

Д. И. САХАРОВ

СБОРНИК ЗАДАЧ по ФИЗИКЕ

ИЗДАНИЕ 11-е

*Допущено Министерством
высшего образования СССР
в качестве учебного пособия
для педагогических институтов*

ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ПРОСВЕЩЕНИЕ»
Москва 1967

При подготовке 11-го издания в текст были
внесены незначительные изменения.

А. Д. Сахаров
Г. Д. Сахаров

ВНИМАНИЮ УЧАЩИХСЯ

1. Прежде всего необходимо ознакомиться с таблицами, помещенными в конце книги, так как решение многих задач без пользования ими невозможно. Необходимо также знакомство с введениями, имеющимися в каждом параграфе и содержащими обзор понятий и соотношений, служащих для решения задач, помещенных в данном параграфе и в следующих за ним.

2. Вникнув в смысл задачи, следует установить, все ли данные, нужные для решения задачи, приведены; недостающие данные можно найти в таблицах, помещенных в конце книги.

3. Затем следует ясно представить себе все упрощающие предположения, которые нужно сделать, чтобы решить данную задачу. Например, рассчитывая движение моторной лодки после выключения двигателя, принимают, что ее движение равномерно замедленное, хотя несомненно, что на самом деле оно более сложно.

Часть из этих упрощающих предположений указана в тексте задачи, часть должна быть непременно сформулирована при ответе, например, так: «Принимая Землю за однородный шар, находим...» и т. д.

4. Следует решать задачи в общем виде, пользуясь обозначениями величин (табл. XXXIV).

5. Найдя ответ в виде некоторой формулы, выражающей искомую величину через заданные, следует проверить правильность полученной формулы следующими способами:

а) Проверить равенство размерностей у отдельных членов полученной формулы. Неравенство размерностей служит явным признаком неверности решения. Если в формулу входит показательная функция, то размерность показателя должна быть равна нулю.

б) Проверить применимость полученной формулы к частным случаям.

Рассмотрим простой пример: пусть для скорости падения на Землю тела, брошенного на высоте h со скоростью v_0 , найдена формула:

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}.$$

Если $v_0 = 0$, то формула обращается в известную из теории формулу для скорости тела, падающего без начальной скорости: $v = \sqrt{2gh}$. Если высота падения очень мала, то скорость тела v , очевидно, почти равна начальной скорости, что также получается из приведенной формулы, если положить $h = 0$.

Второй пример. Из условий задачи 27—14 ясно, что при $U_3 = U_1$ приведенная в ответе формула должна дать $\tau_3 = \tau_1$, а при $U_3 = U_2$ должно получиться $\tau_3 = \tau_2$. Если, решая задачу 27—14, мы получили бы формулу, которая не удовлетворяла бы указанным требованиям, то это означало бы, что в наши вычисления вкралась ошибка.

в) Иногда из условий видно, что формула, выражающая ответ, должна быть симметричной по отношению к данным задачи, то есть ответ не должен меняться, если поменять данные местами.

Рассмотрим пример. Гальванический элемент при сопротивлении внешней цепи, равном $R_1 = 0,2 \text{ ом}$, дает ток $I_1 = 2 \text{ а}$, а при сопротивлении внешней цепи, равном $R_2 = 1,5 \text{ ом}$, дает ток $I_2 = 0,7 \text{ а}$. Какова электродвижущая

сила элемента? Очевидно, что последовательность опытов, обозначенных индексами 1 и 2, произвольна и ее можно заменить на обратную. Действительно, решая задачу, находим формулу, выражающую э. д. с. элемента как функцию I_1 , I_2 , R_1 и R_2 :

$$E = \frac{I_1 I_2 (R_1 - R_2)}{I_2 - I_1}.$$

Эта формула симметрична относительно величин, обозначенных индексами 1 и 2, и если всюду, где стоит индекс 1, поставить индекс 2, и наоборот, формула не изменится. Предположим, что кто-нибудь, решая эту или другую задачу, в которой по смыслу условий можно менять последовательность данных, получил формулу, в которой нельзя менять местами индексы. Такой результат служил бы признаком, что в решение задачи вкралась ошибка.

6. Необходимо иметь в виду, что решение задач должно быть обосновано. Так, например, при решении задачи 8—7 надо показать, почему в рассматриваемом случае можно применить формулу для математического маятника, хотя вместо математической точки колеблется целое полено.

Точно так же требуется обоснование ответов на качественные вопросы. Например, полный ответ на вопрос 32—5, б должен быть примерно таков. Рассмотрим работу ΔA при столь малом продвижении магнита, что ток I в течение его можно считать постоянным. Так как за счет этой работы выделяется некоторое количество теплоты, то можно написать: $\Delta A = I^2 R \Delta t = I \Delta q R$. Так как Δq при определенном изменении магнитного потока не зависит от скорости этого изменения, то ΔA пропорционально I . При быстром вдвигании магнита I , а следовательно, и ΔA больше, чем при медленном. Это справедливо для любого малого участка движения магнита. Следовательно, и общая работа при быстром движении магнита больше, чем при медленном.

7. Прежде чем приступать к числовым расчетам, следует произвести пересчет всех имеющихся данных в какую-нибудь одну систему единиц, лучше всего в международную систему единиц СИ. При пересчете данных удобно пользоваться таблицами V. В частности, пересчет электрических и магнитных величин может быть облегчен использованием таблицей V, 4.

Приведем примеры пользования таблицей V, 4.

1) Найти силу взаимодействия двух зарядов по 10 ед. СГСЭ, находящихся в вакууме на расстоянии 5 см:

$$F = \frac{q^2}{\epsilon r^2}.$$

а) Система СГСЭ:

$$q = 10 \text{ ед. заряда СГСЭ,}$$

$$\epsilon = 1,$$

$$r = 5 \text{ см,}$$

$$F = \frac{10^2}{1.5^2} \text{ дин} = 4 \text{ дин.}$$

б) Система МКСА (нерационализированная форма):

$$q = \frac{10}{3 \cdot 10^9} \text{ К,}$$

$$\epsilon = \frac{1}{9 \cdot 10^9} \frac{\phi}{\text{м}},$$

$$r = 0,05 \text{ м,}$$

$$F = \frac{10^2 \cdot 9 \cdot 10^9}{9 \cdot 10^{18} \cdot 25 \cdot 10^{-4}} \text{ Н} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Н} = 4 \text{ дин.}$$

в) Система СИ (т. е. МКСа_р):

$$F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon' r^2},$$

$$q = \frac{10}{3 \cdot 10^9} \kappa,$$

$$\epsilon' = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{1}{9 \cdot 10^9 \text{ м}} \frac{\phi}{\text{м}} = 8,84 \cdot 10^{-12} \frac{\phi}{\text{м}} \text{ (рационализированная),}$$

$$r = 0,05 \text{ м},$$

$$F = \frac{10^3}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^{18} \cdot 8,84 \cdot 10^{-12} \cdot 25 \cdot 10^{-4}} \text{ н} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ н} = 4 \text{ дин.}$$

2) Ответ к задаче 32—15 гласит:

$$q = \frac{\mu ES^2}{\rho^2 l},$$

а) Система СГСМ:

$$\mu = 1 \text{ ед. СГСМ},$$

$$E = 2 \cdot 10^8 \text{ ед. СГСМ},$$

$$S = 0,02 \text{ см}^2,$$

$$\rho = 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot 10^9 \text{ ед. СГСМ},$$

$$l = 20 \text{ см},$$

$$q = \frac{1 \cdot 2 \cdot 10^8 \cdot 0,02^2}{1,7^2 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{18} \cdot 20} \text{ ед. СГСМ} = 1,38 \cdot 10^{-3} \text{ ед. заряда СГС}$$

б) Система МКСа (нерационализированная форма):

$$\mu = 10^{-7} \frac{\text{сн}}{\text{м}},$$

$$E = 2 \text{ в},$$

$$S = 2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2,$$

$$\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ ом} \cdot \text{м},$$

$$l = 0; 2 \text{ м},$$

$$q = \frac{10^{-7} \cdot 2 \cdot 4 \cdot 10^{-12}}{1,7^2 \cdot 10^{-16} \cdot 0,2} \kappa = 1,38 \cdot 10^{-2} \kappa.$$

в) Система СИ (т. е. МКСа_р):

$$q = \frac{\mu' ES^2}{4\pi \rho^2 l},$$

$$\mu' = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{сн}}{\text{м}},$$

$$E = 2 \text{ в},$$

$$S = 2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2,$$

$$l = 0,2 \text{ м},$$

$$q = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 4 \cdot 10^{-12}}{4\pi \cdot 1,7^2 \cdot 10^{-16} \cdot 0,2} \kappa = 1,38 \cdot 10^{-2} \kappa.$$

3) Какова скорость света в среде с электрической проницаемостью 4 ед. *СГСЭ* и магнитной проницаемостью 1 ед. *СГСМ*?

а) система *СГСЭ*:

$$\epsilon = 4 \text{ ед. } \text{СГСЭ},$$

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{9 \cdot \frac{1}{9 \cdot 10^{-9}}}} \frac{\text{см}}{\text{сек}} = 1,5 \cdot 10^{10} \frac{\text{см}}{\text{сек}}.$$

б) Система *СГСМ*:

$$\epsilon = \frac{4}{9 \cdot 10^{20}} \text{ ед. } \text{СГСМ},$$

$$\mu = 1 \text{ ед. } \text{СГСМ},$$

$$v = 1,5 \cdot 10^{10} \frac{\text{см}}{\text{сек}}.$$

в) Система *МКСА* (нерационализированная форма):

$$\epsilon = \frac{4}{9 \cdot 10^9} \frac{\text{ф}}{\text{м}},$$

$$\mu = 1 \cdot 10^{-7} \frac{\text{гн}}{\text{м}} \text{ (нерационализированная),}$$

$$v = 1,5 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{сек}}.$$

г) Система *СИ* (т. е. *МКСА_р*):

$$\epsilon' = \frac{4}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{ф}}{\text{м}},$$

$$\mu' = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{гн}}{\text{м}},$$

$$v = 1,5 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{сек}}.$$

8. Приступая к вычислениям, надо, приняв во внимание степень точности данных задачи, определить число знаков, которые следует вычислить в результате (в большинстве задач два или три признака). При расчетах надо пользоваться счетной линейкой или логарифмическими таблицами.

9. Легкие задачи отмечены значком \bigcirc , задачи средней трудности — значком \ominus , более трудные — значком \oplus .

МЕХАНИКА

§ 1. Кинематика

1) Смещение точки (s) есть расстояние между конечным и начальным положениями точки.

2) Скорость точки

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt},$$

ускорение

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}.$$

3) Сумма бесконечного числа бесконечно малых смещений точки есть пройденный движущейся точкой путь. В случае если точка движется по незамкнутой кривой и если в течение рассматриваемого отрезка времени длина отрезка траектории между конечным и начальным положениями точки изменялась монотонно, то длина этого отрезка есть пройденный точкой путь.

4) Скорость (v) и смещение (s) точки, соответствующие отрезку времени (t) при равномерно переменном движении по прямой линии, связаны следующими соотношениями:

$$v = v_0 + at; \quad s = v_0 t + \frac{at^2}{2}; \quad v^2 - v_0^2 = 2as,$$

где v_0 — начальная скорость. При $a = 0$ получается уравнение равномерного движения: $s = vt$.

5) Если из некоторой точки проводить векторы скорости движущейся точки в различные моменты движения, то концы этих векторов расположатся по кривой, называемой **г о д о г р а ф о м с к о р о с т и**. При движении точки по траектории конец вектора скорости движется по годографу, причем скорость движения конца вектора **скорости** по годографу равна ускорению точки при движении по траектории.

6) При криволинейном движении

$$a_n = \frac{v^2}{R}; \quad a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2},$$

где a_t — тангенциальное ускорение; a_n — нормальное (центростремительное) ускорение; a — полное ускорение.

7) Простое гармоническое колебание определяется уравнениями:

$$s = A \sin(\omega t + \varphi) = A \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi\right);$$

$$v = A\omega \cos(\omega t + \varphi);$$

$$a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi) = -\omega^2 s,$$

где A — наибольшее расстояние колеблющейся точки от ее среднего положения; T — период колебания и φ — начальная фаза.

8) При сложении двух одинаково направленных гармонических колебаний с одинаковыми периодами получается гармоническое колебание с амплитудой

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}.$$

9) Скорость сложного движения определяется по правилу параллелограмма.

10) При поступательном движении твердого тела скорости и ускорения всех точек тела в любой момент одинаковы.

11) Вращательное движение твердого тела характеризуется угловой скоростью $\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$ и угловым ускорением $\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$. Угловая скорость и угловое ускорение — векторы и складываются по правилу параллелограмма.

12) Связь тангенциальных скорости и ускорения точки вращающегося тела с угловыми:

$$v = \omega R = \frac{2\pi R}{T}; \quad a = \varepsilon R,$$

где R — расстояние данной точки до оси; T — период вращения.

○ 1—1. На рисунке 1—1 показан график зависимости смещения от времени для движения вагона трамвая в начале перегона.

а) Каково движение вагона в различные моменты времени?

б) В какой момент скорость вагона наибольшая?

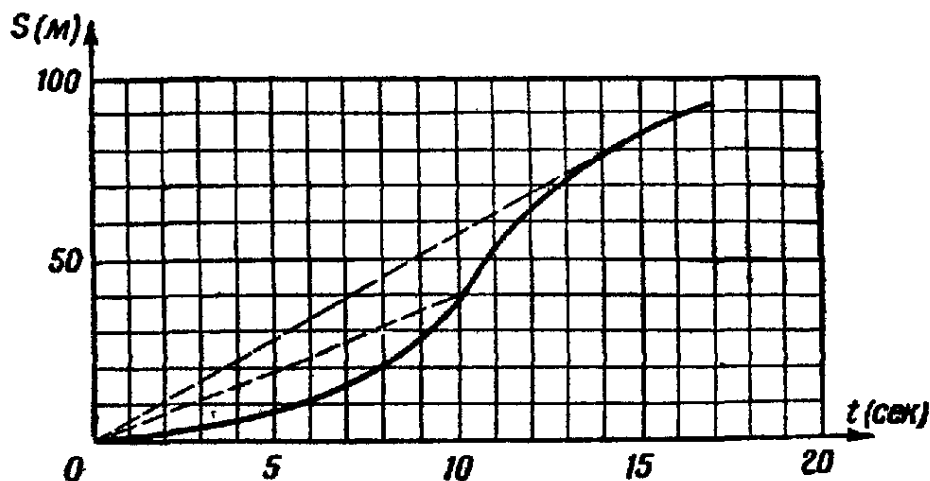


Рис. 1—1.

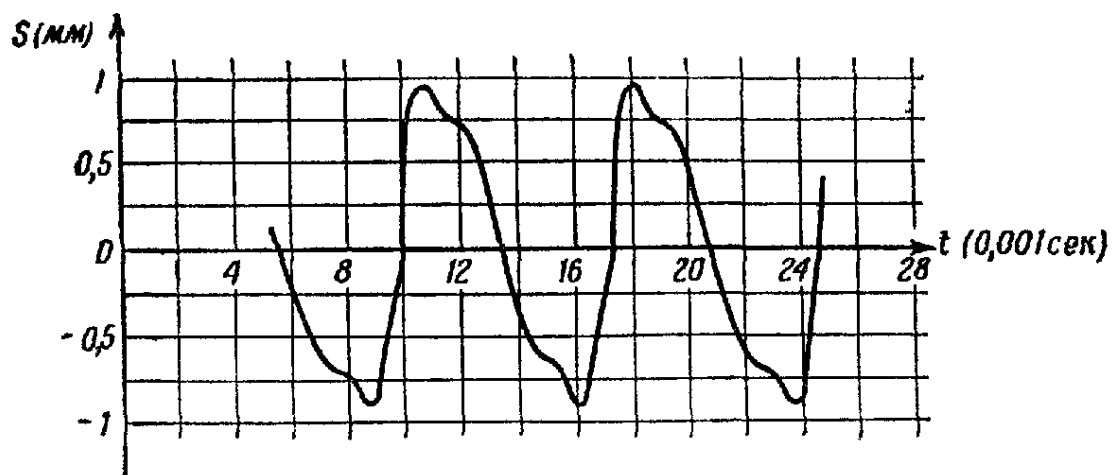


Рис. 1—2.

в) Что показывают пунктирные линии?

г) Какова средняя скорость за первые 10 секунд? за первые 17 секунд?

○ 1—2. На рисунке 1—2 показан примерный график движения некоторой точки звучащей струны рояля. В какие моменты точка движется с наибольшей скоростью и в какие с наибольшим ускорением?

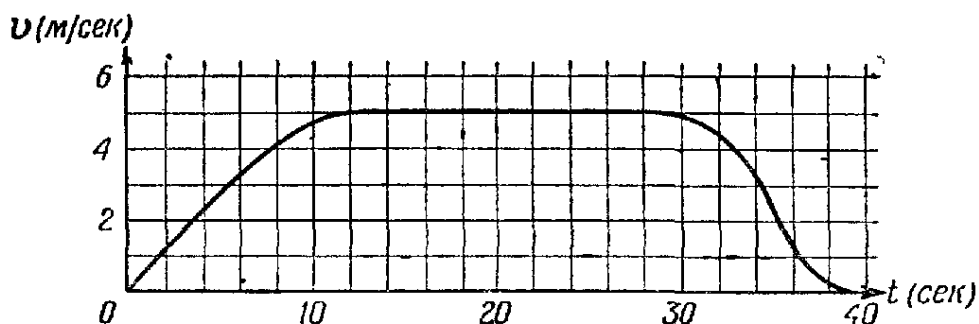


Рис. 1—3.

○ 1—3. На рисунке 1—3 показан примерный график скорости автомобиля.

а) Каково движение автомобиля в различные моменты времени?

б) Каков путь, пройденный автомобилем за 40 сек?

○ 1—4. Существуют приборы, позволяющие записывать графики, показывающие, как с течением времени меняется ускорение движущегося вагона.

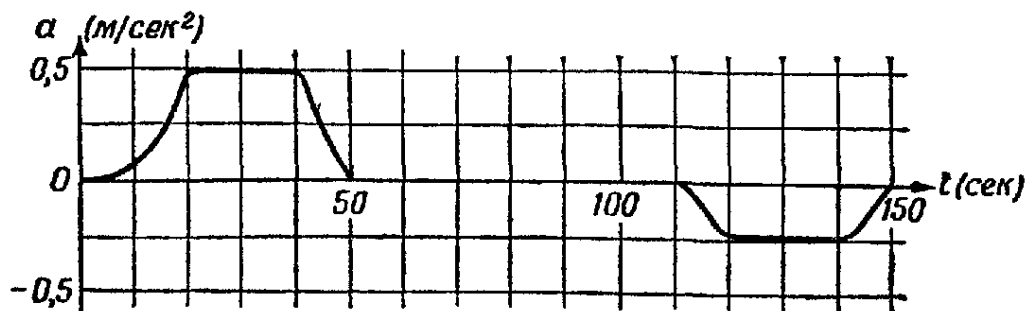


Рис. 1—4.

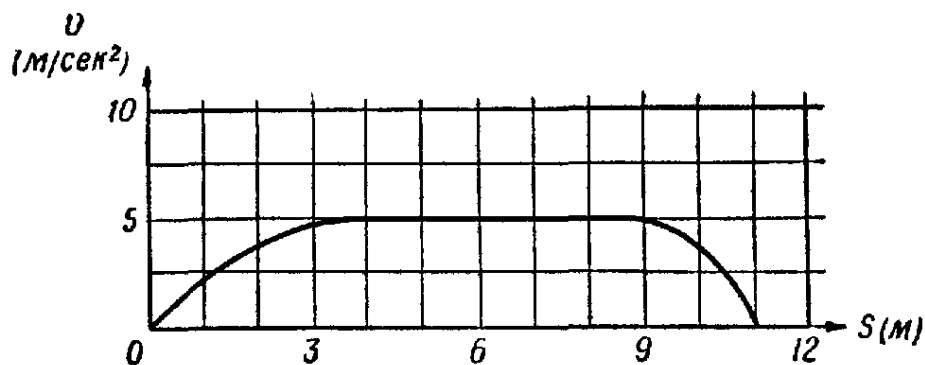


Рис. 1—5.

а) В какие отрезки времени движение вагона, описанное графиком, показанным на рисунке 1—4, было ускоренным, в какие — замедленным, в какие — равномерным?

б) Начертить приблизительно график скорости, соответствующий графику 1—4, предполагая, что при $t = 0$ $v = 0$.

○ 1—5. На рисунке 1—5 дан график зависимости скорости от пройденного пути. Каков характер движения на отдельных участках пути?

⊕ 1—6. На рисунке 1—6 показан график зависимости ускорения вагона от пройденного пути.

а) Каков характер движения на отдельных участках?

б) Что показывает площадь, ограниченная кривой и осью абсцисс?

в) Что можно сказать о начальной и конечной скоростях вагона, если площади A и B на графике равны?

○ 1—7. Поезд идет со скоростью $75 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Может ли человек заметить его перемещение темной ночью при вспышке молнии, продолжительность которой $\approx 2 \cdot 10^{-4}$ сек, если он находится на таком расстоянии от поезда, на котором он может заметить смещение не меньше 1 см?

⊖ 1—8. а) Человек находится на расстоянии $h = 50$ м от прямой дороги, по которой приближается автомобиль со скоростью $v_1 = 10 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$. По какому направлению должен бежать че-

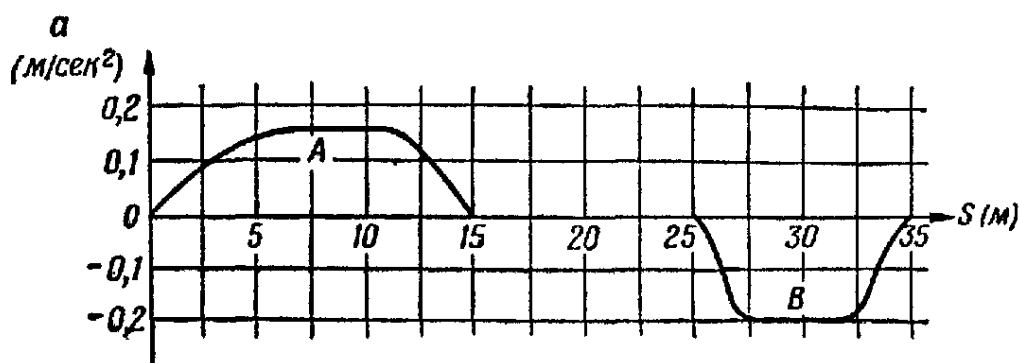


Рис. 1—6.

ловек, чтобы встретиться с автомобилем, если автомобиль находится на расстоянии $b = 200$ м от человека и если человек может бежать со скоростью $v_2 = 3 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$?

б) Какова наименьшая скорость, с которой должен бежать человек, чтобы встретиться с автомобилем?

○ 1—9. Поезд, двигаясь от остановки, прошел в течение 50 сек 200 м и достиг скорости $6 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$. Увеличивалось или уменьшалось ускорение движения с течением времени?

○ 1—10. Поезд метро проходит перегон 2 км за 2 мин 20 сек. Принимая, что максимальная скорость поезда равна $60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ и что в начале и в конце перегона поезд движется с постоянными ускорениями, равными по абсолютной величине, определить эти ускорения.

⊖ 1—11. Наблюдатель, стоявший в момент начала движения электропоезда у его переднего края, заметил, что первый вагон прошел мимо него за $\tau = 4$ сек. Сколько времени будет двигаться мимо него n -й (7-й) вагон? Движение считать равномерно ускоренным.

⊖ 1—12. Наблюдатель, стоящий на платформе, заметил, что первый вагон электропоезда, приближающегося к станции, прошел мимо него в течение 4 сек, а второй — в течение 5 сек. После этого передний край поезда остановился на расстоянии 75 м от наблюдателя. Считая движение поезда равномерно замедленным, определить его ускорение.

○ 1—13. По наклонной доске пустили катиться снизу вверх шарик. На расстоянии 30 см от начала пути шарик побывал дважды: через 1 сек и через 2 сек после начала движения. Определить начальную скорость и ускорение движения шарика, считая его постоянным.

⊕ 1—14. Фонарь, находящийся на расстоянии $R_0 = 3$ м от вертикальной стены, бросает на нее зайчик. Фонарь равномерно вращается около вертикальной оси. Частота оборотов фонаря $n = 0,5 \text{ сек}^{-1}$. При вращении фонаря зайчик бежит по стене по горизонтальной прямой. Найти скорость зайчика через $t = 0,1$ сек после того, как луч света был перпендикулярен к стене.

○ 1—15. С пристани A вверх и вниз по реке отправляются два одинаковых катера и прибывают к пристаням B и C через одинаковые отрезки времени. Обратное возвращение катера из B в A требует в 1,5 раза больше времени, чем возвращение второго катера из C в A . Во сколько раз скорость катера в стоячей воде больше скорости течения реки?

⊖ 1—16. Две прямые линейки лежат одна на другой (рис. 1—7). Края линеек образуют угол α . Если линейку B перемещать поступательно со скоростью u , вектор которой образует

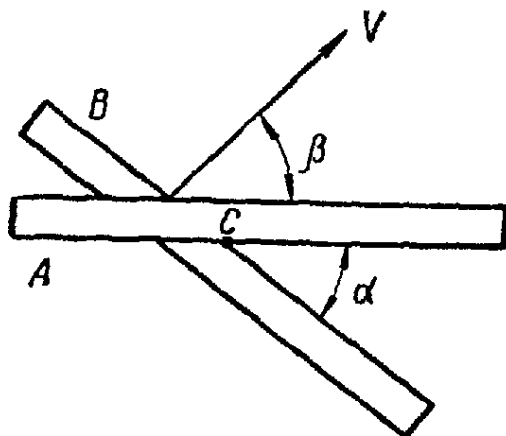


Рис. 1—7.

с краем линейки A угол β , то точка пересечения линеек (точка C) перемещается. Определить скорость v_c точки C как функцию скорости v и углов α и β . При каком угле β скорость v_c наиболее велика? При каком угле β скорости v_c и v равны между собой?

⊖ 1—17. С какой скоростью должен лететь и какой курс должен держать самолет, чтобы за время 1 ч пролететь точно по направлению на север путь 200 км, если во время полета дует северо-восточный ветер под

углом 35° к меридиану со скоростью $30 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$?

⊖ 1—18. Два острова A и B лежат посередине реки на расстоянии $s = 0,5$ км один от другого по направлению течения, скорость которого $v_1 = 2,5 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. На берегу против A по направлению, перпендикулярному к направлению течения, находится пристань, расстояние которой от A тоже равно $s = 0,5$ км. Гребец едет на лодке один раз с острова A на остров B и обратно, другой раз — с острова A к пристани и обратно. Скорость лодки в стоячей воде равна v_2 .

а) При каком условии гребец может совершить первую поездку?

б) При каком условии он может переехать с острова на пристань по соединяющей их прямой?

в) Как в предыдущем случае он должен держать свой курс, если $v_2 = 5 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$?

г) Одинаковое ли время понадобится ему для этих двух поездок?

д) При какой скорости v_2 первая из этих поездок потребует времени в $n = 2$ раза больше, чем вторая?

○ 1—19. Какой вид имеет годограф скорости для следующих случаев: равномерное прямолинейное движение? равномерно ускоренное прямолинейное движение? равномерное движение по окружности? равномерно ускоренное движение по окружности?

○ 1—20. Поезд движется по закруглению с радиусом 400 м, причем его ускорение (тангенциальное) равно $0,2 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$. Определить его нормальное и полное ускорение в тот момент, когда его скорость равна $10 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$.

⊖ 1—21. Три самолета выполняют разворот, двигаясь на расстоянии 60 м друг от друга (рис. 1—8). Средний самолет ле-

тит со скоростью $360 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, двигаясь по дуге окружности радиусом 600 м. Определить ускорение каждого самолета.

○ 1—22. Колесо, имеющее 12 равноотстоящих спиц, во время вращения фотографируют с экспозицией в 0,04 сек. На снимке видно, что каждая спица за это время повернулась на половину угла между двумя соседними спицами. Найти угловую скорость вращения.

⊖ 1—23. а) Круг (рис. 1—9) с черным сектором (угол при центре равен 40°) вращается вокруг оси, проходящей через центр круга перпендикулярно к его плоскости, с частотой оборотов 1500 мин^{-1} . Что будет видно на круге, если в темной комнате его освещать светом, мигающим 100 раз в секунду, причем длительность каждой вспышки света равна 0,003 сек (неоновая лампа, работающая на переменном токе)? Принять во внимание, что поверхность, освещаемая светом, мигающим чаще, чем 10 раз в секунду, кажется тем более яркой, чем длительнее промежутки времени, в течение которых она освещается.

б) Решить эту задачу при частоте оборотов 1470 мин^{-1} .

○ 1—24. Каково направление углового ускорения в следующих случаях: а) тело вращается около вертикальной оси по стрелке часов с возрастающей угловой скоростью? б) ось вращения тела поворачивается, но величина угловой скорости остается неизменной?

○ 1—25. Колесо, вращающееся с частотой оборотов 1500 мин^{-1} , при торможении стало вращаться равномерно замедленно и остановилось через 30 сек. Найти угловое ускорение и число оборотов с момента начала торможения до остановки.

○ 1—26. Некоторое тело начинает вращаться с постоянным угловым ускорением $0,04 \text{ сек}^{-2}$. Через сколько времени после начала вращения полное ускорение какой-либо точки тела будет направлено под углом 76° к направлению скорости этой точки?

⊖ 1—27. Шарик радиусом 3 см катится равномерно и без скольжения по двум параллельным линейкам, расстояние между которыми равно 4 см (рис. 1—10), и за 2 сек проходит 120 см. С какими скоростями движутся верхняя и нижняя точки шарика?

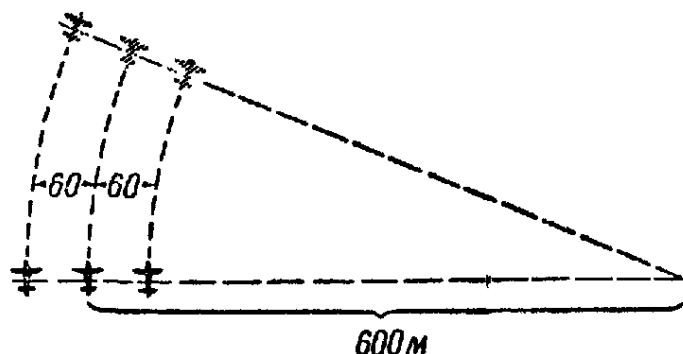


Рис. 1—8.

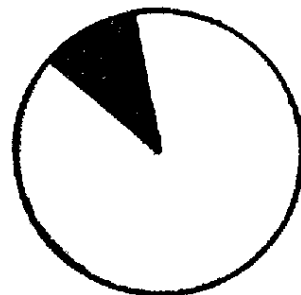


Рис. 1—9.



Рис. 1—10.

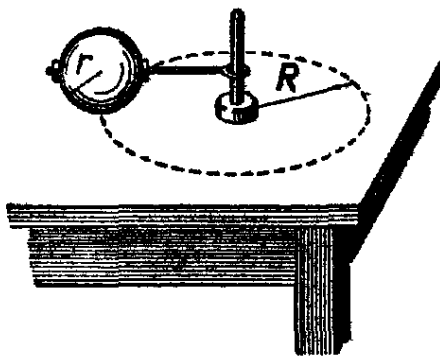


Рис. 1—11.

⊖ 1—28. Шар радиусом 16 см насажен на горизонтальную ось и катится по плоской поверхности со скоростью $60 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$, описывая окружность радиусом 30 см (рис. 1—11). Определить полную угловую скорость шара и ее наклон к горизонту.

○ 1—29. Наибольшее смещение и наибольшая скорость точки, совершающей гармоническое колебание, равны соответственно 5 см и $12 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$. а) Каково наибольшее ускорение? б) Каковы скорость и ускорение точки в тот момент, когда смещение равно 3 см?

○ 1—30. Конец ветви камертона колеблется с частотой 500 гц и амплитудой 0,2 мм. Определить: а) среднюю скорость при движении от крайнего положения к положению равновесия; б) среднюю скорость при прохождении 0,1 мм, начиная от крайнего положения; в) среднюю скорость при прохождении 0,1 мм, начиная от положения равновесия; г) максимальную скорость.

○ 1—31. Середина струны колеблется с частотой 200 гц и с амплитудой 3 мм. Найти наибольшее ускорение.

○ 1—32. Во многих машинах (компрессор, водяной насос и т. п.) встречается механизм, схематически изображенный на рисунке 1—12. При каком условии движение точки А можно считать гармоническим колебанием, если точка В равномерно движется по окружности?

○ 1—33. Балансир карманных часов совершает вращательные гармонические колебания. Как движется при этих колебаниях конец вектора угловой скорости балансира?

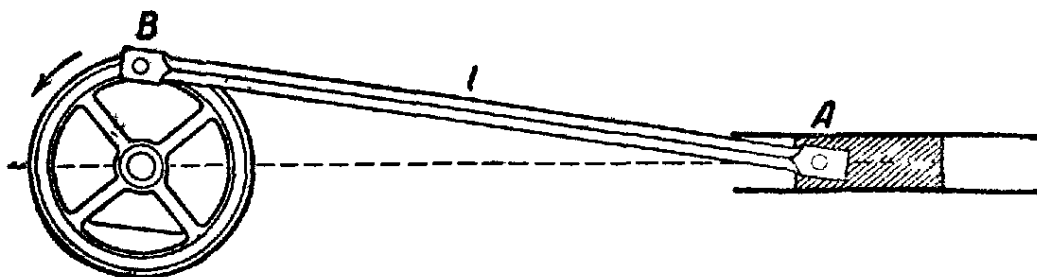


Рис. 1—12.

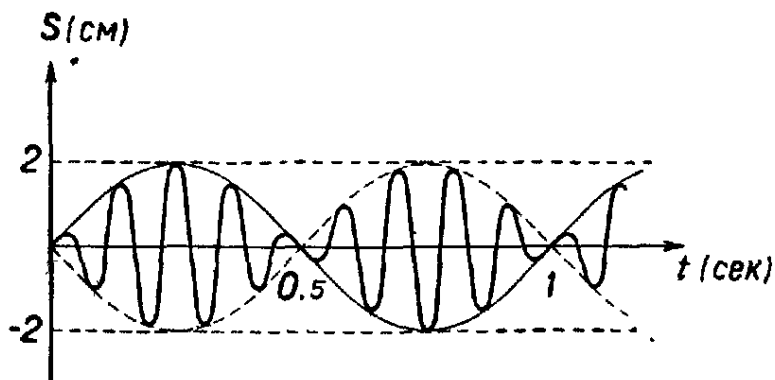


Рис. 1—13.

○ 1—34. а) Два одинаково направленных гармонических колебания одного периода с амплитудами 5 см и 7 см складываются в одно гармоническое колебание с амплитудой 9 см. Определить разность фаз складываемых колебаний.

б) Наибольшая скорость первого колебания равна $50 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$.

Определить наибольшую скорость результирующего колебания.

○ 1—35. Начертить график движения, которое является результатом сложения двух гармонических колебаний с периодами 0,02 сек и 0,03 сек. Амплитуда первого колебания в два раза больше амплитуды второго. Принять, что в начальный момент фазы колебаний равны 0 и π . Определить период получившегося таким образом негармонического колебания.

○ 1—36. В помещении установлены два электродвигателя. Когда работает один из двигателей, некоторая точка пола совершает колебания с амплитудой 0,1 мм и с частотой 1410 мин^{-1} . Когда работает другой двигатель, та же точка пола совершает колебания с той же амплитудой и с частотой 1440 мин^{-1} . Как будет колебаться эта точка, если оба двигателя будут работать одновременно?

○ 1—37. На рисунке 1—13 дан график сложного колебания. Известно, что оно состоит из двух синусоидальных колебаний. Найти их частоты и амплитуды.

§ 2. Движение свободно падающих и брошенных тел

Задачи настоящего параграфа относятся к движению тел с ускорением, постоянным и по величине и по направлению. Примером такого движения можно считать движение тел в поле тяготения Земли на небольшом расстоянии от ее поверхности при условии, что сила сопротивления среды (воздуха) значительно меньше силы тяжести тела. При решении задач следует принимать, что эти условия выполнены.

1) Кроме случаев, особо оговоренных, ускорение падающих тел следует считать равным $g = 9,80 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$.

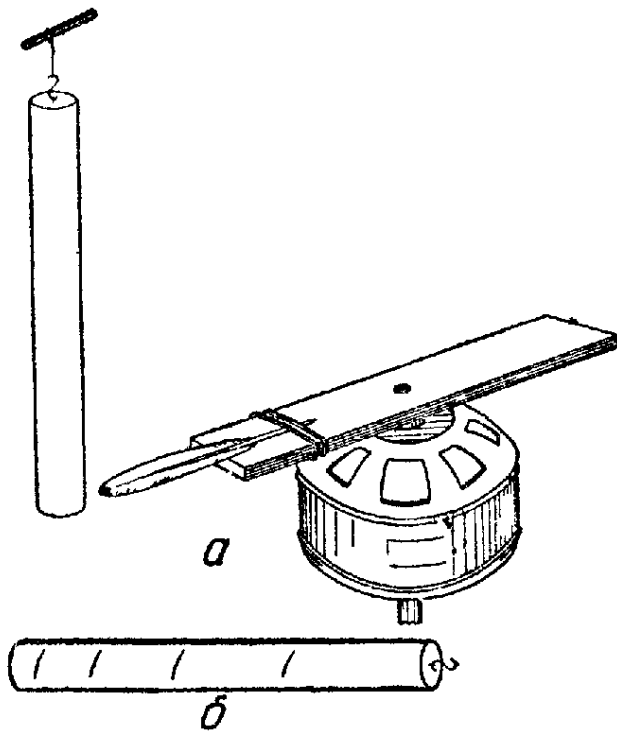


Рис 2—1.



Рис 2—2

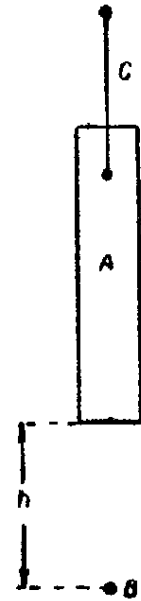


Рис 2—3.

2) Наибольшая высота и дальность полета тел, брошенных под углом α к горизонту с начальной скоростью v_0 , равны

$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad \text{и} \quad s = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

○ 2—1. С какой высоты в безвоздушном пространстве должно упасть тело, чтобы приобрести скорость: а) $72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ (скорость поезда)? б) $1 \frac{\text{см}}{\text{мин}}$ (скорость оседания очень мелкой пыли в воздухе)?

⊖ 2—2. На рисунке 2—1, а изображена простая установка для определения ускорения падающих тел в школьной лаборатории. Мимо смоченной краской кисточки (или птичьего пера), вращаемой электродвигателем, падает после пережигания нити цилиндр, обернутый бумагой. Кисточка наносит на цилиндр метки, как показано на рисунке 2—1, б.

а) Почему метки наклонены к оси цилиндра?

б) Определить ускорение g , если расстояния между метками оказались равными 23, 40, 56, 74, 91, 110, 126 и 143 мм. Измерения показали, что число оборотов двигателя равно 1440 мин^{-1} .

⊖ 2—3. На рисунке 2—2 показана в натуральную величину кривая линия, вычерченная острием, прикрепленным к ветви звучащего камертона, на свободно падающей мимо него закопченной стеклянной пластинке. Определить частоту камертона.

⊖ 2—4. Камень брошен вертикально вверх со скоростью $v_0 = 15 \text{ м/сек}$. Через сколько времени он будет на высоте: а) $h_1 = 10 \text{ м}$? б) $h_2 = 12 \text{ м}$?

⊖ 2—5. Линейка A (рис. 2—3) длиной 25 см подвешена к стене на нити. Ниже линейки в стене имеется маленькое отверстие B . На какой высоте h над отверстием B должен находиться нижний край линейки, если нужно, чтобы линейка, падая при пережигании нити, закрыла собой отверстие B на 0,1 сек?

⊖ 2—6. С какой скоростью нужно бросить вертикально тело с высоты 40 м, чтобы оно упало: а) на 1 сек раньше, чем в случае свободного падения? б) на 1 сек позднее?

⊖ 2—7. Два тела брошены вертикально вверх из одной и той же точки с одной и той же начальной скоростью $v_0 = 24,5 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$ с промежутком времени $\tau = 0,5$ сек.

а) Через сколько времени от момента бросания второго тела и на какой высоте h они столкнутся?

б) Каков физический смысл решения, если $\tau \geq \frac{2v_0}{g}$?

⊖ 2—8. Показать, что вектор смещения s тела, брошенного со скоростью v_0 , через отрезок времени t равен векторной сумме.

$$\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g} t^2}{2}.$$

○ 2—9. Камень, брошенный горизонтально на высоте $h = 2$ м над землей, упал на расстоянии $s = 7$ м от места бросания (считая по горизонтали). Найти его начальную и конечную скорости (v_0 и v).

⊖ 2—10. На рисунке 2—4 изображен школьный опыт, служащий для иллюстрации второго закона движения. Из капельницы A , установленной на движущейся тележке B , через равные промежутки времени падают капли. Следы капель $ССС...$ отстоят друг от друга на расстояниях, составляющих арифметическую прогрессию. Это принимается за доказательство того, что тележка движется равномерно ускоренно. Проверить, приняв во внимание, что капли падают по параболическим траекториям, правильно ли это.

⊖ 2—11. Начальная скорость брошенного камня равна $10 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$, а спустя 0,5 сек скорость камня равна $7 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$. На какую высоту над начальным уровнем поднимется камень?

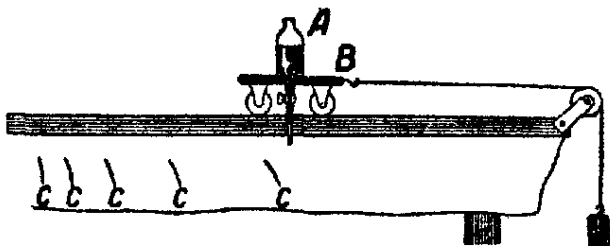


Рис. 2—4.

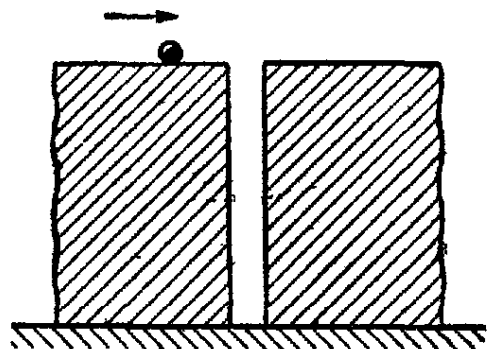


Рис. 2—5.

⊕ 2—12. Две стальные плиты высотой 40 см помещены рядом и образуют вертикальную щель шириной 2 см (рис. 2—5). К щели подкатывается стальной шарик со скоростью $1 \frac{м}{сек}$ и проваливается в нее, несколько раз ударяется о стенки щели и падает на пол. Направление движения шарика перед падением в щель перпендикулярно к щели. Диаметр шарика равен 0,6 см. Сколько раз шарик ударится о стенки перед тем, как упасть на пол? (Принять, что шарик отражается от плиты с той же скоростью, с которой ударился, и что угол отражения равен углу падения. Временем удара шарика о стенку пренебречь.)

○ 2—13. Под каким углом к горизонту надо бросить тело, чтобы высота подъема была равна дальности полета?

○ 2—14. а) Во время спортивных состязаний бросили диск на расстояние 53,1 м. С какой минимальной скоростью надо бросить диск, чтобы он пролетел это расстояние, если $g = 9,81 \frac{м}{сек^2}$?

Сопротивлением воздуха можно пренебречь. Принять, что места бросания и падения диска находятся на одной высоте.

б) Что получилось бы при такой же скорости и том же угле бросания на экваторе, где $g = 9,78 \frac{м}{сек^2}$?

в) Какие данные следовало бы добавить к числам, характеризующим рекорды метания диска, чтобы можно было определить начальные скорости диска, которые собственно и характеризуют спортсменов?

○ 2—15. Из брандспойта бьет струя под углом $\alpha = 32^\circ$ к горизонту; струя падает на расстоянии $s = 12$ м от брандспойта. Площадь отверстия брандспойта равна $S = 1$ см². Сколько воды подает брандспойт за $t = 1$ мин?

○ 2—16. Какой вид имеет годограф скорости для наклонно брошенного тела?

⊖ 2—17. Тело брошено под углом $\alpha_0 = 60^\circ$ к горизонту со скоростью $v_0 = 20 \frac{м}{сек}$.

а) Под каким углом α к горизонту движется тело через 1,5 сек после начала движения? через 2,5 сек?

б) Через сколько времени и на какой высоте тело будет двигаться под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту?

⊕ 2—18. Два тела брошены под разными углами к горизонту и с различными скоростями. Показать, что во время движения их относительная скорость постоянна по величине и по направлению.

⊖ 2—19. При каких углах между начальной скоростью и горизонтом брошенный камень при навесной траектории достигнет цели через промежуток времени в n раз ($n=2$) больший, чем при настильной с той же начальной скоростью?

⊕ 2—20. Камень брошен с высоты $h = 2,1$ м над поверхностью Земли под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту и упал на Землю

на расстоянии $s = 42$ м от места бросания, считая по горизонтали. С какой скоростью камень был брошен, сколько времени летел и на какой наибольшей высоте был?

⊕ 2—21. Упругий шарик падает на наклонно поставленную стенку, пролетев высоту $h = 20$ см. На каком расстоянии от места падения он второй раз ударится о стенку? Угол наклона стенки к горизонту $\alpha = 37^\circ$.

⊖ 2—22. Камень брошен со скоростью $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$ под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. Определить радиус кривизны R его траектории: а) в верхней точке; б) в момент падения на Землю.

§ 3. Законы движения. Работа, мощность, энергия

1) Если в условиях рассматриваемой задачи скорости v и ускорения a всех точек тела в определенный момент мало отличаются друг от друга, то движение тела можно рассчитывать как движение точки (точечное тело).

2) Ускорение, с которым движется точечное тело, равно

$$a = \frac{F}{m},$$

где F — векторная сумма всех сил, действующих на тело, m — масса тела.

3) Изменение количества движения тела (импульса тела) равно $\Delta K = \Delta (mv) = F \cdot \Delta t$, где Δt — отрезок времени, в течение которого действовала сила.

4) Центром инерции системы точечных тел (движущихся независимо или составляющих сплошное тело) называется точка, координаты которой определяются формулами:

$$x_0 = \frac{\sum mx}{\sum m}; \quad y_0 = \frac{\sum my}{\sum m}; \quad z_0 = \frac{\sum mz}{\sum m},$$

где x_0, y_0, z_0 — координаты центра инерции; m, x, y, z — массы и координаты тел, составляющих систему. Теми же формулами определяется положение центра тяжести системы, когда она находится в однородном поле тяготения (поле тяготения Земли на небольшом по сравнению с ее радиусом протяжении можно считать однородным).

5) В замкнутой системе тел постоянны по величине и направлению: а) векторная сумма импульсов составляющих ее тел; б) скорость центра инерции системы.

6) В незамкнутой системе тел ускорение центра инерции a определяется по формуле

$$a = \frac{F}{m},$$

где F есть векторная сумма всех сил, действующих на точки системы, m — сумма их масс.

7) При относительном движении соприкасающихся тел сила трения равна $f = \mu N$ (N — сила нормального давления тел друг на друга, μ — коэффициент трения). При решении задач следует принимать μ не зависящим от скорости.

8) Работа A силы F при смещении s равна

$$A = F \cdot s \cdot \cos(Fs).$$

9) Мощность

$$P = \frac{\Delta A}{\Delta t} = F \cdot v,$$

где ΔA — работа, произведенная в течение отрезка времени Δt .

10) Кинетическая энергия тела

$$E = \frac{mV^2}{2}.$$

11) Потенциальная энергия системы груз — Земля

$$П = mgh,$$

где h — высота центра тяжести тела над уровнем, принимаемым за нулевой.

12) В замкнутой системе полная энергия постоянна. В незамкнутой системе изменение энергии равно работе внешних сил.

13) В задачах настоящего параграфа подразумевается, что движение тел и до и после взаимодействия (например, до и после удара) является поступательным.

○ 3—1. а) Пуля с массой $m = 10$ г, двигавшаяся со скоростью $v = 200 \frac{м}{сек}$, врезалась в доску и углубилась в нее на расстояние $l = 4$ см. Определить среднюю силу сопротивления F доски и время t движения пули в доске, считая движение пули внутри доски равномерно замедленным.

б) Что произойдет, если произвести выстрел в доску такого же материала толщиной в 2 см? Какое количество движения получит доска?

○ 3—2. Автомобиль-тягач, имеющий тормоза на всех колесах, тянет прицеп со скоростью $30 \frac{км}{ч}$. Масса автомобиля 5000 кг, масса прицепа 2000 кг. На каком наименьшем пути можно затормозить этот автопоезд до полной остановки при следующих данных: коэффициент статического трения шин о покрытие дороги равен 0,6, коэффициент силы тяги и для тягача и для прицепа равен 0,03? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

У к а з а н и е. Коэффициентом силы тяги называется отношение силы сопротивления, возникающего при качении любого экипажа, к его весу. Сила сопротивления вызвана трением в подшипниках и приложена к экипажу в точках соприкосновения колес с землей.

