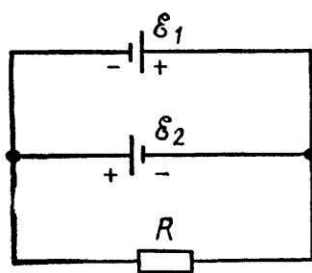


Рис. 19.7

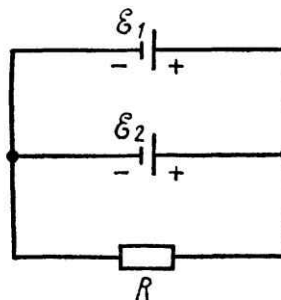


Рис. 19.8

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 $\mathcal{E}=12$ 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 $n=2,5 \cdot 10^{22}$ 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 γ металла принять равной 10 МСм/м.

20.12. Исходя из классической теории электропроводности металлов, определить среднюю кинетическую энергию $\langle \epsilon \rangle$ электронов в металле, если отношение λ/γ теплопроводности к удельной проводимости равно $6,7 \cdot 10^{-6}$ 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 $v=0,8c$ (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 Φ , 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 Φ , пронизывающий контур, если плоскость его составляет угол $\beta=30^\circ$ с линиями индукции.

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

Оптика и физика атома

Отражение и преломление света

28.1. Два плоских прямоугольных зеркала образуют двугранный угол $\varphi=179^\circ$. 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.

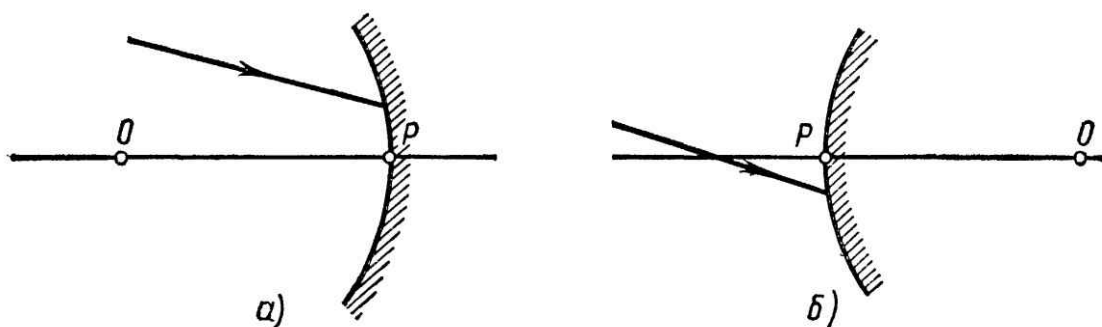


Рис. 28.4

28.4. Фокусное расстояние f вогнутого зеркала равно 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 $\theta=60^\circ$ падает луч света. Определить показатель преломления n стекла, если при симметричном ходе луча в призме угол отклонения $\sigma=40^\circ$.

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.

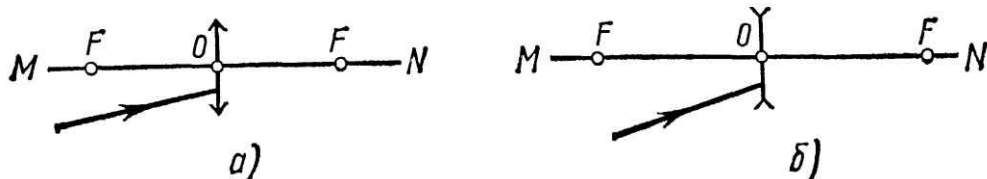


Рис. 28.7

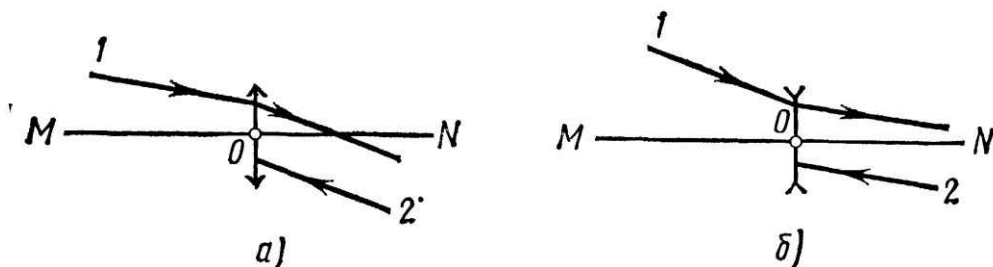


Рис. 28.8

28.29. Отношение k радиусов кривизны поверхностей линзы равно 2. При каком радиусе кривизны R выпуклой поверхности оптическая сила Φ 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 Φ 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 η 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 ω и угол раствора 2ϑ 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 Φ_0 которой равен 1,2 клм? Площадь рабочей поверхности фотоэлемента равна 10 см^2 , чувствительность $i = 300$ мкА/лм.

Яркость и светимость

29.12. Отверстие в корпусе фонаря закрыто плоским молочным стеклом размером 10×15 см. Сила света I фонаря в направлении, составляющем угол $\varphi = 60^\circ$ 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 $\nu = 5 \cdot 10^{14}$ 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 $\varepsilon = 30^\circ$?

30.22. Две плоскопараллельные стеклянные пластинки приложены одна к другой так, что между ними образовался воздушный клин с углом θ , 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 λ света равна 639 нм.

Зоны Френеля

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

31.3. Радиус ρ_4 четвертой зоны Френеля для плоского волнового фронта равен 3 мм. Определить радиус ρ_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 отверстие? 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 φ 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 $\vartheta=31^\circ 30'$ к поверхности кристалла.

Закон Брюстера. Закон Малюса

32.1. Пучок света, идущий в воздухе, падает на поверхность жидкости под углом $\varepsilon_1 = 54^\circ$. Определить угол преломления ε_2' пучка, если отраженный пучок полностью поляризован.

32.2. На какой угловой высоте φ 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 ε_v отраженный свет полностью поляризован?

32.4. Угол Брюстера ε_v при падении света из воздуха на кристалл каменной соли равен 57° . Определить скорость света в этом кристалле.

Закон Стефана—Больцмана

34.1. Определить температуру T , при которой энергетическая светимость M_e черного тела равна 10 кВт/м^2 .

34.2. Поток энергии Φ_e , излучаемый из смотрового окошка плавильной печи, равен 34 Вт . Определить температуру T печи, если площадь отверстия $S = 6 \text{ см}^2$.

34.3. Определить энергию W , излучаемую за время $t = 1$ мин из смотрового окошка площадью $S = 8 \text{ см}^2$ плавильной печи, если ее температура $T = 1,2 \text{ кК}$.

34.4. Температура T верхних слоев звезды Сириус равна 10 кК . Определить поток энергии Φ_e , излучаемый с поверхности площадью $S = 1 \text{ км}^2$ этой звезды.

Закон Вина. Формула Планка

34.14. На какую длину волны λ_m приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости $(M_{\lambda, T})_{\max}$ черного тела при температуре $t = 0^\circ \text{C}$?

34.15. Температура верхних слоев Солнца равна $5,3 \text{ кК}$. Считая Солнце черным телом, определить длину волны λ_m , которой соответствует максимальная спектральная плотность энергетической светимости $(M_{\lambda, T})_{\max}$ Солнца.

34.16. Определить температуру T черного тела, при которой максимум спектральной плотности энергетической светимости $(M_{\lambda, T})_{\max}$ приходится на красную границу видимого спектра ($\lambda_1 = 750 \text{ нм}$); на фиолетовую ($\lambda_2 = 380 \text{ нм}$).

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

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 λ 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 Π , кинетическую T и полную E энергии электрона, находящегося на первой орбите атома водорода.

38.5. Определить длину волны λ , 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 ϵ фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода с третьего энергетического уровня на первый.

или от ядра атома.

38.11. Вычислить длину волны λ , 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 ν 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. Проектор O (рис. 1.7) установлен на расстоянии $l=100$ м от стены AB и бросает светлое пятно на эту стену. Проектор 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 .

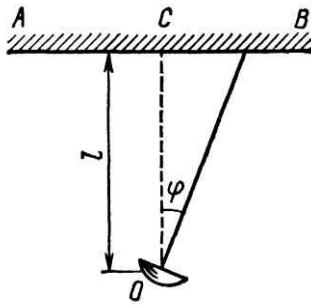


Рис. 1.7

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/с³. Найти значения этой силы в моменты времени $t_1=2$ с и $t_2=5$ с. В какой момент времени сила равна нулю?

2.19. 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 $\varphi=60^\circ$ 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 $t_1=100^\circ\text{C}$. 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. Емкость C такой батареи конденсаторов равна 89 пФ. Площадь S каждой пластины равна 100 см². Диэлектрик — стекло. Какова толщина d стекла?

19.18. Два элемента ($\mathcal{E}_1=1,2$ В, $r_1=0,1$ Ом; $\mathcal{E}_2=0,9$ 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 $\theta=60^\circ$ падает луч света. Определить показатель преломления n стекла, если при симметричном ходе луча в призме угол отклонения $\sigma=40^\circ$.

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.

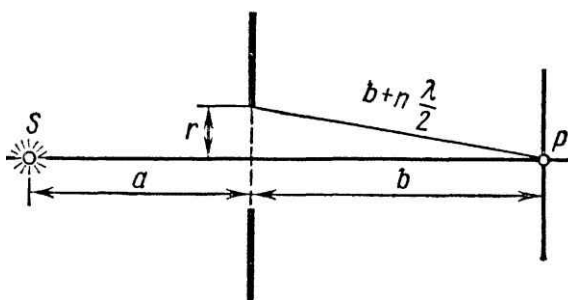


Рис. 31.4

34.9. Принимая коэффициент теплового излучения ϵ 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