○ 3—3. Груз, масса которого равна 1 кг, подвешенный на динамометре, поднимается сначала ускоренно, затем равномерно и, на-

конец, замедленно, после чего он таким же образом опускается. Абсолютная величина ускорения во всех случаях постоянна и равна $0,5 \frac{м}{сек^2}$. Что показывает динамометр в различные моменты движения?

⊖ 3—4. Через блок ничтожной массы, вращающийся с малым трением, перекинута нить, на концах которой привязаны грузы m_1 и m_2 , причем m_2 в n раз ($n=2$) больше m_1 . Груз m_2 поднимают настолько, чтобы груз m_1 коснулся пола (рис. 3—1), и отпускают. На какую высоту поднимется груз m_1 , после того как груз m_2 ударится о пол, если высота груза была равна $h_2=30$ см?

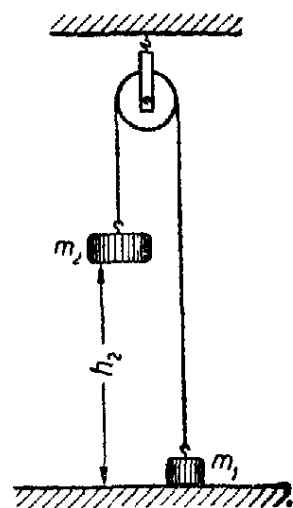


Рис. 3—1.

⊖ 3—5. Человек жестко связан с резиновым шаром, наполненным водородом. Масса человека вместе с массой шара с водородом в n раз ($n=1,1$) больше массы вытесняемого ими воздуха. Пренебрегая сопротивлением воздуха и принимая, что при движении шара в воздухе эффективная масса увеличивается на величину массы вытесненного воздуха, вычислить:

- а) с каким ускорением падает человек с шаром;
- б) на какую высоту поднимется человек, если прыгнет вместе с шаром вертикально вверх с такой скоростью, при которой без шара поднялся бы на 20 см.

⊖ 3—6. Доска A движется по горизонтальному столу под действием силы натяжения привязанной к ней нити. Нить перекинута через прикрепленный к столу блок и прикреплена к другой доске B , падающей вниз (рис. 3—2).

- а) Определить натяжение нити F , если масса доски A $m_1=200$ г, масса доски B $m_2=300$ г, коэффициент трения $\mu=0,25$. Масса блока ничтожна мала.

б) Как изменится ответ, если доски поменять местами?

- в) Определить силу, действующую на ось блока в случаях а) и б).

⊕ 3—7. Для иллюстрации второго закона движения иногда показывают такой опыт (рис. 3—3). Тележка m_2 приводится в движение вначале грузом m_1 , а затем грузом в n раз ($n=2$) большим.

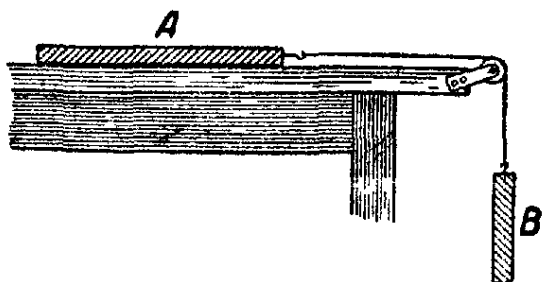


Рис. 3—2.

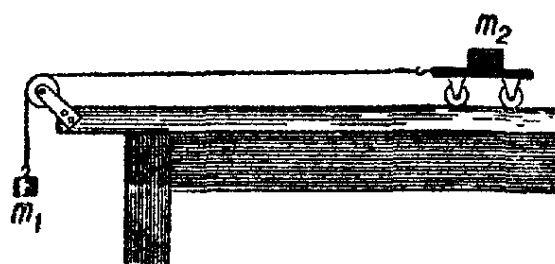


Рис. 3—3.

а) Можно ли утверждать, что при отсутствии трения ускорение во втором случае должно быть в n раз больше, чем в первом?

б) Каково отношение ускорений, если масса груза $m_1=30$ г, масса тележки $m_2=200$ г и коэффициент трения $\mu=0,1$?

в) При каком коэффициенте трения ускорение во втором случае в n раз больше, чем в первом?

⊖ 3—8. Определить ускорение, с которым движется груз m_1 в установке, изображенной на рисунке 3—4.

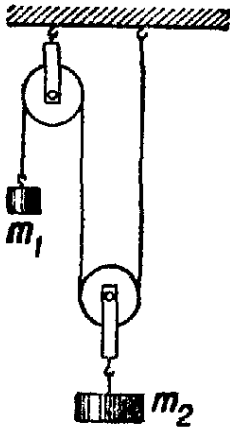


Рис 3—4.

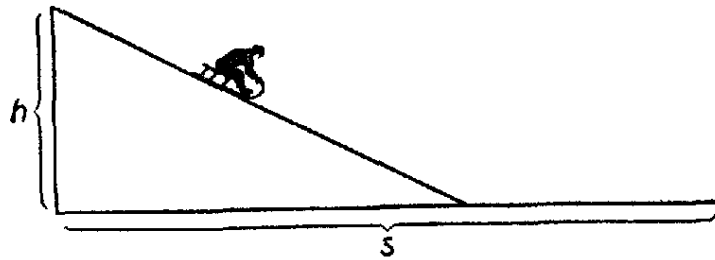


Рис. 3—5.

Трением, массами блоков и жесткостью шнура пренебречь. Рассмотреть следующие частные случаи:

а) $m_1 = m_2$; в) $2m_1 = m_2$;

б) $m_1 \ll m_2$; г) $m_1 \gg m_2$.

○ 3—9. Санки скатываются с ледяной горы высотой h и останавливаются на ледяном поле на расстоянии s по горизонтальному направлению от вершины наклонной плоскости (рис. 3—5). Показать, что коэффициент трения $\mu = \frac{h}{s}$.

○ 3—10. Тело медленно втаскивают из точки B (рис. 3—6) в точку A по плоской кривой. Показать, что работа подъема не зависит от формы пути, если коэффициент трения во всех точках пути один и тот же.

⊖ 3—11. Несколько наклонных плоскостей имеют общее основание (рис. 3—7).

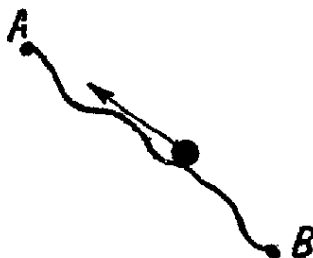


Рис. 3—6.

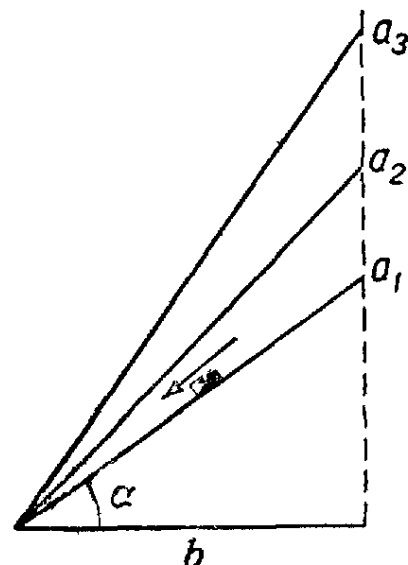


Рис. 3—7.

а) Каков наклон плоскости к горизонту, если время соскальзывания тел по этой плоскости меньше, чем по остальным плоскостям? (Рассмотреть случаи, когда трение ничтожно мало и когда коэффициент трения $\mu=0,25$.)

б) Каков коэффициент трения, если время соскальзывания при наклоне $\alpha_1=60^\circ$ и время соскальзывания при наклоне $\alpha_2=45^\circ$ равны между собой?

⊖ 3—12. Ледяная гора составляет с горизонтом угол $\alpha=10^\circ$. По ней пускают снизу вверх камень, который, поднявшись на некоторую высоту, затем соскальзывает по тому же пути вниз. Каков коэффициент трения, если время спуска камня в n раз ($n=2$) раза больше времени подъема?

⊕ 3—13. По наклонной плоскости, составляющей угол α с горизонтом, скользит доска, на которой находится брусок. Определить ускорение доски a_1 и ускорение бруска a_2 , если коэффициенты трения доски о наклонную плоскость и бруска о доску равны μ_1 и μ_2 . Разобрать следующие случаи:

а) $\operatorname{tg} \alpha > \mu_1 = \mu_2$; б) $\operatorname{tg} \alpha > \mu_1 > \mu_2$; в) $\operatorname{tg} \alpha > \mu_2 > \mu_1$;

г) $\mu_2 > \operatorname{tg} \alpha > \mu_1$; д) $\mu_1 > \operatorname{tg} \alpha > \mu_2$.

○ 3—14. Стальной шарик падает на горизонтальную поверхность стола с высоты 25,6 см и, отскочив, поднимается на высоту 19,6 см. Масса шарика 10 г. Какова средняя сила, с которой шарик действовал на стол при ударе, если соприкосновение шарика со столом длилось $1 \cdot 10^{-4}$ сек?

○ 3—15. а) Вниз по реке идет пароход. Изменяет ли это в какой-либо мере количество воды, приносимой рекой в море?

б) Некоторые животные, живущие в воде (например, каракатица), передвигаются следующим образом. Внутри тела животного имеется полость, сообщающаяся с окружающей водой. Животное то увеличивает объем полости (при этом вода входит в полость), то уменьшает ее объем и выбрасывает воду наружу. Что происходит при этих процессах?

○ 3—16. Когда колеблется струна, скорость ее все время меняется. Количество движения струны вследствие этого тоже меняется. Как это согласовать с законом сохранения количества движения?

⊖ 3—17. На рисунке 3—8 изображен школьный опыт, иллюстрирующий третий закон движения. Между двумя тележками

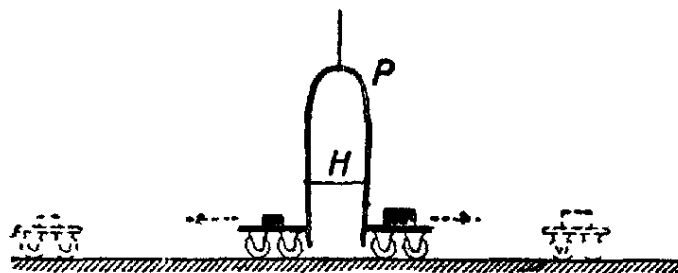


Рис. 3—8.

помещается легкая сжатая пружина P . При пережигании нити H пружина расталкивает тележки в разные стороны. Как относятся расстояния, которые проедут тележки до полной остановки, если масса левой относится к массе правой, как 1 : 3?

⊕ 3—18. Ракета, бывшая первоначально неподвижной, выбрасывает равномерной струей газы со скоростью $v_1 = 300 \frac{м}{сек}$ (относительно ракеты); расход газа равен $\mu = 90 \frac{г}{сек}$. Начальная масса ракеты равна $m = 270 г$.

а) Через сколько времени после пуска ракета достигнет скорости $v_2 = 40 \frac{м}{сек}$?

б) Какой скорости достигнет ракета, если масса ее заряда равна $m_0 = 180 г$? Сопротивлением воздуха пренебречь.

⊖ 3—19. Определить положение центра инерции (центра тяжести) масс системы, состоящей из четырех шариков с массами 1 г, 2 г, 3 г и 4 г, в следующих случаях (рис. 3—9, а, б, в): а) шарики расположены на одной прямой; б) шарики расположены по вершинам квадрата; в) шарики расположены по четырем смежным вершинам куба.

Во всех случаях расстояния между соседними шариками равны 10 см.

⊖ 3—20. а) Определить положение центра инерции двойного однородного цилиндра, размеры которого показаны на рисунке 3—10.

б) Определить положение центра инерции пластинки, имеющей форму осевого сечения тела, изображенного на рисунке 3—10.

⊖ 3—21. Определить положение центра инерции фигуры в виде тонкого круглого диска с радиусом $r_1 = 5 дм$, в котором вырезано круглое отверстие с радиусом $r_2 = 3 дм$, причем центр отверстия лежит на расстоянии 1 дм от центра диска (рис. 3—11).

⊕ 3—22. Потенциальные энергии двух одинаковых сплошных прямых круглых конусов, один из которых стоит, а другой

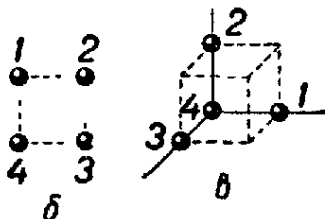
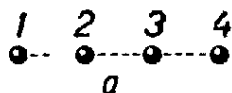


Рис. 3—9.

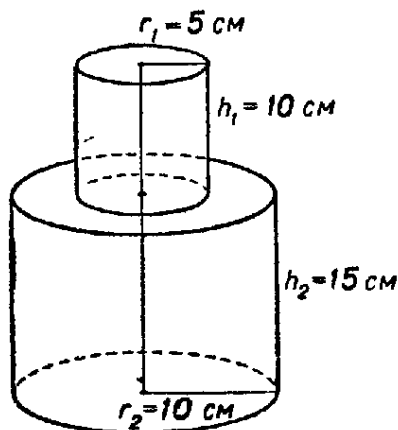


Рис. 3—10.

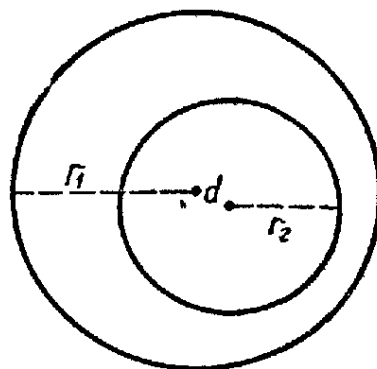


Рис. 3—11.

лежит на горизонтальной плоскости, равны между собой. Определить угол между осью и образующей конуса.

⊖ 3—23. Два точечных тела составляют замкнутую систему, центр инерции которой покоится. Отношение масс тел равно $\frac{m_1}{m_2} = 2$. На

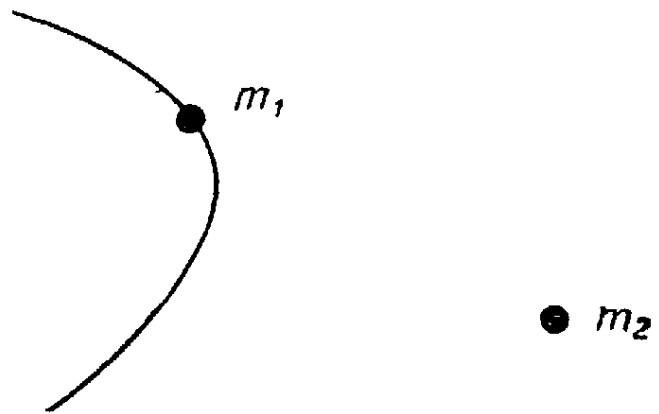


Рис. 3—12.

рисунке 3—12 показаны положения тел m_1 и m_2 в некоторый момент и траектория тела m_1 , являющаяся плоской кривой. Построить по точкам траекторию тела m_2 .

⊖ 3—24. На концах однородного стержня насажены два одинаковых шара. Стержень бросают, причем в начальный момент один из шаров движется со скоростью $32 \frac{м}{сек}$ по направлению, составляющему угол 60° с горизонтом, а другой шар движется в прямо противоположном направлении со скоростью $4 \frac{м}{сек}$. На какую высоту над начальным уровнем поднимется середина стержня?

⊖ 3—25. а) Каково ускорение центра инерции системы грузов m_1 и m_2 , описанных в задаче 3—4?

б) Какова скорость центра инерции в тот момент, когда груз m_2 достигает пола?

⊕ 3—26. На рисунке 3—13, а показаны две тележки А и В, соединенные натянутым шнуром, перекинутым через неподвижные блоки малой массы. На тележке А сидит пассажир С. Масса тележки В равна массе тележки А (100 кг) вместе с пассажиром С (50 кг). Трение в тележках и блоках ничтожно мало. Пассажир С встает, перемещается вдоль тележки вправо на 1,2 м и снова садится.

а) Как переместятся при этом тележки?

б) Как сместится при переходе пассажира центр инерции системы, состоящей из тележек и пассажира?

в) Ответить на вопросы а) и б) в случае расположения тележек, показанном на рисунке 3—13, б.

г) Как направлена результирующая сила, действующая на оси неподвижных блоков в случаях расположения тележек, показанных на рисунках 3—13, а и б?

⊕ 3—27. Лодка неподвижно стоит на озере. На корме и на носу лодки на рас-

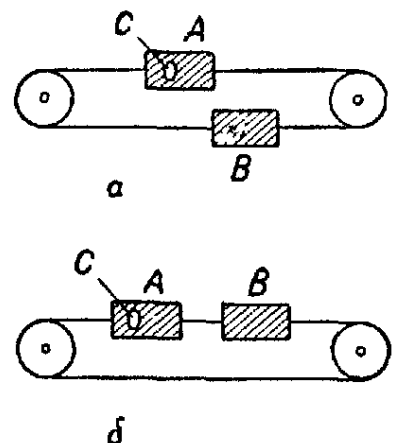


Рис. 3—13.

стоянии 2 м друг от друга сидят рыболовы. Масса лодки 140 кг, массы рыболовов 70 кг и 40 кг. Рыболовы меняются местами. Как перемещается при этом лодка?

У к а з а н и е. При вычислении импульса вытесненной воды принять, что ее эффективная масса составляет 0,2 ее фактической величины.

○ 3—28. Какую работу надо произвести, чтобы заставить поезд с массой 800 т:

а) увеличить свою скорость от 36 до $54 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$?

б) остановиться при начальной скорости $72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$?

○ 3—29. При выстреле из винтовки давление расширяющихся газов производит работу 13 300 Дж; продолжительность выстрела $1,47 \cdot 10^{-3}$ сек; пуля массой 9,6 г вылетает со скоростью $880 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$. Определить полную и полезную мощность выстрела.

Θ 3—30. Паровоз тянет поезд, общая масса которого равна 2000 т. Принимая, что мощность паровоза постоянна и равна 1800 кВт и что коэффициент силы тяги равен 0,005, определить: а) ускорения поезда в те моменты, когда скорость поезда равна $4 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$ и когда скорость поезда равна $12 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$; б) максимальную скорость поезда.

Θ 3—31. Уклон участка шоссе равен 0,05. Спускаясь под уклон при выключенном двигателе, автомобиль движется равномерно со скоростью $60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Какова должна быть мощность двигателя автомобиля, чтобы он мог подниматься на такой же подъем с той же скоростью? Масса автомобиля 1,5 т.

Θ 3—32. Автомобиль движется вверх по слабому подъему с установившейся скоростью $3 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$; если он движется в обратном направлении, т. е. под уклон, то при той же мощности двигателя устанавливается скорость $7 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$. Какая скорость v_0 установится при той же мощности мотора во время движения по горизонтальному пути? (При указанных скоростях можно принять, что сила тяги не зависит от скорости.)

Θ 3—33. Конькобежец движется по горизонтальному пути равномерно, а затем с разгона проезжает до остановки путь $s=60$ м в течение $t=25$ сек. Масса конькобежца $m=50$ кг. Определить, считая движение с разгона равнозамедленным: а) коэффициент трения; б) мощность, затрачиваемую конькобежцем при равномерном движении.

○ 3—34. Камень с массой 50 г, брошенный под углом к горизонту с высоты 20 м над поверхностью Земли со скоростью

$18 \frac{м}{сек}$, упал на Землю со скоростью $24 \frac{м}{сек}$.

Найти работу преодоления сопротивления воздуха.

⊖ 3—35. Камень с массой $m=200$ г брошен с горизонтальной поверхности под углом к горизонту и упал на нее обратно на расстоянии $s=5$ м через $t=1,2$ сек. Найти работу бросания. Сопротивлением воздуха пренебречь.

⊖ 3—36. На рисунке 3—14 показан школьный прибор для демонстрации сложения количеств движения, полученных шариком C при ударах молотков A и B . Показать, что путь, пройденный шариком C по горизонтальной плоскости при одновременном ударе молотков A и B , равен сумме путей, которые прошел бы шарик при таких же ударах молотков A и B по отдельности: $s=s_1+s_2$.

⊕ 3—37. Показать, что при упругом ударе тел их относительная скорость меняет свое направление, не меняясь по величине.

У к а з а н и е. Решение задачи облегчается, если выбрать такую систему отсчета, в которой центр инерции соударяющихся тел покоится.

⊖ 3—38. В ядерной технике часто бывает нужно уменьшать скорость нейтронов, выделяющихся при ядерных реакциях. Это осуществляется, например, при упругом ударе нейтрона в медленно движущееся ядро углерода (графит) или ядро дейтерия («тяжелый» водород).

а) Во сколько раз уменьшается энергия нейтрона при упругом лобовом ударе нейтрона в ядро углерода (при лобовом ударе нейтрон после удара движется в направлении, противоположном начальному)? Принять, что масса ядра углерода в $n=12$ раз больше массы нейтрона.

б) Во сколько раз уменьшается энергия нейтрона в случае, если после удара о ядро углерода он движется в направлении, перпендикулярном к начальному?

в) Произвести расчет а) и б) для удара нейтрона в ядро дейтерия, массу которого можно принять равной удвоенной массе нейтрона.

⊖ 3—39. Показать, что изменение кинетической энергии тел при неупругом ударе зависит только от относительной скорости тел до удара и от их масс.

⊖ 3—40. Молот массой $1,5$ т ударяет по раскаленной болванке, лежащей на наковальне, и деформирует болванку. Масса наковальни вместе с болванкой равна 20 т. Определить коэффициент полезного действия при ударе молота, считая удар неупругим.

П р и м е ч а н и е. Считать работу, произведенную при деформации болванки, полезной, а работу сотрясения фундамента — бесполезной.

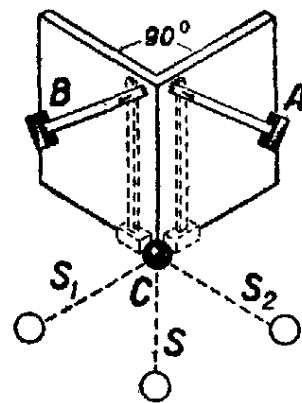


Рис. 3—14.

⊖ 3—41. Два стальных шара подвешены на нитях так, что при их касании центры тяжести находятся на $l=1$ м ниже точек подвеса, а нити вертикальны. Массы их $m_1=800$ г и $m_2=200$ г. Меньший отводят в сторону так, что нить отклоняется на $\alpha=90^\circ$, и отпускают. Принимая шары за вполне упругие, определить: а) на какую высоту они поднимутся после удара; б) что произойдет, если таким же образом отклонить больший шар; в) при каком соотношении между массами шаров высоты, на которые они поднимутся после удара, равны между собой.

⊖ 3—42. Три одинаковых упругих шарика висят, касаясь друг друга, на трех параллельных нитях одинаковой длины. Один из шариков отклоняют по направлению, перпендикулярному к прямой, соединяющей центры двух других шариков, и отпускают, причем он приобретает скорость v . Каковы скорости шариков после удара?

⊖ 3—43. Быстро движущаяся молекула газа ударяется о другую молекулу того же газа, скорость которой в момент удара ничтожно мала. После удара молекулы летят в разные стороны. Показать, что угол между направлениями скоростей молекул после удара равен 90° , если удар был упругим (т. е. внутреннее состояние молекул после удара таково же, как и до удара), и меньше 90° , если удар был неупругим (т. е. энергия, зависящая от внутреннего состояния молекул, хотя бы у одной из них увеличилась, молекула перешла в «возбужденное» состояние), и больше 90° , если энергия, зависящая от внутреннего состояния хотя бы у одной из молекул уменьшилась (молекула перешла из «возбужденного» состояния в нормальное).

⊖ 3—44. На рисунке 3—15 показана схема установки для определения скорости пули так называемым баллистическим методом. На восьминитном подвесе висит полено с плоской верхней поверхностью (или ящик с песком). К полену привязана длинная нить, свободный конец которой продернут под картон, прикрепленный кнопками к деревянной вертикальной стойке, так, что нить расположена горизонтально. Расстояние от верхней поверх-

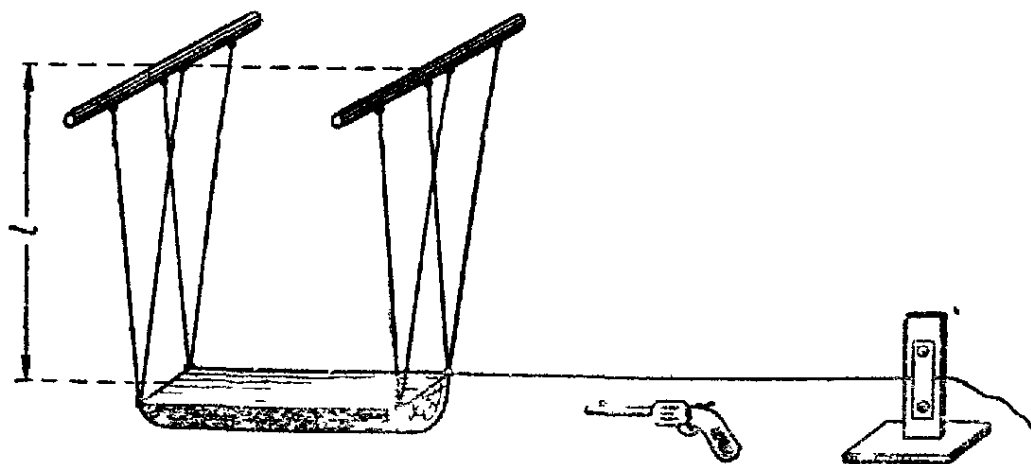


Рис. 3—15.

ности полена до подвеса известно (l). В торец полена стреляют из ружья; полено отклоняется и протаскивает нить под картоном на длину s , значительно меньшую расстояния l . Принимая во внимание, что масса пули m_1 мала по сравнению с массой полена m_2 , показать, что скорость пули можно вычислить по формуле

$$v = \frac{m_2 s}{m_1} \cdot \sqrt{\frac{g}{l}}$$

⊕ 3—45. Через два маленьких неподвижных блока, оси которых горизонтальны и находятся на одной высоте на расстоянии 90 см друг от друга, перекинута нить. К концам и к середине нити привязаны три одинаковых груза. Средний груз поднимают так, чтобы нить была горизонтальна и чтобы он находился посередине между блоками, и отпускают, после чего средний груз опускается, а крайние поднимаются.

а) С какой скоростью двигаются грузы в тот момент, когда части нити образуют угол 120° ?

б) Какой путь пройдет средний груз, прежде чем начать подниматься?

§ 4. Динамика вращательного движения

1) Точечное тело равномерно движется по окружности, если векторная сумма действующих на него сил направлена к центру окружности и равна $m\omega^2 R$ (m — масса, ω — угловая скорость, R — радиус окружности). То же соотношение можно применять к системе точек (например, к твердому телу конечных размеров) в случае, если по окружности радиуса R движется центр системы инерции.

2) Твердое тело, находящееся под действием вращающего момента M , движется с угловым ускорением

$$\varepsilon = \frac{M}{J},$$

где J — момент инерции тела относительно оси вращения.

3) Кинетическая энергия вращающегося твердого тела

$$\frac{J\omega^2}{2}.$$

4) Работа при постоянном M равна $A = M \cdot \varphi$, где φ — угол поворота вращающегося тела.

5) Мощность при вращении тела равна $P = M \cdot \omega$.

6) Векторная сумма моментов количества движения тел, составляющих замкнутую систему, постоянна по величине и по направлению.

7) Моменты инерции некоторых тел:

а) тонкостенной круглой трубы относительно оси, совпадающей с осью трубы mr^2 ;

б) тонкого стержня длиной l относительно оси, перпендикулярной к стержню и проходящей сквозь его середину $\frac{ml^2}{12}$;

в) сплошного круглого цилиндра относительно оси, совпадающей с его осью $\frac{mr^2}{2}$;

г) шара относительно оси, совпадающей с его диаметром, $0,4 mr^2$.

8) Соотношение Штейнера

$$J = J_0 + mb^2,$$

где J_0 — момент инерции тела относительно оси, проходящей сквозь центр инерции, J — момент инерции относительно оси, параллельной первой, b — расстояние между осями.

9) Соотношение между моментами инерции тонкого плоского тела (например, пластинки) относительно трех взаимно перпендикулярных осей, проходящих сквозь центр инерции (первая ось перпендикулярна к плоскости),

$$J_1 = J_2 + J_3.$$

10) На тело, движущееся со скоростью v относительно системы отсчета, вращающейся с угловой скоростью ω , действует сила инерции, перпендикулярная к плоскости, в которой лежат векторы v и ω , и равная

$$F = 2mv\omega \sin(v, \omega).$$

11) Сила трения при качении круглого тела по плоской поверхности $F = N \frac{k}{r}$, где N — сила, прижимающая катящееся тело к поверхности; k — коэффициент трения качения; r — радиус тела.

○ 4—1. Шарик массой 100 г, привязанный к нити, движется в вертикальной плоскости по окружности радиусом 30 см.

а) С какой силой натянута нить в тот момент, когда шарик проходит сквозь верхнее положение, если он движется со скоростью $210 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$?

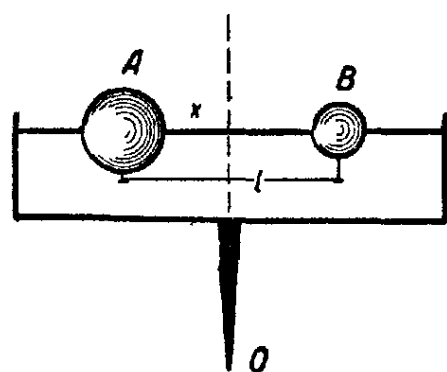


Рис. 4—1.

б) С какой силой натянута нить, когда шарик проходит сквозь нижнее положение?

○ 4—2. а) Тело, масса которого равна 1 г, вблизи экватора весит 978,0 дин. Принимая экваториальный радиус Земли равным 6378 км, определить силу притяжения этого тела Землей.

б) Каков был бы вес 1 г на экваторе, если бы Земля вращалась в 10 раз скорее?

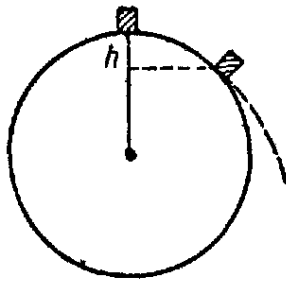


Рис. 4—2.

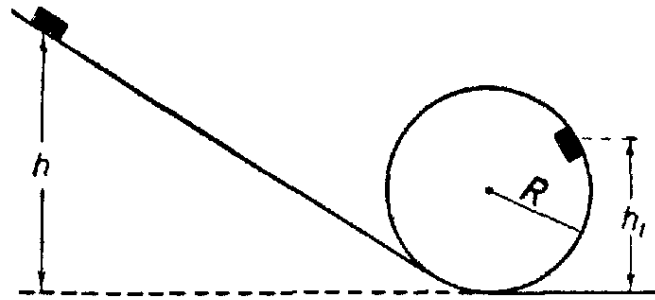


Рис. 4—3.

⊖ 4—3. На рисунке 4—1 изображен прибор для пояснения зависимости центробежной силы от массы и расстояния от оси вращения. Шары A и B имеют диаметры 3 см и 2 см . Соединяющий шары шнур имеет длину $l=10,5\text{ см}$. На каком расстоянии x от оси OO должен быть помещен центр шара A , чтобы при вращающемся приборе шары удерживались на неизменном расстоянии от оси? Шары сделаны из одного и того же материала. Объемом канала, просверленного внутри шаров, можно пренебречь.

⊖ 4—4. Небольшое тело скользит с вершины сферы вниз (рис. 4—2). На какой высоте h от вершины тело оторвется от поверхности сферы и полетит вниз? Трение ничтожно мало.

⊖ 4—5. а) Небольшое тело соскальзывает вниз по наклонному скату, переходящему в мертвую петлю радиуса R (рис. 4—3). На какой высоте h_1 выпадает тело, если начальная его высота равна h ? Трение ничтожно мало.

б) Какова должна быть высота h , чтобы тело сделало полную петлю, не выпадая?

⊕ 4—6. Круглый стальной конус высотой 10 см и диаметром основания 8 см катится без скольжения по горизонтальной плоскости, делая один оборот вокруг вертикальной оси OO' в течение 2 сек (рис. 4—4). Определить силу статического трения между образующей конуса и плоскостью, по которой он катится.

⊕ 4—7. Если связать концы металлической цепочки между собой, привязать цепочку к шнуру и вращать шнур

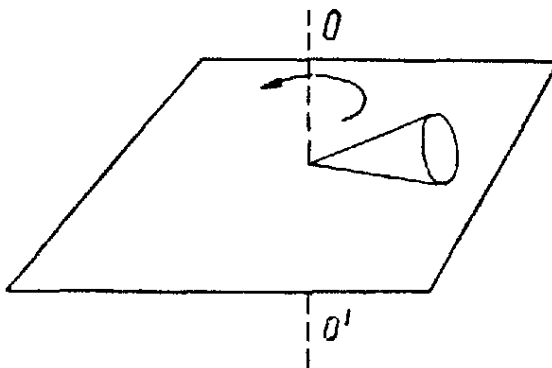


Рис. 4—4.

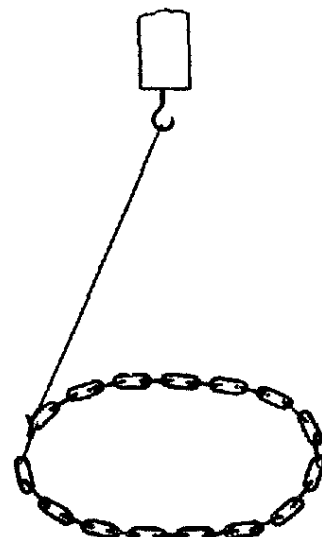


Рис. 4—5.

(посредством центробежной машины), то цепочка принимает форму, близкую к окружности, расположенной в плоскости, перпендикулярной к оси вращения (рис. 4—5).

а) Является ли форма цепочки плоской кривой?

б) Принимая форму цепочки за горизонтальную окружность, определить силу F натяжения вдоль цепочки, если ее масса $m = 100$ г, длина $l = 75$ см, цепочка вращается с частотой оборотов, равной $n = 8 \text{ сек}^{-1}$.

⊖ 4—8. На рисунке 4—6 в упрощенном виде изображена центрифуга. В пробирки покоящейся центрифуги налили жидкость плотностью $1,1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ до высоты в 6 см над дном. При вращении центрифуги пробирки движутся, имея почти горизонтальное направление. Определить давление жидкости на дно пробирок во время вращения центрифуги, если дно пробирки движется на расстоянии 10 см от оси вращения и если частота оборотов центрифуги равна 20 сек^{-1} .

⊖ 4—9. Одинаковые упругие шарики, подвешенные на нитях одинаковой длины к одному крючку (рис. 4—7), отклоняют в разные стороны от вертикали на угол α и отпускают. Шарики ударяются и отскакивают друг от друга. Какова сила, действующая на крючок: а) при крайних положениях нитей; б) в начальный и конечный моменты удара шариков; в) в момент наибольшей деформации шариков.

⊖ 4—10. Грузик, подвешенный на нити, отводят в сторону так, что нить принимает горизонтальное положение, и отпускают. При движении грузика вертикальная составляющая его скорости сперва возрастает, затем убывает. Какой угол с вертикалью образует нить в тот момент, когда вертикальная составляющая скорости грузика наибольшая?

○ 4—11. Школьную модель центробежного регулятора (рис. 4—8) вращают с частотой оборотов $n = 3 \text{ сек}^{-1}$. На какой угол отклоняются при этом стержни, несущие шары ММ? Длина стержней $l = 14$ см. Массой всех деталей, кроме шаров, пренебречь.

○ 4—12. а) С какой максимальной скоростью может ехать по горизонтальной плоскости мотоциклист, описывая дугу ра-

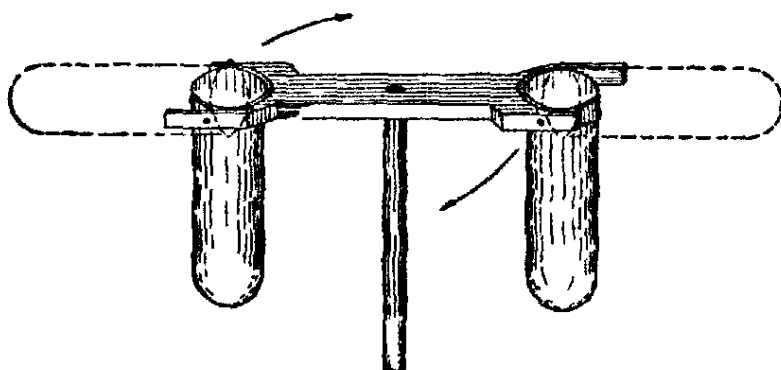


Рис 4—6.

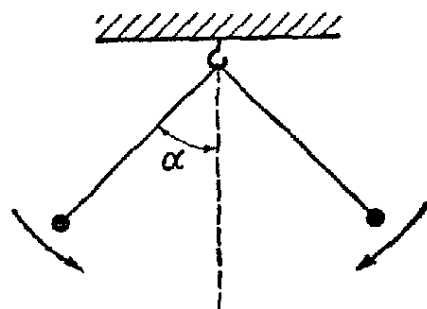


Рис 4—7.

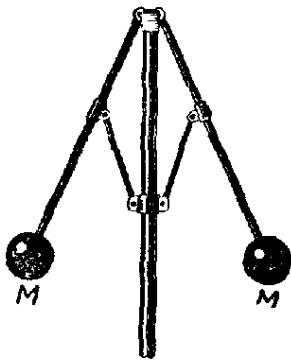


Рис 4—8.

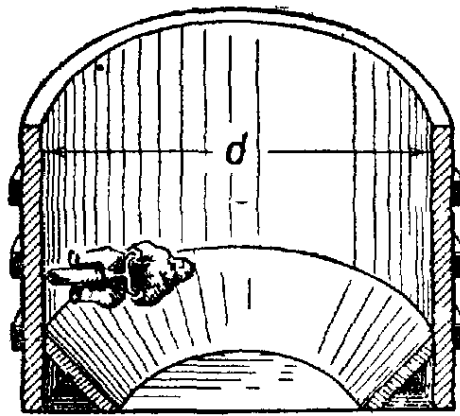


Рис 4—9

диусом $R = 90$ м, если коэффициент статического трения резины о почву $\mu = 0,4$?

б) На какой угол α от вертикального направления он должен при этом отклониться?

⊕ 4—13. Один из цирковых аттракционов состоит в езде мотоциклистов по вертикальным стенкам цилиндрического строения (рис. 4—9).

а) Определить минимальную скорость, с которой должен ехать по вертикальной стенке мотоциклист, если диаметр строения $d = 18$ м, центр тяжести мотоцикла и человека отстоит на $h = 1$ м от места соприкосновения колес со стенкой, коэффициент трения шин о стенки равен $\mu = 0,4$.

б) Под каким углом α к горизонту наклонен мотоциклист, если его скорость равна $20 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$

⊕ 4—14. Грузик привязан к нити, другой конец которой прикреплен к потолку. Вследствие толчка грузик движется по окружности, плоскость которой отстоит от потолка на $h = 1,5$ м. Какова частота оборотов грузика?

⊕ 4—15. Два грузика ($m_1 = 100$ г, $m_2 = 50$ г) привязаны к нитям, длины которых равны $l_1 = 28$ см, $l_2 = 30$ см. Другие концы нитей привязаны к третьему грузику, подвешенному на проволочке к крючку. Крючок можно вращать около вертикальной оси (рис. 4—10). При некоторой частоте оборотов проволочка над грузиком остается вертикальной. При какой?

○ 4—16. Двигатель мощностью в $0,1$ кВт приводит в движение токарный станок, причем обрабатываемый на станке деревянный цилиндр диаметром 6 см вращается с частотой оборотов, равной 600 мин^{-1} .

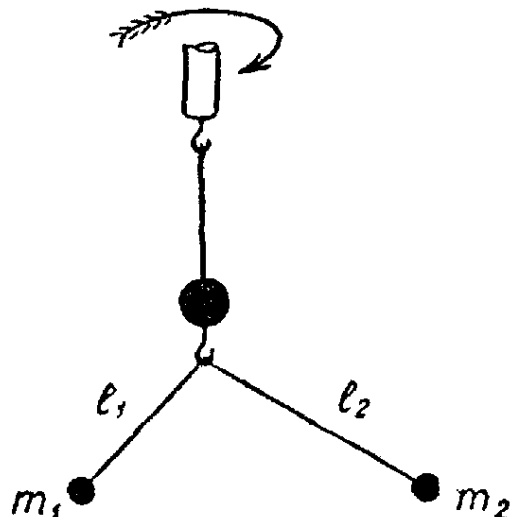


Рис 4—10

Определить силу, которой резец отделяет стружку, принимая, что мощность на станке составляет 80% мощности двигателя.

⊖ 4—17. Легковой автомобиль работает в таком режиме: мощность двигателя 30 *квт*, потери в трансмиссии 10%; частота оборотов коленчатого вала 1800 *мин*⁻¹, частота оборотов ведущей задней оси в 5,125 раза меньше. База автомобиля (расстояние между передней и задней осями) 2,7 м. Каковы при таком режиме нагрузки на переднюю и заднюю оси, если при покоящемся автомобиле нагрузки равны 790 *кГ* и 910 *кГ*?

○ 4—18. Определить момент инерции системы шариков, описанной в задаче 3—19 а), относительно оси, перпендикулярной к прямой, на которой расположены шарики, и проходящей сквозь а) первый; б) второй; в) третий; г) четвертый шарики.

⊕ 4—19. Определить момент инерции системы, состоящей из четырех точечных масс *m*, расположенных по вершинам квадрата со стороной *a* относительно оси, проходящей сквозь центр квадрата в следующих случаях: а) ось лежит в плоскости квадрата и образует с диагональю острый угол, не равный 45°; б) ось не лежит в плоскости квадрата.

⊕ 4—20. Определить момент инерции медного диска радиусом 5 *см*, в котором сделаны два выреза в виде кругов радиусами 2 *см*; центры вырезов находятся на прямой, проходящей сквозь центр диска на расстоянии 2,5 *см* от него (рис. 4—11). Толщина диска 0,1 *см*. Рассмотреть следующие случаи: а) ось перпендикулярна к плоскости диска и проходит сквозь его центр; б) ось проходит сквозь центры вырезов; в) ось проходит сквозь центр диска и перпендикулярна к осям, указанным в а) и б).

○ 4—21. Два маленьких шарика ($m_1 = 40$ г, $m_2 = 120$ г) соединены стержнем ($l = 20$ *см*), масса которого ничтожно мала. Система вращается около оси, перпендикулярной к стержню и проходящей сквозь центр инерции системы. Определить импульс и момент количества движения системы. Частота оборотов равна 3 *сек*⁻¹.

⊖ 4—22. Угловая скорость меняется только в том случае, если действующие на тело моменты сил не уравниваются. Указать, какие моменты сил действуют в следующих случаях:

а) Колесо вагона поезда во время ускорения поезда увеличивает свою скорость.

б) Шарик замедленно катится по горизонтальной плоскости.

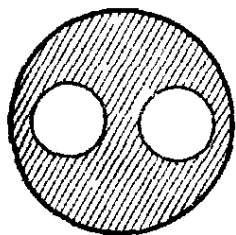


Рис. 4—11.

⊖ 4—23. Определить ускорения, с которыми движутся вдоль плоскости, наклоненной под углом α к горизонту, центры инерции следующих тел: а) доски, скользящей с ничтожным трением; б) сплошного цилиндра, скатывающегося с ничтожным трением качения; в) доски, положенной на два цилиндра. Масса доски равна массе каждого из цилиндров.

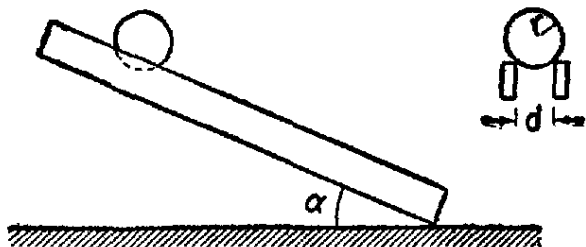


Рис. 4—12.

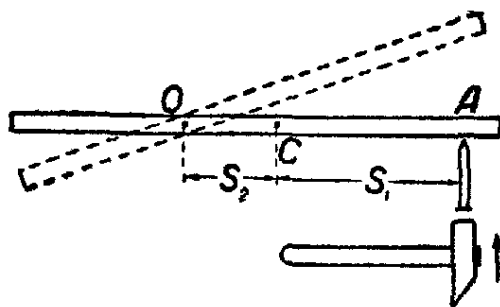


Рис. 4—13.

⊖ 4—24. Две прочные линейки расположены параллельно друг другу на расстоянии $d = 2$ см под углом $\alpha = 5^\circ$ к горизонту (рис. 4—12). С каким ускорением будет катиться по ним шарик, радиус которого равен $r = 1,5$ см? Скольжение отсутствует.

⊖ 4—25. По тонкому стержню, покоящемуся на гладком столе, производят в некоторой точке A (рис. 4—13) удар в горизонтальном направлении.

а) Показать, что в момент удара стержень вращается около вертикальной оси, проходящей сквозь точку O , причем, если трение мало, имеет место соотношение

$$s_1 \cdot s_2 = \frac{J_c}{m},$$

где m — масса стержня, J_c — момент инерции стержня относительно оси, проходящей сквозь центр инерции стержня (C), s_1 и s_2 — расстояния точек A и O от C .

б) Что произойдет, если ударить по стержню в точке O ?

в) Где будет проходить ось вращения, если ударить по самому концу стержня?

○ 4—26. Двигатель равномерно вращает маховик. После отключения двигателя маховик делает в течение $t = 30$ сек $N = 120$ оборотов и останавливается. Момент инерции маховика $J = 0,3$ кг · м². Принимая, что угловое ускорение маховика после отключения двигателя постоянно, определить мощность двигателя при равномерном вращении маховика.

○ 4—27. Какую работу нужно произвести, чтобы увеличить частоту оборотов маховика, массу которого $0,5$ т можно считать распределенной по ободу диаметром $1,5$ м, от 0 до 120 мин⁻¹? Трением пренебречь.

⊖ 4—28. а) Вертикальный столб высотой $h = 5$ м подпиливается у основания и падает на Землю. Определить линейную скорость его верхнего конца в момент удара о Землю.

б) Какая точка столба будет в любой момент падения столба иметь ту же скорость, какую имело бы тело, падая с такой же высоты, как и данная точка?

⊖ 4—29. Массивное колесо, насаженное на оси, поддерживается двумя нитями, закрепленными, как показано на рисунке

4—14. Ось вращения колеса горизонтальна. Нити постепенно раскручиваются с оси, а колесо опускается.

а) Определить натяжение F каждой из двух нитей, если масса колеса вместе с осью $m = 1$ кг, момент инерции относительно этой оси $J = 2,5 \cdot 10^{-3}$ кг \cdot м² и радиус оси $r = 5$ мм.

б) Каково будет натяжение F каждой нити, когда колесо, опустившись до конца и продолжая вращаться по инерции, начнет накручивать нить на ось и подниматься?

в) Предположим, что доска, к которой прикреплены поддерживающие нити прибора, поднимается, оставаясь горизонтальной, так что диск остается на неизменной высоте. Каково натяжение нитей?

⊕ 4—30. На круглый сплошной цилиндр A (рис. 4—15) навит шнур. Цилиндр положен на два параллельных стержня BB , наклоненных к горизонту под углом $\alpha = 30^\circ$, и удерживается в этом положении рукой. Другой конец шнура перекинут через неподвижный блок C , расположенный так, что шнур параллелен стержням. К шнуру прикреплен груз D , масса которого равна массе цилиндра, умноженной на $\sin \alpha$, т. е. такова, что при отсутствии вращения наблюдалось бы равновесие. Как будут двигаться цилиндр и груз, если цилиндр отпустить? Трение и момент инерции блока считать ничтожно малыми.

⊖ 4—31. Стержень ничтожной массы, длины l , с двумя маленькими шариками m_1 и m_2 ($m_1 > m_2$) на концах может вращаться около оси, проходящей через середину стержня перпендикулярно к стержню. Стержень приводят в горизонтальное положение и отпускают. Определить: а) угловое ускорение и силу давления на ось в начальный момент движения стержня; б) угловую скорость и силу давления на ось в момент прохождения через положение равновесия.

⊖ 4—32. Деревянный стержень с массой $m = 1000$ г и длиной $l = 40$ см может вращаться около оси, проходящей через его середину перпендикулярно к стержню. В конец стержня попа-

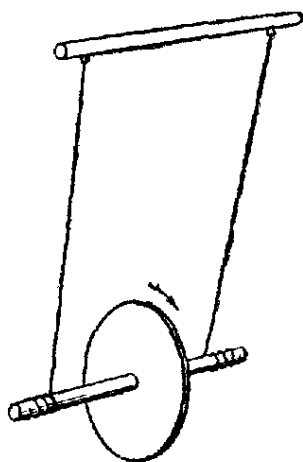


Рис. 4—14.

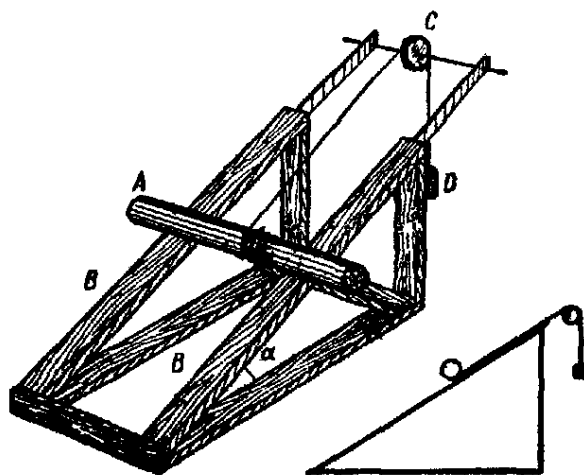


Рис. 4—15.

дает пуля с массой $m_1 = 10$ г, летящая перпендикулярно к оси и к стержню со скоростью $v = 200 \frac{м}{сек}$.

а) Определить угловую скорость, которую получит стержень, если пуля застрянет в нем.

б) Как изменилась при попадании пули в стержень общая сумма их кинетических энергий?

○ 4—33. Горизонтально расположенный диск может вращаться около вертикальной оси, проходящей сквозь центр диска. На диске помещены два одинаковых грузика так, что их центры инерции расположены симметрично по отношению к центру диска. Грузики соединены ниткой. При вращении диска грузики удерживаются на своих местах натяжением нити и трением о диск. Трение в оси диска и сопротивление воздуха ничтожно малы. В некоторый момент нить пережигается и грузики скользят к краям диска, причем производится работа по преодолению трения. Как меняются при движении грузиков: а) кинетическая энергия диска и грузиков; б) количества движения диска и грузиков; в) моменты количества движения диска и грузиков?

⊖ 4—34. На вращающемся столике, употребляющемся в физических кабинетах для демонстраций, стоит человек, держащий на вытянутых руках на расстоянии $l_1 = 150$ см друг от друга две гири. Столик вращается с частотой оборотов $n_1 = 1 \text{ сек}^{-1}$. Человек сближает гири до расстояния $l_2 = 80$ см, и частота оборотов увеличивается до $n_2 = 1,5 \text{ сек}^{-1}$. Определить работу, произведенную человеком, если каждая гиря имеет массу $m = 2$ кг. Момент инерции человека относительно оси столика считать постоянным.

⊖ 4—35. Горизонтальный диск вращается вокруг вертикальной оси с угловой скоростью ω_1 ; его момент инерции относительно оси вращения J_1 . На него падает другой диск с моментом инерции относительно той же оси J_2 и угловой скоростью ω_2 . Плоскости дисков параллельны, центры — на одной вертикальной линии. Нижняя поверхность падающего диска снабжена шипами, которые впиваются в верхнюю поверхность нижнего диска и скрепляют диски в одно целое.

а) Найти угловую скорость ω получившейся системы.

б) На сколько изменится общая кинетическая энергия обоих дисков после падения второго диска?

в) Чем объяснить изменение общей кинетической энергии дисков?

⊕ 4—36. Согласовать с законом сохранения моментов количества движения следующие явления:

а) Диск A вращается с ничтожным трением около оси, проходящей сквозь его центр перпендикулярно к его плоскости и закрепленной на столе. К нему прикасаются другим таким же диском B , ось которого держат в руке. При этом угловая скорость диска A уменьшается, а диска B увеличивается в противополож-

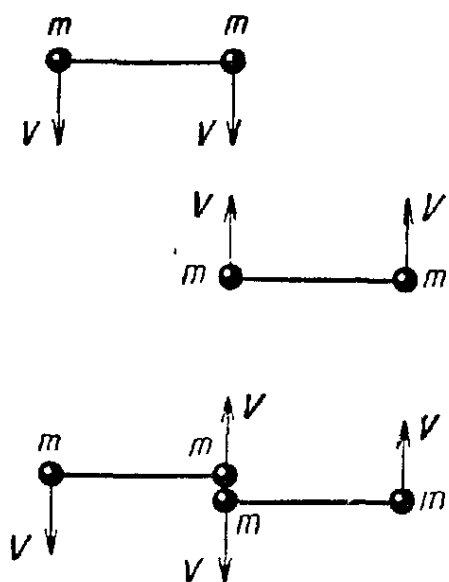


Рис. 4—16.

ном направлении, причем сумма их моментов количества движения уменьшается.

б) Две пары жестко соединенных упругих шаров (гантели) движутся поступательно с одинаковыми скоростями навстречу одна другой, как показано на рисунке 4—16. Момент количества движения каждой гантели равен нулю. В некоторый момент средние шары ударяются друг о друга, после чего движутся в противоположных направлениях. Гантели начинают вращаться, причем моменты количеств движения гантелей направлены одинаково и их сумма не равна нулю.

⊖ 4—37. Тонкий однородный стержень вращается около оси, проходящей сквозь его середину перпендикулярно к нему. В некоторый момент стержень разделяется на две равные части, которые, продолжая вращаться, отдаляются друг от друга. Принимая отделившиеся части за однородные стержни вдвое меньшей длины и пренебрегая работой, совершаемой при разделении, показать: а) что сумма моментов количеств движения половин стержня равна моменту количества движения стержня до разделения;

б) что энергия системы двух половинок стержня равна энергии вращения стержня до разрыва.

⊖ 4—38. Определить полную кинетическую энергию при качении без скольжения со скоростью v по плоской поверхности:

а) цилиндра, имеющего массу m ;

б) шара, имеющего массу m ;

в) тележки, масса которой без колес равна m , имеющей четыре колеса в виде дисков с массой $\frac{m}{4}$ каждый.

○ 4—39. При каком радиусе шарика, описанного в задаче 4—24, энергии поступательного и вращательного движений шарика равны между собой?

⊖ 4—40. Шарик, диаметр которого равен $d = 6$ см, катится по полу и останавливается через $t = 2$ сек, пройдя расстояние $s = 70$ см. Определить коэффициент трения качения, считая его постоянным.

⊕ 4—41. Шарик находится на горизонтальной пластинке, перемещающейся с ускорением a . При каком условии шарик движется поступательно с тем же ускорением?

⊕ 4—42. Пластинке дают наклон и помещают на нее шарик. При каком угле наклона α шарик будет скатываться без скольжения, если коэффициент максимального статического трения

равен $\mu=0,25$, коэффициент трения качения $k=0,1$ см и диаметр шарика $d=5$ см?

⊖ 4—43. На двух нитях подвешен шарик радиусом 1 см. Шарик вращают, нити закручиваются, вследствие чего шарик поднимается (рис. 4—17). Когда было сделано 20 оборотов, шарик поднялся на 1,2 см. Затем шарик отпускают и нити раскручиваются. Каковы скорость центра шарика и частота оборотов, когда он вернется к начальному уровню?

⊖ 4—44. Диаметр подшипника оси железнодорожного вагона равен 27 см, диаметр колеса — 180 см. Коэффициент трения в подшипнике равен 0,01 (при хорошей смазке), коэффициент трения качения колеса на рельсах равен 0,05 см. Определить работу передвижения вагона весом 50 т на пути 1 км.

⊕ 4—45. Шар, радиус которого равен r , скатывается по наклонному скату и описывает «мертвую петлю» радиуса R . Пренебрегая трением качения и сопротивлением воздуха, найти наименьшую высоту h центра шарика над центром петли, при которой это возможно.

○ 4—46. Горизонтально расположенный прут вращается около вертикальной оси с частотой оборотов $n=1$ сек⁻¹. Вдоль него скользит со скоростью $V=50 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$ муфта, масса которой равна $m=100$ г. Определить горизонтальную составляющую действующей на муфту силы.

○ 4—47. Определить горизонтальную составляющую силы, с которой прижимается к рельсу паровоз, масса которого равна 1000 т, если он движется по горизонтальному участку пути на широте 50° со скоростью $15 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$.

⊕ 4—48. В «Занимательной физике» Я. И. Перельмана описано вращающееся помещение с полом, имеющем форму параболоида вращения (рис. 4—18).

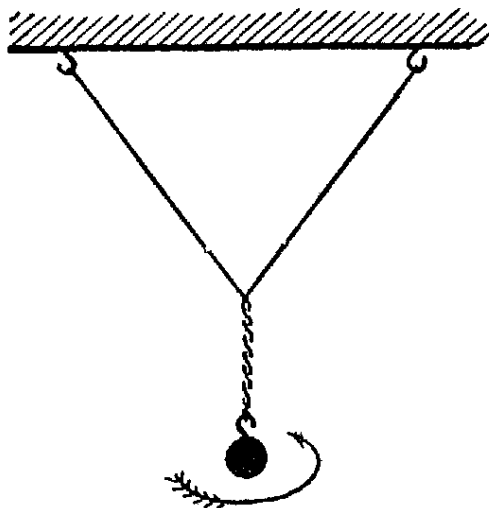


Рис. 4—17.

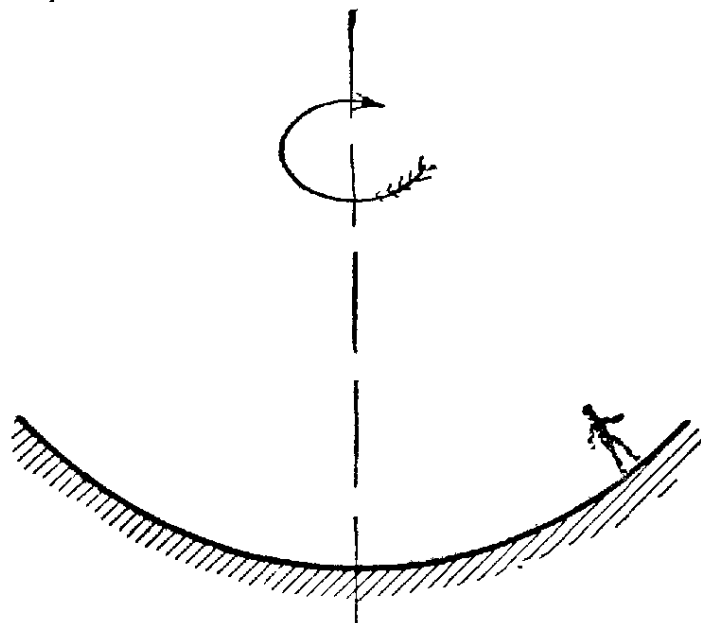


Рис. 4—18.

а) Показать, что при определенной угловой скорости помещения человек, стоящий на полу, в любом месте располагается так, что прямая, проходящая сквозь центр инерции человека и многоугольника его опоры на пол, нормальна к поверхности пола в рассматриваемом месте.

б) Показать, что при равномерном перемещении человека по полу помещения в любом направлении он не производит никакой работы, кроме той, которую производит, перемещаясь по горизонтальному полу.

в) При удалении человека от оси вращения увеличивается и потенциальная энергия системы (человек поднимается) и кинетическая энергия системы (линейная скорость человека возрастает). За счет чего меняется энергия системы?

○ 4—49. Предположим, что велосипедист катится по горизонтальной, вращающейся около вертикальной оси плоскости в таком направлении и с такой скоростью, что относительно Земли он является неподвижным. Должен ли он наклоняться по направлению к оси вращения плоскости? (Считать Землю инерциальной системой.)

§ 5. Закон всемирного тяготения

1) Сила притяжения двух точечных тел с массами m_1 и m_2 , находящихся на расстоянии r , равна

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

где γ — гравитационная постоянная.

2) Однородный шаровой слой или шар притягивают внешнюю точку так, как будто его масса сосредоточена в центре. Внутреннюю точку шаровой слой не притягивает.

3) Планеты обращаются вокруг Солнца по законам Кеплера (приблизительно); этим же законам подчиняется движение спутников вокруг планет.

○ 5—1. Какова сила притяжения Солнцем массы $m=1$ г, находящейся на поверхности Земли?

⊖ 5—2. Тело, находящееся на поверхности Земли, притягивается и к Земле, и к Солнцу. В той точке поверхности Земли, для которой Солнце находится в зените, эти силы имеют противоположное направление. В той точке, для которой Солнце находится в надире, эти силы имеют одинаковое направление. Следует ли вывести отсюда, что днем тела падают медленней, чем ночью, в том же месте поверхности Земли?

⊖ 5—3. а) Является ли вполне строгим утверждение, что при отсутствии сопротивления воздуха падающие тела имеют по отношению к поверхности Земли одно и то же ускорение независимо от их массы?

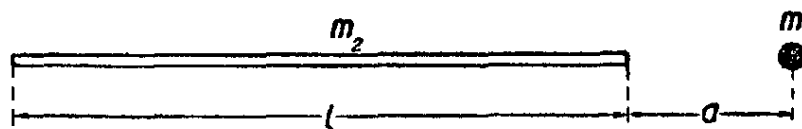


Рис. 5—1.

б) В некоторых учебниках указывается, что ускорение, с которым движется Луна по отношению к Земле, равно

$$a = g \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2,$$

где g — ускорение свободного падения вблизи поверхности Земли, R_1 — радиус Земли и R_2 — расстояние между центрами Земли и Луны. Найти относительную погрешность, которая делается при таком утверждении.

○ 5—4. Определить силы, с которыми действуют друг на друга вследствие тяготения два соприкасающихся свинцовых шара диаметром по 1 м каждый.

⊕ 5—5. Два твердых шара, плотности которых равны D_1 и D_2 , находятся в жидкости с плотностью D_0 вдали от границ жидкости. При каком условии шары притягиваются друг к другу и при каком отталкиваются?

⊕ 5—6. Шарик массой m_1 находится на расстоянии a от конца тонкого однородного стержня массой m_2 и длиной l (рис. 5—1).

а) Определить силу притяжения шарика и стержня.

б) Приняв длину стержня $l = 2a$, вычислить, как изменится сила притяжения, если стержень заменить шариком массой m_2 , помещенным в том месте, где находится центр инерции стержня.

○ 5—7. Пренебрегая изменением веса вследствие вращения Земли и Луны, вычислить, сколько весил бы на поверхности Луны человек, на Земле весящий 72 кг.

⊖ 5—8. Найти напряженность поля тяготения планеты радиусом 6000 км в точках, расстояние которых от центра планеты равно: 0, 1000 км, 2000 км, 3000 км, 4000 км, 5000 км, 6000 км, 8000 км, 10 000 км и 12 000 км, и вычертить соответствующий график в двух случаях:

а) Плотность вещества планеты одинакова по всему объему и равна $5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$; вне планеты плотность среды близка к нулю.

б) Плотность вещества планеты в объеме от центра до 4350 км равна $10 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, далее до 6000 км равна $2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, вне планеты близка к нулю.

⊕ 5—9. Внутри однородного шара имеется сферическая полость. Показать, что поле тяготения внутри полости однородно. Зная плотность вещества шара и расстояние между центрами

шара и полости (1), найти ускорение тел, движущихся в полости.

⊕ 5—10. а) Центр тяжести корабля водоизмещением 10 000 т на $h=5$ м выше центра тяжести вытесненной им воды. На сколько масса корабля разнится от массы вытесненной воды?

б) Какова результирующая сила, с которой действуют друг на друга два таких корабля, находящихся на расстоянии 1 км?

○ 5—11. Где находится точка, в которой силы притяжения к Земле и к Луне взаимно уравниваются?

⊕ 5—12. 4 октября 1957 г. в СССР произведен запуск первого в мире искусственного спутника Земли. Спутник имел форму шара диаметром 58 см, масса его 83,6 кг; спутник описывал эллиптические траектории вокруг Земли, причем в некоторые моменты достигал высоты 900 км над поверхностью Земли. Период обращения спутника вокруг Земли оказался равным 1 часу 36,2 мин. Предположим, что спутник двигался вокруг центра Земли по круговой траектории. Какой высоте над поверхностью Земли, какой скорости и какой кинетической энергии соответствовал бы в таком случае указанный период обращения?

○ 5—13. Две планеты обращаются вокруг Солнца по орбитам, принимаемым приближенно за круговые с радиусами $R_1 = 150 \cdot 10^6$ км (Земля) и $R_2 = 108 \cdot 10^6$ км (Венера). Найти отношение их линейных скоростей v_1 и v_2 .

⊕ 5—14. С какой скоростью упадет на поверхность Луны метеорит, скорость которого вдали от Луны мала? Атмосфера на Луне отсутствует.

⊕ 5—15. На какое расстояние от поверхности Земли удалилось бы тело, брошенное вертикально вверх со скоростью $5 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$, если бы атмосфера у Земли отсутствовала?

⊕ 5—16. Предположим, что механическая энергия системы искусственный спутник — Земля уменьшилась вследствие потерь на трение на 2%. Принимая, что орбита спутника и до потери энергии и после нее мало отличается от окружности, вычислить, как изменится при потере 2% энергии: а) радиус орбиты; б) скорость спутника; в) период обращения.

⊕ 5—17. Чему равна сумма кинетической и потенциальной энергии планеты с массой m , обращающейся вокруг Солнца по эллипсу, большая полуось которого равна a ? Рассмотреть положения планеты в точках ее орбиты с наименьшей и с наибольшей кривизной.

У к а з а н и е. Наименьший и наибольший радиусы кривизны эллипса равны $\frac{b^2}{a}$ и $\frac{a^2}{b}$, где a и b — полуоси эллипса.

⊕ 5—18. Сколько времени падало бы на Солнце тело с расстояния, равного радиусу земной орбиты?

§ 6. Статика твердого тела

1) Условия равновесия твердого тела:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0; \quad \sum F_y = 0; \quad \sum F_z = 0; \\ \sum M_x &= 0; \quad \sum M_y = 0; \quad \sum M_z = 0,\end{aligned}$$

где F_x , F_y и F_z ; M_x , M_y и M_z — проекции векторов сил и вращающих моментов, действующих на тело, на прямоугольные оси координат. Те же условия относятся к равномерному прямолинейному поступательному движению. Можно пользоваться теми же условиями и при неравномерном движении, если присоединить к реально действующим силам силы инерции.

2) Сила статического трения может иметь в зависимости от условий задачи при данной нормальной силе давления любое значение от нуля до некоторого максимального значения, определяемого нормальным давлением и природой трущихся тел. Коэффициентом статического трения μ называется отношение максимальной силы статического трения к нормальной силе давления. Коэффициент трения при скольжении всегда меньше коэффициента статического трения.

○ 6—1. На плоской поверхности, образующей с горизонтом угол 20° , лежит доска, в верхнюю сторону которой вбит гвоздь, проходящий сквозь ее центр тяжести. Коэффициент статического трения доски по наклонной поверхности равен 0,4. Масса доски равна 0,5 кг. Определить максимальную силу, с которой можно надавить на гвоздь, не вызывая движения доски, в следующих случаях:

- а) сила параллельна поверхности, образует с горизонтом угол 20° и направлена вверх;
- б) сила противоположна этому направлению,
- в) сила горизонтальна и образует с наклонной поверхностью угол 20° .

○ 6—2. Между двумя гвоздями натянут шнур длиной 1,7 м. Расстояние между гвоздями равно 1,5 м. На шнур повешен груз весом 200 н (рис. 6—1). Определить натяжение шнура, пренебрегая изменением длины шнура при навешивании груза.

○ 6—3. Шар, масса которого равна 5 кг, опирается на две гладкие ($\mu=0$) плоскости, образующие угол, причем левая

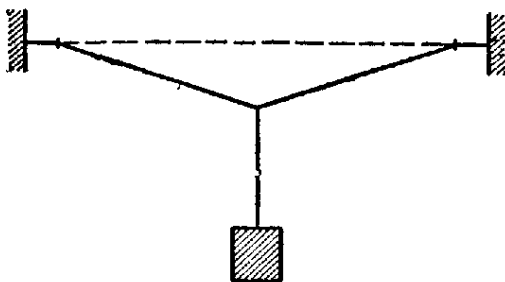


Рис. 6—1.

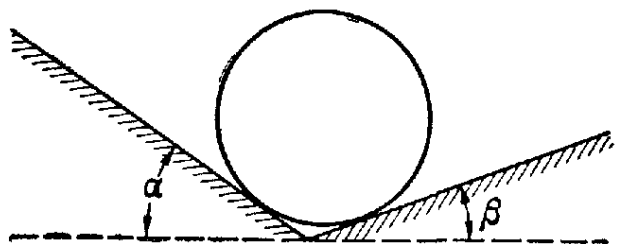


Рис. 6—2.

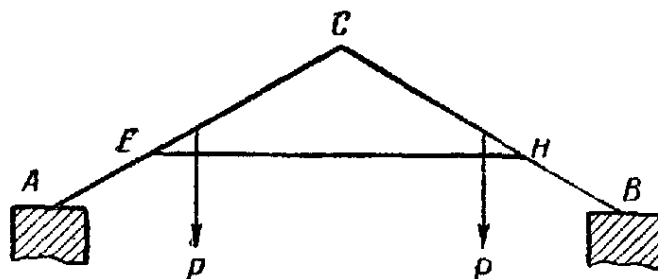


Рис. 6—3.

образует с горизонтом угол $\alpha = 35^\circ$, а правая — угол $\beta = 20^\circ$ (рис. 6—2). Определить силы, с которыми шар давит на плоскости.

⊖ 6—4. Предположим, что в условиях предыдущей задачи плоскости не были бы гладкими и μ было бы отлично от нуля. Как изменилось бы решение задачи?

⊖ 6—5. На каждое из стропил (AC и CB на рис. 6—3) действует сила тяжести крыши и стропил, равная 800 кг. Стропила удерживаются от раздвигания затяжкой EH, длина которой в 1,5 раза меньше расстояния между концами стропил (AB) и в 1,2 раза больше длины стропила (AC). Силы тяжести можно считать приложенными в середине стропила. Каковы силы, действующие на затяжку?

○ 6—6. Трое рабочих несут металлическую плиту в виде разностороннего треугольника, поддерживая ее за вершины. Доказать, что на долю каждого приходится одна и та же тяжесть.

○ 6—7. На доске, положенной на козлы, стоит человек весом 60 кг. Вес доски 80 кг. Размеры показаны на рисунке 6—4. Определить силы, действующие на опоры.

⊖ 6—8. Для определения положения центра инерции автомобиля произвели три взвешивания: 1) обе оси автомобиля поместили на весах; общий вес автомобиля оказался равным 2710 кг; 2) задняя ось осталась на весах, а передняя опиралась на опору, находящуюся на одном уровне с площадкой весов; весы показали 1410 кг; 3) задняя ось на весах, передняя поднята на высоту 60 см по сравнению с задней; весы показали 1473 кг. Определить высоту центра инерции автомобиля над площадью опоры. Известно, что база автомобиля (расстояние между осями) равна 3,3 м, а рабочий радиус колес 0,42 м.

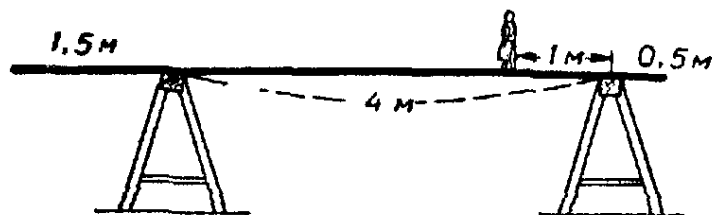


Рис. 6—4.

⊖ 6—9. В гладкий цилиндрический стакан помещена палочка, как показано на рисунке 6—5. Длина палочки $l=15\text{ см}$; масса 30 г . С какими силами действует палочка на дно и стенки стакана, если радиус дна $R=7\text{ см}$? Трением пренебречь.

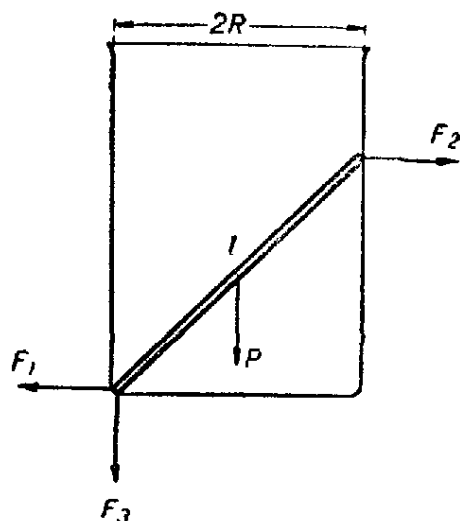


Рис. 6—5.

⊖ 6—10. Ферма сделана из железных стержней одного и того же сечения так, как показано на рисунке 6—6. Опора В устроена так, что она не несет вертикальной нагрузки. Вес стержня АВ равен 50 кг . Определить силы, действующие на опоры А и В.

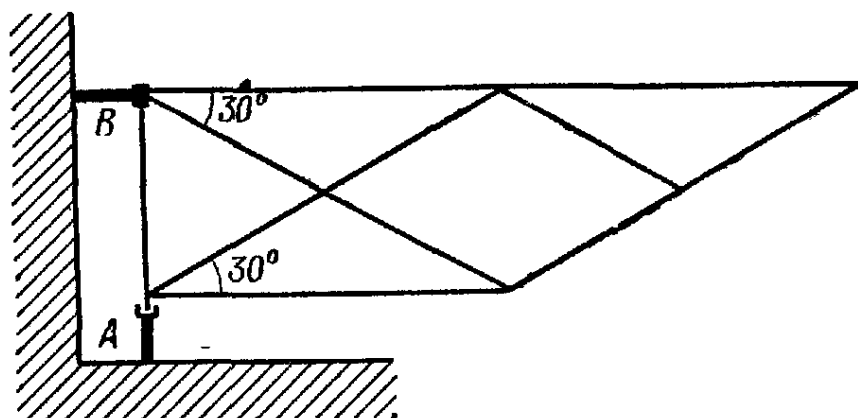


Рис. 6—6.

⊖ 6—11. Нагруженная тележка находится на горизонтальном рельсовом пути (рис. 6—7). Расстояние между ее осями равно 80 см . Оси находятся на высоте 20 см над полотном. Если тележка не движется, то силы давления на левую и правую оси тележки равны соответственно: 100 кг и 90 кг .

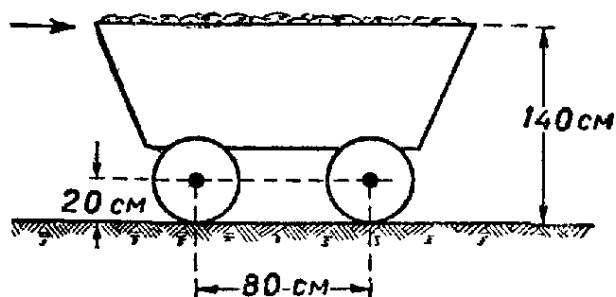


Рис. 6—7.

а) На тележку давят с силой 4 кг , приложенной на высоте 140 см над полотном, и она равномерно движется в направлении силы (слева направо). Каковы силы давления на оси в движущейся тележке?

б) Каковы силы давления на оси в случае, если тележка движется под действием той

же силы с ускорением $0,1\frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$ и если центр инерции тележки находится на высоте 61 см над полотном?

⊖ 6—12. Модель коленчатого вала, сделанная из железного прута диаметром 1 см , как показано на рисунке

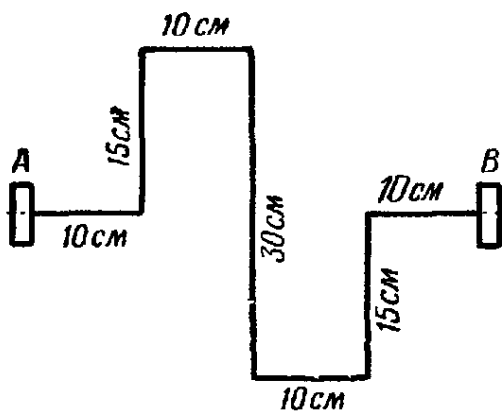


Рис. 6—8.

6—8, вращается в подшипниках A и B с частотой оборотов, равной 5 сек^{-1} . Определить силы давления вала на опоры: а) в момент, когда колена вала расположены вертикально; б) когда колена вала расположены горизонтально.

⊖ 6—13. а) У гладкой ($\mu=0$) стены стоит лестница. Коэффициент статического трения лестницы о землю равен $\mu_2=0,5$. Центр тяжести лестницы можно считать находящимся в середине ее.

Определить наименьший угол φ , который лестница может образовать с горизонтом, не падая.

б) Предположим, что лестница поставлена в таком положении, что малейшее уменьшение угла должно повести к ее падению. Упадет ли лестница, если человек встанет на ее нижнюю ступеньку? на ее верхнюю ступеньку?

⊕ 6—14. Тонкий стержень длиной $l=100 \text{ см}$, сделанный из дерева плотностью $D=0,8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, подвешен за один из концов, а другим погружен в воду. Определить угол α между направлением стержня и вертикалью, если верхний конец находится над уровнем воды на высоте h , равной: а) 30 см ; б) 70 см .

⊖ 6—15. Какую работу надо произвести, чтобы повернуть на другую грань сплошной железный куб, масса которого равна 200 кг ?

⊕ 6—16. Сосуд с тонкими стенками, имеющий форму полого куба без верхнего основания, наполовину наполнен водой. Ребро куба равно 20 см . Какую работу нужно произвести, чтобы опрокинуть сосуд на боковую грань (причем вода из него выльется)? Вес сосуда равен 1 кг .

⊖ 6—17. Ящик в форме куба перемещают на некоторое расстояние L : один раз волоком, а другой кантованием (т. е. опрокидыванием через ребро). Коэффициент трения ящика о пол при скольжении равен μ ; трением при кантовании можно пренебречь. При каком μ работы перемещения волоком и кантованием равны?

⊕ 6—18. Имеются два круглых карандаша разных диаметров ($d_1 > d_2$). Второй карандаш удастся уравновесить в горизонтальном (или близком к горизонтальному) положении на первом, расположенном горизонтально (рис. 6—9).

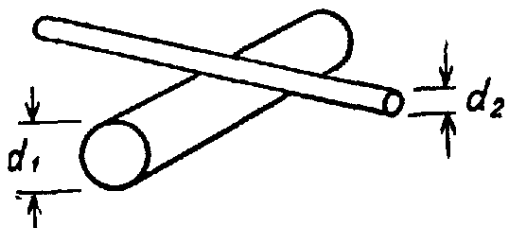


Рис. 6—9.

а) Уравновесить таким же образом первый карандаш на втором нельзя. Почему?

б) Предположим, что второй карандаш уравновешен в горизонтальном положении. Каково наибольшее значение угла α между направлением оси второго карандаша и горизонтом, при котором он возвращается к горизонтальному положению, если его отпустить? Коэффициент статического трения равен $\mu=0,5$; отношение диаметров карандашей равно $\frac{d_1}{d_2}=1,05$.

§ 7. Прочность и упругость материалов

1) Разрушающая сила

$$F = p_m \cdot S,$$

где p_m — разрушающее напряжение; S — площадь сечения.

2) Относительное удлинение или сжатие

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{p}{E},$$

где p — напряжение; E — модуль упругости (модуль Юнга).

3) Относительное изменение объема при растяжении

$$\frac{\Delta V}{V} = (1 - 2\mu) \frac{p}{E},$$

где μ — отношение относительного сжатия образца к относительному удлинению.

4) Относительное изменение объема при всестороннем сжатии

$$\frac{\Delta V}{V} = -\frac{p}{K},$$

где K — модуль всестороннего сжатия.

5) Потенциальная энергия упруго деформированного тела

$$\Pi = \frac{F \cdot \Delta l}{2},$$

где F — сила упругости при удлинении Δl .

6) Плотность энергии: а) в растянутом или сжатом стержне

$$W = \frac{p^2}{2E};$$

б) во всесторонне сжатом теле

$$W = \frac{p^2}{2K}.$$

7) Угол кручения цилиндра (рис. 7—1)

$$\alpha = \frac{2l}{\pi r^4 G} M,$$

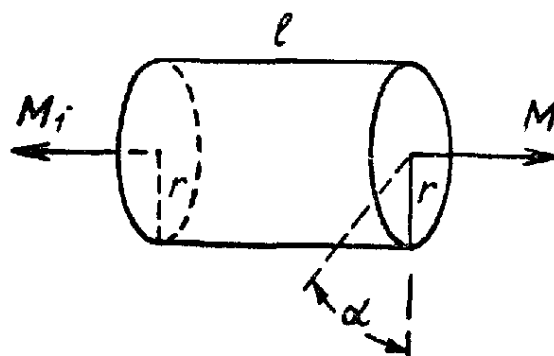


Рис. 7—1.

где M — вращающий момент, вызывающий кручение, l и r — длина и радиус цилиндра, G — модуль сдвига.

○ 7—1. Какова наибольшая длина свинцовой проволоки, при которой подвешенная за один конец проволока не оборвется от собственной тяжести?

⊖ 7—2. Какое давление изнутри при наружном давлении $1 \frac{\kappa\Gamma}{\text{см}^2}$ может выдержать:

а) стеклянная трубка, наружный и внутренний диаметры которой равны $d_1 = 8 \text{ мм}$ и $d_2 = 7 \text{ мм}$?

б) стеклянная сферическая колба, наружный и внутренний диаметры которой равны $d_1 = 182 \text{ мм}$ и $d_2 = 180 \text{ мм}$?

⊖ 7—3. Показать, что в котле, состоящем из цилиндрической части (обичайки) и двух полусферических днищ (рис. 7—2), получается одинаковая прочность обичайки и днищ, если сделать днища вдвое более тонкими.

⊖ 7—4. Горизонтальный железный стержень длиной $l = 150 \text{ см}$ вращается около вертикальной оси, проходящей через его середину.

При какой частоте оборотов он может разорваться?

○ 7—5. Стальная проволока диаметром 1 мм имеет длину 5 м , когда на ней висит груз весом $20 \kappa\Gamma$. На сколько удлинится проволока, если груз увеличить еще на $10 \kappa\Gamma$?

⊖ 7—6. Между двумя прочными упорами натянута стальная проволока диаметром 1 мм и длиной 2 м . На сколько сместится середина проволоки, если к ней подвесить груз весом 300Γ ? При расчете принять, что упоры при навешивании груза не смещаются.

⊖ 7—7. Медный стержень длиной 2 м и диаметром 3 см переводится из горизонтального положения в вертикальное и опирается на пол. При этом диаметр его нижней части становится чуть-чуть больше. Можно ли измерить это изменение, если воспользоваться прибором, позволяющим измерять с точностью до $0,001 \text{ мм}$?

⊖ 7—8. Длинная железная труба имеет внутренний диаметр $d = 30 \text{ см}$ и толщину стенок $b = 0,5 \text{ см}$. На сколько увеличится площадь сечения канала трубы, если разность давления внутри и вне трубы увеличится от нуля до $p = 4,9 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$? Изменением толщины стенок при растяжении пренебречь.

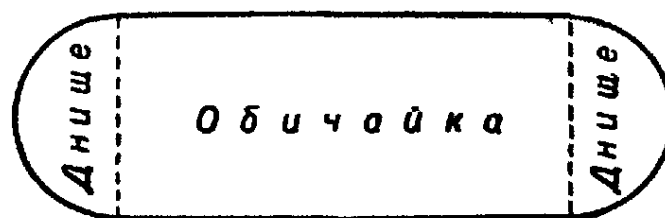


Рис. 7—2.

○ 7—9. На какой глубине плотность пресной воды на 1% больше плотности вблизи свободной поверхности?

Θ 7—10. Труба, описанная в задаче 7—8, имеет длину 200 м и расположена горизонтально. Концы трубы перекрыты. Труба заполнена водой, причем разность давлений воды и наружного воздуха равна $4,9 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$

Какой объем воды вытечет из трубы, если по верхней линии ее стенки образуется трещина?

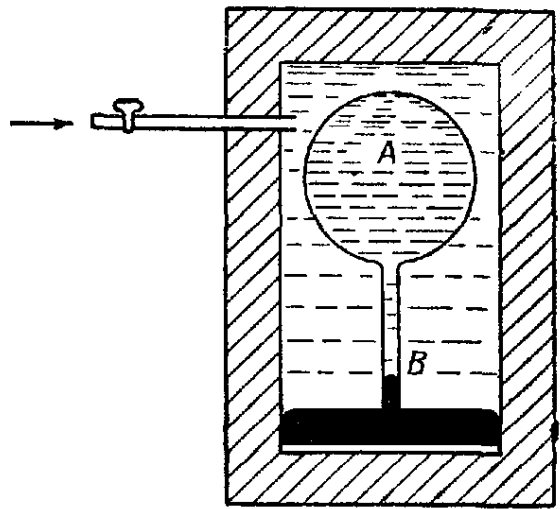


Рис 7—3

Θ 7—11. На рисунке 7—3 изображен пьезометр — прибор для измерения модуля сжатия жидкостей. При увеличении давления жидкости, окружающей стеклянный сосуд А, ртуть в колене В поднимается. Как измерить модуль всестороннего сжатия жидкости, находящейся внутри сосуда А? Какова относительная погрешность, которая будет иметь место, если не принять во внимание сжатия стекла под действием всестороннего давления, а модуль всестороннего сжатия исследуемой жидкости близок к $300 \frac{\text{кГ}}{\text{мм}^2}$?

Θ 7—12. Стальной маховик вращается с частотой оборотов $n=30 \text{ мин}^{-1}$. Средний диаметр его обода равен $d=1,5 \text{ м}$. Определить увеличение диаметра маховика, пренебрегая действием спиц.

Θ 7—13. К двум противоположным граням однородного кубика приложены две равные противоположно направленные растягивающие силы. Если эти грани удаляются друг от друга на расстояние Δl , то четыре другие грани сближаются на расстояние $\mu \cdot \Delta l$. Предположим, что силы, действующие на две первые грани, исчезли, а на четыре остальные грани действуют попарно равные сжимающие силы, такие, что эти грани остаются на прежнем расстоянии (т. е. сближены на $\mu \Delta l$). Останется ли форма кубика такой, какой она была при наличии двух растягивающих сил?

○ 7—14. Стальная проволока длиной $l=4 \text{ м}$ и диаметром $d=2 \text{ мм}$ растягивается силой $F=100 \text{ кГ}$. На сколько изменится при этом: а) ее объем? б) ее боковая поверхность?

○ 7—15. Определить энергию, зависящую от наличия напряжения в проволоке, описанной в задаче 7—5, при действии силы 30 кГ.

○ 7—16. Определить плотность энергии, зависящей от сжатия, в пресной воде на глубине 1,5 км.

○ 7—17. Определить плотность энергии в проволоке, описанной в задаче 7—6

⊖ 7—18. Товарный вагон массой 31 т, двигаясь в тупике со скоростью $40 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$, наталкивается своими буферами на два упора. Буфера заметно сжимаются, а упоры почти не деформируются. Пружина каждого из буферов сжимается при действии силы, равной 10^4 н на 7 мм. Удар вагона о буфера можно считать вполне упругим. На сколько сожмутся пружины буферов в рассматриваемом случае?

⊖ 7—19. При забивке деревянных свай копром в грунт в свае возникает напряжение, которое достигает наибольшего значения в случае, если при ударе бойка нижний конец сваи не смещается (например, если свая, продвигаясь в мягком грунте, дошла до каменной породы). Определить наибольшее напряжение, которое может получиться в свае при следующих данных: масса бойка копра 180 кг, диаметр сваи 26 см, длина сваи 6 м; боек падает с высоты 45 см (небольшим перемещением верхнего конца сваи при ударе можно пренебречь).

○ 7—20. К закрепленной верхним концом проволоке подвешивается груз массой m , причем проволока получает удлинение x . При этом груз теряет потенциальную энергию mgx , а проволока приобретает потенциальную энергию $\frac{mgx}{2}$, т. е. половину. Куда девается другая половина потенциальной энергии, потерянной грузом?

○ 7—21. Когда натянутая стальная струна охлаждается, ее натяжение, а следовательно, и энергия, зависящая от натяжения, увеличиваются. За счет чего происходит увеличение энергии?

⊕ 7—22. Грузик подвешен на резиновой нити, имеющей в ненатянутом состоянии длину $l = 80$ см. Грузик отклоняют на 90° , не натягивая нити, и отпускают. Когда нить проходит через вертикальное положение, ее длина равна $l_1 = 100$ см. Определить скорость грузика в этот момент.

У к а з а н и е. Отличие l_1 от l невелико. Поэтому при вычислении сил, действующих на грузик, можно движение грузика по сложной несимметричной кривой приближенно заменить движением по окружности радиуса l_1 .

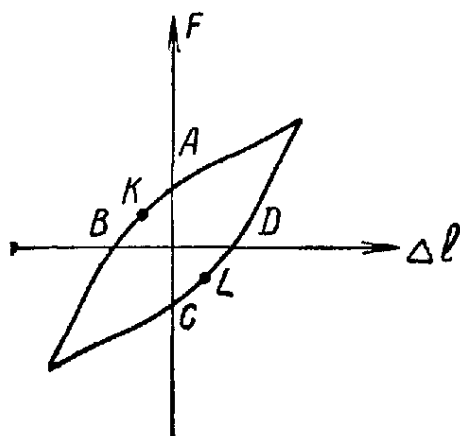


Рис. 7—4.

○ 7—23. Стальной вал длиной 150 см и диаметром 2 см передает, вращаясь с частотой оборотов равной 20 сек^{-1} , мощность 4,5 квт. Какой угол закручивания вала?

⊖ 7—24. На рисунке 7—4 показана зависимость упругой силы от деформации при циклическом деформировании тела в случае наличия гистерезиса. Согласно формуле пункта 5 введения потенциальная энергия деформированного тела в состояниях, со-

ответствующих точкам A, B, C и D , равна нулю, а в состояниях, соответствующих точкам K и L , является отрицательной. Как истолковать эти результаты?

§ 8. Динамика колебательного движения. Маятники

1) Циклическая частота ω и период поступательных гармонических колебаний T определяются формулами:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}; \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}},$$

где k — коэффициент квазиупругой силы, равный $k = -\frac{F}{s}$, F — возвращающая сила, s — смещение.

2) Период вращательных гармонических колебаний

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{D}},$$

где J — момент инерции колеблющегося тела относительно оси колебаний, D — отношение момента силы, возвращающего тело к положению равновесия, к углу отклонения тела от положения равновесия

$$D = -\frac{M}{\alpha}.$$

3) При малых качаниях маятника в поле тяготения с напряженностью g качания маятника можно рассматривать как вращательные гармонические колебания. При этом $D = mgb$ (b — расстояние от оси до центра инерции маятника). Период качания маятника равен

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgb}}.$$

В случае, если маятник состоит из грузика малых размеров и легкой нити (точечный маятник),

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

где l — длина нити.

Во всех задачах этого параграфа принимать, что амплитуды колебаний маятников малы и что периоды колебаний можно вычислять по приведенным выше формулам.

4) Сумма кинетической и потенциальной энергий точечного тела, совершающего гармонические колебания, постоянна и равна

$$\mathcal{E} = \frac{mA^2\omega^2}{2},$$

где A — амплитуда колебания.

5) В случае, если на тело, кроме возвращающей силы, действует еще и сопротивление среды, пропорциональное скорости

движения тела ($F_c = -rv$), движение не является гармоническим колебанием. В этом случае смещение через отрезок времени t определяется формулой

$$s = Ae^{-\alpha t} \sin(\omega t + \varphi),$$

где A — постоянная для данного движения величина, зависящая от смещения и скорости в начальный момент; коэффициент затухания $\alpha = \frac{r}{2m}$, φ — начальная фаза; $\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \alpha^2}$. Колебания возможны только при условии: $k > m\alpha^2$. Если $k \leq m\alpha^2$, тело, отклоненное от положения равновесия, возвращается к нему без колебаний.

6) Логарифмический декремент затухания равен

$$\vartheta = \alpha T.$$

7) Амплитуды смещения и скорости вынужденных колебаний

$$s_m = \frac{F_m}{\sqrt{r^2\omega^2 + m(\omega^2 - \omega_0^2)^2}}; \quad v_m = \frac{F_m}{\sqrt{r^2 + m^2\left(\frac{\omega^2 - \omega_0^2}{\omega}\right)^2}},$$

где F_m — наибольшее значение вынуждающей силы, ω и $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ — циклические частоты вынуждающей силы и собственных колебаний системы (при отсутствии затухания).

При переменной частоте вынуждающей силы максимум амплитуды скорости имеет место при $\omega = \omega_0$; максимум амплитуды смещения имеет место при $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\alpha^2}$.

8) К системе, совершающей вынужденные колебания, подводится мощность, средняя за период величина которой равна

$$P = \alpha m v_m^2.$$

○ 8—1. Стальная полоска зажата с одного конца и расположена горизонтально. На другом конце полоски закрепляют груз, масса которого значительно больше массы полоски. При наличии груза полоска изгибается и незажатый конец ее опускается на 4 см.

а) С какой частотой будет колебаться груз, если дать ему толчок в вертикальном направлении?

б) С каким ускорением движется колеблющийся груз в тот момент, когда полоска полностью распрямляется?

○ 8—2. Принимая движение поршня в двигателе внутреннего сгорания за гармоническое колебание (см. задачу 1—32), определить силу, действующую на коленчатый вал со стороны поршня, когда он находится в мертвой точке. Масса поршня 1,2 кг; частота оборотов коленчатого вала 200 мин⁻¹; ход поршня 12 см.

Принять, что давление газов в цилиндре равно атмосферному.

⊕ 8—3. На верхнюю ветвь горизонтально расположенного камертона (рис. 8—1) насыпан мелкий песок. Камертон приводят посредством смычка в колебания. Частота колебаний камертона 500 гц.

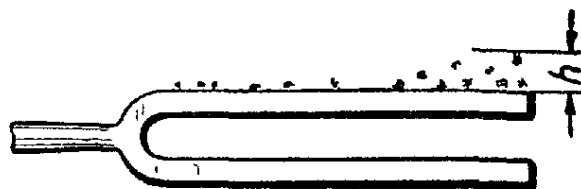


Рис. 8—1.

а) Какова амплитуда колебаний в том месте ветви камертона, где песчинки не подскакивают?

б) Какова амплитуда колебаний в том месте, где песчинки подскакивают на высоту $h = 3$ мм (по отношению к положению при покоящемся камертоне), считая удар песчинки о камертон неупругим?

⊖ 8—4. При равновесии системы, показанной на рисунке 8—2, пружина P на $\Delta l = 7$ см растянута по сравнению с недеформированным состоянием. Блок сделан из сплошного однородного диска. Массы грузов и блока соответственно равны $m_1 = 300$ г, $m_2 = 100$ г, $m_3 = 100$ г. Остальными массами и трением можно пренебречь. Определить период колебаний системы, которые начнутся, если груз m_1 отвести вертикально вниз и отпустить.

⊖ 8—5. Верхний конец стальной проволоки диаметром 0,5 мм и длиной 80 см зажат. К нижнему концу проволоки прикреплен шар массой 2 кг и диаметром 10 см. Если шар повернуть вокруг вертикальной оси на небольшой угол и отпустить, он будет совершать вращательные колебания. Определить период колебаний шара.

○ 8—6. Шарик подвешен на длинной нити. Один раз его поднимают по вертикали до точки подвеса, другой раз его отклоняют, как маятник, на небольшой угол. В каком из этих случаев шарик скорее возвратится к начальному положению, если его отпустить?

⊖ 8—7. Определить период колебания полена, подвешенного на 8 шнурах одинаковой длины $l = 80$ см (см. рис. 3—15). Углы между соседними нитями равны $\varphi = 49^\circ$. Амплитуда колебаний мала.

⊕ 8—8. Маятник в виде грузика, подвешенного на нити длиной $l = 50$ см, колеблется в кабине самолета. Каков период его колебаний:

а) если самолет движется равномерно?

б) если самолет движется горизонтально с ускорением $a = 2,5 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$?

в) если самолет планирует вниз под углом $\alpha = 15^\circ$ к горизонту? Лобовым сопротивлением самолета пренебречь.

⊕ 8—9. Маятник в виде маленького шарика, подвешенного на нити длиной $l = 10$ см, находится внутри жидкости, плотность которой в $n = 1,2$

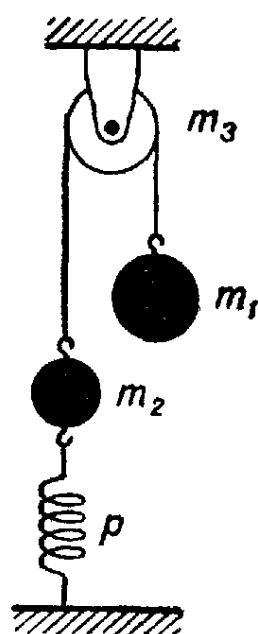


Рис. 8—2.

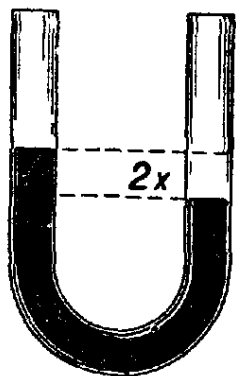


Рис. 8—3.

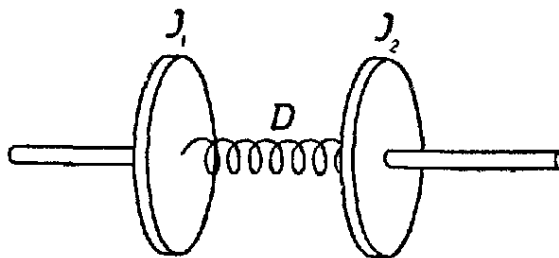


Рис. 8—4.

раза меньше плотности шарика. Определить период колебаний маятника, пренебрегая сопротивлением жидкости и принимая, что эффективная масса при движении шара в жидкости увеличивается на величину массы вытесненной жидкости.

○ 8—10. Маятник состоит из очень легкого стержня, на котором закреплены два одинаковых груза — один на расстоянии 30 см от оси, другой на расстоянии 15 см от оси. Каков период колебаний такого маятника?

⊖ 8—11. а) Определить период колебания однородного шара около горизонтальной оси, проходящей сквозь точку, отстоящую от центра шара на расстоянии 0,3 радиуса шара. Радиус шара равен 6 см.

б) Каков будет период колебаний, если расположить ось под углом 80° к горизонту?

⊕ 8—12. Тонкая прямоугольная пластинка может колебаться около горизонтальной оси, лежащей в ее плоскости и перпендикулярной к одной из ее сторон, длина которой равна l .

а) Каков период колебания, если ось совпадает с верхней стороной пластинки?

б) При каком расстоянии оси от верхней стороны период колебания пластинки будет наименьшим? Каков этот период?

⊖ 8—13. Шар, радиус которого 5 см, подвешен на нити длиной 10 см. Определить погрешность, которую мы делаем, приняв его за точечный маятник с длиной 15 см.

⊖ 8—14. Некоторое тело качается около оси с периодом $T_1 = 0,5$ сек. Если же к нему прикрепить грузик массой $m = 50$ г на расстоянии $l = 10$ см ниже оси, то оно качается с периодом $T = 0,6$ сек. Найти момент инерции тела относительно оси качания.

⊖ 8—15. Определить период колебания массы $m = 121$ г ртути, находящейся в U-образной трубке (рис. 8—3). Площадь сечения канала трубки $S = 0,3$ см².

⊖ 8—16. Шарик катается по дну сферической чашки. Предполагая, что эти колебания можно считать синусоидальными, определить их период.

⊖ 8—17. Предположим, что по одному из диаметров Земли просверлен канал. Принимая Землю за однородный шар с плотностью $D = 5,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, найти время τ движения тела от поверхности Земли до ее центра.

⊕ 8—18. Два диска могут вращаться около осей, являющихся продолжением одна другой (рис. 8—4). Моменты инерции дисков относительно этой оси равны J_1 и J_2 . Диски соединены пружиной, коэффициент кручения которой равен D .

а) Определить период, с которым будут колебаться диски, если их повернуть в противоположных направлениях, закручивая при этом пружину, и отпустить.

б) Как изменится период, если один из дисков (например, второй) закрепить?

⊕ 8—19. Определить период крутильных колебаний тонкого диска, подвешенного на трех параллельных нитях длиной 120 см (рис. 8—5).

⊕ 8—20. На стальной проволоке длиной $l=6$ м и площадью сечения $S=0,5$ мм² висит металлический шар, масса которого равна $m=2$ кг. Шар поднимают на некоторую высоту h и затем отпускают, после чего начинаются колебания шара в вертикальном направлении.

а) Каков характер этих колебаний при различных h ?

б) При каких амплитудах колебания являются синусоидальными?

в) Определить период синусоидальных колебаний.

⊖ 8—21. Два блока быстро вращаются в противоположных направлениях, как показано на рисунке 8—6. Расстояние между осями блоков равно $d=10$ см; коэффициент трения между блоками и спицей равен $\mu=0,25$. Если на блоки положить спицу так, чтобы ее центр тяжести (C) был ближе к одному из блоков, то спица начнет двигаться то вправо, то влево.

а) Показать, что эти колебания синусоидальны, и определить их период.

б) Почему при медленном вращении колебания спицы могут быть и не синусоидальными?

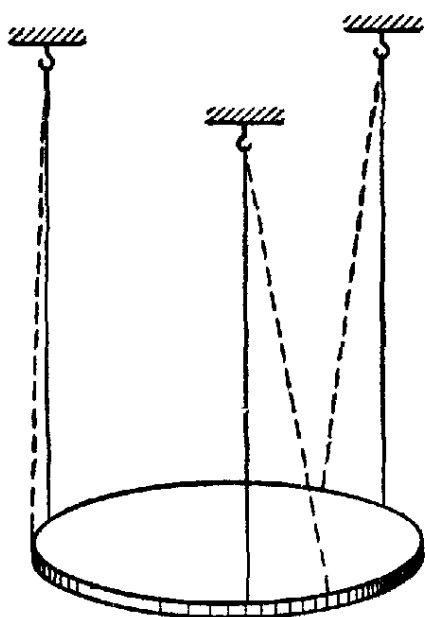


Рис. 8—5.

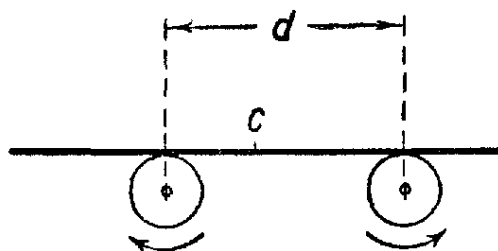


Рис. 8—6.

○ 8—22. Начальная амплитуда колебания маятника равна 3 см. Через 10 сек она равна 1 см. Через сколько времени амплитуда колебаний будет равна 0,3 см?

○ 8—23. Три последовательных крайних положения качающейся стрелки гальванометра пришлись против делений $n_1 = 20,0$; $n_2 = 5,6$ и $n_3 = 12,8$. Считая декремент затухания постоянным, определить деление, соответствующее положению равновесия стрелки.

⊖ 8—24. Каков логарифмический декремент затухания маятника длиной 0,8 м, если его начальная амплитуда 5° , а через 5 мин амплитуда равна $0^\circ,5$?

○ 8—25. Через сколько времени энергия колебаний камертона с частотой $f = 600$ гц уменьшится в $n = 10^6$ раз, если логарифмический декремент затухания равен $\nu = 0,0008$?

⊖ 8—26. Какова общая сумма путей, пройденных взад и вперед колеблющейся точкой до полного затухания колебаний, если амплитуда первого колебания равна 1 мм, а логарифмический декремент затухания равен 0,002?

⊖ 8—27. Амплитуда затухающих колебаний уменьшается в течение одного периода в 3 раза.

а) На сколько процентов период колебания больше, чем при отсутствии причины, вызывающей затухание?

б) При каком фазовом угле смещение максимально?

в) При каком фазовом угле скорость максимальна?

г) Начертить приблизительно график смещения и скорости этих колебаний.

⊕ 8—28. а) Упругое тело колеблется в сопротивляющейся среде, причем логарифмический декремент затухания равен 0,7. Возможны ли затухающие колебания этого тела в среде, коэффициент сопротивления которой в 10 раз больше, чем у данной среды?

б) Тот же вопрос, если декремент в данной среде равен 0,6; 0,1.

в) Если колебания в более вязкой среде возможны, то каковы их декременты затухания?

○ 8—29. При какой скорости поезда рессоры его вагонов будут особенно сильно колебаться под действием толчков колес о стыки рельс, если длина рельс 12,5 м, нагрузка на рессору равна 5,5 Т и если рессора прогибается на 16 мм при нагрузке в одну тонну?

⊖ 8—30. Амплитуды скорости вынужденных колебаний при частотах вынуждающей силы, равных $f_1 = 200$ гц и $f_2 = 300$ гц, равны между собой. Принимая, что амплитуда вынуждающей силы в обоих случаях одна и та же, найти частоту, соответствующую резонансу скорости.

⊖ 8—31. Амплитуды смещений вынужденных колебаний при частотах вынуждающей силы, равных $f_1 = 200$ гц и $f_2 = 300$ гц, равны между собой. Найти частоту, соответствующую резонансу смещений.

⊖ 8—32. На графике зависимости амплитуды скоростей от частоты вынуждающей силы провели прямую, параллельную оси абсцисс, на высоте, равной половине максимума. Отрезок этой прямой между точками пересечения с графиком соответствует $\Delta f = 20$ гц. Определить коэффициент затухания.

⊖ 8—33. Амплитуда смещения вынужденных колебаний при очень малой частоте равна $s_0 = 2$ мм, а при резонансе равна $s = 16$ мм. Предполагая, что декремент затухания меньше единицы, определить его.

⊕ 8—34. Стальная струна протянута между полюсами электромагнита, по обмотке которого идет переменный ток, вследствие чего струна колеблется с частотой переменного тока. Натяжение струны постепенно увеличивают. Когда частота собственных колебаний струны равна 100 гц, мощность тока в обмотке достигает максимальной величины и на 50% превышает мощность, потребляемую электромагнитом при отсутствии струны. Когда частота собственных колебаний струны увеличивается до 101 гц, то мощность тока в обмотке электромагнита только на 5% превышает мощность при отсутствии струны. В течение какого отрезка времени τ амплитуда колебаний струны уменьшится в 10 раз, если ток в обмотке электромагнита выключить?

⊖ 8—35. Маятник стенных часов массой 40 г совершает колебания с периодом 0,4 сек, причем его центр инерции колеблется с амплитудой 7 мм. Если часы не заведены, то амплитуда колебания уменьшается в 2 раза за 3 колебания. Определить полезную работу, которая производится при заводе часов на недельный срок.

§ 9. Движение жидкостей и газов

1) В поле тяготения с напряженностью g скорость истечения жидкости из малого отверстия в открытом сосуде равна

$$v = \sqrt{2gh},$$

где h — глубина отверстия относительно уровня жидкости в сосуде.

2) Для установившегося течения жидкости (несжимаемой и без трения) верна теорема Бернулли

$$p + \frac{Dv^2}{2} + Dgh = \text{const},$$

где p — давление; D — плотность жидкости; v — скорость течения.

3) Если движение среды, обтекающей твердое тело, перемещающееся внутри нее с постоянной скоростью v , является ламинарным, то лобовое сопротивление выражается формулой

$$F = -k \eta \cdot b \cdot v.$$

Здесь η — вязкость среды, b — величина, характеризующая линейные размеры тела, k — безразмерная величина, зависящая от формы тел и одинаковая для всех геометрически подобных тел. Знак минус указывает, что F направлено противоположно v . В случае шара, если принять b равным радиусу шара r , $k = 6\pi$, F выражается формулой Стокса

$$F = -6\pi\eta r v.$$

4) При ламинарном течении жидкости по круглой трубе с внутренним радиусом r объем жидкости, протекающей за время t , равен

$$V = \frac{\pi r^4 t}{8l\eta} \Delta p,$$

где Δp есть разность давлений между точками, отстоящими по оси трубы на расстоянии l (формула Пуазейля).

5) Если движение среды, обтекающей твердое тело, является турбулентным, формула п. 3) неприменима. В этом случае при не слишком больших скоростях лобовое сопротивление можно вычислять по формуле

$$F = -C_x S v^2 D.$$

Здесь S — площадь миделя, т. е. наибольшая площадь сечения тела в направлении, перпендикулярном к скорости v , D — плотность среды, C_x — безразмерный коэффициент, зависящий от формы тела. Направление нормали к площади миделя считается совпадающим с вектором скорости тела.

6) Характер движения среды определяется безразмерным числом Рейнольдса, $Re = \frac{b \cdot v \cdot D}{\eta}$, где b — величина, характеризующая линейные размеры потока среды. При малых значениях Re движение среды является ламинарным, при больших — турбулентным. В случае шара переход от ламинарного движения к турбулентному происходит при значениях Re , близких к 0,5, если при вычислении Re в качестве b взять диаметр шара. При увеличении скорости течения жидкости по трубе переход от ламинарного течения к турбулентному происходит при Re , близком к 3000, если в качестве b взять диаметр трубы.

7) При решении первых 9 задач этого параграфа принимать, что вязкость среды и ее сжимаемость ничтожно малы.

○ 9—1. В середине дна цилиндрического ведра имеется небольшое отверстие, сквозь которое вытекает вода. Уровень воды в ведре на 30 см выше дна. С какой скоростью вытекает вода сквозь отверстие в следующих случаях: а) ведро неподвижно; б) ведро равномерно поднимается; в) ведро движется с ускорением $120 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}$ сначала вверх, затем вниз; г) ведро висит на веревке и качается, причем угол, образуемый веревкой с вертикалью, достигает 60° . Рассмотреть случаи крайнего и среднего положений ведра.

○ 9—2. В чан равномерной струей наливается вода. Приток воды равен $150 \frac{\text{см}^3}{\text{сек}}$. В дне чана имеется отверстие площадью $0,5 \text{ см}^2$. Какого уровня может достигнуть вода в чане?

○ 9—3. На горизонтальном столе стоит сосуд, в вертикальной стенке которого сделано несколько отверстий одно над другим. Сосуд наполнен водой и из отверстий бьют струи.

а) Показать, что все струи бьют о стол с одинаковыми скоростями.

б) Показать, что две струи бьют в одну и ту же точку стола, если расстояния одного из отверстий от уровня жидкости в сосуде и другого от поверхности стола одинаковы.

в) В каком месте стенки сосуда надо сделать отверстие, чтобы струя из него была в поверхность стола возможно дальше от сосуда?

⊖ 9—4. Цилиндрический сосуд высотой 70 см с площадью дна 600 см^2 наполнен водой. В дне сосуда образовалось отверстие с площадью 1 см^2 .

а) Как движется верхний уровень воды в сосуде?

б) Сколько времени понадобится для полного опорожнения сосуда?

в) Сколько времени понадобится для опорожнения сосуда наполовину?

г) Увеличится или уменьшится время опорожнения сосуда, если сосуд будет совершать гармонические колебания в вертикальном направлении?

○ 9—5. а) Показать, что в схеме на рисунке 9—1 работа при перемещении правого поршня больше работы при перемещении левого поршня.

б) За счет чего производится дополнительная работа при использовании схемы как механизма для увеличения силы?

○ 9—6. Площадь поршня в спринцовке (рис. 9—2) $S_1 = 1,2 \text{ см}^2$, а площадь отверстия $S_2 = 1 \text{ мм}^2$. Сколько времени будет вытекать вода из спринцовки, если действовать на поршень с силой $F = 0,5 \text{ кг}$ и если ход поршня $l = 4 \text{ см}$?

⊖ 9—7. Чтобы избежать необходимости остановки поезда для пополнения запаса воды в паровозе, иногда употребляют следующий способ. Между рельсами устраивают длинную канаву, наполненную водой. В эту канаву с паровоза опускают трубу, изогнутую, как показано на рисунке 9—3. Вода в трубе поднимается и переливается в бак, установленный на паровозе. Почему это происходит? С какой скоростью v должен двигаться поезд,

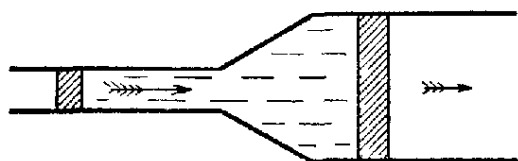


Рис. 9—1.



Рис. 9—2.

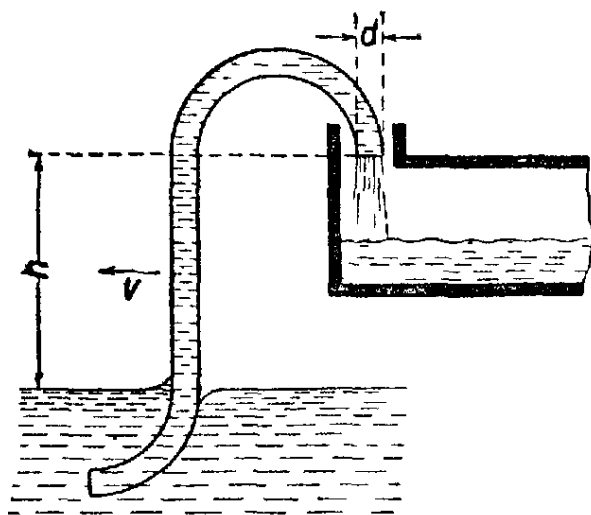


Рис 9—3.

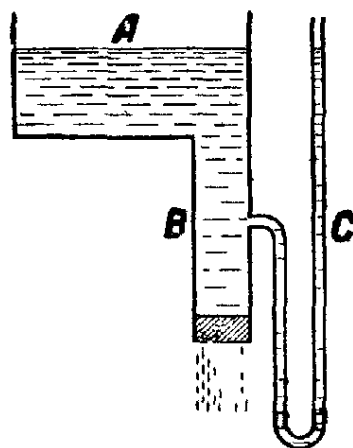


Рис 9—4.

чтобы вода поднималась на высоту $h = 3,5$ м и чтобы за промежуток времени, в течение которого поезд пройдет путь $l = 1$ км, в бак подавалось 3 м³ воды? Диаметр трубы $d = 10$ см.

○ 9—8. Очень широкий цилиндрический сосуд A имеет в дне отверстие, снабженное вертикальной трубкой B . К трубке присоединен манометр C (рис. 9—4). Нижний конец трубки закрыт пробкой, и уровни жидкости в сосуде и манометре одинаковы.

а) Как расположится уровень в манометре, если, вынув пробку, дать жидкости вытекать? Внутреннее трение предполагается ничтожно малым.

б) Как изменится ответ, если трубка B сужается книзу?

○ 9—9. Из брандспойта бьет струя воды, дающая 60 л за 1 мин. Площадь отверстия в брандспойте $1,5$ см². На сколько больше атмосферного давления давление внутри шланга в том месте, которое на 3 м ниже конца брандспойта? Площадь канала шланга 10 см².

⊖ 9—10. Для измерения количества газа, протекающего по газопроводу, употребляют прибор, устройство которого схематически показано на рисунке 9—5. О скорости протекания газа судят по разности давлений в точках A и B прибора. Определить массу газа, протекшего за час при таких условиях: внутренний диаметр газопровода $d_1 = 50$ мм; внутренний диаметр наиболее узкой части трубки $d_2 = 40$ мм; разность давлений в точках A и B равна $p = 12$ мм вод. ст., плотность газа $D = 0,0014 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. При расчете пренебречь трением и изменением

плотности газа при уменьшении давления.

○ 9—11. В восходящем потоке воздуха, скорость которого равна $2 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$, находится пылинка, имеющая форму шарика диаметром $0,01$ мм. Опускается или поднимается пылинка, если ее плотность на $2,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ больше

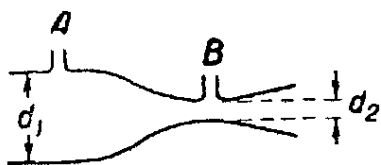


Рис. 9—5.

ше плотности воздуха? Принять, что движение воздуха при обтекании пылинки является ламинарным.

⊖ 9—12. В высокий сосуд, наполненный касторовым маслом при 20°C , бросают маленькие свинцовые шарики разных диаметров. Опустившись на некоторую глубину, шарики движутся равномерно, так как действующие на них силы уравниваются.

а) Определить число Рейнольдса для движения шарика диаметром $0,1 \text{ мм}$, предполагая, что движение масла при опускании шарика является ламинарным. Выяснить, является ли это предположение правильным.

б) Каков максимальный диаметр шарика, при котором при опускании шарика движение масла остается ламинарным?

⊕ 9—13. Показать, что коэффициент C_x в формуле для лобового сопротивления при турбулентном движении равен отношению количества движения, передаваемого телу потоком, к тому количеству движения, которое передавал бы телу за то же время поток с площадью сечения, равной площади мидела, если бы после встречи с телом он двигался по направлению, перпендикулярному к скорости, которую имел до встречи.

○ 9—14. Грузовой автомобиль движется со скоростью $60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Какова мощность по преодолению сопротивления воздуха, если движение является турбулентным? Площадь мидела автомобиля $3,75 \text{ м}^2$. Принять $C_x = 0,6$ и плотность воздуха $1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

⊖ 9—15. Свинцовая пуля в виде шарика с диаметром 5 мм движется в воздухе со скоростью $300 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$. а) Принимая плотность воздуха равной $0,0012 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, определить число Рейнольдса. б) С каким ускорением движется при этой скорости пуля (массой вытесненного воздуха и наличием поля тяготения пренебречь). Принять, что для шара $C_x = 0,25$.

○ 9—16. а) Какова максимальная скорость течения воды при температуре 15°C по трубе с внутренним диаметром 2 см , при которой течение еще остается ламинарным?

б) Какова при такой скорости разность давлений между двумя точками внутри трубы, расстояние между которыми равно 200 м ?

⊖ 9—17. Широкий сосуд снабжен внизу горизонтальной капиллярной трубкой, состоящей из двух звеньев (рис. 9—6). Первое звено имеет длину 20 см и внутренний диаметр 1 мм , второе имеет длину 2 см и внутренний диаметр $0,5 \text{ мм}$. В сосуд налит глицерин, уровень которого на 10 см выше капилляра. Какой объем глицерина вытекает из капилляра за 1 минуту ?

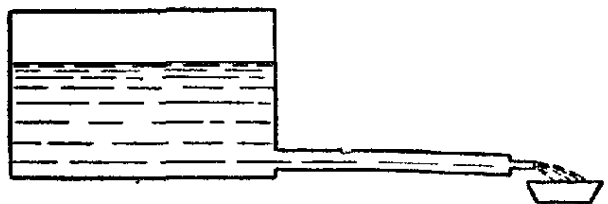


Рис. 9—6.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

§ 10. Расширение при нагревании твердых и жидких тел

1) Изменение длины и объема при изменении температуры на Δt

$$\Delta l = l - l_0 = \alpha l_0 \Delta t; \quad \Delta V = V - V_0 = \beta V_0 \Delta t,$$

где l_0 — начальная длина; V_0 — начальный объем; α и β — коэффициенты линейного и объемного расширения, относящиеся к телам, внутри которых отсутствует напряжение.

2) Для твердых изотропных тел $\beta = 3\alpha$.

3) Плотность при температуре t

$$D_t = \frac{D_0}{1 + \beta t},$$

где D_0 — плотность при 0°C .

○ 10—1. Два бруска разного объема из одного и того же материала, имеющие разную температуру, прикладываются друг к другу гранями, причем более теплый передает некоторое количество тепла другому. Обмен теплотой с окружающими телами отсутствует. Изменяется ли при этом общий объем и общая длина брусков?

○ 10—2. Можно ли заметить тепловое расширение диаметра латунного цилиндра, если измерение производится микрометром с точностью до 0,01 мм при температурах 5°C и 35°C ? При 5°C измерение дало 20,45 мм.

○ 10—3. При 0°C цинковый стержень имеет длину 200 мм, а медный 201 мм. Поперечные размеры их при 0°C одинаковы.

а) При какой температуре их длины одинаковы?

б) При какой температуре их объемы одинаковы?

⊖ 10—4. Два стержня одинаковой длины (рис. 10—1) AB и AC , сделанные из металла с коэффициентом расширения α_1 , соединены шарнирами в точках A , B и C между собой и со стерж-

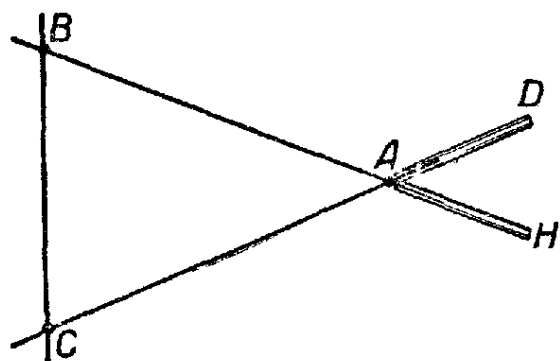


Рис. 10—1.

нем BC , сделанным из металла с коэффициентом линейного расширения α_2 . На концы стержней надеты, как показано на рисунке 10—1, трубки AD и $АН$ одинаковой длины, сделанные из того же металла, что и стержень BC . Каково должно быть отношение между α_1 и α_2 , если требуется, чтобы расстояние DN при изменении температуры оставалось постоянным?

○ 10—5. Холодный металлический шар опущен в горячую воду, а такой же горячий шар опущен в холодную воду. Каковы деформации наружных и внутренних слоев шаров?

⊖ 10—6. Часы с латунным маятником идут правильно при 0°C . На сколько отстанут часы за сутки, если температура повысится до $t = +20^\circ\text{C}$?

○ 10—7. Как изменится угловая скорость тела, вращающегося без трения вокруг некоторой оси, если температура повысится от 0 до $t^\circ\text{C}$? Как изменится при этом кинетическая энергия тела? За счет чего произойдет изменение энергии?

○ 10—8. Сообщающиеся сосуды наполнены жидкостью. Температура жидкости в одном из них повышается, в другом остается неизменной. Меняется ли при этом уровень жидкости во втором сосуде?

○ 10—9. При какой температуре плотность ртути равна $13,48 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, если при 10°C она равна $13,57 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$?

⊖ 10—10. Стеклянный сосуд весит $P_0 = 53 \text{ Г}$. Тот же сосуд, наполненный ртутью, при 0°C весит $P_1 = 1384 \text{ Г}$. Когда этот сосуд нагрели до $t = 40^\circ\text{C}$, то часть ртути вытекла и сосуд стал весить $P_2 = 1376 \text{ Г}$. Каков коэффициент объемного расширения стекла β_2 ?

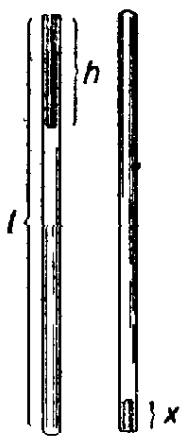
⊖ 10—11. При отсчете показания барометра обычно делают поправку на расширение шкалы и изменение плотности ртути по сравнению с 0°C . Каково было бы показание барометра при 0°C , если при 30°C оно равно $758,2 \text{ мм}$? Шкала барометра латунная.

⊖ 10—12. Ртутный термометр со стеклянной шкалой, установленный на паропроводе, частично утоплен в изоляции паропровода так, что снаружи видны деления шкалы выше 27°C . Резервуар термометра соприкасается с паром и имеет его температуру. Температура воздуха в помещении 30°C . Принимая во внимание, что термометр градуирован в условиях, обеспечивающих одинаковость температуры по всей длине термометра, определить температуру пара, если термометр показывает 170°C .

§ 11. Свойства идеальных газов

1) Характеристическое уравнение для идеальных газов (уравнение Клапейрона — Менделеева)

$$pV = \frac{m}{\mu} RT,$$



или

$$p \cdot v \cdot \mu = RT,$$

где p — давление, V — общий и v — удельный объемы газа, m — масса газа, μ — молекулярный вес, T — абсолютная температура газа, R — универсальная газовая постоянная.

2) Давление смеси газов равно сумме парциальных давлений газов, составляющих смесь.

3) Барометрическая формула

$$h = \frac{RT}{\mu g} \ln \frac{p_0}{p}.$$

Рис. 11—1.

4) При решении задач принимать, что абсолютное давление газов в баллонах на $9,8 \cdot 10^4 \frac{\text{н}}{\text{м}^2} = 1 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ больше показания манометров. В первых 5 задачах считать температуру постоянной.

⊖ 11—1. Сколько качаний надо сделать, чтобы при помощи насоса, захватывающего при каждом качании 40 см^3 воздуха, наполнить пустую камеру шины велосипеда настолько, чтобы площадь ее соприкосновения с дорогой была равна 60 см^2 ? Нагрузка на колесо равна 35 кг . Объем камеры равен 2000 см^3 . Давление атмосферы принять равным $1 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$. Жесткостью покрышки камеры пренебречь.

⊖ 11—2. В чашечный ртутный барометр попал пузырек воздуха, вследствие чего барометр показывает давление меньше истинного. При сверке его с точным барометром оказалось, что при давлении 768 мм рт. ст. барометр показывает 748 мм рт. ст. , причем расстояние от уровня ртути до верхнего основания трубки равно 80 мм .

Каково истинное давление, если барометр показывает 734 мм рт. ст. (температура воздуха та же)?

⊖ 11—3. В запаянной с одного конца стеклянной трубке, длина которой 70 см , находится столбик воздуха, запертый сверху столбиком ртути высотой 20 см , доходящим до верхнего края трубки (рис. 11—1). Трубку осторожно перевертывают, причем часть ртути выливается.

а) Какова высота x столбика ртути, который останется в трубке, если атмосферное давление соответствует давлению столба ртути высотой 75 см ?

б) При какой длине трубки столбик ртути той же высоты выльется из трубки полностью?

⊖ 11—4. На рисунке 11—2 изображен манометр для малых давлений. Трубка C соединяет прибор с испытуемым резервуаром. При поднимании сосуда A находящаяся в нем ртуть доходит до сосуда D , разобщая при этом находящийся в нем газ с

испытуемым резервуаром. При дальнейшем поднятии ртуть входит в одинаковые капилляры K_1 и K_2 . Каково давление газа в испытуемом сосуде при таких данных: объем сосуда D равен 130 см^3 ; внутренний диаметр капилляра равен $1,1 \text{ мм}$; разность уровней в капиллярах 23 мм ; уровень ртути в капилляре K_2 совпадает с концом капилляра K_1 ?

⊖ 11—5. На рисунке 11—3 изображен прибор для измерения объемов — волюметр. На нем произведены такие измерения.

1) Открыв кран K , соединили трубку AB и сосуд Z с атмосферным воздухом. Затем трубка C была приведена в такое положение, что ртуть стояла на уровне l .

2) Закрыв кран K , медленно подняли трубку C настолько, что ртуть достигла уровня n . Отсчитали разность уровней ртути в трубках C и B : $h_1 = 18,5 \text{ см}$.

3) Открыв кран K , в сосуд Z поместили $m = 72 \text{ г}$ зерен ржи. Установили ртуть на уровне l и снова закрыли кран K .

4) Подняли трубку C настолько, что ртуть поднялась до уровня n , измерили разность уровней ртути в трубках $h_2 = 30,5 \text{ см}$.

Определить на основании этих измерений плотность D зерен ржи, если известно, что внутренний объем сосуда вместе с объемом канала трубки до черты n равен $V = 152 \text{ см}^3$.

○ 11—6. Манометр на баллоне со сжатым газом при температуре 18°С показывает давление $84 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$. Какое давление он будет показывать, если температура понизится до -23°С ? Изменением емкости баллона вследствие охлаждения пренебречь.

○ 11—7. Газ при давлении 745 мм рт. ст. и при температуре 20°С имеет объем 164 см^3 . Каков объем той же массы газа при нормальных условиях?

⊖ 11—8. Компрессор захватывает при каждом качании 4 л воздуха при атмосферном давлении и температуре -3°С и нагнетает его в резервуар емкостью $1,5 \text{ м}^3$, причем температура воздуха в резервуаре держится около 45°С . Сколько качаний должен сделать компрессор, чтобы давление в резервуаре увеличилось на $2 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$.

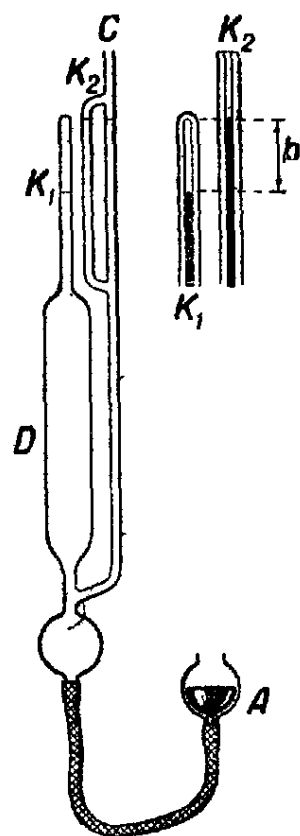


Рис. 11—2.

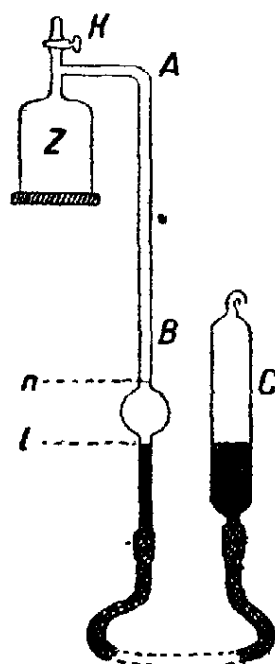


Рис. 11—3.

⊖ 11—9. Баллон емкостью 20 л наполнен сжатым воздухом. При температуре 20°C манометр показывает давление $120 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$. Какой объем воды можно вытеснить из цистерны подводной лодки воздухом этого баллона, если вытеснение производится на глубине 30 м и температура равна 5°C? Принять, что давление столба воды высотой 10 м равно $1 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$; давление атмосферы принять равным $1 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$.

○ 11—10. Определить давление 4 кг кислорода, заключенного в сосуд емкостью 2 м³, при температуре 29°C.

○ 11—11. Определить удельный объем азота при температуре 27°C и давлении $4,9 \cdot 10^4 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$.

○ 11—12. Определить массу кислорода, заключенного в баллоне емкостью 10 л, если при температуре —13°C манометр на баллоне показывает давление $90 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$.

○ 11—13. Из баллона со сжатым водородом емкостью 10 л вследствие неисправности вентиля утекает газ. При температуре 7°C манометр показывал $50 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$. Через некоторое время при температуре 17°C манометр показал такое же давление. Сколько утекло газа?

⊖ 11—14. По газопроводной трубе идет углекислый газ при давлении $p = 3,9 \cdot 10^5 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$ и температуре $t = 7^\circ\text{C}$. Какова скорость движения газа в трубе, если за $\tau = 10$ мин протекает $m = 2$ кг углекислого газа и если площадь сечения канала трубы $S = 5 \text{ см}^2$?

⊖ 11—15. По трубе диаметром 3 см течет воздух, давление которого равно 50 ат, а температура 0°C. При какой скорости течение воздуха превратится из ламинарного в турбулентное?

П р и м е ч а н и е. Вязкость газов практически не зависит от давления.

⊖ 11—16. При начале подъема стратостата его оболочка наполнена водородом лишь на $\frac{1}{8} - \frac{1}{10}$ полного объема. При поднятии оболочка сначала раздувается. Затем объем стратостата перестает увеличиваться, и водород начинает вытекать из него сквозь аппендикс. При этом давление и температура водорода внутри стратостата и воздуха снаружи стратостата продолжают оставаться приблизительно равными между собой.

а) Показать, что при отсутствии вытекания водорода подъемная сила стратостата остается неизменной, а при вытекании водорода постепенно уменьшается.

б) Сколько водорода вытекло из стратостата, если при неизменном объеме баллона подъемная сила уменьшилась на 27 кг?

⊖ 11—17. Предположим, что температура воздуха в атмосфере зависит от высоты таким образом, что плотность воздуха по всей толще атмосферы одинакова. На каком расстоянии по вертикали разность температур равна 1°C ?

⊕ 11—18. В вертикальном закрытом сверху и снизу цилиндре находится движущийся с ничтожным трением поршень. Над и под поршнем находятся одинаковые массы одного и того же газа при температуре $T_1=300^\circ\text{K}$. Вес поршня уравнивается разностью сил давлений газа, если объем нижней части цилиндра в $n=3$ раза меньше объема верхней части. Каково будет соотношение объемов, если температура повысится до $T_2=400^\circ\text{K}$?

○ 11—19. Три баллона емкостью 3 л, 7 л и 5 л наполнены соответственно кислородом (2 ат), азотом (3 ат) и углекислым газом (0,6 ат) при одной и той же температуре. Баллоны соединяют между собой, причем образуется смесь той же температуры. Каково давление смеси?

⊖ 11—20. Определить молекулярный вес газа, свойства которого соответствуют свойствам смеси 160 г кислорода и 120 г азота.

⊖ 11—21. Определить плотность смеси 4 г водорода и 32 г кислорода при температуре 7°C и при давлении 700 мм рт. ст.

⊖ 11—22. Топочный газ имеет следующий состав по весу CO_2 — 21,4%, H_2O — 6,8%, N_2 — 71,8%. Определить удельный объем такого газа при давлении $1 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ и при температуре 500°K .

○ 11—23. Давление воздуха на уровне моря $p_0=750$ мм рт. ст., а на вершине горы 590 мм рт. ст. Какова высота горы, если температура воздуха равна $t=5^\circ\text{C}$?

⊖ 11—24. Предположим, что внутри вертикальной трубы высотой 100 м находится воздух при температуре 500°K ; снаружи труба окружена воздухом при температуре 250°K . Труба сверху открыта, а внизу отделена от наружного воздуха заслонкой площадью 300 см^2 . Какая сила действует на заслонку, если давление воздуха у верхнего конца трубы равно 740 мм рт. ст.?

⊕ 11—25. Трубка длиной 22 см вращается около вертикальной оси, проходящей сквозь ее середину, с частотой оборотов, равной 30 сек^{-1} . Температура воздуха 16°C . Принимая давление воздуха внутри трубки вблизи ее открытых концов равным атмосферному (760 мм рт. ст.), определить давление в середине трубки.

§ 12. Первый принцип термодинамики в применении к идеальным газам

1) Первый принцип термодинамики

$$dU = -pdV + dQ,$$

где dU — изменение внутренней энергии газа; pdV — работа против внешнего давления; dQ — количество притекающей теплоты.

2) Удельные теплоемкости идеальных газов зависят от природы газа (от молекулярного веса) и от характера процесса, при котором газ поглощает теплоту. При некоторых процессах (см. задачу 12—22) удельные теплоемкости газов зависят, кроме того, от температуры. Удельные теплоемкости при изохорическом и изобарическом процессах c_v и c_p не зависят от температуры.

3) Внутренняя энергия идеального газа

$$U = c_v m T = \frac{pV}{\kappa - 2}, \quad \text{где } \kappa = \frac{c_p}{c_v}.$$

4) Связь между удельными теплоемкостями идеального газа

$$c_p = c_v + \frac{R}{\mu}.$$

5) Работа при изотермическом процессе

$$A = Q = p_1 V_1 \ln \frac{p_1}{p_2} = \frac{m}{\mu} R T \ln \frac{p_1}{p_2}.$$

6) Уравнение адиабатного процесса

$$pV^\kappa = \text{const.}$$

○ 12—1. Принимая отношение теплоемкостей для двухатомных газов равным $\kappa=1,4$, вычислить удельные теплоемкости: а) кислорода; б) азота.

○ 12—2. Вычислить отношение $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$ для смеси 3 молей аргона и 5 молей кислорода.

○ 12—3. Баллон емкостью 10 л с кислородом при давлении $80 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ и при температуре 7°C нагревается до $15,5^\circ \text{C}$. Какое количество теплоты при этом поглощается газом?

⊖ 12—4. Сосуд, содержащий некоторое количество азота при температуре $t_1=15^\circ \text{C}$, движется со скоростью $v=100 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$.

Какова будет температура t_2 газа в сосуде, если он внезапно остановится и если передачей теплоты стенкам можно пренебречь?

○ 12—5. В комнате размером 90 м^3 воздух сменяется полностью через 2 часа. Какое количество теплоты требуется для обогрева воздуха в комнате за сутки, если температура воздуха в комнате должна быть 18°C , а наружный воздух имеет температуру -5°C ? Принять, что средняя плотность воздуха $1,25 \frac{\text{г}}{\text{л}}$.

⊖ 12—6. Турбогенератор мощностью 3000 кВт охлаждается проточным воздухом. Какие объемы воздуха должны входить в генератор и выходить из него в течение 1 сек, если коэффициент полезного действия генератора равен 94%, температура воздуха, выходящего из генератора, не должна превышать 50°C , температура в машинном зале 20°C , давление воздуха 750 мм рт. ст. ?

⊖ 12—7. В цилиндре керосинового двигателя происходит быстрое сгорание горючей смеси. Какая температура t_2 и какое давление p_2 получатся при сгорании, если объем камеры сгорания $V = 10$ л; давление перед сгоранием $p_1 = 5 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$; температура $t_1 = 210^\circ\text{C}$; количество керосина в смеси $m = 0,9$ г, теплоемкость продуктов сгорания $c_v = 0,17 \frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}}$; средний молекулярный вес горючей смеси $\mu = 29,4 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$; калорийность керосина $10\,000 \frac{\text{кал}}{\text{г}}$?

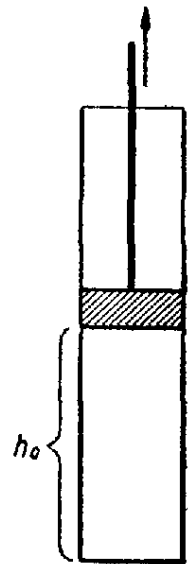


Рис. 12—1

У к а з а н и е Рассчитывать нагревание при сгорании, как изохорный процесс, пренебрегая изменением объема за время сгорания

○ 12—8. 200 г азота нагреваются при постоянном давлении от 20°C до 100°C . Какое количество теплоты поглощается при этом? Каков прирост внутренней энергии газа? Какую внешнюю работу производит давление газа?

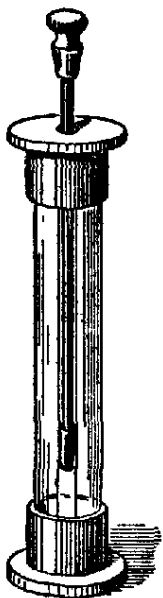
⊖ 12—9. В цилиндре под поршнем находится в замкнутом пространстве воздух (рис. 12—1). Какая работа должна быть произведена, чтобы поднять поршень на высоту $h_1 = 10$ см, если начальная высота столба воздуха равна $h_0 = 15$ см и если наружное давление равно $p_0 = 760$ мм рт. ст.? Площадь поршня $S = 10$ см². Весом поршня можно пренебречь. Температура остается неизменной.

⊖ 12—10. а) Некоторая масса азота при давлении 1 ат имела объем 5 л, а при давлении 3 ат — объем 2 л. Переход от первого состояния ко второму был сделан в два этапа: сначала по изохоре, затем по изобаре. Определить изменение внутренней энергии, количество теплоты и произведенную работу.

б) Произвести те же расчеты в случае обратного порядка этапов: сначала по изобаре, затем по изохоре. Почему результаты расчетов в случаях а) и б) различны?

⊖ 12—11. Производится сжатие некоторой массы двухатомного газа ($\kappa = 1,4$) один раз изотермически, другой раз адиабатно. Начальные температура и давление сжимаемого газа оба раза одинаковы. Конечное давление в n раз больше начального. Найти отношение работ сжатия при адиабатном и изотермическом процессах. Рассмотреть случаи: а) $n = 2$; б) $n = 100$.

○ 12—12. Прибор, изображенный на рисунке 12—2 (воздушное огниво), служит для демонстрирования нагревания воздуха при адиабатном сжатии. Определить температуру воздуха в



огниве при быстром уменьшении объема в 10 раз, если начальная температура 15°C .

⊖ 12—13. Некоторая масса сухого воздуха поднимается в атмосфере в широком потоке такого же воздуха; теплообмен этой массы с внешними телами практически отсутствует. Каково изменение температуры воздуха (Δt) при подъеме на высоту $\Delta h = 500 \text{ м}$?

У к а з а н и е. При расчете надо принять во внимание, что при подъеме воздуха за счет его внутренней энергии увеличивается его потенциальная энергия и производится работа расширения.

⊖ 12—14. В четырехтактном двигателе Дизеля засосанный атмосферный воздух в объеме 10 л под-
Рис. 12—2. вергается 12-кратному сжатию. Предполагая процесс сжатия адиабатным, определить конечное давление, конечную температуру и работу сжатия, если начальное давление и температура равны 1 ат и 10°C .

⊖ 12—15. а) Начальные и конечные состояния некоторой массы азота такие же, как и в задаче 12—10. Переход от первого состояния ко второму был произведен тоже в два этапа: сначала по адиабате, затем по изохоре. Определить изменение внутренней энергии, количество теплоты и произведенную работу.

б) Произвести те же расчеты при обратном порядке этапов перехода.

⊕ 12—16. В цилиндре, закрытом с обоих концов и наполненном воздухом, находится поршень, разделяющий пространство в цилиндре на две равные части (рис. 12—3). Давление воздуха на обе стороны поршня равно $p_0 = 1 \text{ ат}$. Поршень отклоняется от положения равновесия на незначительное расстояние и начинает колебаться, причем процессы в газе можно считать адиабатными. Определить период этих колебаний, если масса поршня равна $m = 1,5 \text{ кг}$; расстояние от поршня до стенки равно $l = 20 \text{ см}$ и площадь поршня $S = 100 \text{ см}^2$. Трение ничтожно мало.

○ 12—17. Начертить примерные графики изохорического, изобарического, адиабатного и изотермического процессов на диаграммах: а) T, p ; б) T, V ; в) T, U и г) V, U .

⊖ 12—18. Баллоны со стенками из непроводящих теплоту материалов, объемы которых равны V_1 и V_2 , содержат два газа, имеющих давления p_1 и p_2 и температуры T_1 и T_2 .

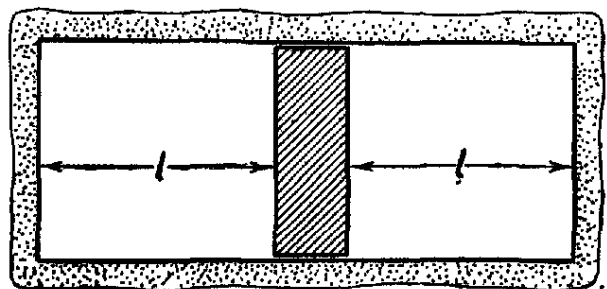


Рис. 12—3.

Баллоны соединены трубкой с краном. Кран открывается, происходит перемешивание газов, и устанавливается общее давление p и общая температура T . Отношение теплоемкостей при изобарическом и при изохорическом процессах для обоих газов одно и то же. Определить p и T .

⊖ 12—19. На рисунке 12—4 показана «теоретическая» диаграмма работы компрессора двойного действия (при опытных исследованиях получаются закругленные углы). Часть AB соответствует изотермическому сжатию воздуха; BC — проталкиванию воздуха в резервуар (давление остается постоянным); CD — мгновенному уменьшению давления в цилиндре компрессора при закрытии выпускного клапана и открытии впускного; DA — впуск воздуха при давлении одной атмосферы. Показать, что работа компрессора за 1 оборот равна работе для изотермического процесса и выражается площадью $ABGF$.

⊖ 12—20. Компрессор должен давать в час 50 м^3 сжатого воздуха при давлении $8 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$. Компрессор охлаждается проточной водой, так что процесс сжатия можно считать изотермическим.

а) Какой мощности мотор требуется к компрессору, если к.п.д. последнего 60%?

б) Какое количество проточной воды требуется, если температура ее в змеевике компрессора повышается от 11°C до 17°C ?

Наружное давление считать равным $1 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$.

⊕ 12—21. Двигатель внутреннего сгорания работает по циклу, теоретическая диаграмма которого представлена на рисунке 12—5. Процесс 1—2 — сжатие горючей смеси; 2—3 — вспышка; 3—4 — рабочий ход; 4—5 — падение давления при открывании выпускного клапана; 5—6 — выпуск отработавших газов; 6—1 — засасывание горючей смеси. Принимая во внимание, что процессы 1—2 и 3—4 могут считаться адиабатными и что процессы 2—3 и 4—5 могут быть заменены изохорическими процессами, вычислить максимальный к.п.д. двигателя, если известно, что $\frac{V_1}{V_2} = 4$; $\frac{c_p}{c_v}$ для горючей смеси и продуктов сгорания равно 1,3.

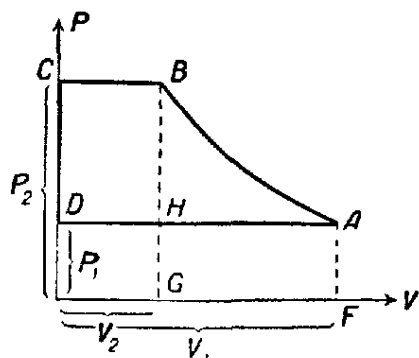


Рис. 12—4.

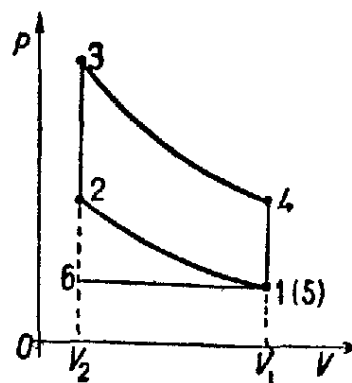


Рис. 12—5.

⊕ 12—22. а) Показать, что процесс, при котором во время изменения температуры газа производится работа, пропорциональная разности конечной и начальной температур, может быть описан уравнением вида $pV^n = \text{const}$,

где n — постоянно (политропический процесс).

б) Показать, что при политропическом процессе удельная теплоемкость газа не зависит от температуры.

в) Выяснить, являются ли политропическими следующие процессы:

1) Процесс, происходящий при нагревании прибора, описанного в задаче 11—18.

2) Процесс, который происходит при повышении температуры газа в сосуде A (рис. 12—6). Давление вне сосуда A постоянно. Пружина P начинает растягиваться только после того, как поршень B , двигаясь вправо, перейдет положение, показанное на рисунке пунктиром.

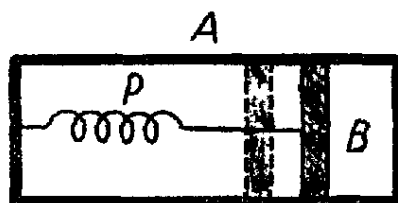


Рис. 12—6.



Рис. 12—7.

3) Процесс, который происходит при повышении температуры газа в левой части трубки, показанной на рисунке 12—7.

4) В приборе, показанном на рисунке 12—2, вдвигание поршня производится настолько медленно, что вследствие потери теплоты сквозь стенки изменение температуры газа при малом продвижении поршня вдвое меньше, чем при быстром вдвигании на то же расстояние.

г) Как изменяются при повышении температуры удельные теплоемкости газа в случаях 1), 2), 3) и 4)?

§ 13. Кинетическая теория газов

1) Средняя квадратичная скорость и средняя скорость частиц

$$c = \sqrt{\frac{\sum v^2}{\omega}}; \quad u = \frac{\sum v}{\omega},$$

где v — скорость частицы; ω — число частиц.

2) Постоянная Больцмана

$$k = \frac{R}{N},$$

где R — газовая постоянная; N — число Авогадро.

3) Давление газа

$$p = \frac{1}{3} n m c^2 = n k T,$$

где m — масса молекулы; n — число молекул в 1 см^3 (концентрация молекул).

4) Средняя квадратичная скорость молекул газа и частиц

$$c = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}.$$

5) Закон Максвелла о распределении газовых молекул по интервалам скоростей

$$\Delta n = n \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{v^2}{\rho^3} \cdot e^{-\frac{v^2}{\rho^2}} \Delta v = n f(v) \Delta v,$$

где $\rho = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$ есть скорость, соответствующая максимуму функции распределения по интервалам скоростей $f(v)$ и называется наиболее вероятной скоростью.

6) Средняя скорость при максвелловском распределении

$$u = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}.$$

7) Число столкновений одной молекулы за 1 сек

$$z = \sqrt{2} \pi \sigma^2 \cdot n u,$$

где σ — диаметр молекулы.

8) Средний свободный пробег

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 n}.$$

9) Вязкость газа

$$\eta = 0,49 D \lambda u,$$

где D — плотность газа.

10) Число молекул v , ударяющих за 1 сек в площадку 1 см^2 , помещенную в газе,

$$v = \frac{n u}{4}.$$

○ 13—1. В сосуде емкостью 230 см^3 находится газ при давлении $0,01 \text{ мм}$ и температуре 7°C . Сколько молекул находится в сосуде?

⊖ 13—2. Плотность смеси азота и водорода при температуре 47°C и давлении 2 атм равна $0,3 \frac{\text{г}}{\text{л}}$. Какова концентрация молекул водорода в смеси?

⊖ 13—3. В стеклянном сосуде сферической формы с внутренним диаметром 3 см находится азот, давление которого при

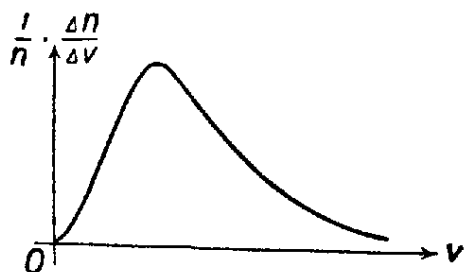


Рис. 13—1

температуре 190°C равно $0,01\text{ мм рт. ст.}$. На стенках сосуда имеется мономолекулярный слой адсорбированного азота. Площадь, занимаемая одной молекулой азота на стенке, равна $1 \cdot 10^{-15}\text{ см}^2$. Каково давление азота в сосуде при температуре 427°C , при которой азот полностью десорбируется со стенок?

⊖ 13—4. Сосуд, содержащий некоторое количество газа, движется со скоростью v , затем внезапно останавливается.

На сколько увеличится при этом квадрат средней квадратичной скорости молекул газа: а) в случае одноатомного газа? б) в случае двухатомного газа? Каков физический смысл полученного результата?

○ 13—5. Определить среднюю квадратичную скорость газовых молекул: а) кислорода при 132°C ; б) гелия при $0,1^{\circ}\text{K}$.

○ 13—6. Какая температура соответствует средней квадратичной скорости молекул углекислого газа, равной $720\frac{\text{км}}{\text{ч}}$?

○ 13—7. Определить среднюю квадратичную скорость капельки воды с радиусом 10^{-6} см , взвешенной в воздухе при 17°C .

○ 13—8. На рисунке 13—1 дан график, показывающий распределение скоростей молекул газа по закону Максвелла. По оси абсцисс отложена скорость молекул v ; по оси ординат отложена величина $\frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta v}$, где Δn — число молекул, обладающих скоростями, заключенными в пределах между v и $v + \Delta v$; n — общее число молекул в данном объеме.

а) Откуда видно, что средняя скорость больше наиболее вероятной скорости?

б) Чему равна общая площадь, ограниченная осью абсцисс и графиком?

в) Как надо изменить абсциссы и ординаты графика, соответствующие температуре T_1 , чтобы получить график распределения скоростей при температуре T_2 ? Начертите приблизительно график, соответствующий в 4 раза более высокой температуре.

○ 13—9. Определить среднюю и наиболее вероятную скорости молекул кислорода при 132°C .

○ 13—10. Чему равна вероятность того, что какая-нибудь молекула имеет скорость, точно равную наиболее вероятной скорости?

⊖ 13—11. Кроме распределения газовых молекул по интервалам скоростей, указанного в пункте 5) введения к настоящему параграфу, можно рассматривать распределение молекул по интервалам энергий, а также по интервалам логарифмов скоростей или энергий.

а) Показать, что максимум функций распределения по интервалам энергий молекул соответствует скорости $v_0 = \frac{p}{\sqrt{2}}$.

б) Показать, что максимум функции распределения молекул по интервалам логарифмов скоростей молекул или их энергий соответствует средней квадратичной скорости.

⊖ 13—12. а) Какой процент молекул обладает скоростями, разнящимися от наиболее вероятной не более чем на 1%?

б) Тот же вопрос относительно средней квадратичной скорости.

в) Почему в случае б) получается более высокий процент, чем в случае а)?

⊖ 13—13. Показать, что число молекул некоторой массы газа, скорости которых меньше средней квадратичной скорости и больше средней, одно и то же при любой температуре.

⊖ 13—14. Как изменится концентрация молекул двухатомного газа, скорости которых отличаются от наиболее вероятной скорости не более чем на $1 \frac{см}{сек}$, если произойдет адиабатное расширение в два раза?

○ 13—15. Найти число молекул азота, заключающихся при нормальных условиях в $1 см^3$ и обладающих скоростью: а) между $99 \frac{м}{сек}$ и $101 \frac{м}{сек}$; б) между $499 \frac{м}{сек}$ и $501 \frac{м}{сек}$.

⊖ 13—16. При какой температуре число молекул азота, обладающих скоростями в интервале $299 \frac{м}{сек} — 301 \frac{м}{сек}$, равно числу молекул, обладающих скоростями в интервале $599 \frac{м}{сек} — 601 \frac{м}{сек}$?

⊖ 13—17. Средняя относительная скорость движения двух молекул $r = u \sqrt{2}$, где u — средняя скорость по отношению к стенкам сосуда. Какой вывод можно сделать отсюда о среднем значении угла между скоростями молекул?

○ 13—18. При каком давлении средняя длина свободного пробега молекул азота равна 1 мм, если при нормальном давлении она равна $6 \cdot 10^{-6} см$?

○ 13—19. При каком давлении средняя длина свободного пробега молекул водорода равна 2,5 см? Температура $68^\circ С$.

⊖ 13—20. Найти среднюю продолжительность свободного пробега молекул кислорода при давлении 2 мм рт. ст. и при $27^\circ С$.

⊖ 13—21. Определить число всех столкновений между молекулами, которые произойдут в течение 1 сек в $1 см^3$ азота при нормальных условиях.

⊖ 13—22. Средняя длина свободного пробега в азоте равна при нормальных условиях $6 \cdot 10^{-6} см$. Некоторая масса азота перешла от нормальных условий к состоянию, при котором ее

температура равна 300°C . Какова длина свободного пробега в новом состоянии азота, если процесс перехода был: а) изохорическим; б) изобарическим; в) адиабатическим?

⊖ 13—23. Как изменится вязкость двухатомного газа, состояние которого далеко от вакуума, при уменьшении объема в два раза, если процесс перехода был: а) изотермическим; б) изобарическим; в) адиабатическим?

⊖ 13—24. Зная вязкость кислорода (см. таблицу XII), определить длину свободного пробега в нем при нормальных условиях.

⊖ 13—25. Вязкость некоторого газа определяется методом измерения силы трения между пластинами, отделенными друг от друга слоем этого газа толщиной $0,9\text{ мм}$. При давлении $2,8 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$

вязкость газа оказалась равной $0,80 \cdot 10^{-5} \frac{\text{н} \cdot \text{сек}}{\text{м}^2}$, при давлении

$10,9 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$ и давлении $16,0 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$ вязкость равна $1,9 \cdot 10^{-5} \frac{\text{н} \cdot \text{сек}}{\text{м}^2}$.

Какова приблизительно длина свободного пробега молекул этого газа при нормальном давлении?

○ 13—26. Сколько молекул ударяется за 1 сек в 1 см^2 стенки сосуда, в котором находится кислород при давлении 750 мм рт. ст. и температуре 20°C ?

⊖ 13—27. Как изменится число ударов двухатомного газа в 1 см^2 стенки в сосуде за 1 сек , если объем газа адиабатно увеличится в $\gamma = 2$ раза?

⊖ 13—28. Предполагая, что каждая молекула кислорода, попавшая на поверхность металлического волоска в калильной лампе, адсорбируется, рассчитать, сколько времени требуется для покрытия волоска мономолекулярным слоем кислорода, если давление его равно $p = 1 \cdot 10^{-5}\text{ мм рт. ст.}$, а температура $t = 27^{\circ}\text{C}$. Принять, что каждая молекула кислорода занимает на поверхности волоска площадь $S = 9 \cdot 10^{-16}\text{ см}^2$.

§ 14. Реальные газы. Критическое состояние

1) Уравнение Ван-дер-Ваальса

$$\left(p + \frac{a}{V_{\mu}^2}\right)(V_{\mu} - b) = RT,$$

где p — давление, V_{μ} — объем 1 моля веществ, R — универсальная газовая постоянная, a и b — постоянные Ван-дер-Ваальса (см. таблицу XVIII). В случае, если газ не уплотнен и имеет место соотношение $V_{\mu} \gg b$, уравнению Ван-дер-Ваальса можно придать вид:

$$pV_{\mu} = RT + \frac{RTb - a}{V_{\mu}}.$$

2) Соотношение между постоянными Ван-дер-Ваальса и параметрами критического состояния (V_k — критический объем 1 моля газа)

$$R = \frac{8p_k V_k}{3T_k}; \quad a = 3p_k V_k^2; \quad b = \frac{V_k}{3}.$$

○ 14—1. Каков физический смысл выражения $\left(p + \frac{a}{V_\mu^2}\right)$?

○ 14—2. 1 моль аргона имеет при температуре 300°K объем 1 л. Вычислить давление аргона: а) считая, что он обладает свойствами идеального газа; б) принимая во внимание поправку Ван-дер-Ваальса на давление, но пренебрегая поправкой на объем; в) принимая во внимание поправку на объем, но пренебрегая поправкой на давление; г) принимая во внимание обе поправки Ван-дер-Ваальса.

○ 14—3. Вычислить, пользуясь формулой Ван-дер-Ваальса, давление массы $m = 1,1 \text{ кг}$ углекислого газа, заключенного в баллоне емкостью $V = 20 \text{ л}$, при температуре $t = 13^\circ \text{C}$. Сравнить результат с давлением идеального газа при тех же условиях.

○ 14—4. Вычислить температуру, при которой давление кислорода, имеющего плотность $100 \frac{\text{г}}{\text{л}}$, равно 70 ат . Сравнить с идеальным газом.

○ 14—5. В баллоне емкостью 20 л находится 80 молей некоторого газа. При 14°C давление газа равно 90 ат ; при 63°C давление газа равно 109 ат . Вычислить постоянные Ван-дер-Ваальса для этого газа.

○ 14—6. Рассмотреть, пользуясь формулой Ван-дер-Ваальса, изотермические процессы в газах такой плотности, что условие $V_\mu \gg b$ является выполненным.

а) При какой температуре газ более сжимаем, чем идеальный, при какой менее сжимаем?

б) При какой температуре изотермические процессы в газе протекают так же, как в идеальном газе? Найти эти температуры для углекислого газа и для водорода.

○ 14—7. Газ расширяется при постоянной температуре (27°C), причем объем 1 моля газа увеличивается от 1,5 до 15 л. Принимая, что условие $V_\mu \gg b$ выполняется, определить, пользуясь формулой Ван-дер-Ваальса, работу при расширении 1 моля газа. Сделать расчеты: а) для азота; б) для водорода.

○ 14—8. В опыте Джоуля — Томсона измеряется изменение температуры газа при его дросселировании (течении газа в условиях тепловой изоляции и значительном перепаде давления, например сквозь ватный тампон, рис. 14—1). В курсах физики доказывается, что при дросселировании газа имеет место соотношение

$$p_1 V_1 + U_1 = p_2 V_2 + U_2,$$

где U — внутренняя энергия газа.

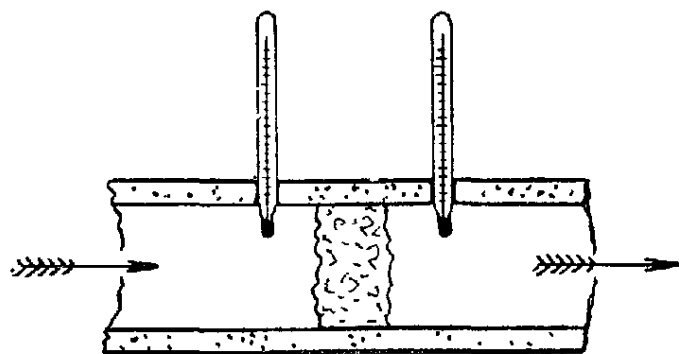


Рис. 14—1.

а) Пользуясь указанным соотношением, показать, что в случае идеального газа температура газа при дросселировании остается постоянной.

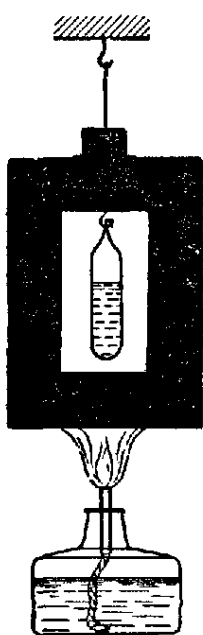
б) Сделать, пользуясь формулой Ван-дер-Ваальса, приближенный подсчет изменения температуры: 1) углекислого газа, 2) водорода (при дросселировании от давления $p_1 = 2 \text{ ат}$ до давления $p_2 = 1 \text{ ат}$ при начальной температуре 17°С). Принять, что при этих условиях $V_\mu \gg b$ и изменение внутренней энергии при дросселировании мало (меняется только соотношение между кинетической энергией теплового движения молекул и потенциальной энергией их взаимодействия).

○ 14—9. Найти критическую плотность воды.

⊖ 14—10. Найти критическое давление и температуру аргона.

⊖ 14—11. Найти постоянные a и b уравнения Ван-дер-Ваальса для углекислого газа по его критическим давлению $p_k = 73 \text{ ат}$ и температуре $t_k = 31,1^\circ \text{С}$.

⊕ 14—12. Для демонстрации критического состояния употребляют прибор русского физика Авенариуса (рис. 14—2), в котором производится нагревание запаянной трубки с этиловым эфиром.



а) Какую часть объема трубки должен занимать эфир при температуре 20°С , если мы хотим, чтобы при достижении критической температуры весь объем трубки был заполнен эфиром в критическом состоянии? Молекулярный вес эфира равен $74 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$. Критические температура и давление эфира равны $193,8^\circ \text{С}$ и $35,6 \text{ ат}$.

б) Что будет происходить при повышении температуры, если объем трубки больше или меньше критического объема эфира, заключенного в трубке?

в) Начертить примерные графики p, t для случаев, когда объем трубки равен, больше и меньше критического объема эфира в трубке. Для упрощения чертежа принять, что при температурах выше критической эфир имеет свойства идеального газа.

Рис. 14—2.

⊕ 14—13. В замкнутом сосуде, содержащем некоторое вещество в виде жидкости, поддерживается постоянное давление (это схематически показано на рис. 14—3). Температура постепенно повышается от значения меньше критической до значения больше критической. Начертить примерные графики зависимости объема вещества от температуры для случаев: а) давление равно критическому; б) давление больше критического; в) давление меньше критического. Для упрощения чертежа принять, что при температурах выше критической вещество имеет свойства идеального газа.



Рис. 14—3.

⊖ 14—14. При приближении вещества к критическому состоянию теплоемкость при постоянном давлении беспредельно растет. Объяснить это.

§ 15. Молекулярные силы в жидкостях

1) Если две жидкие (или жидкая и газообразная) среды граничат по кривой поверхности с главными радиусами кривизны R_1 и R_2 , то при равновесии имеет место разность давлений в этих средах

$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

где σ — поверхностное натяжение.

2) Работа при изотермическом увеличении поверхности жидкости на величину ΔS

$$A = \sigma \cdot \Delta S.$$

3) Высота поднятия жидкости в капиллярных трубках

$$h = \frac{2\sigma \cos \vartheta}{rgD}.$$

4) Краевой угол ϑ для случая смачивания во всех задачах предполагается равным нулю; краевой угол для ртути 138° .

5) Температура во всех задачах предполагается равной 20°C (кроме задачи 15—1).

⊙ 15—1. Какова плотность воды в капельке, радиус которой равен 10^{-6} см при $t = 4^\circ \text{C}$?

⊖ 15—2. Из крана вытекает вертикальная струя воды. Диаметр струи на протяжении 3 см уменьшается с 3 до 2 мм (рис. 15—1). Какой объем воды протекает за 1 сек?

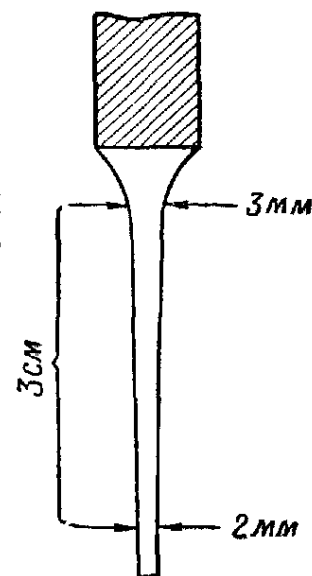


Рис. 15—1.

У к а з а н и е. При расчете разности давлений воды и воздуха для некоторого уровня принимать поверхность струи за цилиндрическую.

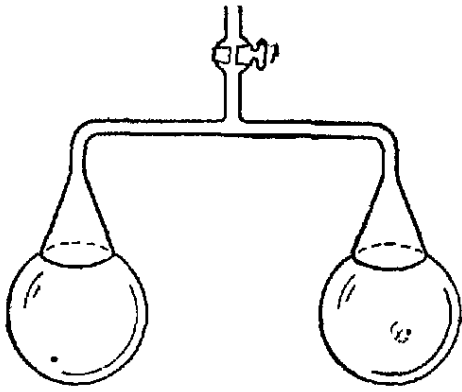


Рис. 15—2.

15—3. а) Какую работу надо произвести, чтобы выдуть мыльный пузырь диаметром $d = 14 \text{ см}$, если процесс раздувания пузыря изотермический? б) Чему равно избыточное давление внутри этого пузыря?

⊖ 15—4. Поверхностное натяжение на границе вода — масло можно принять равным $\sigma = 18 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2}$. Какую работу надо произвести, чтобы каплю масла с массой $m = 1 \text{ г}$ раздробить внутри воды на капельки диаметром $d = 2 \cdot 10^{-4} \text{ см}$, если процесс дробления происходит изотермически? Плотность масла $D = 0,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

⊕ 15—5. На двух одинаковых воронках выдуты два мыльных пузыря. Кран K закрыт (рис. 15—2).

а) Показать, что при одинаковых диаметрах пузырей имеет место равновесие, причем это равновесие является устойчивым в случае, если каждый из пузырей имеет форму полусферы или меньше ее, и неустойчивым, если пузыри имеют форму большей части сферы.

б) Пусть диаметры отверстий воронок равны 4 см , и на них выдуты пузыри с диаметрами по 5 см . Воздух из одного пузыря будет перетекать в другой пузырь, пока радиусы кривизны пузырей не сделаются снова равными. Принимая, что плотность воздуха при перетекании из одного пузыря в другой не меняется, определить диаметр большего пузыря.

Примечание. При решении принять во внимание, что объем сегмента шара вычисляется по формуле

$$V = \frac{\pi}{24} [2d^3 \pm \sqrt{d^2 - a^2} (2d^2 + a^2)],$$

где d — диаметр шара, a — диаметр основания сегмента. Знак «+» ставится в том случае, если центр шара находится внутри сегмента, знак «—» в противоположном случае.

⊖ 15—6. Капля воды равномерно падает в воздухе. На сколько радиус кривизны в нижней точке ее поверхности отличается от радиуса кривизны в верхней точке ее поверхности, если расстояние между этими точками равно $d = 2 \text{ мм}$?

⊙ 15—7. В проводочное сито, все проводочки которого покрыты тонким слоем парафина, можно налить воду. Каким образом удерживается вода в сите? Почему сито протекает, если коснуться его снизу пальцем?

⊖ 15—8. Круглая стеклянная пластинка прикасается к воде (рис. 15—3). Ее тянут кверху посредством пружины L .

а) Нарисовать несколько последовательных форм поверхности воды, получающихся при движении пластинки вверх. В ка-

кой момент пружинка натянута в наибольшей мере? Что происходит, если движение пластинки вверх продолжается после этого момента?

б) Принимая для простоты расчета, что радиус кривизны R (рис. 15—3) на высоте $\frac{h}{2}$ равен $\frac{h}{2}$, и пренебрегая второй кривизной боковой поверхности воды под пластинкой, рассчитать силу, с которой натянута пружинка L при отрыве от воды пластинки с площадью сечения $S = 20 \text{ см}^2$.

⊖ 15—9. Капиллярная трубка A (рис. 15—4) соединена резиновой трубкой B с широкой трубкой C . Трубку C медленно поднимают вверх, причем жидкость в трубке A доходит до верхнего края, а затем выливается.

а) Нарисовать несколько последовательных положений уровня жидкости в трубке A при подъеме трубки C (в случаях смачивания и несмачивания). В какой момент разность уровней в трубках C и A будет наиболее велика?

б) Какова наибольшая разность уровней воды в трубках A и C , если трубки стеклянные и если наружный диаметр трубки A равен $0,7 \text{ мм}$.

в) Произвести тот же расчет для ртути, если диаметр внутреннего канала трубки A равен $0,55 \text{ мм}$.

⊖ 15—10. Сквозь стеклянный капилляр, погруженный в жидкость, продувается воздух.

а) Нарисовать несколько последовательных положений уровня в капилляре и образования пузырька (в случаях смачивания и несмачивания). В какой момент давление в капилляре наибольшее?

б) Вычислить разницу между наибольшим давлением в капилляре и давлением атмосферы в случае, если внутренний канал капилляра имеет диаметр $d_1 = 0,8 \text{ мм}$; жидкость — скипидар, смачивающий стекло; глубина погружения капилляра $h_1 = 5 \text{ см}$.

в) Провести тот же расчет для ртути (не смачивает стекло):

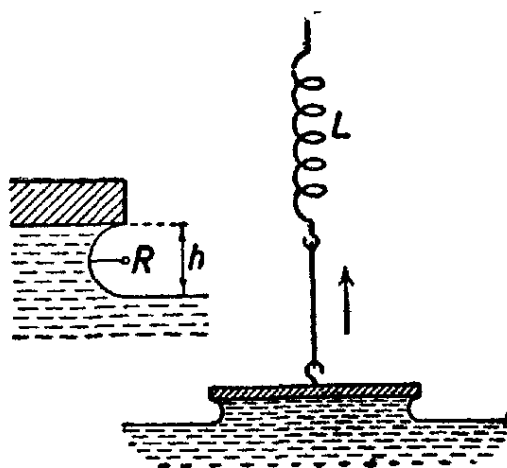


Рис. 15—3.

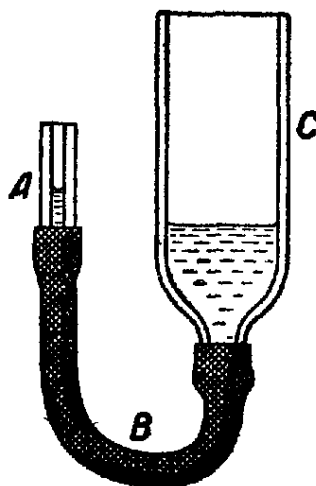


Рис. 15—4.

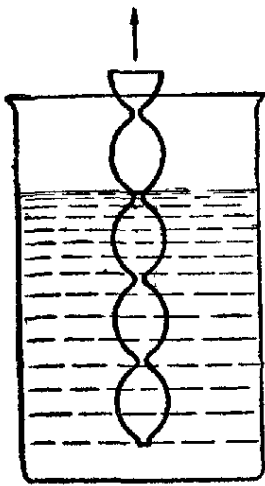


Рис. 15—5.

Внешний диаметр капилляра $d_2 = 1,2$ мм. Глубина погружения капилляра в ртуть $h_2 = 2$ см.

○ 15—11. В спирт опущена на ничтожную глубину трубка с диаметром внутреннего канала $d = 0,5$ мм. Каков вес P вошедшего в нее спирта?

○ 15—12. Стекло́нная трубка имеет форму, показанную на рисунке 15—5. Длина каждого звена 10 см, а внутренний радиус в самой узкой части равен 0,1 мм. Трубку опускают в вертикальном положении в сосуд с водой, а затем медленно, без толчков, поднимают. Как будет перемещаться уровень воды в трубке?

○ 15—13. Две стеклянные трубки, внутренние диаметры которых равны 0,2 мм и 0,3 мм, соединены внизу резиновой трубкой и заполнены водой. При каком условии уровень воды в трубках одинаков?

⊕ 15—14. В стеклянный капилляр с внутренним каналом диаметром $d_1 = 2$ мм вставлена стеклянная палочка диаметром $d_2 = 1,5$ мм так, что просвет в канале всюду одинаков. Определить высоту капиллярного поднятия воды в канале.

○ 15—15. Когда жидкость поднимается по капиллярной трубке на высоту h , то сила поверхностного натяжения $F = 2\pi r\sigma$ производит работу $Fh = \frac{4\pi\sigma^2}{Dg}$. Между тем потенциальная энер-

гия столбика жидкости равна $\pi r^2 h D g \cdot \frac{h}{2} = \frac{2\pi\sigma^2}{Dg}$ ($\pi r^2 h D g$ — вес

поднятой жидкости; $\frac{h}{2}$ — высота ее центра тяжести). Следовательно, приращение потенциальной энергии равно половине работы капиллярной силы. На что истрачена другая половина?

⊕ 15—16. Внутри горизонтальной трубки, наружный и внутренний диаметры которой равны 2,5 мм и 0,3 мм, находится столбик воды. Трубку приводят в вертикальное положение, причем часть воды нависает снизу в виде капельки, которую можно принять за сегмент сферы с диаметром 3 мм (рис. 15—6). Какова длина столбика воды при горизонтальном положении трубки? (При решении принять во внимание примечание к задаче 15—5.)

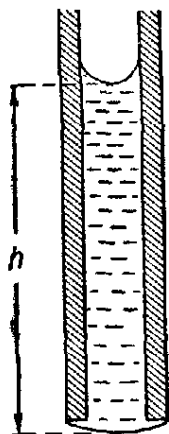


Рис. 15—6.

○ 15—17. Стекло́нная капиллярная трубка, диаметр внутреннего канала которой $d = 0,2$ мм, а длина $h_0 = 20$ см, опускается в вертикальном положении в воду. Верхний конец трубки запаян. Какой отрезок x трубки должен находиться под водой, чтобы уровень воды в капилляре и вне его был одинаков? Давление воздуха $p = 750$ мм рт. ст.

⊖ 15—18. а) Стекло́нная капилля́рная трубка, диаметр внутреннего канала которой 1,5 мм, а длина 20 см, опускается в горизонтальном положении в ртуть так, что имевшийся в ней воздух полностью остается в ней. Какая будет длина l_1 столбика воздуха в трубке, когда она будет опущена на глубину 10 см? Давление воздуха нормальное.

б) Решить тот же вопрос для глубины погружения 0,5 см.

⊖ 15—19. В изогнутой U-образной капиллярной трубке налиты две несмешивающиеся жидкости (например, ртуть и вода, рис. 15—7). Справедливо ли в этом случае соотношение

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{D_2}{D_1}?$$

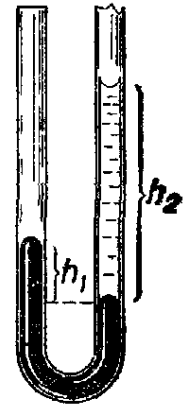


Рис. 15—7.

§ 16. Свойства паров. Влажность воздуха

1) Таблицы XX и XXI.

2) При вычислениях, касающихся давления и плотности насыщающих паров, следует при малых плотностях паров пользоваться характеристическим уравнением для идеальных газов, а при больших плотностях паров — уравнением Ван-дер-Ваальса (см. введения к § 11 и 14).

3) Полной теплотой пара называется количество теплоты, требующееся для превращения 1 кг воды при 0° С в пар данной температуры.

4) Внешняя теплота парообразования

$$r = p(v_1 - v_2),$$

где v_1 и v_2 — удельные объемы пара и жидкости

5) Давление паров вблизи сферической поверхности жидкости

$$p = p_0 + \frac{2D_1\sigma}{D_2r},$$

где p_0 — давление паров вблизи плоской поверхности; σ — поверхностное натяжение; D_1 и D_2 — плотности пара и жидкости; r — радиус сферы.

6) При решении задач этого параграфа можно полагать при всех температурах удельную теплоемкость воды равной $1 \frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}} = 4185 \frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ и удельный объем воды $1 \frac{\text{см}^3}{\text{г}}$, пренебрегая небольшими изменениями их при повышении температуры.

○ 16—1. Громадная часть поверхности Земли покрыта водной оболочкой. Почему, несмотря на это, атмосфера не насыщена водяными парами?

○ 16—2. Какого внутреннего диаметра следует сделать паропровод от парового котла к двигателю, если по паропроводу

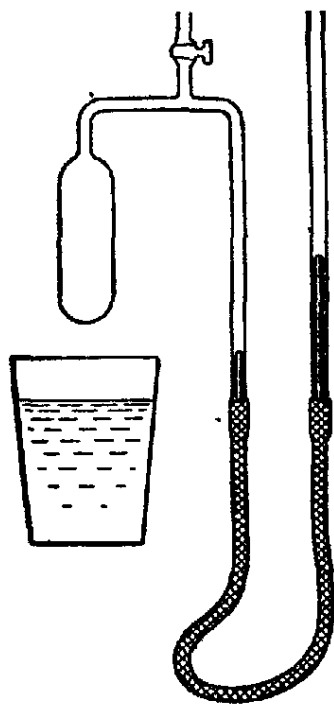


Рис 16—1.

должно в течение часа проходить 400 кг пара при давлении $10 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ и при температуре 200°C и если скорость движения пара не должна превышать $40 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$?

⊖ 16—3. Предположим, что манометр, описанный в задаче 11—4, присоединен к резервуару, в котором находятся остатки воздуха и насыщающие пары ртути. Каково давление в резервуаре при условиях задачи 11—4, если отсчет по манометру производился при температуре 20°C , которой соответствует давление насыщающих паров ртути, равное $0,0013 \text{ мм рт. ст.}$?

○ 16—4. В комнате объемом 120 м^3 при температуре 15°C относительная влажность равна 60% . Определить массу водяных паров в воздухе комнаты.

○ 16—5. Какова плотность воздуха при 29°C при относительной влажности 70% и нормальном давлении?

⊖ 16—6. В замкнутом сосуде емкостью 2 л находятся 1 г воды и воздух. При температуре 14°C давление в сосуде равно 760 мм рт. ст. Каково будет давление при температурах: а) 93°C ? б) 100°C ?

При расчете пренебречь изменением объема воздуха вследствие испарения воды.

⊖ 16—7. Резервуар газового термометра (рис. 16—1) наполнен воздухом. Давление в резервуаре газа при 0°C равно 757 мм рт. ст. , а при помещении в сосуд с водой равно 840 мм рт. ст. Рассчитать температуру воды: а) предполагая, что воздух сухой; б) предполагая, что воздух при 15°C имеет 60% влажности.

⊖ 16—8. В замкнутом прочном металлическом сосуде емкостью 1000 см^3 находится 1 г воды и пара.

а) Сколько в сосуде пара и сколько воды, если температура $17,2^\circ \text{C}$?

б) При какой температуре сосуд будет наполнен одним насыщающим паром?

в) Сколько теплоты затрачивается при нагревании воды и пара от $17,2^\circ \text{C}$ до найденной температуры?

⊖ 16—9. В замкнутый сосуд емкостью 6 л , содержащий насыщающий пар при давлении $2 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$, вбрызгивается некоторое количество воды при 10°C . Давление пара в сосуде понижается до $1 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$. Какое количество воды введено в сосуд?

○ 16—10. Определить внешнюю теплоту парообразования воды при давлении: а) $0,02 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ и б) $10 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$.

О 16—11. Определить изменение внутренней энергии при превращении в пар 4 г спирта во время кипения при нормальном давлении (78°C). Удельный объем паров спирта $607 \frac{\text{см}^3}{\text{г}}$. Теплота кипения спирта $206 \frac{\text{кал}}{\text{г}}$.

Θ 16—12. В воде на глубине 35 см находится пузырек воздуха диаметром 0,1 мм. Давление атмосферы равно 750 мм рт. ст. Температура воды 21°C . Каково давление воздуха внутри пузырька?

Θ 16—13. При отсутствии пузырьков воздуха в жидкости ее можно перегреть несколько выше точки кипения. Предположим, что при нормальном атмосферном давлении вода перегрета до 105°C . Высота уровня воды относительно дна равна 20 см. Определить диаметр пузырька пара вблизи дна, при котором давление пара в пузырьке и давление жидкости уравниваются. Является ли это равновесие устойчивым?

О 16—14. Каково давление водяных паров вблизи капельки воды, радиус которой $5 \cdot 10^{-6}$ см, при температуре 10°C ?

Θ 16—15. В 1 м^3 охлаждающегося воздуха находится 8,3 г водяных паров.

а) При какой температуре начнется конденсация, если центрами конденсации являются пылинки, которые можно принять за шарики с диаметром 10^{-5} см?

б) При какой температуре начнется конденсация в пористом материале, смачиваемом водой, если диаметр каналов в нем равен 10^{-5} см?

Θ 16—16. Принимают, что $\gamma = 0,036$ всех молекул водяного пара, попавших на поверхность воды, задерживаются ею. Подсчитать массу всех молекул, вылетающих в течение 1 сек с 1 см^2 воды при 100°C в находящийся над ней насыщающий водяной пар.

§ 17. Свойства растворов

1) Осмотическое давление m граммов вещества с молекулярным весом μ , растворенных в объеме V раствора:

а) $\Pi = \frac{mRT}{\mu V}$ для недиссоциирующих веществ;

б) $\Pi = [1 + \alpha(k - 1)] \frac{mRT}{\mu V}$ для диссоциирующих веществ, где α — доля диссоциированного вещества; k — число ионов, получающихся при диссоциации одной молекулы.

2) Точка кипения раствора, содержащего 1 г вещества с молекулярным весом μ на 100 см^3 растворителя, выше точки кипения чистого растворителя на

$$\Theta = \frac{C}{\mu},$$

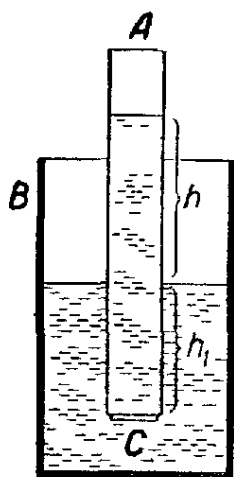


Рис. 17—1.

где C — постоянная для данного растворителя величина (для не диссоциирующих в растворе веществ).

3) Количество газа, растворенного в жидкости, пропорционально парциальному давлению этого газа над жидкостью.

○ 17—1. Каково осмотическое давление 8 г нафталина ($C_{10}H_8$), растворенных в 110 г бензола, при температуре $27^\circ C$? (Нафталин, растворяясь в бензоле, не диссоциирует.)

○ 17—2. В 500 см^3 воды растворено 1,5 г хлористого натрия. Каково осмотическое давление в растворе при $0^\circ C$, если считать, что хлористый натрий полностью диссоциирован?

○ 17—3. Какое количество m_1 хлористого натрия ($NaCl$) надо растворить в 100 см^3 воды, чтобы получить раствор с таким же осмотическим давлением, какое имеет раствор $m_2 = 0,4$ г хлорной меди ($CuCl_2$), растворенные в таком же объеме воды и при той же температуре? Считать, что в обоих случаях имеется полная диссоциация растворенного вещества.

○ 17—4. Цилиндрическая трубка A (рис. 17—1) с площадью сечения 2 см^2 содержит раствор сахара ($C_{12}H_{22}O_{11}$). Снизу она закрыта перепонкой C , пропускающей чистую воду, но не пропускающей сахара (перепонка из железистосинеродистой меди). Трубка A опущена в сосуд B с чистой водой, причем перепонка C находится на высоте $h_1 = 3\text{ см}$ ниже уровня воды в сосуде B . При равновесии уровень раствора в трубке A на высоте $h = 10\text{ см}$ выше уровня воды в сосуде B . Температура $13^\circ C$. Плотность раствора мало отличается от плотности воды. Сколько сахара растворено в трубке A ?

○ 17—5. Предположим, что сосуд B с трубкой A (рис. 17—1) находится в пространстве, наполненном паром растворителя. Показать, что давление пара над слабым раствором меньше давления пара над чистым растворителем на величину

$$\Delta p = P \frac{D_1}{D_2} = p \frac{n_b}{n_p},$$

где D_1 — средняя плотность пара между уровнями в трубке и в сосуде; D_2 — плотность раствора; p — давление пара над чистым растворителем; n_b и n_p — концентрации (числа в 1 см^3) молекул растворенного вещества и растворителя.

○ 17—6. В 500 см^3 воды растворено 15 г сахара. Каково давление паров над раствором, если температура раствора $100^\circ C$? Плотность раствора принять равной $1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

○ 17—7. При нормальном атмосферном давлении раствор хлористого натрия в воде кипит при температуре выше $100^\circ C$. Какова температура паров над раствором?

⊖ 17—8. а) Точка кипения воды вблизи 100°C при повышении давления на 3 мм рт. ст. повышается на $0,11^\circ\text{C}$. Определить для воды постоянную C .

б) Каков молекулярный вес вещества, если раствор 10 г этого вещества в 100 см^3 воды кипит при температуре на $0,18^\circ\text{C}$ выше, чем чистая вода? Вещество при растворении не диссоциирует.

⊖ 17—9. На сколько точка кипения раствора $1,5\text{ г}$ хлористого натрия в 200 см^3 воды выше точки кипения чистой воды? Принять, что хлористый натрий полностью диссоциирован.

○ 17—10. При температуре 20°C один литр воды поглощает 28 см^3 кислорода. Какова плотность кислорода в воде, находящейся в соприкосновении с атмосферным воздухом при нормальном давлении? Принять, что вес кислорода составляет 23% веса воздуха.

⊖ 17—11. Колба наполовину заполнена водой, освобожденной от воздуха кипячением, наполовину азотом при давлении 760 мм рт. ст. Какое давление установится в колбе по достижении равновесия? Температура постоянна и равна 20°C . Известно, что при этой температуре 1 л воды поглощает 14 см^3 азота.

§ 18. Второй принцип термодинамики

1) Изменение энтропии массы m вещества, теплоемкость которого c является постоянной величиной, при нагревании от T_1 до T_2

$$\Delta S = mc \ln \frac{T_2}{T_1}.$$

2) Изменение энтропии при изменении агрегатного состояния

$$\Delta S = \frac{\lambda}{T} m; \quad \Delta S = \frac{r}{T} m,$$

где λ и r — удельные теплоты плавления и испарения.

3) Изменение энтропии при процессах в идеальных газах

$$\Delta S = m \left(c_v \ln \frac{p_2}{p_1} + c_p \ln \frac{V_2}{V_1} \right).$$

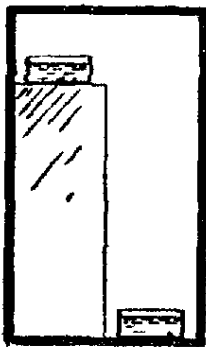
4) Уравнение Гиббса — Гельмгольца

$$F = U + T \cdot \frac{dF}{dT},$$

где F и U — свободная и внутренняя энергии.

5) Связь между изменением давления p , изменением температуры T перехода вещества из одного агрегатного состояния в другое (v_1 и v_2 — удельные объемы вещества в двух состояниях, r — удельная теплота перехода его из первого состояния во второе)

$$\frac{\Delta T}{\Delta p} = \frac{(v_2 - v_1)T}{r}.$$



6) Изменение поверхностного натяжения с температурой

$$\frac{\Delta\sigma}{\Delta T} = - \frac{\gamma}{T},$$

где γ — количество теплоты, получаемой поверхностью жидкости извне при увеличении поверхности на 1 см^2 .

7) Соотношение приведенных теплот и работ для цикла Карно

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0,$$

$$A = Q_1 + Q_2,$$

где T_1 и T_2 — температуры горячего и холодного тел; количества теплоты Q_1 и Q_2 считаются положительными, если происходит передача количества теплоты от окружающих тел к рабочему телу; работа считается положительной в случае, если машина работает как двигатель.

8) Соотношение Больцмана:

$$n_2 = n_1 e^{-\frac{A}{kT}},$$

где n_1 и n_2 — концентрации частиц, беспорядочно движущихся в объемах 1 и 2; A — работа перехода частицы из объема 1 в объем 2; k — постоянная Больцмана.

○ 18—1. В замкнутом пространстве помещены один выше другого два открытых сосуда с одной и той же жидкостью (рис. 18—1). Если температуры жидкостей в начальный момент одинаковы, то вследствие испарения жидкости в верхнем сосуде и конденсации паров в нижнем жидкость в нижнем сосуде будет нагреваться, а в верхнем охлаждаться. Противоречит ли это второму принципу термодинамики?

○ 18—2. Определить изменение энтропии при нагревании 30 см^3 железа от 20°C до 100°C .

○ 18—3. Найти изменение энтропии при охлаждении 2 г воздуха от 40°C до 0°C : а) при постоянном объеме; б) при постоянном давлении.

○ 18—4. Определить изменение энтропии при процессах, описанных в задачах 12—10 и 12—15. Масса азота равна 6 г .

○ 18—5. Определить изменение энтропии 1 г водорода в следующих случаях: а) газ сначала адиабатически сжимается до вдвое меньшего объема, затем изохорически охлаждается до начальной температуры; б) газ сначала адиабатически сжимается до вдвое меньшего объема, затем изотермически расширяется до начального объема.

○ 18—6. 2 кг воды нагреваются от 10°C до 100°C и при этой температуре обращаются в пар. Определить изменение энтропии.

⊖ 18—7. Показать, что энтропия увеличивается при следующих процессах:

а) Горячая вода отдает теплоту такой же массе холодной воды, и температуры их уравниваются.

б) Два одинаковых сосуда, изолированных от потери теплоты в окружающее пространство и содержащих одинаковые массы идеального газа при разных давлениях, соединены трубкой с краном. Кран открывается, и состояния газа в обоих сосудах становятся одинаковыми.

○ 18—8. 200 г железа при 100°C опущены в калориметр, в котором находится 300 г воды при 12°C . Как меняется энтропия системы при уравнивании температур?

⊖ 18—9. Смешиваются $V_1 = 5$ л и $V_2 = 3$ л двух разнородных, химически не реагирующих газов, имеющих одинаковую температуру $T = 300^\circ\text{K}$ и давление $p = 1$ ат. Определить происходящее при этом изменение энтропии.

⊖ 18—10. В калориметр, теплоемкостью которого можно пренебречь, содержащий 250 г воды при 23°C , бросают 27 г льда при 0°C . Определить изменение энтропии, происшедшее к моменту окончания таяния льда.

⊕ 18—11. Пользуясь таблицей XXI, вычислить удельную теплоемкость водяного пара при постоянном объеме в интервале температур от $59,7^\circ\text{C}$ до 93°C .

⊕ 18—12. Насыщающий водяной пар при давлении $14 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ адиабатно расширяется до давления $0,2 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$. Какой процент пара конденсируется при этом?

○ 18—13. Как меняется точка плавления льда при увеличении давления на 1 ат?

○ 18—14. Вблизи 100°C точка кипения воды повышается на $0,11^\circ\text{C}$ при изменении давления на 3 мм рт. ст. Определить теплоту парообразования воды.

⊖ 18—15. В нижнем из сосудов, упомянутых в задаче 18—1, находится вода при температуре $17,2^\circ\text{C}$. Определить разность температур между верхним и нижним сосудами, если разность уровней в сосудах $h = 1$ м. Теплообменом между сосудами пренебречь.

⊖ 18—16. Определить изменение энергии некоторого количества воды, имеющей температуру 20°C , при увеличении ее поверхности на 1 см^2 .

⊖ 18—17. Предполагая, что изменение энергии воды при изменении ее поверхности на 1 см^2 остается одинаковым вплоть до такого распыления жидкости, при котором каждая капелька будет состоять только из одной молекулы, то есть получатся пары,

рассчитать изменение энергии 1 г воды при ее превращении в пар при 20°C .

○ 18—18. Температура пара, поступающего из котла в паровую машину, равна $t_1 = 210^\circ \text{C}$. Температура в конденсаторе $t_2 = 40^\circ \text{C}$. Какова теоретически максимальная работа (в килоджоулях), которую можно получить при затрате 1 ккал на образование пара?

○ 18—19. Каково максимальное количество теплоты, которое может быть унесено из холодильной камеры при помощи холодильной машины при затрате $A = 1$ кдж работы, если температура в холодильной камере $t_2 = -10^\circ \text{C}$, а температура охлаждающей воды $t_1 = 11^\circ \text{C}$?

⊕ 18—20. Динамическим отоплением называется следующая система отопления. За счет энергии, выделяющейся при сжигании топлива, работает тепловой двигатель, ведущий холодильную машину. Холодильная машина отнимает теплоту от природного резервуара воды (например, от грунтовой воды) и отдает ее воде в отопительной системе. Одновременно вода в отопительной системе служит охладителем теплового двигателя. Определить теоретическое (без учета потерь) количество теплоты, которое отдает вода в калориферах отопления на 1 кг сожженного топлива при следующих условиях: теплотворность топлива $H = 5000 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$; температура в котле паровой машины $t_1 = 210^\circ \text{C}$; температура грунтовой воды $t_2 = 15^\circ \text{C}$; температура воды в отопительной системе $t_3 = 60^\circ \text{C}$.

○ 18—21. Исходя из положения, что вероятность того, что n молекул газа, имеющих возможность попасть в любую точку объема V_1 , находятся в определенный момент в части этого объема V_2 , равна $\omega = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n$, показать, что изменение энтропии идеального газа при изотермическом расширении от V_2 до V_1 равно $\Delta S = k \ln \omega$, где k — постоянная Больцмана.

○ 18—22. В микроскоп сквозь диафрагму наблюдают броуновское движение частиц гуммигута, взвешенных в воде, при температуре 17°C . Оказалось, что средние числа частиц, видимые сквозь диафрагму на уровнях, отличающихся между собой на $h = 5 \mu$, равны $n_1 = 2,0$ и $n_2 = 3,2$. Считая объемы всех частиц одинаковыми, определить их.

§ 19. Передача теплоты

1) Количество теплоты, передаваемое слоем толщиной dx и поверхностью S за время τ

$$Q = \lambda \frac{dT}{dx} S \tau,$$

или при постоянстве градиента $\frac{dT}{dx}$.

$$Q = \lambda \frac{T_1 - T_2}{x} S \tau,$$

где λ — коэффициент теплопроводности вещества слоя.

2) Теплоотдача от одной среды в другую, например от железной стенки котла воде в нем,

$$Q = \alpha (T_1 - T_2) S \tau,$$

где α — коэффициент теплоотдачи.

○ 19—1. Наружная поверхность кирпичной стены толщиной 37 см (полтора кирпича) имеет температуру — 15° С, а внутренняя 20° С. Определить количество теплоты, проходящей за сутки сквозь 1 м² стены.

○ 19—2. В алюминиевой кастрюле кипит вода (при 100° С). Определить разность температур нижней и верхней поверхностей дна кастрюли при таких данных: толщина дна 2 мм; площадь дна 200 см²; в кастрюле выкипает за 5 мин 100 г воды. Обменом теплоты сквозь боковые стенки кастрюли и лучеиспусканием пренебречь.

○ 19—3. Между двумя металлическими стенками, имеющими температуры 20° С и 30° С, зажаты сложенные вплотную деревянная пластинка, вырезанная параллельно волокнам, толщиной 3 см, и стеклянная пластинка толщиной 2 см. Пренебрегая небольшим скачком температуры в месте соприкосновения металла, дерева и стекла, определить температуру поверхности соприкосновения стекла и дерева.

○ 19—4. Сложены медная пластинка толщиной 6 мм и железная толщиной 4 мм. Определить коэффициент теплопроводности однородной пластинки (10 мм), проводящей теплоту в такой же степени, как и две данные пластинки.

○ 19—5. Кубик сложен из чередующихся пластинок разной толщины и различной теплопроводности (рис. 19—1). Показать, что теплопроводность кубика в направлении вдоль пластинок (λ_{\parallel}) больше, чем в направлении, перпендикулярном к ним (λ_{\perp}).

○ 19—6. Пространство между двумя горизонтальными плоскими стенками, имеющими различные температуры (нижняя холоднее), заполнено газом. Как отзывается на распределении температур то обстоятельство, что коэффициент теплопроводности газа возрастает с повышением температуры?

○ 19—7. Цилиндрический паропровод окружен асбестовой теплоизолирующей оболочкой. Наружная поверхность оболочки имеет температуру $t_1 = 50^\circ \text{С}$, а внутренняя, прилегающая к паропроводу, $t_2 = 120^\circ \text{С}$. Длина паропровода $l = 65 \text{ м}$; наружный диаметр теплоизолирующей оболочки равен $d_1 = 13 \text{ см}$, внутрен-

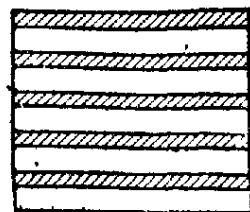


Рис. 19—1.

ний диаметр $d_2 = 7$ см. Определить количество теплоты, отдаваемое паропроводом во внешнее пространство в течение суток.

Θ 19—8. Две трубы одинаковых диаметров и длины окружены двухслойной изоляцией. Коэффициент теплопроводности материала одного слоя в 2 раза больше коэффициента теплопроводности материала другого слоя. Оба слоя имеют толщину, равную половине диаметра трубы. В первой трубе внутренним слоем теплоизоляции является слой с большей теплопроводностью, во второй — наоборот. Как разнятся количества теплоты, проходящие сквозь теплоизоляцию труб за одно и то же время, если перепад температуры между поверхностью трубы и внешней средой в обоих случаях один и тот же?

○ 19—9. Определить количество теплоты, передаваемое поверхностью $0,5$ м² железной печи воздуху в течение часа, если температура воздуха 10°C , а температура печки 200°C .

Θ 19—10. Температура газов в топке парового котла 1000°C , температура воды в котле 180°C . Железные стенки котла имеют толщину 2 см; они покрыты с внутренней стороны слоем накипи толщиной 2 мм и с наружной стороны слоем сажи 1 мм. а) Какое количество теплоты передается за 1 ч через 1 м² поверхности? б) Определить температуры внутренних и наружных поверхностей слоя сажи, железной стенки и слоя накипи. Излучение топочных газов очень мало.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

§ 20. Взаимодействие зарядов

В приводимых ниже формулах рационализированная форма (относящаяся, в частности, к системе СИ) дается в скобках.

1) Закон Кулона: сила взаимодействия F между точечными зарядами q_1 и q_2 , находящимися на расстоянии r в среде с электрической проницаемостью ϵ ,

$$F = \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2} \quad \left(F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon' r^2} \right).$$

2) Напряженность поля

$$E = \frac{F}{q}.$$

3) Связь между напряженностью и индукцией электрического поля

$$D = \epsilon \cdot E.$$

4) Напряженность поля точечного заряда и поля вне равномерно заряженного шара

$$E = \frac{q}{\epsilon r^2} \quad \left(E = \frac{q}{4\pi\epsilon' r^2} \right).$$

5) Напряженность поля заряженной прямой нити и поля вне равномерно заряженного цилиндра на расстоянии r от его оси

$$E = \frac{2\gamma}{\epsilon r} \quad \left(E = \frac{\gamma}{2\pi\epsilon' r} \right),$$

где γ — заряд единицы длины нити или цилиндра.

6) Напряженность поля плоскости, равномерно заряженной с плотностью σ ,

$$E = \frac{2\pi\sigma}{\epsilon} \quad \left(E = \frac{\sigma}{2\epsilon'} \right).$$

7) Напряженность поля в плоском, цилиндрическом и сферическом конденсаторах:

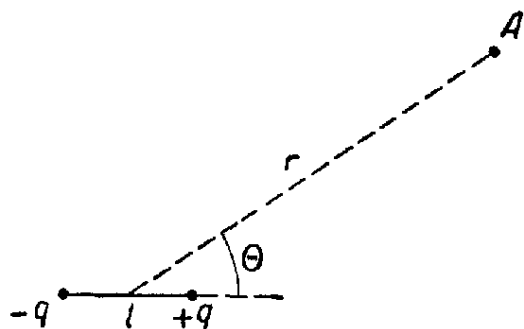


Рис. 20—1.

$$E = \frac{4\pi\sigma}{\epsilon} \quad \left(E = \frac{\sigma}{\epsilon'} \right);$$

$$E = \frac{2\gamma}{\epsilon r} \quad \left(E = \frac{\gamma}{2\pi\epsilon' r} \right);$$

$$E = \frac{q}{\epsilon r^2} \quad \left(E = \frac{q}{4\pi\epsilon' r^2} \right).$$

8) Напряженность поля, создаваемого диполем (рис. 20—1) в точке A на расстоянии $r \gg l$,

$$E = \frac{p}{\epsilon r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2\Theta} \quad \left(E = \frac{p}{4\pi\epsilon' r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2\Theta} \right),$$

где $p = q \cdot l$ — электрический момент диполя.

9) Если направление диполя p образует угол α с напряженностью поля E , то на диполь действует вращающий момент, равный

$$M = Ep \sin \alpha.$$

10) Во всех задачах, в которых природа диэлектрика, окружающего заряды, не указана, а также для воздуха следует принимать $\epsilon = 1$ СГСЭ, а в системе СИ

$$\epsilon' = 8,84 \cdot 10^{-12} \frac{\phi}{\text{м}}.$$

11) При решении задач полезно иметь в виду таблицу V, 4, в которой даны соотношения электрических и магнитных единиц разных систем единиц.

○ 20—1. Два одинаковых заряда, находящихся на маленьких шариках, отстоящих друг от друга на расстоянии 10 см, взаимодействуют в воздухе с силой $5 \cdot 10^{-4}$ н. Определить величину зарядов.

○ 20—2. На двух одинаковых каплях воды находится по одному лишнему электрону, причем сила электрического отталкивания капелек уравнивает силу их взаимного тяготения. Каковы радиусы капелек?

○ 20—3. Два маленьких проводящих шарика подвешены на длинных непроводящих нитях к одному крючку. Шарiki заряжены одинаковыми зарядами и находятся на расстоянии 5 см друг от друга. Что произойдет после того, как один из шариков разрядить?

○ 20—4. Два заряда в вакууме взаимодействуют с такой же силой на расстоянии 11 см, как в скипидаре на расстоянии 7,4 см. Определить электрическую проницаемость скипидара.

○ 20—5. Два заряженных шарика, подвешенных на нитях одинаковой длины, опускаются в керосин. Какова должна быть

плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и в керосине был один и тот же?

⊖ 20—6. Электрон движется в вакууме в поле напряженностью $10 \frac{в}{см}$, направленном вертикально вниз. а) Где вблизи электрона напряженность поля равна нулю? б) Скорость электрона в верхней точке его траектории равна $2 \cdot 10^8 \frac{см}{сек}$. Каков радиус кривизны траектории в этой точке?

⊖ 20—7. Определить положение точки, в которой напряженность равна нулю вблизи двух неодинаковых зарядов q_1 и q_2 , находящихся на расстоянии l . Рассмотреть случаи: а) одноименных зарядов; б) разноименных зарядов.

○ 20—8. Определить напряженность поля в центре шестиугольника со стороной a , по вершинам которого расположены: а) шесть равных одноименных зарядов q ; б) три положительных и три отрицательных равных заряда.

⊖ 20—9. Принимая протон и электрон, из которых состоит атом водорода, за точечные заряды, находящиеся на расстоянии $5 \cdot 10^{-9} см$, найти напряженность поля в точках B и C , отстоящих на таком же расстоянии от протона, как и электрон, и расположенных, как показано на рисунке 20—2.

⊖ 20—10. Молекулу воды можно рассматривать как диполь, электрический момент которого равен $1,85 \cdot 10^{-18} СГСЭ$.

а) Принимая, что этот диполь составлен положительным и отрицательным зарядами, равными заряду электрона, найти длину диполя.

б) Определить напряженность поля, созданного диполем на расстоянии $3 \cdot 10^{-7} см$ от середины диполя в точке, лежащей на продолжении диполя, и в точке, лежащей на перпендикуляре к диполю.

в) Молекула воды и ион водорода находятся на расстоянии $3 \cdot 10^{-7} см$. Определить наибольшее и наименьшее значения силы взаимодействия молекулы с ионом и вращающего момента, действующего на молекулу и на систему молекула — ион.

⊕ 20—11. а) Определить силу взаимодействия двух молекул паров воды, диполи которых составляют продолжение один другого. Электрический момент диполя воды равен $1,85 \cdot 10^{-18} СГСЭ$. Молекулы отдалены друг от друга на расстояние $10^{-7} см$.

б) Сделать приблизительный подсчет работы, которую нужно произвести, чтобы отдалить друг от друга молекулы воды от расстояния $4 \cdot 10^{-8} см$ (примерно на таком расстоянии находятся молекулы в воде комнатной температуры) до

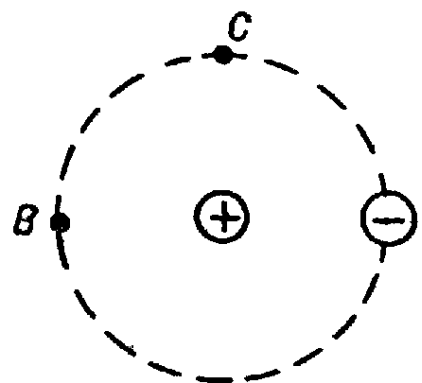


Рис. 20—2.

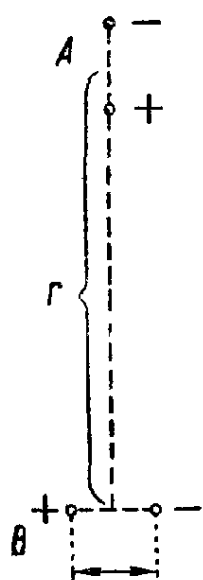


Рис. 20—3

расстояния, на котором силы взаимодействия диполей воды исчезающе малы (пар).

в) Какую работу нужно произвести, чтобы отдалить друг от друга все молекулы воды в 1 см^3 комнатной воды? Сравнить с внутренней теплотой парообразования воды комнатной температуры.

⊕ 20—12. На рисунке 20—3 показаны два одинаковых диполя (p), расположенных взаимно перпендикулярно на расстоянии $r \gg l$. Каковы вращающие моменты, действующие на диполь A , на диполь B и на всю систему в целом?

○ 20—13. Напряженность электрического поля Земли около поверхности в среднем равна $130 \frac{\text{в}}{\text{м}}$.

Какой заряд имела бы Земля, если бы напряженность около всей ее поверхности одновременно имела эту величину?

○ 20—14. На расстоянии 4 мм от прямой проволоки длиной 150 см , на которой равномерно распределен заряд $2 \cdot 10^{-7} \text{ к}$, находится пылинка с зарядом $-1,67 \cdot 10^{-16} \text{ к}$. Определить силу, действующую на пылинку.

⊖ 20—15. Конденсатор, состоящий из пластин, разделенных воздушным промежутком, заряжен и помещен в сосуд. Затем в сосуд наливают керосин. Как меняется при этом напряженность и индукция электрического поля в следующих случаях:

а) Во время наливания керосина конденсатор отсоединен от источника напряжения?

б) Во время наливания керосина конденсатор присоединен к источнику постоянного напряжения?

⊖ 20—16. Две плоские пластинки площадью 200 см^2 , заряженные равными зарядами, притягиваются, находясь в керосине, с силой $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ н}$. Расстояние между пластинками столь мало, что напряженность поля можно рассчитывать по формуле для бесконечных плоскостей. Определить: а) находящиеся на них заряды; б) индукцию поля в керосине.

○ 20—17. Две одинаковые пластинки заряжены равными одноименными зарядами, причем расстояние между ними так мало, что напряженность поля между ними можно принять равной нулю. Как изменится сила взаимодействия между пластинками, если пространство между ними заполнить жидким диэлектриком с проницаемостью ϵ ?

⊖ 20—18. Определить работу раздвигания на расстояние 3 см двух пластинок (200 см^2) плоского конденсатора, заряженных $+2 \cdot 10^{-7} \text{ к}$ и $-2 \cdot 10^{-7} \text{ к}$.

⊖ 20—19. Тонкий стержень равномерно заряжен зарядом $q = 60 \text{ ед. заряда СГСЭ}$. Определить напряженность в точке, отстоящей от концов стержня на расстоянии $R = 20 \text{ см}$, а от середины стержня на расстоянии $R_0 = 15 \text{ см}$.

⊕ 20—20. Кольцо радиусом $R = 5$ см из тонкой проволоки равномерно заряжено 50 ед. заряда СГСЭ. Определить: а) напряженность поля в центре кольца; б) напряженность в точке, находящейся на перпендикуляре к плоскости кольца, восстановленном из центра кольца, и отстоящей от него на расстоянии $h = 10$ см, в) максимальную напряженность на этом перпендикуляре.

⊕ 20—21. Круглая пластинка радиусом $a = 8$ см равномерно заряжена электричеством с плотностью $\sigma = 5$ ед. заряда СГСЭ на 1 см^2 .

а) Определить напряженность поля в точке, лежащей на расстоянии $b = 6$ см от пластинки на перпендикуляре к плоскости пластинки, проходящем через ее геометрический центр.

б) Показать, что полученная формула переходит в формулу напряженности поля бесконечной заряженной плоскости ($E = 2\pi\sigma$), если $b \rightarrow 0$, и в формулу для напряженности поля точечного заряда, если $b \gg a$.

⊕ 20—22. Плоскость равномерно заряжена электричеством с плотностью σ . В середине плоскости имеется круглое отверстие, радиус которого a мал по сравнению с размерами плоскости. Найти напряженность поля в точке, лежащей на перпендикуляре к плоскости, проходящем через центр отверстия на расстоянии b от плоскости.

У к а з а н и е. Решить эту задачу после задачи 20—21.

⊕ 20—23. Полусфера равномерно заряжена электричеством, причем на единице поверхности находится заряд σ . Определить напряженность поля в центре полусферы.

○ 20—24. Металлический шар радиусом 2 см окружен сферической металлической оболочкой радиусом 4 см, концентрической с шаром. На шаре находится заряд $+2 \cdot 10^{-8}$ к, на оболочке — заряд $-4 \cdot 10^{-8}$ к. Определить напряженность поля на расстоянии: а) 3 см и б) 5 см от центра шара.

○ 20—25. Плоский слой диэлектрика ($\epsilon = 2$ СГСЭ) толщиной 0,5 см равномерно заряжен электричеством, причем 1 см^3 слоя имеет заряд 0,8 СГСЭ. Какова напряженность поля: а) в середине слоя? б) внутри слоя на расстоянии 0,1 см от поверхности? в) вне слоя?

○ 20—26. Шарик ($R = 2$ см), сделанный из диэлектрика, заряжен электричеством с объемной плотностью 0,7 СГСЭ. Какова напряженность поля на расстоянии 3 см от центра шара?

⊖ 20—27. Начертить (примерно) графики, показывающие, как меняется напряженность поля в зависимости от расстояния в следующих случаях:

а) Поле двух плоскостей, заряженных противоположными зарядами (плоский конденсатор). По оси абсцисс — расстояния x от какой-либо точки слева от плоского конденсатора, отсчитываемые вправо.

б) Поле сферического конденсатора с радиусами R_1 и R_2 . Внутренний шар заряжен положительно. По оси абсцисс — расстояния r от центра.

в) Поле слоя диэлектрика, заряженного с постоянной объемной плотностью. По оси абсцисс — расстояния от какой-либо точки слева от слоя, отсчитываемые вправо.

г) Поле шара из диэлектрика, заряженного с постоянной объемной плотностью. По оси абсцисс — расстояние от центра шара.

§ 21. Потенциал

В приводимых ниже формулах рационализированная форма (относящаяся и к системе СИ) дается в скобках.

1) Работа переноса заряда q в электрическом поле из точки 1 в точку 2

$$A = q \cdot U,$$

где U — разность потенциалов между точками 1 и 2.

2) Напряженность как градиент потенциала

$$E_n = -\frac{dU}{dn}; \quad U = -\int_1^2 E_n dn.$$

3) Потенциал поля точечного заряда и поля вне равномерно заряженного шара

$$U = \frac{q}{\epsilon R} \quad \left(U = \frac{q}{4\pi\epsilon' R} \right).$$

При наличии многих точечных зарядов

$$U = \sum \frac{q}{\epsilon R} \quad \left(U = \sum \frac{q}{4\pi\epsilon' R} \right).$$

4) Разность потенциалов (напряжение) в плоском, цилиндрическом и сферическом конденсаторах:

$$U = \frac{4\pi\sigma}{\epsilon} d \quad \left(U = \frac{\sigma}{\epsilon'} d \right).$$

$$U = \frac{2\gamma}{\epsilon} \ln \frac{R_2}{R_1} \quad \left(U = \frac{\gamma \ln \frac{R_2}{R_1}}{2\pi\epsilon'} \right).$$

$$U = \frac{q}{\epsilon} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right); \quad \left[U = \frac{q}{4\pi\epsilon'} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \right].$$

○ 21—1. Начертить расположение эквипотенциальных поверхностей в случаях следующих полей:

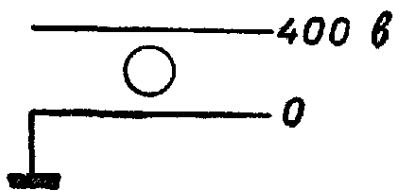


Рис. 21—1.

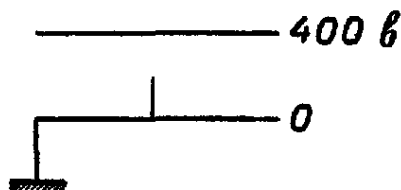


Рис. 21—2.

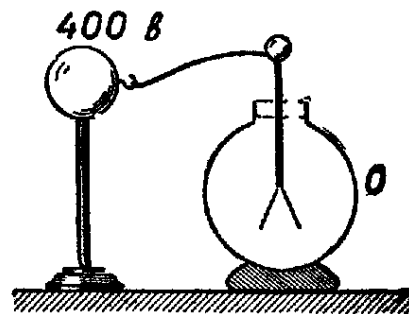


Рис. 21—3.

а) Одна проводящая плоскость снабжена острием (рис. 21—1). Другая плоскость расположена параллельно ей.

б) Между двумя параллельными проводящими плоскостями помещен незаряженный проводящий шарик (рис. 21—2).

в) Изолированный заряженный шар соединен проводником со стержнем электрометра (рис. 21—3).

Во всех случаях одно из тел имеет потенциал нуль (заземлено), а другое — потенциал 400 в. Требуется начертить эквипотенциальные поверхности, соответствующие потенциалам 100 в, 200 в и 300 в.

○ 21—2. а) Могут ли силовые линии электрического поля (в той его части, где отсутствуют электрические заряды и где напряженность поля не равна нулю) пересекаться между собой? б) соприкасаться между собой? в) пересекаться или соприкасаться эквипотенциальные поверхности (соответствующие различным потенциалам)?

⊖ 21—3. Принимая положение, что в электрическом поле работа передвижения заряда по замкнутому полю равна нулю, за исходное, вывести из него следующие следствия:

а) Если силовые линии прямые и параллельны между собой, то густота их расположения всюду постоянна (т. е. поле однородно).

б) Если силовые линии представляют дуги концентрических окружностей, то напряженность поля обратно пропорциональна радиусу круга и не меняется при передвижении вдоль силовой линии.

⊖ 21—4. На рисунке 21—4 изображен «султан» для опытов по электростатике. При зарядении султана бумажные ленты располагаются, как показано на рисунке, то есть их расположение соответствует силовым линиям поля заряженного шара. Между тем бумажные ленты можно рассматривать как проводники, а их поверхности как эквипотенциальные поверхности. Выяснить суть дела.

⊖ 21—5. Энергию отдельных частиц часто выражают в электроновольтах (эв). 1 эв. соответ-

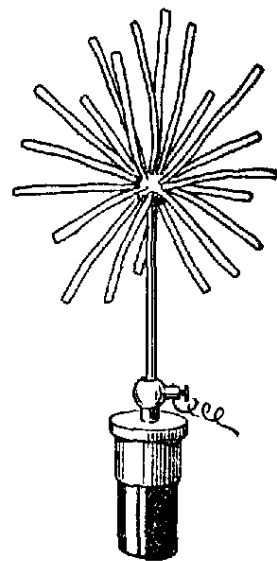


Рис. 21—4.

ствуется работе электрических сил при перемещении электрона между точками, потенциалы которых разнятся на 1 в. Выразить в электроновольтах:

- а) энергию электрона, летящего со скоростью $10^3 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$;
- б) среднюю энергию поступательного движения молекулы при 0°C ;
- в) разность средней энергии молекул водяного пара и воды при $17,2^\circ \text{C}$;
- г) работу удаления молекулы азота с поверхности Земли в бесконечность.

○ 21—6. Сколько электронов содержит заряд пылинки с массой 10^{-11} г , если она удерживается в равновесии в плоском конденсаторе с расстоянием между пластинами 5 мм, заряженными до разности потенциалов 76,5 в?

Θ 21—7. Между двумя плоскими параллельными вертикальными пластинками, отстоящими на 0,5 см, равномерно падает капля ($m = 10^{-9} \text{ г}$). При наложении на пластинки разности потенциалов $U = 400 \text{ в}$ капля падает под углом $7^\circ 25'$ к вертикали. Предполагая, что скорость капли пропорциональна действующей на нее силе, определить находящийся на ней заряд.

Θ 21—8. Две пластинки ($S = 2 \text{ дм}^2$) находятся в керосине на расстоянии $d = 4 \text{ мм}$ друг от друга. С какой силой они взаимодействуют, если они заряжены до разности потенциалов $U = 150 \text{ в}$?

○ 21—9. В каком случае сила взаимодействия двух заряженных пластинок: а) прямо пропорциональна электрической проницаемости среды? б) обратно пропорциональна ей?

○ 21—10. Шарик, радиус которого равен 1 см, заряжен $q = 10 \text{ СГСЭ}$. Начертить в натуральную величину сечения эквипотенциальных поверхностей, соответствующих потенциалам 10, 8, 6, 4 и 2 СГСЭ, плоскостью, проходящей через центр шара.

○ 21—11. Определить работу электрических сил при перенесении заряда $q = 3 \text{ СГСЭ}$: а) из точки А в точку В (рис. 21—5) и б) из точки С в точку D, если $r = 6 \text{ см}$, $a = 8 \text{ см}$, $q_1 = +10 \text{ СГСЭ}$ и $q_2 = -10 \text{ ед. заряда СГСЭ}$.

Те же вопросы при $q_1 = q_2 = 10 \text{ ед. заряда СГСЭ}$.

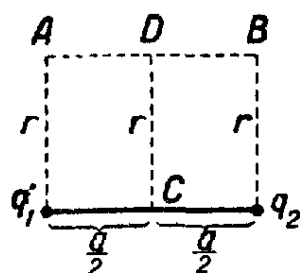


Рис. 21—5.

Θ 21—12. По вершинам правильного шестиугольника со стороной 5 см расположены равные точечные заряды $6,6 \cdot 10^{-9} \text{ к}$. а) Определить работу электрических сил при перенесении заряда $3,3 \cdot 10^{-9} \text{ к}$ из центра шестиугольника в середину одной из его сторон. б) Чему равна эта работа, если заряды равны между собой по абсолютной величине, но соседние заряды противоположны по знаку?

⊖ 21—13. Кольцо радиусом $R = 5 \text{ см}$ из тонкой проволоки равномерно заряжено зарядом $q = 50 \text{ СГСЭ}$. а) Определить потенциал точки, лежащей на перпендикуляре к плоскости кольца, как функцию расстояния h точки от плоскости кольца. б) Найти напряженность как градиент потенциала. в) Определить потенциал и напряженность в центре кольца и при $h = 10 \text{ см}$. Сравнить с результатом задачи 20—20.

⊕ 21—14. В задаче 20—21 определить потенциал как функцию расстояния b и вычислить напряженность как градиент потенциала.

⊕ 21—15. Вывести формулу для потенциала поля заряженного проводящего шара, рассматривая потенциал как сумму потенциалов зарядов на отдельных местах шара: а) для точки, лежащей на шаре; б) для точки внутри шара; в) для точки вне шара.

⊖ 21—16. Начертить примерные графики зависимости потенциала точки поля от расстояния во всех случаях задачи 20—27. Потенциал точки, служащей началом отсчета расстояния, принять равным нулю.

⊖ 21—17. Определить потенциалы точек, находящихся на расстояниях 3 см и 5 см от центра шара, описанного в задаче 20—24.

⊕ 21—18. Разность потенциалов между длинными коаксиальными цилиндрами ($R_1 = 3 \text{ см}$ и $R_2 = 10 \text{ см}$), заряженными равными разноименными зарядами, равна $U = 450 \text{ в}$. Определить: а) заряд на единице длины цилиндров; б) плотность зарядов на каждом цилиндре; в) напряженность вблизи поверхности внутреннего цилиндра, на середине расстояния между цилиндрами и вблизи поверхности внешнего цилиндра.

⊕ 21—19. Накаленная нить радиолампы испускает электроны, которые под действием электрического поля ускоренно движутся к цилиндру, по оси которого натянута нить. Цилиндр и нить сделаны из одного и того же металла. Их диаметры равны соответственно 10 мм и 0,1 мм. Напряжение между цилиндром и нитью равно 91 в. Начальная скорость электронов мала. Определить ускорение и скорость электронов в точке, отстоящей от нити на расстоянии 3,5 мм.

⊖ 21—20. На плоский воздушный конденсатор с толщиной воздушного слоя 1,5 см дается напряжение 39 кВ. Будет ли пробит конденсатор, если предельная напряженность в воздухе равна $30 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$? Будет ли пробит конденсатор, если внутрь его ввести параллельно стенкам стеклянную пластинку толщиной 0,3 см? Предельная напряженность для стекла $100 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$.

⊖ 21—21. Цилиндрический конденсатор имеет два диэлектрика с электрическими проницаемостями ϵ_1 и ϵ_2 и с предельными напряженностями E_1 и E_2 . Чтобы наиболее рационально исполь-

зовать материал, желательно, чтобы напряженность поля достигала значения, соответствующего пробоем в обоих диэлектриках одновременно. При каком соотношении между радиусами цилиндров диэлектриков это будет иметь место?

⊕ 21—22. а) Цилиндрический конденсатор имеет два слоя диэлектриков. Первый слой — бумага, пропитанная лаком ($\epsilon_1 = 4$ СГСЭ), его внутренний радиус $r_1 = 2$ см, внешний $r_2 = 2,3$ см. Второй слой — стеклянный ($\epsilon_2 = 7$ СГСЭ, $r_2 = 2,3$ см, $r_3 = 2,5$ см). Где будет пробит конденсатор, если напряжение постепенно повышать, в бумаге или в стекле? При каком напряжении U_{\max} будет пробит конденсатор? Предельная напряженность для бумаги $E_{1\max} = 120 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$, а для стекла $E_{2\max} = 100 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$.

б) Решить ту же задачу для случая обратного расположения слоев диэлектриков (внутри стекло толщиной 2 мм, снаружи бумага, пропитанная лаком, толщиной 3 мм).

⊕ 21—23. Между двумя длинными параллельными проволоками, протянутыми на расстоянии $l = 15$ см друг от друга, поддерживается разность потенциалов $U = 1500$ в. Радиус проволок $r = 1$ мм. Определить напряженность поля: а) в точке, лежащей на середине расстояния между проволоками; б) в точке, отстоящей от одной из проволок на расстоянии $R_1 = 30$ см, от другой на расстоянии $R_2 = 25$ см.

⊖ 21—24. Слой диэлектрика толщиной $d = 5$ см равномерно заряжен с объемной плотностью $\rho = 0,02$ СГСЭ. Найти разность потенциалов между поверхностью слоя и его серединой ($\epsilon = 3$ СГСЭ).

⊖ 21—25. В вакууме расположены, как показано на рисунке 21—6, два цилиндра А и В. Цилиндр В имеет высокий положительный потенциал; потенциал цилиндра А близок к нулю. Внутри цилиндра летят расходящимся пучком электроны. Как действует на летящие электроны электрическое поле между цилиндрами А и В?

⊖ 21—26. Электрон, энергия которого соответствует разности потенциалов U_0 , попадает в вакууме в поле цилиндрического конденсатора (радиусы цилиндров R_1 и R_2), направление скорости электрона в начальный момент перпендикулярно к плоскости, проходящей через ось конденсатора. При каком напряжении (U) между обкладками конденсатора электрон будет лететь внутри конденсатора по окружности?

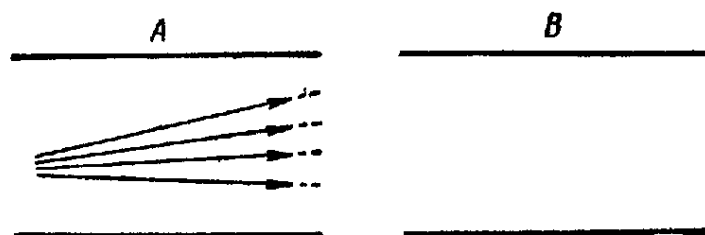


Рис. 21—6.

⊖ 21—27. Узкий поток электронов в вакууме пролетает сквозь плоский конденсатор параллельно его пластинкам (рис. 21—7) и заставляет светиться флуоресцирующий экран, отстоящий от конца конденсатора на расстоянии $l = 15$ см. При наложении на конденсатор напряжения $U = 50$ в светящееся пятно на экране смещается на $s = 21$ мм. Расстояние между пластинками конденсатора $d = 18$ мм; длина конденсатора $b = 6$ см. Определить скорость электрона.

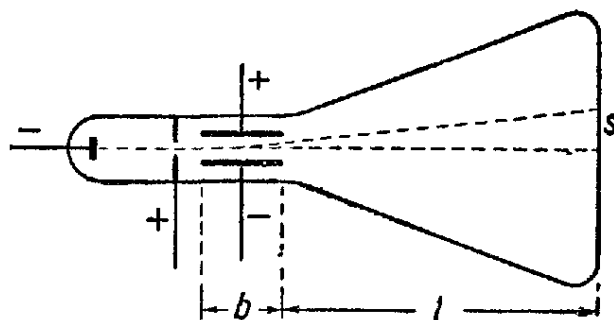


Рис. 21—7.

⊖ 21—28. Поток электронов, получивших свою скорость под действием напряжения, равного $U_1 = 5000$ в, влетает в середину между пластинками плоского конденсатора. Какое самое меньшее напряжение нужно наложить на конденсатор, чтобы электроны не вылетали из него, если размеры конденсатора таковы: длина конденсатора $b = 5$ см; расстояние между пластинками $d = 1$ см?

⊕ 21—29. Электрон, движущийся со скоростью $v_0 = 40\,000 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$, влетает в пространство между двумя пластинками. Длина пластинок конденсатора $b = 6$ см; расстояние между пластинками $d = 0,5$ см. На конденсатор наложено напряжение $U = 40$ в. На сколько увеличится скорость электрона по выходе его из конденсатора по сравнению с начальной?

§ 22. Проводники в электрическом поле

См. введения к § 20 и 21.

22—1. Четыре проводящие пластинки расположены, как показано на рисунке 22—1, параллельно друг другу на равных расстояниях. Пластины A и B расположены на расстоянии d , заряжены до напряжения U , после чего отсоединены от источника напряжения. Пластины C и D не заряжены.

а) Каково напряжение между A и C , C и D , D и B ? Какова напряженность поля в пространствах между пластинками?

б) Те же вопросы, после того как пластинки C и D соединяются проводником и вновь разъединяются.

в) Те же вопросы, если после манипуляций, описанных в пункте б), пластинки A и B соединяются проводником и вновь разъединяются.

г) Как изменяются ответы на вопросы а), б) и в), если при первых двух положениях пластинки

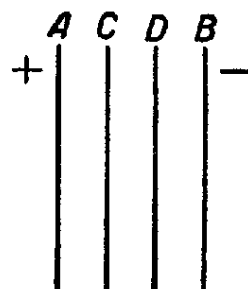


Рис. 22—1.

A и B будут поддерживаться при постоянном напряжении, а при третьем положении будут сначала отключены от источника напряжения и лишь потом соединены проводником?

○ 22—2. Металлическое тело помещено между пластинками заряженного плоского воздушного конденсатора. На поверхности тела образуются вследствие электризации через влияние положительный и отрицательный заряды. После этого пространство между пластинками заполняется керосином. Изменяется ли величина наведенных на теле зарядов в случаях: а) заряд конденсатора остается неизменным? б) напряжение на конденсаторе поддерживается неизменным?

○ 22—3. Два равных разноименных точечных заряда расположены на неизменном расстоянии друг от друга. Как изменится сила, действующая на заряды, и напряженность поля в различных точках в следующих случаях:

а) оба заряда окружают тонкими металлическими изолированными оболочками, совпадающими с эквипотенциальными поверхностями?

б) эти оболочки соединяют проводником?

⊖ 22—4. Маленький шарик, заряженный $q = 1 \cdot 10^{-8}$ к, находится на расстоянии $a = 3$ см от плоской металлической стенки, отведенной к земле. С какой силой они взаимодействуют?

⊖ 22—5. Показать, что работа при удалении точечного заряда от равного разноименного заряда в бесконечность в 4 раза больше работы удаления того же заряда в бесконечность от бесконечной проводящей стенки, расположенной на таком же расстоянии.

⊖ 22—6. а) Точечные заряды $q_1 = +2 \cdot 10^{-9}$ к и $q_2 = +1 \cdot 10^{-9}$ к находятся на расстоянии $d_1 = 4,6$ см друг от друга. Между ними на равных от них расстояниях помещена проводящая, отведенная к земле пластина толщиной $d_2 = 2$ см. Поверхности пластины перпендикулярны к прямой, соединяющей заряды. Определить силу, действующую на пластину.

б) Как изменится ответ, если один из зарядов заменить равным ему по величине отрицательным зарядом?

⊖ 22—7. Небольшое облако с зарядом $q = 20$ к находится на высоте $h = 1$ км над поверхностью Земли. Считая Землю проводником, определить напряженность поля, создаваемую этим зарядом на расстоянии $s = 3$ км от места, над которым находится заряд. Кривизной поверхности Земли пренебречь.

⊕ 22—8. Точечный заряд $q = 5$ СГСЭ находится на расстоянии $a = 3$ см от металлической стенки, отведенной к земле. Найти поверхностную плотность наведенного заряда на стенке: а) в точке, ближайшей к заряду q ; б) в точке, находящейся на расстоянии $r = 5$ см от заряда; в) определить общую величину заряда, индуцированного на поверхности стенки.

○ 22—9. В установках для улавливания пыли пропускают воздух сквозь металлические трубы, по оси которых протяги-

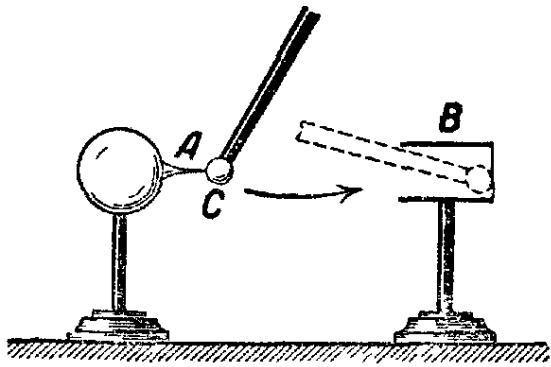


Рис. 22—2.

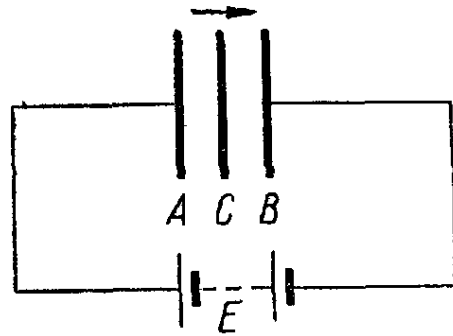


Рис. 22—3.

вается металлическая проволока. Между проволокой и трубой создают сильное электрическое поле, причем проволоке придают отрицательный потенциал, а труба заземляется.

Как будут вести себя пылинки: а) незаряженные? б) заряженные положительно или отрицательно?

⊖ 22—10. Шар с острием A и полый стакан B (рис. 22—2), помещенные на изолирующих подставках, заряжены до одинакового положительного потенциала. Если касаться металлическим шариком C , помещенным на изолирующей ручке, поочередно острия A и внутренней поверхности стакана B , то заряд на шаре A будет уменьшаться, а на стакане B увеличиваться, и энергия этой системы увеличится. За счет какой работы увеличивается энергия системы?

⊖ 22—11. Батарея гальванических элементов E питает установку, показанную на рисунке 22—3. Между металлическими пластинками A и B находится изолированная металлическая пластинка C , толщина которой значительно меньше расстояния AB . Пластинка C касается B , затем равномерно движется к A , касается ее, затем равномерно движется обратно к B и т. д. Промежутки времени, в течение которых пластинка C касается A и B (перезаряжается), равны $0,1$ сек. Промежутки времени, в течение которых пластинка C движется от A к B или обратно, равны $0,3$ сек. Заряд, переносимый пластинкой C , равен $3 \cdot 10^{-11}$ к. Начертить график тока, который идет по цепи.

§ 23. Диэлектрики в электрическом поле

1) Связь между электрической проницаемостью среды ϵ и коэффициентом электризации k в системе $СГСЭ$

$$\epsilon = 1 + 4\pi k,$$

а в системе $СИ$

$$\epsilon' = \epsilon'_0 + k',$$

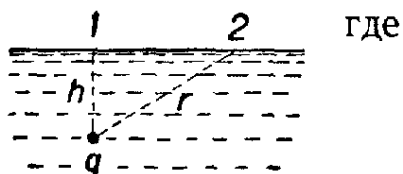


Рис. 23—1.

где

$$k' = 4\pi\epsilon_0'k = \left(1,11 \cdot 10^{-10} \frac{\kappa}{\text{м в}}\right) k.$$

2) Связь между поверхностной плотностью σ_1 фиктивных зарядов на границе диэлектрик — проводник и плотностью σ действительных зарядов на проводнике

$$\sigma_1 = \sigma \frac{\epsilon_0 - \epsilon}{\epsilon}.$$

3) Скачок нормальной составляющей напряженности на границе двух диэлектриков

$$E_{1n} - E_{2n} = 4\pi(\sigma_2 - \sigma_1) \text{ (в системе СГСЭ),}$$

а в системе СИ

$$E_{1n} - E_{2n} = (\sigma_2 - \sigma_1) \frac{1}{\epsilon_0'}.$$

4) Преломление силовых линий на границе раздела двух диэлектриков

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_2} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}.$$

○ 23—1. Определить коэффициент электризации стекла.

⊖ 23—3. Определить плотность фиктивных зарядов на поверхностях слюдяной пластинки толщиной 0,2 мм, служащей изолятором в плоском конденсаторе, заряженном до напряжения 400 в.

⊖ 23—3. У поверхности фарфора напряженность поля в воздухе $200 \frac{\text{в}}{\text{см}}$. Направление поля образует с нормалью к поверхности угол 40° . Определить: а) угол между направлением поля и нормалью в фарфоре; б) напряженность поля в фарфоре; в) плотность фиктивных зарядов на границе фарфор — воздух.

⊕ 23—4. В керосине на глубине $h = 3$ см от свободной поверхности находится точечный заряд $q = +50$ ед. СГСЭ (рис. 23—1). Определить плотность фиктивных зарядов на поверхности керосина: а) над зарядом и б) на расстоянии $r = 5$ см от заряда; в) определить общую величину фиктивного заряда на поверхности керосина.

⊕ 23—4. В керосине на глубине $h = 3$ см от свободной поверхности находится точечный заряд $q = +50$ ед. СГСЭ (рис. 23—1). Определить плотность фиктивных зарядов на поверхности керосина: а) над зарядом и б) на расстоянии $r = 5$ см от заряда; в) определить общую величину фиктивного заряда на поверхности керосина.

○ 23—5. Начертить приблизительное расположение линий индукции и эквипотенциальных поверхностей (отличающихся на постоянную разность потенциалов) в следующих случаях:

1) Металлический шарик, заряженный положительно, наполовину погружен в керосин.

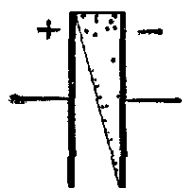


Рис. 23—2.

2) Между двумя пластинками заряженного плоского конденсатора помещен, как показано на рисунке 23—2, клин из парафина.

⊖ 23—6. Две горизонтально расположенные пластинки заряжены $+2 \cdot 10^{-7}$ к и $-2 \cdot 10^{-7}$ к. Пластинки расположены так близко, что поле между ними можно считать однородным.

Нижняя пластинка погружена в жидкий диэлектрик ($\epsilon = 3$ ед. СГСЭ). Площадь пластинок 300 см^2 . Определить силы, действующие на каждую из пластинок и на поверхность жидкости.

§ 24. Емкость

В приводимых ниже формулах рационализированная форма (относящаяся, в частности, к системе СИ) дается в скобках.

1) Заряд конденсатора емкостью C при напряжении U

$$q = CU.$$

2) Емкость плоского, цилиндрического и сферического конденсаторов

$$\begin{aligned} C &= \frac{\epsilon S}{4\pi d} & \left(C &= \frac{\epsilon' S}{d} \right). \\ C &= \frac{\epsilon l}{2 \ln \frac{R_2}{R_1}} & \left(C &= \frac{2\pi\epsilon' l}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \right). \\ C &= \frac{\epsilon}{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}} & \left(C &= \frac{4\pi\epsilon'}{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}} \right). \end{aligned}$$

Изолированный шар можно рассматривать как шаровой конденсатор, у которого $R_2 \rightarrow \infty$.

3) Параллельное и последовательное соединения конденсаторов

$$C = \sum C_i; \quad C' = \frac{1}{\sum \frac{1}{C_i}}.$$

4) Энергия заряженного конденсатора

$$\mathcal{E} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}.$$

5) Плотность энергии электрического поля

$$W = \frac{\epsilon E^2}{8\pi} \quad \left(W = \frac{\epsilon' E^2}{2} \right).$$

○ 24—1. Существуют диэлектрики, электрическая проницаемость которых зависит от напряженности поля (например, у сегнетовой соли). Имеет ли место у конденсаторов, у которых изо-

лирующим слоем служат такие вещества, пропорциональность между разностью потенциалов и зарядом конденсатора?

○ 24—2. До какого напряжения надо зарядить телефонный конденсатор емкостью 2 мкф, чтобы на нем находился такой же заряд, как на лейденской банке, емкостью 900 см, заряженной до напряжения 30 000 в?

○ 24—3. а) Показать, что при малой толщине изолирующего слоя емкость шарового конденсатора можно рассчитывать по формуле емкости плоского конденсатора.

б) Провести то же доказательство для цилиндрического конденсатора.

Принять во внимание, что $\ln(1+x) = x$, если $x \ll 1$.

○ 24—4. Лейденская банка имеет следующие размеры: наружный диаметр дна 15 см; высота обкладок 20 см; толщина стекла 2 мм. Определить емкость ее (пользуясь формулой плоского конденсатора).

○ 24—5. Два проводящих шарика различного диаметра приводятся в соприкосновение и заряжаются. Затем они отводятся на значительное расстояние. Имеют ли они при этом одинаковые потенциалы?

○ 24—6. Конденсатор состоит из трех полосок станиоля, площадью по 6 см² каждая, разделенных двумя слоями слюды по 0,1 мм толщиной. Крайние полоски станиоля соединены между собой. Какова емкость такого конденсатора?

⊕ 24—7. Два одинаковых металлических диска диаметром 12 см расположены параллельно друг другу и разделены парафинированной бумагой толщиной 0,2 мм. Диски сдвинуты так, что центр одного из них находится против края другого (рис. 24—1). Определить емкость такой системы.

○ 24—8. Вследствие повреждения переменного конденсатора (рис. 24—2) с четным числом воздушных промежутков между пластинками все подвижные пластинки опустились настолько, что толщины соседних промежутков относятся, как 1 : 2 (рис. 24—3). Как изменилась емкость конденсатора по сравнению с начальной, соответствующей тому же положению головки?

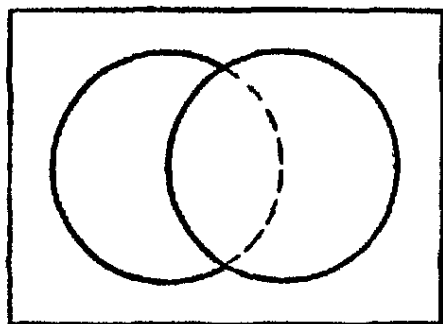


Рис. 24—1.

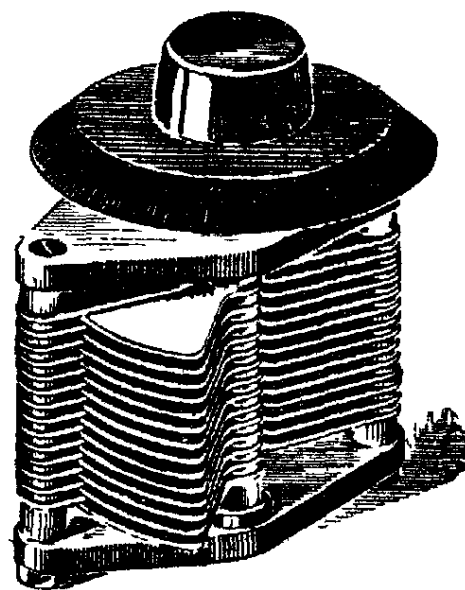


Рис. 24—2.

○ 24—9. Конденсатор из оловянной фольги с диэлектриком в виде листа парафинированной бумаги покрывают с одной стороны листком такой же бумаги и скручивают в трубку. Как изменится при этом емкость конденсатора?

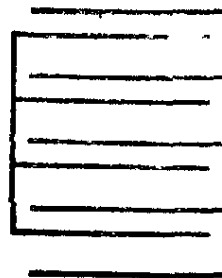


Рис. 24—3.

⊖ 24—10. Пластины плоского конденсатора присоединены к источнику постоянного напряжения 300 в. Пластины сближаются со скоростью $1 \frac{\text{мм}}{\text{сек}}$.

Какой ток идет по подводящим проводам в тот момент, когда пластины находятся на расстоянии 2 мм друг от друга? Площадь пластинок 400 см^2 .

⊖ 24—11. Металлический шар ($R = 3 \text{ см}$) опущен наполовину в керосин. Какой находится в нем заряд, если он заряжен до 1800 в.

⊕ 24—12. а) Определить емкость конденсатора, состоящего из двух шариков диаметром $d = 1 \text{ см}$, центры которых находятся в воздухе на расстоянии $l = 20 \text{ см}$ друг от друга, приняв, что заряды на их поверхностях распределены равномерно.

б) Определить емкость конденсатора, состоящего из такого же шарика и большой проводящей пластинки, отстоящей на расстоянии $l = 20 \text{ см}$ от центра шарика. Сравнить с емкостью изолированного шарика такого же диаметра.

○ 24—13. Батарея из двух последовательно соединенных лейденских банок (300 пф и 500 пф) заряжена до напряжения 12 000 в. Определить:

а) напряжение на первой и второй банках;

б) количество электричества на обкладках.

⊖ 24—14. Кружки из металлической фольги и парафинированной бумаги, толщиной по 0,1 мм каждый и диаметрами 2, 3, 4, 5 и 6 см, наложены друг на друга, как показано на рисунке 24—4 (черным показаны металлические кружки). Определить емкость такой системы.

○ 25—15. Параллельно одному из 5 последовательно соединенных одинаковых конденсаторов подключен статический вольтметр, емкость которого в два раза меньше каждого из конденсаторов. Вольтметр показывает 500 в. Найти напряжение на всей батарее.

⊖ 24—16. Пробивное напряжение для прессшпана толщиной 1 мм равно 18 000 в. Два конденсатора с изолирующим слоем из такого прессшпана, один емкостью 1100 пф, другой емкостью 400 пф, соединены последовательно. Будет ли эта система пробита, если дать на нее напряжение 30 000 в?

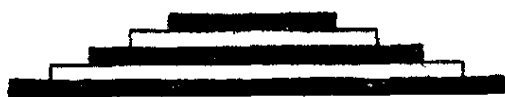


Рис. 24—4.

○ 24—17. а) Каковы емкости батарей конденсаторов, соединенных по схемам, показанным на рисунках 24—5 и 24—6?

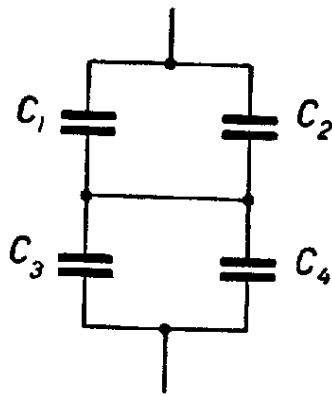


Рис. 24—5.

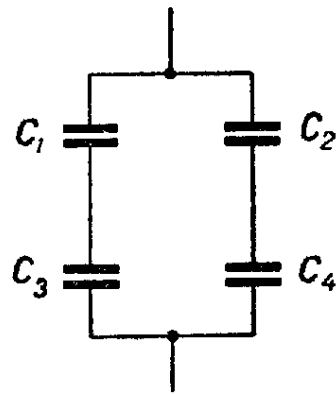


Рис. 24—6.

б) Показать, что емкости этих батарей равны, если выполняется условие $\frac{C_1}{C_3} = \frac{C_2}{C_4}$.

⊖ 24—18. Определить емкость плоского конденсатора с площадью обкладок $S = 200 \text{ см}^2$. Между обкладками находится стекло ($d_1 = 1 \text{ мм}$), покрытое с обеих сторон слоем парафина (толщина каждого слоя $d_2 = 0,2 \text{ мм}$).

⊕ 24—19. Определить емкости конденсаторов, описанных в задаче 21—22, если длины их равны 1 м .

⊕ 24—20. а) Определить емкость конденсатора, состоящего из двух проволок, описанных в задаче 21—23, приняв длину проволок равной 9 км .

б) Как изменится емкость системы, описанной в а), если одну из проволок заменить отведенной к земле широкой металлической пластиной той же длины? Направление пластины перпендикулярно к плоскости, в которой расположены проволоки.

○ 24—21. Лейденская банка емкостью 3000 см заряжена до $20\,000 \text{ в}$. Предполагая, что при разряде 10% энергии рассеется в виде звуковых и электромагнитных волн, определить количество теплоты.

⊖ 24—22. а) Батарея из n последовательно соединенных конденсаторов заряжается и при помощи переключателя KK , показанного на рисунках 24—7, а и б, без изменения зарядов на конденсаторах переводится в параллельное соединение. Как изменится при этом энергия батареи и какова будет работа разряда батареи, если:

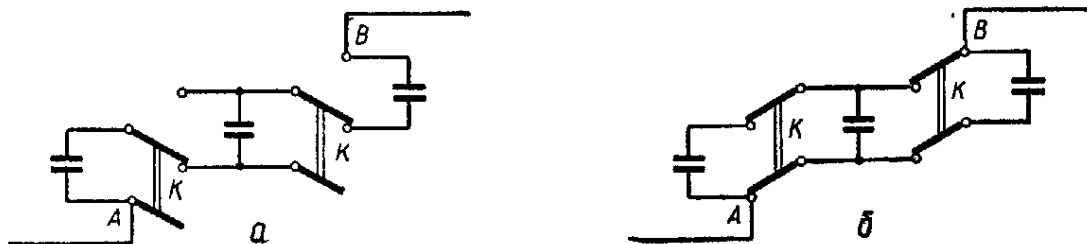


Рис. 24—7.

1) емкости конденсаторов одинаковы? 2) емкости конденсаторов различны?

б) Те же вопросы в случае, если батарея заряжается при параллельном соединении и затем переводится в последовательное.

⊖ 24—23. Имеется система конденсаторов, соединенных по произвольной схеме, внутри которой поставлен ключ K (пример такой схемы показан на рисунке 24—8). Увеличится или уменьшится емкость системы, если замкнуть ключ K ?

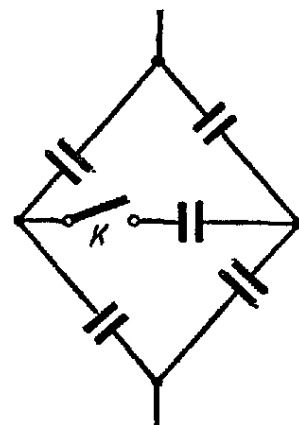


Рис. 24—8.

⊖ 24—24. Плоский конденсатор имеет в качестве изолирующего слоя стеклянную пластинку толщиной $d = 2$ мм и площадью $S = 300$ см². Конденсатор заряжен до напряжения $U = 100$ в, после чего отключен от источника напряжения. Определить механическую работу, которую нужно произвести, чтобы вынуть стеклянную пластинку из конденсатора (трение в расчет не принимать).

⊖ 24—25. Пластинки воздушного конденсатора имеют площадь 300 см² и отдалены друг от друга на расстояние 3 мм. Между ними находится металлическая пластинка с такой же площадью толщиной 1 мм, изолированная от земли. Конденсатор заряжен до напряжения 600 в и отсоединен от источника напряжения. Какую работу надо произвести, чтобы вытащить пластинку?

○ 24—26. В чем состоит различие в явлениях в следующих случаях:

а) емкость конденсатора уменьшают (раздвиганием пластин или выдвиганием диэлектрика) при сохранении величины заряда (т. е. отсоединив от источника тока)?

б) емкость конденсатора уменьшают при сохранении напряжения (т. е. не отсоединяя от источника тока)?

⊖ 24—27. Внутренняя обкладка заряженной лейденской банки соединяется с внутренней обкладкой такой же незаряженной банки, причем заряд поровну распределяется на обеих банках. Показать, что энергия заряда убывает вдвое, и объяснить это.

⊖ 24—28. Воздушный конденсатор заряжается до некоторого напряжения и в заряженном состоянии заливается керосином, отчего энергия конденсатора уменьшается в $\frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ раз. Куда исчезает оставшаяся энергия?

○ 24—29. Электрические проницаемости веществ заметно изменяются при повышении температуры (обычно убывают). Предположим, что заряженный конденсатор охлаждается, вследствие чего его электрическая энергия изменяется (например, убывает). Куда исчезает энергия?

⊖ 24—30. Две лейденские банки ($C_1 = 600$ нф и $C_2 = 1000$ нф) соединены последовательно. Батарею заряжают до

напряжения $U = 20$ кв. Затем банки, не разряжая, соединяют параллельно. Определить работу разряда, который происходит при этом соединении.

⊖ 24—31. Два одинаковых воздушных конденсатора ($C = 800$ см) заряжены до напряжения $U = 900$ в. Один из конденсаторов погружается в заряженном состоянии в керосин, после чего конденсаторы соединяются параллельно. Определить работу происходящего при этом разряда.

⊖ 24—32. Одна лейденская банка ($C_1 = 600$ пф) заряжена до напряжения $U_1 = 3000$ в, другая банка ($C_2 = 800$ пф) — до напряжения $U_2 = -4000$ в. Определить работу разряда при соединении их внутренних обкладок.

⊕ 24—33. Емкость конденсатора, изображенного на рисунке 24—2, меняется в пределах от $C_1 = 700$ см ($\alpha = 0$) до $C_2 = 20$ см ($\alpha = \pi$). Определить вращающие моменты электрических сил при углах $\alpha = 0$, $\alpha = \frac{\pi}{2}$, $\alpha = \pi$.

а) Вращение головки конденсатора производится после того, как конденсатор при $\alpha = 0$ заряжен до $U = 200$ в и отключен от источника напряжения.

б) Вращение головки конденсатора производится при присоединенном источнике напряжения ($U = 200$ в).

⊕ 24—34. Батарея из $n = 5$ последовательно соединенных лейденских банок, каждая емкостью $C = 400$ см, поддерживается при постоянном напряжении $U = 60\,000$ в. Одна из банок пробивается. Определить: а) изменение энергии батареи банок; б) работу разряда, в) работу источника напряжения.

⊖ 24—35. Принимая протон и электрон, из которых состоит атом водорода, за точечные заряды, находящиеся на расстоянии $5 \cdot 10^{-9}$ см, найти плотность энергии электрического поля на середине расстояния между ними.

⊖ 24—36. На проводящем шаре диаметром 6 см находится заряд $2 \cdot 10^{-8}$ к. Шар погружен в керосин и расположен на значительном расстоянии от стенок сосуда. Определить плотность энергии электрического поля в точках, отстоящих от центра шара на расстояниях: а) 2 см; б) 4 см.

⊕ 24—37. Заряд q равномерно распределен по объему шара радиусом R . Принимая электрическую проницаемость вещества шара и окружающей среды равной ϵ_0 , определить:

а) энергию электрического поля внутри шара;

б) вне шара,

в) во всем пространстве;

г) изменение энергии при делении заряженного шара на два равных заряженных шара.

§ 25. Закон Ома

1) Связь между количеством электричества q , током I и временем τ

$$I = \frac{dq}{d\tau}.$$

В случае, если ток не меняется с течением времени

$$I = \frac{q}{\tau}.$$

2) Плотность тока

$$j = \frac{\Delta I}{\Delta S},$$

где ΔI — ток, проходящий сквозь сечение провода ΔS . В случае, если плотность по всему сечению S проводника одинакова,

$$j = \frac{I}{S}.$$

3) Сопротивление проводов длины l с постоянным сечением S

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

где ρ — удельное сопротивление материала.

Для подсчета сопротивления тела с переменным сечением нужно прибегать к интегрированию.

4) Зависимость удельного сопротивления от температуры t

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

где α — температурный коэффициент сопротивления, ρ_0 — удельное сопротивление при 0°C .

5) Закон Ома

$$I = \frac{U + \sum E}{\sum R},$$

где U — напряжение на концах участка цепи, содержащем электродвижущие силы, сумма которых $\sum E$, $\sum R$ — сумма сопротивлений всех частей участка. Для полной цепи $U = 0$.

6) Связь между напряженностью поля E и плотностью тока j

$$I = gE,$$

где $g = \frac{1}{\rho}$ — удельная проводимость.

7) Предполагается, что гальванические элементы, упомянутые в задачах § 25—27, являются неполяризуемыми.

○ 25—1. Какое количество электричества переносится в следующих случаях: а) ток равномерно возрастает от нуля до 3 а в течение 10 сек; б) ток убывает от 18 а до нуля, причем за каждые 0,01 сек он убывает вдвое?

○ 25—2. Какова плотность тока в волоске калильной лампы, если ток 0,125 а и диаметр волоска 0,019 мм?

⊖ 25 — 3. В электронной лампе ток идет от металлического цилиндра к накаливаемой нити, расположенной по его оси. Определить плотность тока вблизи цилиндра и вблизи нити при таких условиях: ток 3 мА; длина нити и цилиндра 2,5 см; диаметр нити 0,02 мм, диаметр цилиндра 1 см.

○ 25 — 4. Требуется устроить реостат на 0,2 Ом, Материал — никелиновая лента толщиной 0,5 мм и шириной 10 мм. Какую длину ленты надо взять?

○ 25—5. Имеется моток медной проволоки с площадью поперечного сечения 0,1 мм². Масса всей проволоки 0,3 кг. Определить сопротивление проволоки.

⊖ 25—6. Предположим, что в неограниченной среде, удельное сопротивление которой равно $\rho = 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, находится металлический шар диаметром $d = 10 \text{ см}$. Каково сопротивление системы шар — неограниченная среда? (Таково же приблизительно сопротивление заземления, выполненного в виде шара такого же диаметра, закопанного в почву с указанным удельным сопротивлением.)

○ 25—7. Следует ли при расчете сопротивления проводов при температурах, отличных от 0°С, принимать во внимание изменение их геометрических размеров при нагревании?

○ 25—8. Вольфрам имеет положительный, а уголь — отрицательный температурный коэффициент. Каково различие ламп с вольфрамовым и с угольным волоском: а) в отношении изменения тока при включении? б) в отношении распределения плотности тока в накаленном волоске?

○ 25—9. Обмотка электромагнитов в динамо-машине сделана из медного провода и при температуре 10°С имеет сопротивление 14,2 Ом. После работы сопротивление обмотки повысилось до 16,5 Ом. Какова при этом температура обмотки?

⊖ 25—10. Определить температурный коэффициент провода, составленного из алюминиевой проволоки с сопротивлением 3 Ом и железной проволоки с сопротивлением 2 Ом, соединенных последовательно.

⊖ 25—11. Угольный стержень соединен последовательно с железным такой же толщины. При каком соотношении их длин сопротивление такой комбинации не зависит от температуры?

⊖ 25—12. Рабочая катушка в вольтметре медная, а добавочное сопротивление сделано из манганина, удельное сопротивление которого почти не зависит от температуры. Пружинка, противодействующая вращению катушки, сделана из фосфористой бронзы. Температурный коэффициент модуля упругости фосфористой бронзы равен $\beta = -0,0004 \text{ град}^{-1}$. При каком соотношении между сопротивлениями рабочей катушки R_1 и добавочным сопротивлением R_2 показания вольтметра не зависят от температуры?

○ 25—13. В установке, изображенной на схеме (рис. 25—1), емкость конденсатора C_1 в два раза больше емкости конденсато-

ра C_2 , а сопротивление R_1 в три раза больше сопротивления R_2 . Сопротивление батареи ничтожно мало, ее электродвижущая сила равна 60 в. Определить напряжения на конденсаторах в следующих случаях: а) ключи K_1 и K_2 замкнуты; б) ключ K_1 замкнут, K_2 разомкнут; в) ключ K_1 разомкнут, K_2 замкнут.

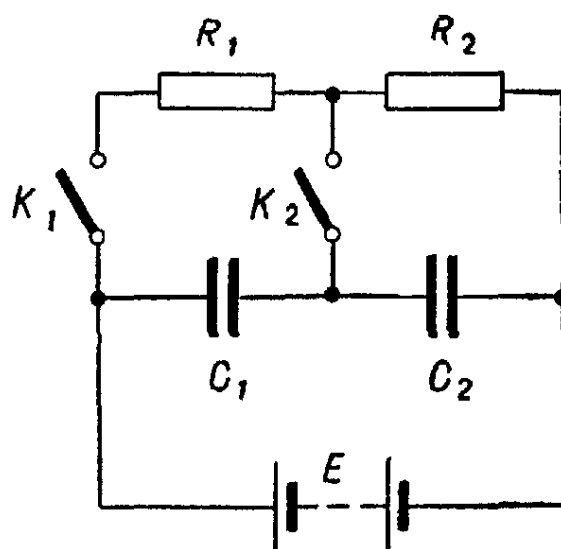


Рис. 25—1.

⊖ 25—14. Какое напряжение можно дать на катушку, имеющую $\omega = 1000$ витков медного провода, со средним диаметром витков $d = 6$ см, если допустима плотность тока $j = 2$ а/мм²?

⊖ 25—15. Если вольтметр соединить последовательно с сопротивлением $R = 10\,000$ ом, то при напряжении $U_0 = 120$ в он покажет $U_1 = 50$ в. Если соединить его последовательно с неизвестным сопротивлением R_x , то он при том же напряжении покажет $U_2 = 10$ в. Определить это сопротивление.

○ 25—16. Батарея из 50 последовательно соединенных элементов дает ток во внешнюю цепь, состоящую из железного провода длиной 20 км и с площадью сечения 3 мм² и аппарата с сопротивлением 90 ом. Э. д. с. и внутреннее сопротивление каждого из элементов равны 1,4 в и 0,4 ом. Определить силу тока.

○ 25—17. Под конец зарядки батареи аккумуляторов током 3 а присоединенный к ней вольтметр показывал напряжение 4,25 в. В начале разрядки той же батареи током 4 а вольтметр показывал напряжение 3,9 в. Ток, проходящий по вольтметру, ничтожен. Определить э. д. с. и внутреннее сопротивление батареи.

○ 25—18. При токе 0,5 а напряжение на участке некоторой цепи равно 8 в. При токе 1,5 а напряжение на том же участке равно 20 в. а) Какова э.д.с., действующая на этом участке? б) Каково будет напряжение, если ток уменьшится до 0,1 а?

○ 25—19. Гальванический элемент дает на внешнее сопротивление 4 ом ток 0,2 а. Если же внешнее сопротивление 7 ом, то элемент дает ток 0,14 а. Какой ток он даст, если его замкнуть накоротко?

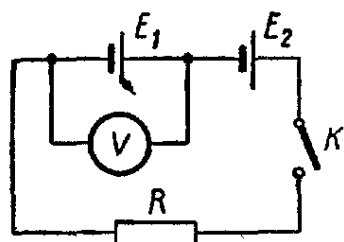


Рис. 25—2.

⊖ 25—20. Два гальванических элемента с э.д.с., равными E_1 и E_2 , вольтметр с большим внутренним сопротивлением и шкалой, нуль которой находится на ее середине, и сопротивление R соединены по схеме, показанной на рисунке 25—2. Сопротивление R и внутренние сопротивления каждого из элементов рав-

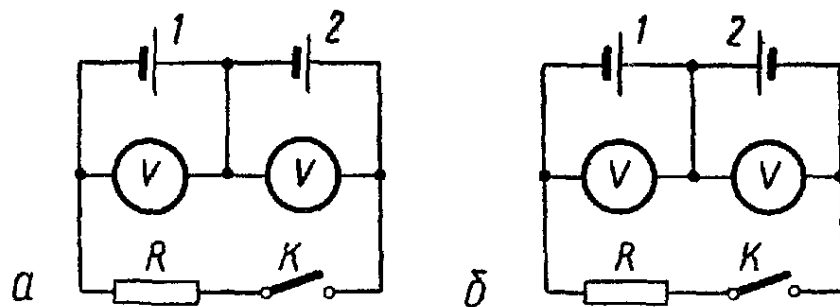


Рис. 25—3.

ны между собой. При разомкнутом ключе K стрелка вольтметра отклоняется вправо. При каком соотношении между E_1 и E_2 стрелка вольтметра при замкнутом ключе K : а) отклонится вправо? б) остановится на нуле? в) отклонится влево?

⊖ 25—21. Два гальванических элемента (1 и 2), два вольтметра с большими внутренними сопротивлениями и шкалами, нули которых находятся на их серединах, и сопротивление R соединены по схеме, показанной на рисунке 25—3, а. При разомкнутом ключе K вольтметры при 1-м и 2-м элементах показывают напряжения 1,8 в и 1,4 в, причем их стрелки отклонены вправо. При замыкании ключа K вольтметры показывают напряжения 1,4 в и 0,6 в при том же направлении отклонения стрелок. Что будут показывать вольтметры, если соединить приборы по схеме 25—3, б и замкнуть ключ K ?

⊖ 25—22. Несколько одинаковых гальванических элементов соединены, как показано на схеме (рис. 25—4), посредством проводов, сопротивление которых ничтожно мало.

а) Какова разность потенциалов между любыми точками соединительных проводов, например между точками A и B или между точками A и C ?

б) Тот же вопрос в случае, если э.д.с. элементов не равны и внутренние сопротивления прямо пропорциональны э.д.с.

в) Как изменится ответ на вопрос а), если элементы будут обращены друг к другу одноименными полюсами?

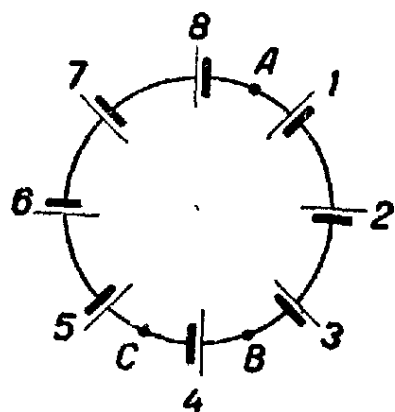


Рис. 25—4.

⊖ 25—23. Какие заряды находятся на плоских электродах, опущенных в раствор медного купороса, если идет ток $I = 0,5$ а и если удельное сопротивление раствора равно $\rho = 50$ ом · см? Электрическую проницаемость раствора принять $\epsilon' = 7,1 \cdot 10^{-10} \frac{\phi}{м}$.

⊖ 25—24. Силовые линии электрического тока в проводниках совпадают с линиями тока. Как это согласовать с тем фактом, что в тонком слое электролита (например, в плоской кюветке) линии тока от двух

электродов в виде маленьких шариков расположены в этом слое, тогда как силовые линии двух разноименных зарядов располагаются по всем направлениям?

⊕ 25—25. Ток идет по проводнику формы, показанной на рисунке 25—5. Одинакова ли напряженность поля в местах с узким и широким сечением? Чем это объяснить?



Рис. 25—5.

⊖ 25—26. Каким образом расположены силовые линии внутри изогнутой стеклянной трубки с электролитом, по которому идет ток? Как идут силовые линии в проводе, завязанном узлом?

⊕ 25—27. (Предварительно решить задачу 21—23.) В растворе медного купороса ($\rho = 40 \text{ ом} \cdot \text{см}$) ток идет между двумя медными проволоками, оси которых расположены параллельно друг другу на расстоянии 13 см. Радиус проволок 4 мм. Между проволоками поддерживается напряжение 12 в. Определить плотность тока: а) на середине расстояния между проволоками; б) в точке, отстоящей на 10 см от осей обеих проволок; в) определить ток, принимая, что длина проволок 15 см равна глубине слоя раствора и размеры сосуда весьма велики.

⊕ 25—28. Изолирующий слой плоского конденсатора состоит из двух слоев толщиной d_1 и d_2 с электрическими проницаемостями ϵ_1 и ϵ_2 . Диэлектрики имеют удельные сопротивления ρ_1 и ρ_2 . Конденсатор находится под постоянным напряжением U .

а) Показать, что при установившемся состоянии в случае, если $\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \neq \frac{\rho_2}{\rho_1}$, на границе диэлектриков должны находиться свободные заряды.

б) Вычислить величину этих зарядов (для стекла $\rho_1 = 2 \cdot 10^{13} \text{ ом} \cdot \text{см}$; для керосина $\rho_2 = 5 \cdot 10^{14} \text{ ом} \cdot \text{см}$), если $d_1 = d_2 = 3 \text{ мм}$ и если полное напряжение на конденсаторе $U = 15\,000 \text{ в}$.

в) Объяснить, почему слоистые конденсаторы дают явление «остаточного заряда» (заряда, появляющегося спустя некоторое время по разрядке конденсатора).

⊖ 25—29. К конденсатору ($C = 10 \text{ мкф}$) присоединяют аккумулятор с э.д.с. $E = 2 \text{ в}$ через сопротивление $R = 1000 \text{ ом}$. Через сколько времени конденсатор будет заряжен до напряжения $U = 1,98 \text{ в}$? Внутреннее сопротивление аккумулятора ничтожно.

⊖ 25—30. Плоский конденсатор с диэлектриком в виде парафинированной бумаги ($\epsilon = 2 \text{ СГСЭ}$) через $t = 10 \text{ мин}$ сохранил заряд q , равный 0,1 первоначального заряда q_0 . Предполагая, что утечка произошла только сквозь парафинированную бумагу, вычислить ее удельное сопротивление.

§ 26. Разветвленные цепи

1) Сопротивление при параллельном соединении проводников

$$\frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_1}.$$

2) Правила Кирхгофа:

а) для суммы токов в узле

$$\sum I = 0;$$

б) для суммы произведений сил токов на сопротивления участков и суммы электродвижущих сил при обходе по контуру

$$\sum E = \sum IR.$$

○ 26—1. Потребитель имеет 20 лампочек с сопротивлением по 48 ом и 100 лампочек с сопротивлением по 288 ом каждая. Лампочки соединены параллельно. Определить сопротивление установки потребителя.

○ 26—2. Определить электрическое сопротивление сетки, показанной на рисунке 26—1, если сопротивление каждого из звеньев сетки равно 1 ом. Рассмотреть два случая: а) ток идет от точки А к точке В; б) ток идет от точки С к точке D.

⊖ 26—3. Требуется подобрать для схем, показанных на рисунках 26—2 и 26—3, такие сопротивления R , чтобы при замкнутом ключе K_1 и разомкнутом ключе K_2 амперметр показывал такой же ток, как при замкнутом ключе K_2 и разомкнутом ключе K_1 . Сопротивления источника тока и амперметра ничтожно малы.

○ 26—4. К гальванометру, сопротивление которого 290 ом, присоединили шунт, понижающий чувствительность гальванометра в 10 раз. Какое сопротивление надо включить последовательно с шунтированным гальванометром, чтобы общее сопротивление осталось неизменным?

⊖ 26—5. а) Сопротивление R измеряется вольтметром и амперметром по схеме, показанной на рисунке 26—4. Амперметр А показывает $I = 0,32$ а; вольтметр $U = 9,6$ в. Сопротивление амперметра $R_A = 0,03$ ом. Определить относительную ошибку x , которую делают, вычисляя сопротивление без учета сопротивления амперметра.

б) Произвести тот же расчет при $I = 7$ а и $U = 2,1$ в.

⊖ 26—6. а) Сопротивление R измеряется вольтметром и амперметром по схеме, показанной на рисунке 26—5.

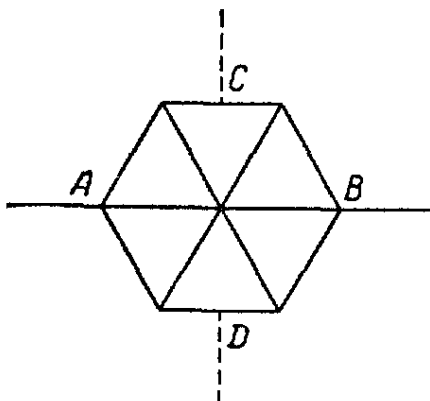


Рис 26—1.

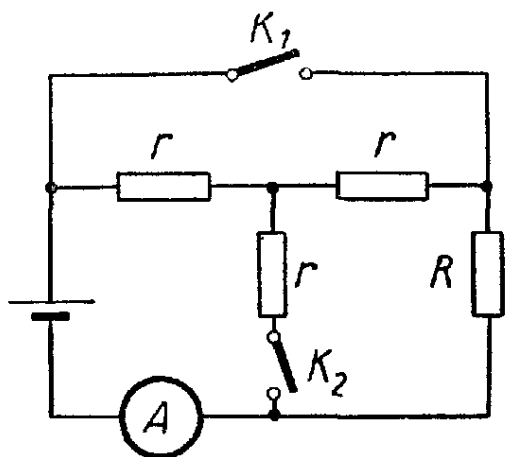


Рис. 26—2.

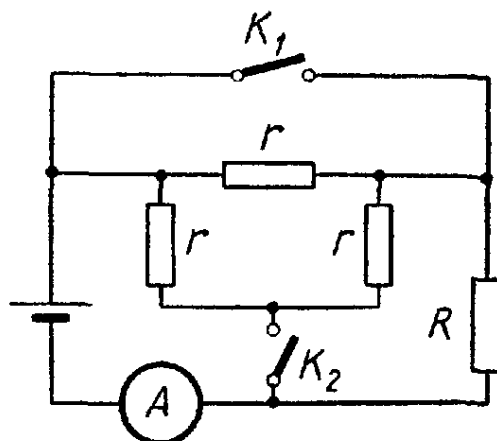


Рис. 26—3.

Амперметр A показывает $I = 2,40$ а; вольтметр V показывает $U = 7,20$ в. Сопротивление вольтметра $R_v = 1000$ ом. Определить относительную ошибку y , которую делают, вычисляя сопротивление без учета тока, идущего в вольтметр.

б) Произвести тот же расчет при $I = 24$ ма; $U = 7,20$ в.

⊖ 26—7. При включении приборов по схеме, показанной на рисунке 26—5, амперметр показывает ток $I_1 = 2,06$ а, а вольтметр — напряжение $U_1 = 49,6$ в. При включении тех же приборов по схеме на рисунке 26—4 амперметр показывает $I_2 = 1,94$ а, а вольтметр — $U_2 = 50$ в. Определить сопротивление R . Напряжение, даваемое батареей, является постоянным.

⊖ 26—8. На рисунке 26—6 показана схема соединений катушки амперметра K и шунтов R_1 и R_2 . Если включить амперметр в цепь, пользуясь клеммами A и B , то цена деления циферблата амперметра равна $0,1$ а. Если пользоваться клеммами A и C , то цена деления равна $0,02$ а. Какова цена деления, если пользоваться клеммами B и C ?

⊖ 26—9. На коробке амперметра, кроме клемм M и N для присоединения к цепи, имеются 4 клеммы, расположенные как показано на рисунке 26—7. В паспорте прибора указано, что при соединении этих клемм перемычками по схеме I вся шкала ам-

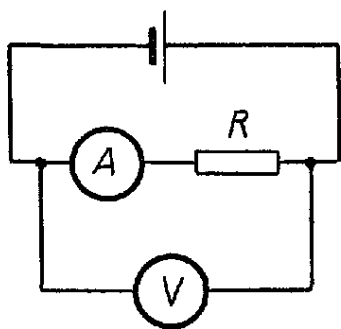


Рис. 26—4.

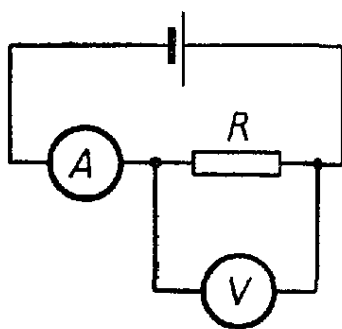


Рис. 26—5.

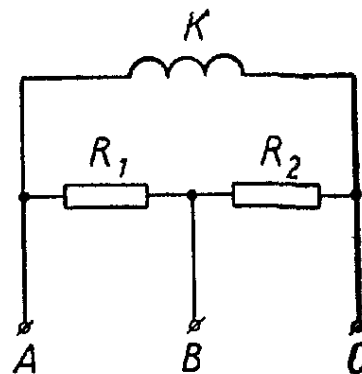


Рис. 26—6.

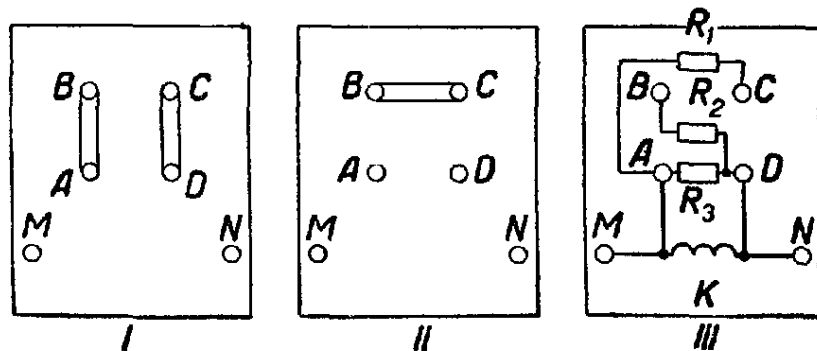


Рис. 26—7.

перметра соответствует $3a$; при соединении тех же клемм по схеме *II* вся шкала соответствует $1,5a$. Внутри прибора имеются сопротивления, соединенные с рабочей катушкой K прибора по схеме рисунка *III*, причем $R_1 = R_2$.

а) Какому току будет соответствовать вся шкала, если удалить совсем перемычки между клеммами A , B , C и D ?

б) Каково должно быть отношение n между сопротивлениями R_1 и R_2 , если желательно, чтобы при удалении перемычек вся шкала соответствовала $1,2a$?

○ 26—10. Для определения места, где один из проводов двухжильного кабеля вследствие повреждения получил соединение с землей, можно употребить установку, схема которой приведена на рисунке 26—8. AB — струна, по которой можно передвигать контакт K . Определить место повреждения кабеля, если гальванометр G не дает отклонения, когда контакт K находится на расстоянии 41 см от конца B . Длина струны 100 см, длина кабеля $7,8$ км.

⊕ 26—11. а) Чему равно сопротивление проволочного каркаса в виде прямоугольника со сторонами a и b и диагональю, если ток идет от точки A к точке B (рис. 26—9)? Сопротивление единицы длины проволоки равно γ .

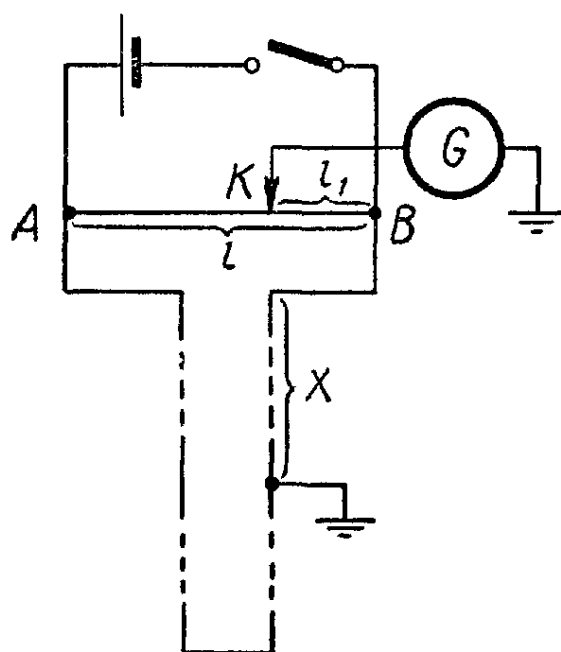


Рис. 26—8.

б) Тот же вопрос, если ток идет от точки C к D .

⊖ 26—12. Человек, стоя на земле, касается оголенного места одного из проводов магистральной, между проводами

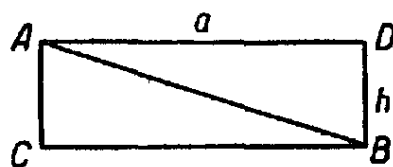


Рис. 26 —9.

которой имеется напряжение $U = 600$ в. Какой ток пройдет сквозь тело человека, если он прикоснется к одному из проводов при следующих условиях: сопротивление тела человека (главным образом кожи в месте прикосновения) в случае сухой кожи оценивается в $R = 50\,000$ ом; сопротивление изоляции между тем проводом, к которому прикоснулись, и землей равно $R_1 = 50\,000$ ом, сопротивление изоляции между другим проводом и землей равно $R_2 = 400\,000$ ом? Сопротивлением земли можно пренебречь.

⊖ 26—13. Для измерения сопротивления изоляции в проводах, находящихся под напряжением, измеряют посредством вольтметра с большим внутренним сопротивлением R напряжения: 1) между первым и вторым проводами (U); 2) между первым проводом и землей (U_1); 3) между вторым проводом и землей (U_2). Чему равны сопротивления изоляции первого и второго проводов по отношению к земле R_1 и R_2 при таких данных: $R = 20\,000$ ом; $U = 120$ в; $U_1 = 8$ в; $U_2 = 10$ в?

⊖ 26—14. Два вольтметра с внутренними сопротивлениями 6000 ом и 4000 ом соединены последовательно. Параллельно к ним включено сопротивление $10\,000$ ом. На эту систему дано напряжение 180 в (рис. 26—10).

а) Что показывают вольтметры, когда ключ K разомкнут?

б) Каковы показания вольтметров, когда ключ K замкнут, а движок D соединен с серединой сопротивления R_3 ?

в) Движок D двигают до тех пор, пока показания вольтметров не уравниваются между собой. На какие части делит движок D сопротивление R_3 ?

⊖ 26—15. На рисунке 26—11 изображена схема потенциометра, при помощи которого можно менять напряжение U_1 , приходящееся на прибор M . Потенциометр находится под напряжением U . Полагая сопротивление прибора M равным r и сопротивление потенциометра равным R , определить U_1 как функцию расстояния x ползунка потенциометра от одного из его концов.

Исследовать случаи: а) $x = 0$; б) $x = l$; в) $x = \frac{l}{2}$; г) $r \gg R$.

○ 26—16. Генератор постоянного тока дает э.д.с. $= 12$ в. Его внутреннее сопротивление $0,2$ ом. Он заряжает батарею

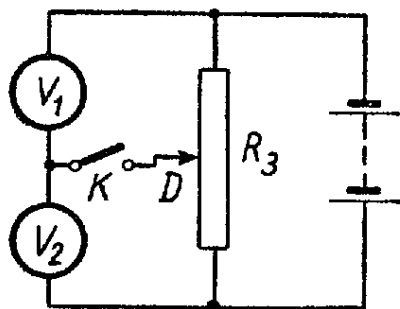


Рис. 26—10.

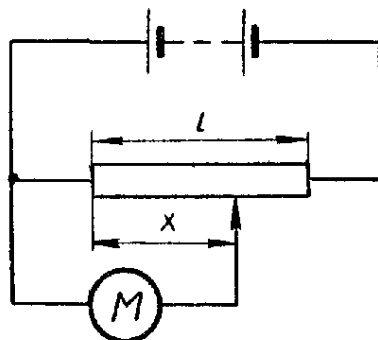


Рис. 26—11.

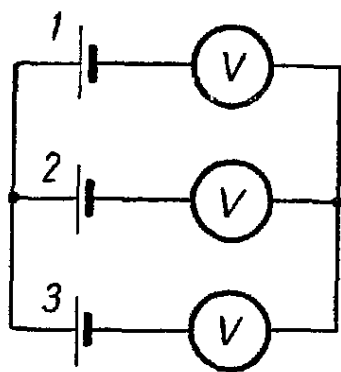


Рис. 26—12.

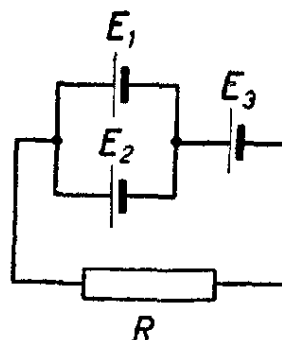


Рис. 26—13.

аккумуляторов с э.д.с. = 10 в и внутренним сопротивлением 0,6 ом. Параллельно батарее включена лампочка с сопротивлением 3 ом. Определить ток в батарее аккумуляторов и в лампочке.

○ 26—17. Три гальванических элемента с э.д.с. 1,3 в; 1,4 в и 1,5 в и с внутренними сопротивлениями по 0,3 ом каждый включены параллельно друг другу на внешнее сопротивление 0,6 ом. Определить ток в каждом элементе.

○ 26—18. Три гальванических элемента и три вольтметра соединены по схеме, показанной на рисунке 26—12. Электродвижущие силы гальванических элементов равны: $E_1 = 1$ в; $E_2 = 2$ в; $E_3 = 1,5$ в. Сопротивления вольтметров равны: $R_1 = 2000$ ом; $R_2 = 3000$ ом; $R_3 = 4000$ ом. Сопротивления элементов ничтожно малы.

а) Каковы показания вольтметров?

б) Каково напряжение между узлами схемы?

○ 26—19. Каковы внутренние сопротивления гальванических элементов с электродвижущими силами 1,6 в; 1,4 в и 1,1 в, если, будучи соединены параллельно при внешнем сопротивлении 1 ом, они дают токи 0,8 а; 0,6 а и —0,2 а?

○ 26—20. Три гальванических элемента ($E_1 = 1,3$ в; $E_2 = 1,5$ в; $E_3 = 2$ в; $r_1 = r_2 = r_3 = 0,2$ ом) включены, как это показано на рисунке 26—13. Сопротивление $R = 0,55$ ом. Определить токи I_1 , I_2 и I_3 в элементах.

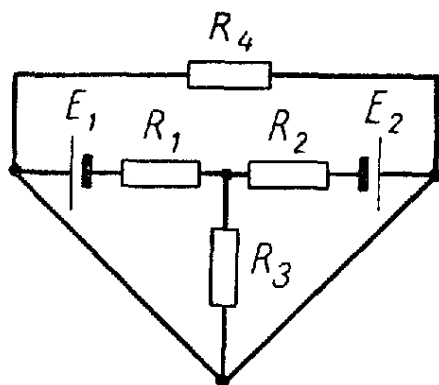


Рис. 26—14.

○ 26—21. На схеме, показанной на рисунке 26—14, сопротивления $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1000$ ом, $E_1 = 1,5$ в, $E_2 = 1,8$ в. Определить токи в сопротивлениях.

○ 26—22. Для измерений разности температур посредством термоэлемента иногда применяют схему, показанную на рисунке 26—15.

Меняя сопротивление высокоомного реостата R_1 , достигают того, что стрелка гальванометра G стоит на нуле. Определить разность температур Δt между спаями термоэлемента 1 и 2 при таких данных: $R = 0,1$ ом, внутреннее сопротивление вольтметра $R_v = 50$ ом; показание вольтметра при отсутствии тока в гальванометре равно $U = 0,07$ в; коэффициент термоэлектродвижущей силы термоэлемента (медь — константан) равен $e = 4,4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{в}}{\text{град}}$.

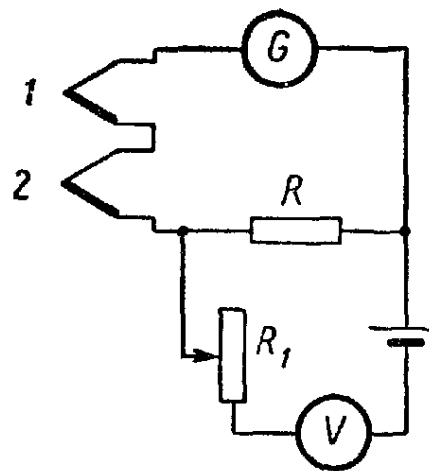


Рис. 26—15.

⊖ 26—23. Батарея из 400 элементов, каждый с электродвижущей силой 2 в и внутренним сопротивлением 0,1 ом, должна давать ток на внешнее сопротивление 10 ом. Требуется составить смешанную батарею из такого числа n_1 параллельных групп, содержащих каждая n_2 последовательно соединенных элементов, чтобы получилась максимальная сила тока. Определить числа n_1 и n_2 .

⊖ 26—24. Два гальванических элемента с электродвижущими силами E_1 и E_2 и внутренними сопротивлениями r_1 и r_2 соединены параллельно и дают ток I во внешнюю цепь, сопротивление которой равно R .

а) Определить токи в элементах I_1 и I_2 и ток I как функции E_1 , E_2 , r_1 , r_2 и R .

б) Определить внутреннее сопротивление r и электродвижущую силу E элемента, эквивалентного данной батарее. Разобрать случаи: 1) когда $E_1 = E_2$ и 2) когда $r_1 = r_2$.

в) Определить ток в элементах при коротком замыкании батареи.

г) Найти условия, при которых второй элемент не будет работать.

д) При каком R токи в элементах равны? Всегда ли это возможно?

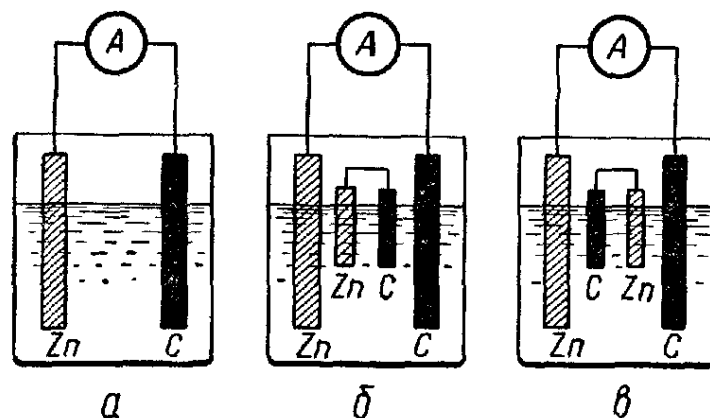


Рис. 26—16.

⊖ 26—25. Имеется элемент Грене, в котором поляризацию можно считать устраненной. Элемент дает ток на амперметр, сопротивление которого мало по сравнению с внутренним сопротивлением элемента (рис. 26—16). Как изменится показание амперметра, если в элемент опустить, как показано на рисунках б и в, цинковый и угольный электроды небольшого размера, соединенные проводником малого сопротивления?

§ 27. Мощность и работа тока

1) Работа, производимая электрическими силами на участке цепи, концы которого имеют разность потенциалов U , при токе I в течение времени τ

$$A = \int_0^{\tau} U \cdot I d\tau.$$

Если I и U постоянны, то

$$A = UI\tau.$$

2) Мощность тока

$$P = UI.$$

3) Количество теплоты, выделяющейся на участке цепи с сопротивлением R , по которому идет ток I , за время τ , независимо от наличия или отсутствия э. д. с. на рассматриваемом участке, равно

$$Q = I^2 R \tau.$$

4) Количество теплоты, выделяющееся в 1 см^3 проводника с удельным сопротивлением ρ при плотности тока j , равно

$$q = j^2 \rho \tau.$$

○ 27—1. На рисунках 27—1 и 27—2 показаны два способа включения ваттметра. Показать, что в первом случае показание ваттметра больше измеряемой величины на величину мощности, поглощаемой в толстой обмотке, а во втором — на величину мощности, поглощаемой в тонкой обмотке.

○ 27—2. Сколько ламп мощностью $P = 300 \text{ вт}$ каждая, предназначенных для напряжения $U = 110 \text{ в}$, можно установить в

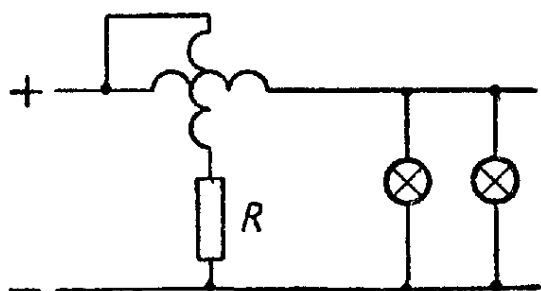


Рис. 27—1.

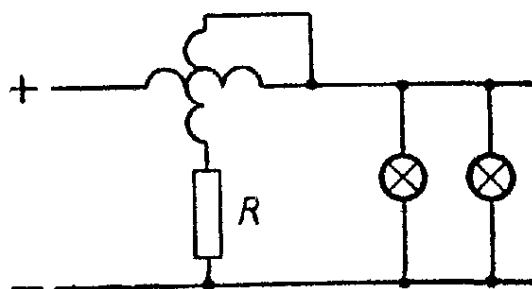


Рис. 27—2.

здании, если проводка от магистрали сделана медным проводом общей длиной $l = 100$ м и сечением $S = 9$ мм² и если напряжение в магистрали поддерживается равным $U_0 = 122$ в?

○ 27—3. Определить количество меди m , потребное для устройства проводки с общей длиной $l = 5$ км. Напряжение на шинах станции $U_0 = 240$ в. Передаваемая потребителю мощность $P = 60$ кВт. Допускается в проводке потеря напряжения $p = 8\%$.

○ 27—4. Как изменится температура медного стержня, если по нему в течение 0,5 сек пройдет ток, плотность которого равна $9 \frac{a}{мм^2}$? При расчете принять, что передача теплоты окружающим телам отсутствует.

○ 27—5. а) Батарея состоит из $n = 5$ последовательно соединенных элементов с э.д.с. $E = 1,4$ в каждый и с внутренним сопротивлением по $r = 0,3$ ом каждый. При каком токе полезная мощность батареи равна 8 вт?

б) Какова наибольшая полезная мощность батареи?

○ 27—6. Ток от магистрали к потребителю подводится по медной проводке общей длиной 49 м и площадью сечения 2,5 мм². Напряжение в магистрали равно 120 в.

Потребитель намеревается сделать электрическую печь мощностью 600 вт. Каково должно быть сопротивление у печи?

○ 27—7. Определить работу тока на участке, не содержащем источников э.д.с. и имеющем сопротивление $R = 12$ ом, если ток в течение $\tau = 5$ сек равномерно увеличивался от $I_1 = 2$ а до $I_2 = 10$ а.

○ 27—8. Определить работу электрических сил и количество теплоты, выделяемое в течение 1 сек (и то и другое выразить в джоулях) в следующих случаях:

а) в проводе, по которому идет ток 1 а; напряжение между концами провода равно 2 в;

б) в аккумуляторе, который заряжается током в 1 а; напряжение между полюсами аккумулятора равно 2 в; э.д.с. аккумулятора равна 1,3 в;

в) в батарее аккумуляторов, которая дает ток 1 а на внешнее сопротивление; напряжение между полюсами аккумулятора равно 2 в; э.д.с. батареи равно 2,6 в.

○ 27—9. Батарея аккумуляторов, э.д.с. которой $E = 12$ в, заряжается при напряжении $U = 12,5$ в током $I_1 = 3$ а. Принимая, что внутреннее сопротивление при заряде и при разряде одинаково и что аккумулятор отдает $\eta_0 = 70\%$ прошедшего через него при заряде электричества, определить к.п.д. η аккумулятора: а) при разряде током $I_2 = 3$ а; б) при разряде током $I_3 = 0,3$ а.

○ 27—10. По проводу, сопротивление которого $R = 6$ ом, протекло количество электричества $q = 30$ к. Определить количество теплоты, выделенное в проводе в следующих случаях:

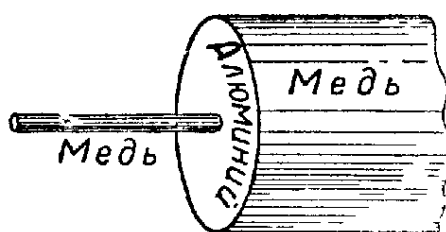


Рис. 27—3.

а) по проводу в течение $\tau = 24$ сек протекал постоянный ток;

б) ток в проводе равномерно убывал до нуля в течение $\tau = 24$ сек;

в) ток в проводе убывал до нуля таким образом, что за каждые $\tau = 24$ сек он убывал вдвое.

○ 27—11. Сопротивление обмотки электрочайника 16 ом. Определить промежуток времени, за который закипит в нем 600 г воды, имеющей начальную температуру $t_1 = 10^\circ \text{C}$, если к.п.д. 60% и если напряжение в сети 120 в.

○ 27—12. Сколько витков никелиновой проволоки надо намотать на фарфоровый цилиндр диаметром 1,5 см, чтобы устроить кипятильник, которым в течение 10 мин можно вскипятить 120 г воды при начальной температуре 10°C ; к.п.д. принять 60%. Диаметр проволоки 0,2 мм. Напряжение 100 в.

○ 27—13. Электрический чайник имеет две секции нагревательной проволоки. При включении одной он закипает через 10 мин; при включении другой он закипает через 20 мин. Через сколько времени он закипит, если включить обе секции: а) последовательно? б) параллельно? Напряжение, к.п.д. чайника, количество воды и начальную температуру считать во всех случаях одинаковыми.

⊕ 27—14. Если напряжение в сети равно $U_1 = 120$ в, то вода в электрическом чайнике закипает через $\tau_1 = 20$ мин. Если же напряжение в сети равно $U_2 = 110$ в, то при таком же количестве воды и при той же начальной температуре вода закипает через $\tau_2 = 28$ мин. Предполагая для упрощения, что потери теплоты от чайника в окружающее пространство пропорциональны времени нагревания, рассчитать, через сколько времени τ_3 закипит вода в чайнике при напряжении в сети, равном $U_3 = 100$ в.

⊖ 27—15. Гальванический элемент с внутренним сопротивлением r замыкают поочередно двумя проводочками с различными сопротивлениями R_1 и R_2 . В каком соотношении должны находиться R_1 , R_2 и r при следующих условиях:

а) в сопротивлениях R_1 и R_2 должно за определенное время выделяться одно и то же количество теплоты;

б) в меньшем сопротивлении должно выделяться больше теплоты?

⊖ 27—16. Ток идет от медной трубки радиусом $r = 2$ мм к медной трубке радиусом $R = 4$ см по плоской алюминиевой фольге толщиной $d = 0,1$ мм (рис. 27—3). Какое количество тепла выделяется в алюминиевой фольге за $\tau = 0,5$ сек, если ток равен $I = 5$ а?

⊕ 27—17. а) К концам свинцовой проволоки длиной $l = 5$ см и диаметром $d = 0,2$ мм прилагается напряжение $U = 100$ в. Ка-

кой промежуток времени τ пройдет до того момента, как проволока начнет плавиться? Точка плавления свинца $t=327^\circ\text{C}$. Пренебречь потерей теплоты во внешнее пространство. Принять начальную температуру проволочки равной 0°C . Пренебречь изменением теплоемкости свинца при нагревании.

б) Какой промежуток времени пройдет до начала плавления проволочки, если по ней идет ток $I=50\text{ а}$?

⊕ 27—18. Свинцовая проволочка диаметром $d_1=1\text{ мм}$ в плавком предохранителе расплавляется при длительном токе не меньше $I_1=8\text{ а}$. Определить, при каком токе I_2 расплавится проволочка диаметром $d_2=2\text{ мм}$. Считать проволочку достаточно длинной (для того чтобы можно было пренебречь охлаждением у ее зажимов). Считать, что потеря теплоты проволочкой в окружающее пространство прямо пропорциональна поверхности проволочки.

⊕ 27—19. Электрическая пустотная лампочка мощностью $P_1=50\text{ вт}$, предназначенная для напряжения $U_1=120\text{ в}$, имеет волосок диаметром поперечного сечения $d_1=0,044\text{ мм}$ и длиной $l_1=612\text{ мм}$. Определить, какой диаметр d_2 и какую длину l_2 должен иметь волосок лампочки мощностью $P_2=15\text{ вт}$, предназначенной для напряжения $U_2=220\text{ в}$. При расчете пренебречь потерями теплоты по крючкам, поддерживающим волосок; считать температуру накала в обоих случаях одинаковой; волосок рассматривать как круглый цилиндр.

⊕ 27—20. Для накала нити одного из типов электронной лампы требуется напряжение $3,8\text{ в}$, причем идет ток $0,65\text{ а}$. Вследствие испарения материала нити диаметр ее уменьшился на 10% . Какое требуется напряжение, чтобы поддержать температуру накала прежней? Какой идет при этом ток?

⊕ 27—21. Принимая: 1) что охлаждение накаливаемой проволоки в воздухе прямо пропорционально разности температур проволоки и воздуха (закон охлаждения Ньютона); 2) что изменение сопротивления ее с температурой незначительно, показать, что удлинение проволоки, накаливаемой током, прямо пропорционально квадрату величины тока.

⊕ 27—22. На рисунке 27—4 изображена схема теплового ваттметра. Тонкая проволока AB , накаливаемая током, перекинута через блок C , оттягиваемый кверху пружинкой (не показанной на рисунке). Показать, что поворот стрелки D прямо пропорционален мощности тока P .

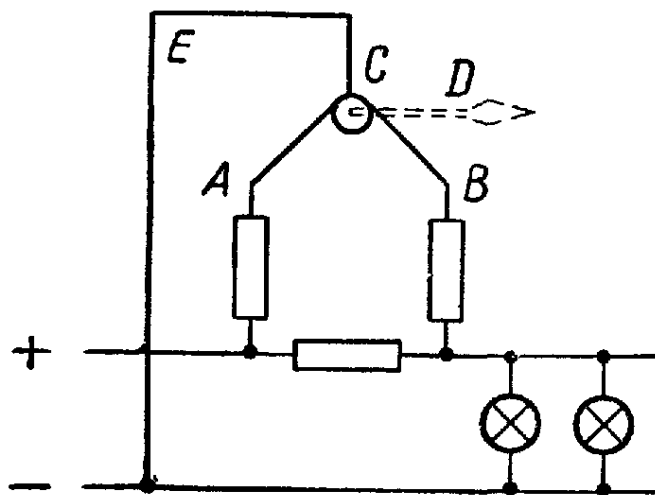


Рис. 27—4.

§ 28. Электронные явления в металлах

1) При решении задач, помещенных в этом параграфе, используется представление, что некоторая часть электронов свободно перемещается внутри металла и что к этой части применимы соотношения кинетической теории газов. Следует помнить, что все результаты, полученные на основании этих представлений, являются лишь первым приближением к действительности.

2) Плотность тока в металле

$$j = nev,$$

где n — концентрация носителей заряда (в случае металла — свободных электронов), e — заряд электрона, v — средняя скорость упорядоченного движения электронов.

3) Между двумя металлами A и B , имеющими общую температуру T и соединенными между собой или непосредственно, или посредством иных металлов, имеется разность потенциалов E_{AB} , зависящая от природы металлов и их общей температуры, но не зависящая от природы и температуры промежуточных металлов (контактная э.д.с.).

4) При прохождении по цепи количества электричества q , помимо джоулевой теплоты, в контактах различных металлов и между сечениями проводов, отличающихся по температуре, выделяется или поглощается количество теплоты, равное $E \cdot q$, где E — соответствующая э.д.с.

5) Плотность тока эмиссии электронов в вакууме (формула Дешмана)

$$j = AT^2 e^{-\frac{\varphi_e}{kT}},$$

где A — постоянная; φ_e — работа вырывания электрона из металла; k — постоянная Больцмана; T — температура.

⊖ 28—1. Определить количество движения электронов (p), соответствующее току $I=400$ а в прямом проводе длиной $l=10$ км.

⊕ 28—2. Принимая, что на каждый атом меди приходится один свободный электрон, сделать следующие расчеты относительно медного провода длиной 15 км, сечением 1 мм², по которому идет ток при напряжении 7 в:

а) Определить, сколько времени потребуется для перемещения свободного электрона от одного конца провода до другого.

б) Найти сумму электрических сил, действующих на все свободные электроны в проводе.

⊖ 28—3. Предполагая, что свободные электроны внутри вращающегося тела перемещаются от оси вращения к периферии до тех пор, пока центробежная сила инерции не уравнивается электрической силой, определить разность потенциалов между центром и окружностью вращающегося металлического диска. Диаметр диска 5 см, частота оборотов равна 1200 мин⁻¹.

⊕ 28—4. Катушка содержит 590 витков медного провода

диаметром 0,3 мм. Диаметр витков равен 14 см. Катушка может вращаться вокруг своей оси, причем ее концы соединены с баллистическим гальванометром. Когда вращающаяся катушка резко тормозится, гальванометр дает отброс. Какое количество электричества пройдет по цепи при торможении катушки при следующих условиях: сопротивление гальванометра вместе с сопротивлением контактов и проводов равно 130 ом. Частота оборотов катушки равна 33 сек⁻¹.

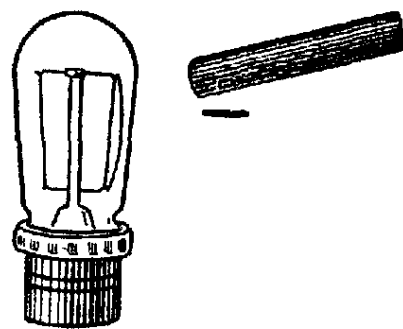


Рис. 28—1.

⊖ 28—5. Каково наибольшее (теоретически) количество электричества, которое протечет по цепи, состоящей из термопары медь — платина и некоторого сопротивления, при поглощении горячим контактом 1 калории? Температура горячего контакта 100° С, холодного 0° С; э.д.с. равна 0,76 мв.

○ 28—6. Наэлектризованная пылинка может быть уравновешена в электрическом поле; между тем сила тяжести действует на все частицы пылинки, а электрическое поле — лишь на имеющиеся на ней избыточные электроны. Каким образом уравновешиваются эти силы?

⊖ 28—7. При приближении отрицательно заряженной палочки к накаливному волоску электрической лампочки волосок притягивается (рис. 28—1). Если же приблизить положительно заряженную палочку, то волосок остается без движения и притягивается лишь в момент удаления положительного заряда. Если накал лампы очень слабый, то волосок притягивается одинаково и к положительному и к отрицательному зарядам. Если накал лампы очень силен, то волосок остается в покое при приближении любого заряда.

Объяснить эти явления, принимая во внимание явление термоионной эмиссии, а также то обстоятельство, что в колбе лампы имеется незначительное количество газа.

⊖ 28—8. Какова работа выхода из металла, если повышение температуры нити накала, сделанной из этого металла, от 2000° К до 2001° К увеличивает ток насыщения в электронной лампе на 1%?

⊖ 28—9. Определить ток насыщения в электронной лампе с вольфрамовым катодом при таких данных: длина и диаметр нити накала 3 см и 0,1 мм; температура накала 2700° К; постоянная A для вольфрама равна $60,2 \frac{a}{\text{см}^2 \cdot \text{град}^2}$.

⊖ 28—10. Вольфрамовая нить, служащая катодом в электронной лампе, накаливается током 1,9 а до некоторой температуры. На сколько вольт надо повысить напряжение на этой нити, чтобы при анодном токе 0,1 а температура нити осталась такой же, как и при отсутствии анодного тока?

§ 29. Электрический ток в газах

1) Работа ионизации

$$A = \varphi e,$$

где φ — потенциал ионизации.

2) Связь скоростей ионов v и u с их подвижностями k_+ и k_- и с напряженностью поля

$$v = k_+ E; \quad u = k_- E.$$

3) Плотность тока при концентрации ионов n (насыщение не имеет места)

$$j = en (k_+ + k_-) E.$$

4) Плотность тока насыщения между плоскими электродами, отстоящими на расстоянии d ,

$$j = eqd,$$

где q — число пар ионов, образуемых ионизатором в 1 см^3 за 1 сек .

5) Число пар ионов, рекомбинирующих за 1 сек в 1 см^3 газа, свободного от пылинок,

$$\Delta n = \alpha n^2,$$

где α — коэффициент рекомбинации. При наличии в газе частиц пыли, дыма и т. п. рекомбинация в значительной мере происходит на них. В таком случае число пар ионов, рекомбинирующих за 1 сек , можно считать пропорциональным n :

$$\Delta n = \beta n.$$

6) Средняя продолжительность существования иона

$$\tau = \frac{n}{q}.$$

○ 29—1. При какой относительной скорости молекул кислорода может произойти при соударении однократная ионизация одной из них?

У к а з а н и е. При решении этой и последующих задач следует принять во внимание, что ионизация происходит при неупругом ударе молекул.

⊖ 29—2. а) Молекула кислорода ионизируется ударом электрона. Какова разность потенциалов, которую прошел электрон, вызвавший ионизацию, если его начальная скорость мала? Считать также малой скорость ионизируемой молекулы перед ударом.

б) Тот же вопрос относительно иона, масса которого вместе с «прилипшими» молекулами в $n = 4$ раза больше массы молекулы кислорода.

○ 29—3. На рисунке 29—1 изображен опыт по стеканию зарядов с острия. Против заряженного острия находится узкая полоска папиросной бумаги, верхний конец которой прикреплен к штативу, отведенному к земле. При медленном повышении напряжения между острием и землей полоска сначала притягивается к острию, затем при некотором определенном для данного острия напряжении резко отталкивается. Объяснить явления.

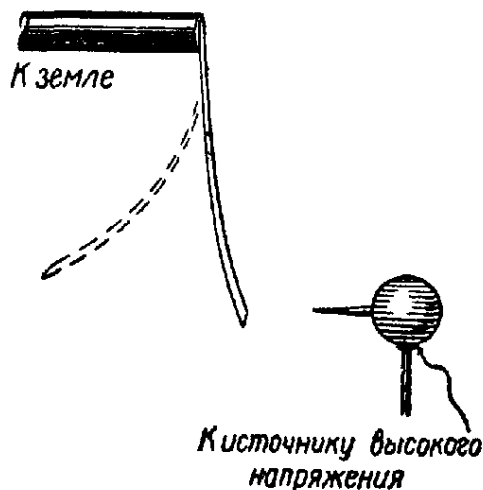


Рис. 29—1.

⊖ 29—4. Предположим, что два иона движутся в газе вокруг их общего центра инерции, причем общая кинетическая энергия их движения равна средней энергии поступательного движения молекул окружающего газа. Чему равно расстояние b между ними при 0°C ?

○ 29—5. Воздух, заключенный между двумя пластинками с площадью 300 см^2 , находящимися на расстоянии 2 см друг от друга, ионизируется рентгеновскими лучами. При напряжении 150 в , значительно меньшем, чем напряжение, дающее ток насыщения, между пластинами идет ток $4 \cdot 10^{-6} \text{ а}$. Определить концентрацию ионов между пластинами.

○ 29—6. Концентрация ионов, обуславливающих проводимость атмосферного воздуха, в среднем равна 700 см^{-3} . Средняя величина напряженности земного электрического поля равна $130 \frac{\text{в}}{\text{м}}$. Вычислить плотность тока проводимости в атмосфере.

○ 29—7. Воздух между двумя пластинками конденсатора ионизируется. Ток насыщения между ними равен $2 \cdot 10^{-10} \text{ а}$. Площадь пластинок 100 см^2 ; расстояние между ними $0,5 \text{ см}$. Определить число пар ионов, образующихся за 1 сек в 1 см^3 .

⊖ 29—8. Можно считать, что столкнувшиеся ионы рекомбинируются. Во сколько раз увеличивается число столкновений ионов воздуха вследствие их взаимодействия по сравнению с незаряженными молекулами при температуре 17°C ? Диаметр молекул воздуха принять равным $\sigma = 3 \cdot 10^{-8} \text{ см}$. Коэффициент рекомбинации $\alpha = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3 \cdot \text{сек}^{-1}$.

⊖ 29—9. Число пар ионов, образующихся в 1 см^3 воздуха за 1 сек , принимают равным над океанами вдали от суши около 1 (действие космического излучения), над сушей в среднем около 8 (действие космических лучей и радиоактивных веществ в воздухе и в почве). Воздух над океаном можно считать свободным от пыли; $\alpha = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3 \cdot \text{сек}^{-1}$. Воздух над сушей загрязнен пылью; $\beta = 0,01 \text{ сек}^{-1}$.

а) Вычислить концентрацию ионов над океаном и над сушей.

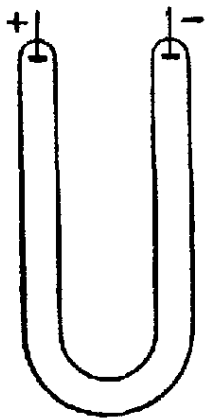


Рис. 29—2.

б) На сколько переместятся в вертикальном направлении положительные и отрицательные ионы в воздухе над океаном и над сушей, если напряженность электрического поля Земли в обоих случаях равна $130 \frac{в}{м}$?

⊖ 29—10. Число пар ионов в 1 см^3 воздуха при ионизации рентгеновскими лучами равно $n_0 = 10^6 \text{ см}^{-3}$. Через сколько времени от момента прекращения действия ионизатора число пар ионов уменьшится до $n = 10^4 \text{ см}^{-3}$:

а) если воздух чистый ($\alpha = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3 \cdot \text{сек}^{-1}$)?

б) если воздух загрязнен пылью ($\beta = 10^{-2} \text{ сек}^{-1}$)?

Наличием других ионизаторов пренебречь.

⊕ 29—11. Газ между двумя плоскими электродами ионизируется. Вблизи электродов рекомбинации не происходит, так как все образующиеся там ионы достигают электродов раньше, чем успеют рекомбинироваться. Исходя из этого:

а) показать, что формула $j = en(k_+ + k_-) \frac{U}{d}$ переходит в формулу для плотности тока насыщения $j = eqd$, как только будет достигнута такая скорость ионов, что рекомбинация не будет иметь места нигде в пространстве между электродами;

б) вычислить, при каком напряжении должен получиться ток насыщения, если расстояние между электродами $d = 3 \text{ см}$ и если $q = 10^7 \text{ сек}^{-1} \cdot \text{см}^{-3}$. Воздух свободен от пыли ($\alpha = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3 \cdot \text{сек}^{-1}$).

⊖ 29—12. В изогнутой трубке с высоким вакуумом (рис. 29—2) электроны летят от катода к аноду по траекториям, изогнутым по форме трубки. Как это объяснить?

⊙ 29—13. На рисунке 29—3 представлено распределение потенциала в трубке, в которой происходит тлеющий разряд (схематически). В какой области между электродами напряженность поля наиболее велика? Где она равна нулю? Указать области, где имеются пространственные заряды.

⊖ 29—14. По пустотной трубке идет ток, и поток электронов ударяет в анод, передавая ему некоторое количество движения. Значит ли это, что результирующая сила, действующая на анод, отлична от нуля?

⊖ 29—15. При движении электронов в вакуумной трубке они не встречают на своем пути атомов и молекул; следовательно, нельзя говорить о тепловом действии тока внутри трубки. Почему же не равно нулю напряжение между электродами трубки?

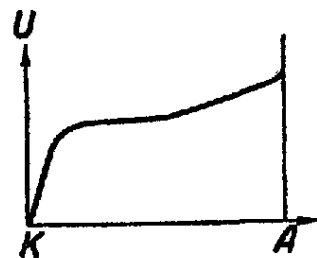


Рис. 29—3.

§ 30. Явления в электролитах

1) Закон Фарадея для массы m вещества, выделенного на электроде при прохождении количества электричества q ,

$$m = \frac{A}{z} \cdot \frac{q}{F},$$

где A — атомный (или молекулярный) вес вещества; z — валентность; F — число Фарадея.

2) Удельная проводимость электролита

$$g = ze n \alpha (k_+ + k_-),$$

где ze — заряд иона; n — концентрация молекул растворенного вещества; α — коэффициент диссоциации; k_+ и k_- — подвижности ионов.

3) Уравнение Гиббса — Гельмгольца (§ 18) в применении к разности потенциалов между электродом и электролитом (полуэлемент) или между двумя электродами, опущенными в электролит (элемент),

$$E = \frac{H}{F \cdot z} + T \frac{dE}{dT},$$

где H — общая сумма количества тепла, выделяющегося при реакции внутри элемента (или полуэлемента) на 1 моль ионов.

○ 30—1. Движутся ли ионы в электролитах по силовым линиям электрического поля? Что имеют в виду, когда говорят, что линии тока в электролитах совпадают с силовыми линиями поля?

○ 30—2. Никелирование металлического изделия с поверхностью 120 см^2 продолжалось 5 ч током $0,3 \text{ а}$. Валентность никеля равна 2. Определить толщину слоя никеля.

○ 30—3. Сколько цинка расходуется в элементе Даниеля за 20 мин работы при токе $0,5 \text{ а}$? Валентность цинка равна 2. Принять, что выход тока равен 100%.

○ 30—4. Какое количество воды разложится при электролизе раствора серной кислоты в течение $t = 10 \text{ мин}$, если ток равен $I = 0,8 \text{ а}$?

○ 30—5. Определить коэффициент диссоциации водного раствора хлористого калия (KCl) с концентрацией $c = 0,1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Удельное сопротивление такого раствора при 18°С равно $7,36 \text{ ом} \cdot \text{см}$.

○ 30—6. Коэффициент диссоциации водного раствора, содержащего $0,064 \text{ г}$ азотной кислоты в 1 см^3 , равен $0,824$. Какова удельная электропроводность этого раствора при 18°С ?

○ 30—7. Определить диаметр шарика, который, имея тот же заряд, что и ион серебра, движется в слабом водном растворе соли серебра при наличии электрического поля с той же скоростью, что и ион серебра. Принять, что сопротивление среды при движе-

нии шарика определяется формулой Стокса (см. § 9) и что вязкость раствора такова же, как вязкость воды при 18° С.

⊖ 30—8. В воде растворено 1,5 г кристаллов медного купороса ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), причем получившийся раствор имеет объем 100 см³. В раствор опущены два медных электрода в виде прямоугольных пластин со сторонами 8 см и 10 см. Напряжение между электродами равно 0,5 в, ток равен 0,56 а.

а) Какова общая сумма электрических сил, действующих на ионы Cu^{++} , находящиеся между электродами?

б) Какова арифметическая сумма скоростей упорядоченного движения ионов Cu^{++} и SO_4^{--} ? При расчете принять, что диссоциация растворенного вещества является полной.

○ 30—9. Определить молярную теплоту перехода в раствор ионов таллия. Разность потенциалов между таллием и раствором, содержащим моль ионов таллия (Tl^+) в 1 л при температуре 25° С, равна $E = -0,0576$ в, а изменение этой разности потенциалов при изменении температуры равно $-0,00121 \frac{\text{в}}{\text{град}}$.

§ 31. Магнетизм

В приводимых ниже формулах рационализированная форма (относящаяся, в частности, к системе СИ) дается в скобках.

1) Магнитный момент прямой катушки (соленоида), имеющей ω витков площадью S , по которым идет ток I ,

$$p = \mu \omega I S = \mu \omega_1 I S l,$$

где $\omega_1 = \frac{\omega}{l}$ — густота витков, μ — магнитная проницаемость среды.

2) Магнитный момент тонкого прямого магнита

$$p = ml,$$

где l — длина, m — величина, зависящая от степени намагничивания и от площади сечения магнита (магнитная масса).

3) Магнитный момент нескольких катушек или магнитов равен векторной сумме их магнитных моментов.

4) Вращающий момент, действующий на катушку (или на магнит) с магнитным моментом p , находящуюся в магнитном поле, напряженность которого H , составляет угол α с их осью:

$$M = Hp \sin \alpha.$$

5) Напряженность поля, создаваемого элементом Δl провода, по которому идет ток I , в точке, находящейся на расстоянии r ,

$$\Delta H = \frac{\Delta l I \sin(l, r)}{r^2} \quad \left(\Delta H = \frac{\Delta l I \sin(l, r)}{4\pi r^2} \right).$$

6) Напряженность поля, создаваемого током I в конечном отрезке l прямого провода, в точке, отстоящей на расстоянии a от отрезка (рис. 31—1),

$$H = \frac{1}{a}(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \quad \left(H = \frac{1}{4\pi a}(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \right).$$

В случае очень длинного отрезка прямого провода для точек, близких к его середине, выражение в скобках мало отличается от 2. В этом случае можно принять

$$H = \frac{2I}{a} \quad \left(H = \frac{I}{2\pi a} \right).$$

7) Напряженность магнитного поля в центре дуги окружности длиной L

$$H = \frac{IL}{R^2} \quad \left(H = \frac{IL}{4\pi R^2} \right),$$

где R — радиус окружности. Если дуга охватывает полную окружность, то

$$H = \frac{2\pi I}{R} \quad \left(H = \frac{I}{2R} \right).$$

8) Напряженность поля внутри длинной прямой катушки (соленоида) в точках, близких к ее середине,

$$H = \frac{4\pi \omega I}{l} \quad \left(H = \frac{\omega I}{l} \right).$$

9) Напряженность поля внутри тороида (кольцевого соленоида) на расстоянии R от его оси (рис. 31—2)

$$H = \frac{2\omega I}{R} \quad \left(H = \frac{\omega I}{2\pi R} \right).$$

10) Циркуляция напряженности поля при обводе вокруг токов I_1, I_2, \dots и т. д.

$$\oint H dS = 4\pi (I_1 + I_2 + \dots) \quad \left(\oint H dS = I_1 + I_2 + \dots \right).$$

11) Связь между магнитной индукцией B , магнитной проницаемостью μ и напряженностью магнитного поля H

$$B = H\mu.$$

В системе СГСМ в вакууме магнитная проницаемость $\mu = 1$ и $B = H$.

В нерационализированной форме системы МКСА в вакууме $\mu_0 = 1 \cdot 10^{-7} \frac{\text{гн}}{\text{м}}$.

В системе СИ $\mu'_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{гн}}{\text{м}}$.

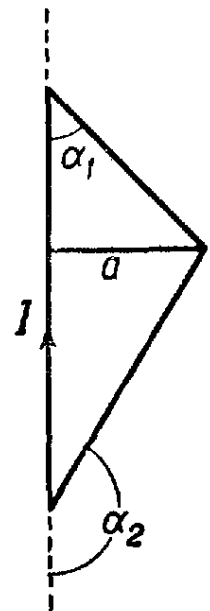


Рис. 31—1.

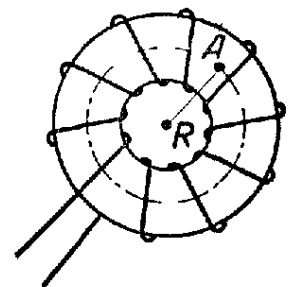


Рис. 31—2.

Ниже для магнитной восприимчивости в системе *СИ* используется обозначение μ' :

$$\mu' = \mu_0 \mu,$$

где μ — магнитная проницаемость данной среды в системе *СГСМ*, а μ_0 — магнитная восприимчивость вакуума в системе *СИ*.

12) Сила, действующая на прямолинейный отрезок Δl провода, по которому идет ток I , в магнитном поле

$$F = B \cdot \Delta l \cdot I \cdot \sin(B, \Delta l).$$

13) Сила, действующая на заряд q , движущийся со скоростью v в магнитном поле,

$$F = Bqv \sin(B, v).$$

14) Сила, действующая в неоднородном магнитном поле на короткий соленоид (или магнит), ось которого расположена вдоль поля,

$$F = -p \frac{\Delta H}{\Delta R}.$$

15) Сила, действующая на отрезок l одного из двух длинных параллельных проводов, находящихся на расстоянии b , по которым текут токи I_1 и I_2 ,

$$F = \frac{2I_1 I_2 l \mu}{b} \quad \left(F = \frac{I_1 I_2 l \mu'}{2\pi b} \right).$$

16) Магнитный поток, пронизывающий плоскую поверхность,

$$\Phi = BS \cos(B, S).$$

17) Магнитный поток в сердечнике с различными магнитными проницаемостями и различными сечениями на разных участках магнитной цепи

$$\Phi = \frac{4\pi w J}{\sum \frac{l}{\mu S}} \quad \left(\Phi = \frac{w I}{\sum \frac{l}{\mu' S}} \right).$$

18) В случае, если длина катушки значительно больше ее диаметра,

$$\Phi = \frac{4\pi w \mu S}{l} = \frac{4\pi p}{l} \quad \left(\Phi = \frac{w \mu' S}{l} = \frac{p}{l} \right).$$

19) Подъемная сила магнита

$$F = \frac{B^2 S}{8\pi \mu} \quad \left(F = \frac{B^2 S}{2\mu'} \right),$$

где μ — магнитная проницаемость среды, в которой действует магнит (воздух).

20) Во всех задачах, где речь идет о железных сердечниках, предполагается, что магнитные свойства железа выражены графиком, изображенным на рисунке 31—3.

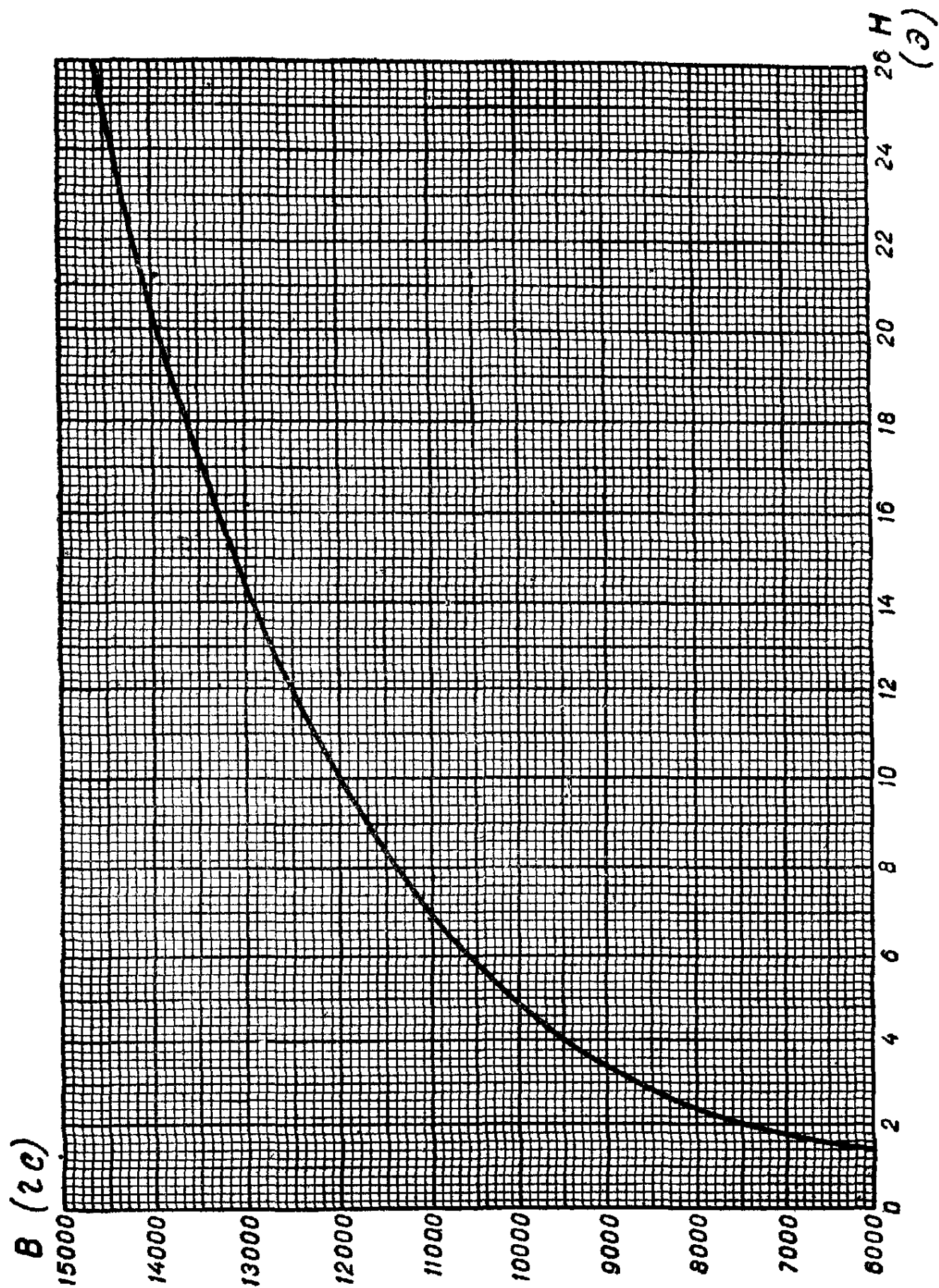


Рис. 31—3.

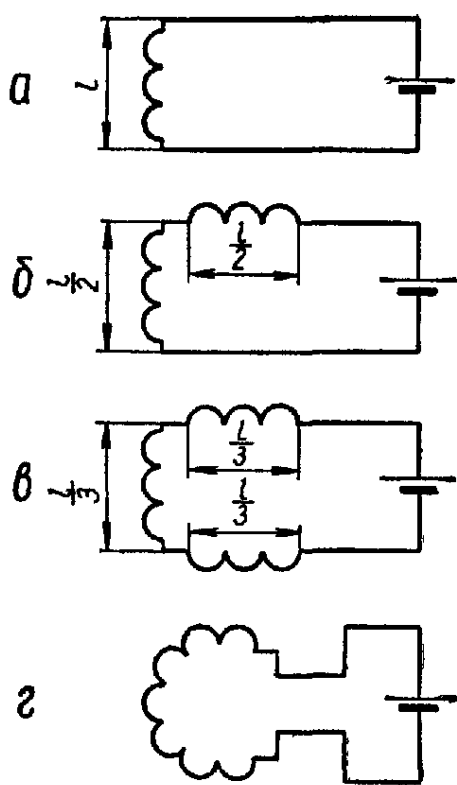


Рис 31—4.

21) Для облегчения перевода числовых значений величин из одной системы единиц в другую служит таблица V, 4 (см. также статью «Вниманию учащихся» в начале книги, пункт 7).

Нужно обратить внимание на то, что величина единицы напряженности магнитного поля меняется при переходе от нерационализированной формы уравнений к рационализированной так, что единица напряженности в системе СИ, т. е. МКСА рационализиров.) в 4 π раз больше единицы напряженности в системе МКСА нерационализиров.

○ 31—1. Ось прямой катушки, имеющей 400 витков по 4 см диаметром, расположена горизонтально в плоскости магнитного меридиана. По катушке идет ток 6 а. Определить действующий на нее вращающий момент, если напряженность

земного магнитного поля (выраженная в рационализированных единицах) равна $40 \frac{a}{m}$, а наклонение равно 70°

○ 31—2. На рисунках 31—4, а, б, в, г соленоиды различной формы, у которых общее число витков, их площадь, длина, а также величина тока одинаковы и равны: $w = 3000$; $S = 10 \text{ см}^2$; $I = 2a$. Определить магнитные моменты соленоидов, пренебрегая магнитными потоками, перпендикулярными к плоскости чертежа.

○ 31—3. На рисунке 31—5 изображена двойная спираль, служащая в некоторых типах ламп накаливаемым телом. Общее число больших витков w_1 , малых w_2 . Площадь больших витков S_1 , малых S_2 . По спирали идет ток I . Определить магнитный момент двойной спирали.

○ 31—4. Период небольших колебаний маленькой магнитной стрелки около вертикальной оси в земном магнитном поле равен 0,7 сек. Период колебаний той же стрелки, помещенной внутри соленоида, по которому идет ток, равен 0,1 сек. Затухание колебаний в обоих случаях невелико. Горизонтальная составляющая земного поля в системе СИ равна $14,3 \frac{a}{m}$. Определить напряженность поля внутри соленоида.



Рис. 31—5.

○ 31—5. Намагниченная спица подвешена на нити в горизонтальном положении и колеблется под действием земного магнитного поля. Крутильный момент нити ничтожно мал. Как изменится период колебания, если спицу разломать пополам и подвесить половинку?

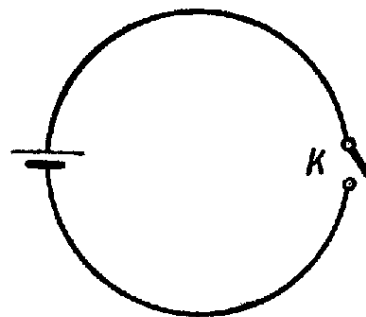


Рис. 31—6

○ 31—6. а) До замыкания ключа K в цепи (рис. 31—6) момент количества движения электронов в проводниках, составляющих цепь, равен нулю. После замыкания ключа K по цепи идет ток и момент количества движения электронов отличен от нуля. Нарушается ли этим закон сохранения момента количества движения?

б) Каков момент количества движения у электронов в этой цепи, если магнитный момент равен $p = 5$ ед. СГСМ?

○ 31—7. Железные опилки, насыпанные на горизонтально расположенный картон, сквозь который проходит вертикально протянутый провод, несущий ток, при простукивании по картону стягиваются по направлению к проводу; при этом они движутся в направлении, перпендикулярном к силовым линиям магнитного поля тока. Почему это происходит?

○ 31—8. По трем длинным прямым проводам, расположенным в одной плоскости параллельно друг другу на расстоянии 3 см, текут токи $I_1 = I_2$ и $I_3 = -(I_1 + I_2)$. Определить положение прямой, в которой напряженность поля, создаваемого токами, равна нулю.

○ 31—9. По длинному вертикальному проводу сверху вниз течет ток 4 а. Указать точку вблизи середины провода, в которой поле, получающееся от сложения земного поля и поля тока, имеет вертикальное направление. Горизонтальную составляющую земного магнитного поля принять равной (в рационализированных единицах) $16 \frac{a}{m}$

○ 31—10. По длинному проводу, протянутому перпендикулярно к плоскости магнитного меридиана в направлении на запад, идет ток 15 а. Напряженность земного магнитного поля в данном месте равна 0,5 э, а угол наклонения 70° .

а) Указать точку вблизи середины провода, в которой напряженность результирующего поля равна нулю.

б) Какова напряженность результирующего поля на 5 см выше и ниже провода?

○ 31—11. По двум длинным проводам, расположенным параллельно друг другу на расстоянии 5 см, идут в одном направлении токи 5 а и 10 а. Определить напряженность поля в точке, отстоящей на 2 см от первого из проводов и на 5 см от второго.

○ 31—12. По длинному проводу, согнутому под прямым углом, идет ток 20 а. Определить напряженность магнитного

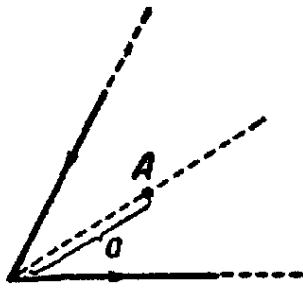


Рис. 31—7.

поля в точке, лежащей на продолжении одной из сторон угла на расстоянии 2 см от вершины.

⊖ 31—13. Ток $I = 30$ а идет по длинному проводу, согнутому под углом $\alpha = 56^\circ$ (рис. 31—7). Определить напряженность поля в точке А, находящейся на биссектрисе угла на расстоянии $a = 5$ см от вершины угла.

⊖ 31—14. Определить напряженность магнитного поля, создаваемого током $I = 6$ а, текущим по проводу, согнутому в виде прямоугольника со сторонами $a = 16$ см и $b = 30$ см, в его центре.

⊖ 31—15. Определить напряженность поля, создаваемого током $I = 5$ а, текущим по проводу, согнутому в виде правильного треугольника со стороной $a = 30$ см, в вершине правильного тетраэдра, для которого этот треугольник служит основанием.

⊖ 31—16. По проводу, согнутому в виде кольца радиусом $R = 11$ см, течет ток $I = 14$ а. Найти напряженность поля: а) в центре кольца; б) в точке, лежащей на перпендикуляре к плоскости кольца, восстановленном из его центра, на расстоянии $a = 10$ см от центра.

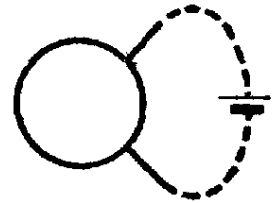


Рис. 31—8.

○ 31—17. К двум точкам проволочного кольца подведены идущие радиально провода, соединенные с весьма удаленным источником тока (рис. 31—8). Чему равна напряженность поля в центре кольца?

⊖ 31—18. По длинному прямому соленоиду, имеющему 35 витков на 1 см длины, течет ток 2 а. Определить напряженность поля: а) внутри соленоида близ его середины, б) в центре одного из его оснований.

⊖ 31—19. Диаметр витков соленоида в $n = 4$ раза больше длины его оси. Густота витков равна $\omega_1 = 200$ см⁻¹. По виткам соленоида идет ток $I = 0,1$ а. Определить напряженность магнитного поля: а) в середине оси соленоида; б) в центре одного из его оснований.

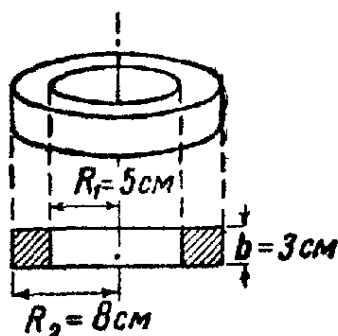


Рис. 31—9.

○ 31—20. Определить напряженность поля, создаваемого в воздухе соленоидом с магнитным моментом $p = 60$ ед. СГСМ в точке на оси соленоида, отстоящей от соленоида на расстоянии $a = 50$ см, которое является значительным по сравнению с диаметром соленоида и его длиной.

⊖ 31—21. Кольцевой соленоид с деревянным сердечником в виде кольца с прямоугольным сечением, размеры которого показаны на рисунке 31—9, имеет $\omega = 500$

витков. Определить магнитный поток при токе $I = 2,5$ а в обмотке.

○ 31—22. Циркуляция напряженности по замкнутым кривым на поверхности Земли (например, по широтным кругам) отлична от нуля. Какой вывод следует сделать из этого наблюдения для области, для которой циркуляция по ее контуру по стрелке часов положительна?

○ 31—23. Определить циркуляцию напряженности в случаях, изображенных на рисунке 31—10, если в обоих проводах идут токи 8 а.

⊖ 31—24. Ток идет по полой металлической трубе. Показать, что: а) напряженность поля внутри трубы равна нулю; б) напряженность поля вне трубы такова же, как напряженность поля, созданного током, текущим по тонкому проводу, совпадающему с осью трубы.

⊕ 31—25. Какова структура магнитного поля: а) в случае, описанном в задаче 27—16, б) в случае, описанном в задаче 25—6.

⊖ 31—26. Ток $I = 20$ а идет по полой тонкостенной трубе радиусом $R_2 = 5$ см и обратно по сплошному проводнику радиусом $R_1 = 1$ мм, проложенному по оси трубы. Длина трубы $l = 20$ м. Чему равен магнитный поток такой системы? Магнитным полем внутри металла пренебречь.

⊖ 31—27. По медному проводу, сечение которого является кругом ($R = 2$ см), течет ток $I = 500$ а.

а) Определить напряженность магнитного поля внутри провода в точке, отстоящей на расстоянии $r = 0,5$ см от оси провода.

б) Определить магнитный поток внутри провода, если длина его равна 3 м. (Имеется в виду поток, пронизывающий одну из половин осевого сечения провода.)

⊕ 31—28. Внутри длинного круглого металлического цилиндра, вдоль которого идет ток плотностью j , имеется цилиндрическая полость, ось которой отстоит от оси цилиндра на расстоянии d (рис. 31—11). Определить напряженность магнитного поля внутри полости.

⊖ 31—29. Длинный прямой соленоид с густотой витков 10 см⁻¹ расположен вертикально. По виткам его идет ток 5 а. Определить: а) напряженность поля внутри соленоида вблизи его середины; б) горизонтальную составляющую поля тока вне соленоида на расстоянии 4 см от оси соленоида; в) как идут силовые линии внутри и вне соленоида; являются ли они замкнутыми.

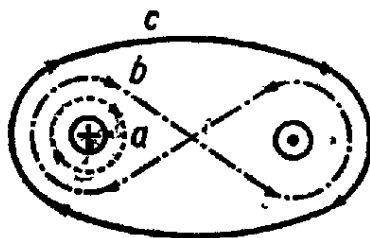


Рис. 31—10

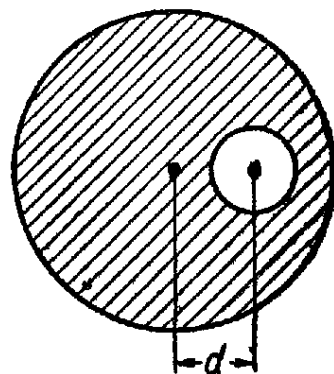


Рис. 31—11.

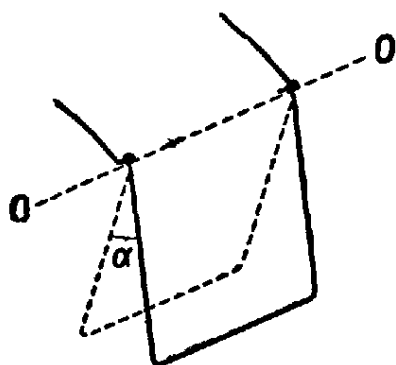


Рис. 31—12.

⊖ 31—30. Медный провод сечением $S = 2 \text{ мм}^2$, согнутый в виде трех сторон квадрата, может вращаться, как показано на рисунке 31—12, около горизонтальной оси. Провод находится в однородном магнитном поле, направленном вертикально. Когда по проводу идет ток $I = 10 \text{ а}$, провод отклоняется от положения равновесия на угол $\alpha = 15^\circ$. Определить индукцию поля.

⊖ 31—31. По кольцу диаметром $d = 10 \text{ см}$ из свинцовой проволоки площадью сечения $S = 0,7 \text{ мм}^2$ идет ток $I = 7 \text{ а}$, отчего температура проволоки повышается до температуры, близкой к плавлению. Прочность свинца на разрыв при этой температуре равна $p_0 = 2 \frac{\text{н}}{\text{мм}^2}$. Разорвется ли такое кольцо, если поместить его в магнитное поле, индукция которого $B = 1 \frac{\text{вб}}{\text{м}^2}$ (плоскость кольца перпендикулярна к полю)?

○ 31—32. Шины электростанции представляют собой параллельные медные полосы длиной 3 м , находящиеся на расстоянии 50 см . При коротком замыкании по ним может пойти ток $10\,000 \text{ а}$.

С какой силой взаимодействуют при этом шины?

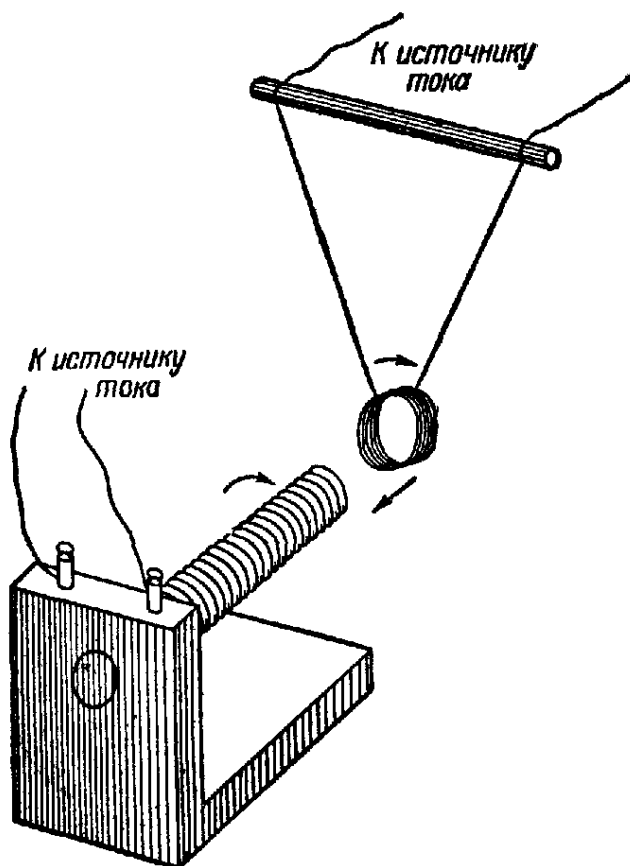


Рис. 31—13.

⊕ 31—33. По двум круглым проводам, оси которых параллельны, а радиусы сечений сравнимы с расстоянием между осями, текут токи, плотности которых по всему сечению неизменны. Показать, что сила взаимодействия таких проводов выражается по формуле пункта 15) введения, причем b означает расстояние между осями проводов.

⊕ 31—34. В приложении к Государственному стандарту 8033-56 дано определение единицы тока — ампера: «Ампер есть сила неизменяющегося тока, который, будучи поддерживаем в двух параллельных прямолинейных проводниках бесконечной длины и

ничтожно малого кругового сечения, расположенных на расстоянии 1 метр один от другого в пустоте, вызвал бы между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ единиц силы системы МКС на 1 метр длины».

Зачем в стандарт внесено указание, что проводники должны быть «бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения»?

⊖ 31—35. Две катушки, магнитные моменты которых равны $p_1 = 80$ СГСМ и $p_2 = 120$ СГСМ, расположены так, что их оси находятся на одной прямой. Расстояние между ними $R = 100$ см велико по сравнению с диаметром и длиной катушки. Определить силу их взаимодействия.

⊖ 31—36. На рисунке 31—13 изображен демонстрационный опыт по взаимодействию токов. Если по катушкам текут попутные токи и направления магнитных полей внутри катушек совпадают, то катушка большего диаметра надевается на катушку, имеющую меньший диаметр. Для опыта берутся катушки, диаметры которых разнятся лишь немного, а катушка с меньшим диаметром значительно длиннее другой

Как будет проходить опыт, если диаметр подвижной катушки в несколько раз больше диаметра неподвижной катушки?

○ 31—37. На рисунке 31—14, а изображен известный из курса школьной физики опыт Эрстеда. Как изменится угол, на который отклоняется при включении тока магнитная стрелка, если, не меняя величины тока и расстояния провода от стрелки, сделать следующие изменения опыта: а) взять стрелку такого же размера, но намагниченную более сильно?

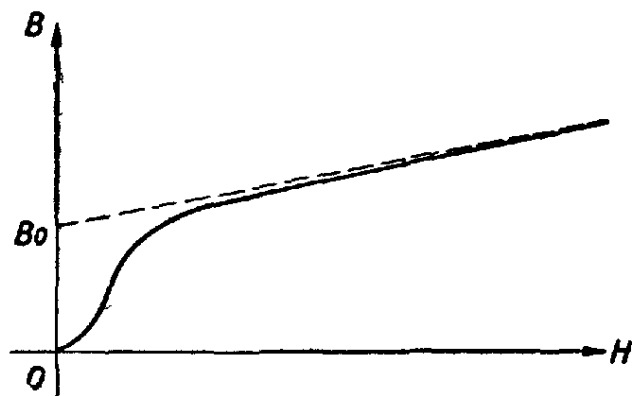


Рис. 31—15.

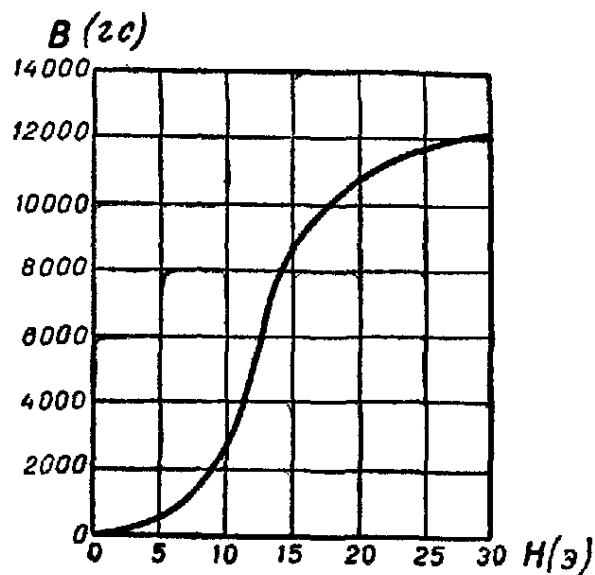


Рис. 31—16.

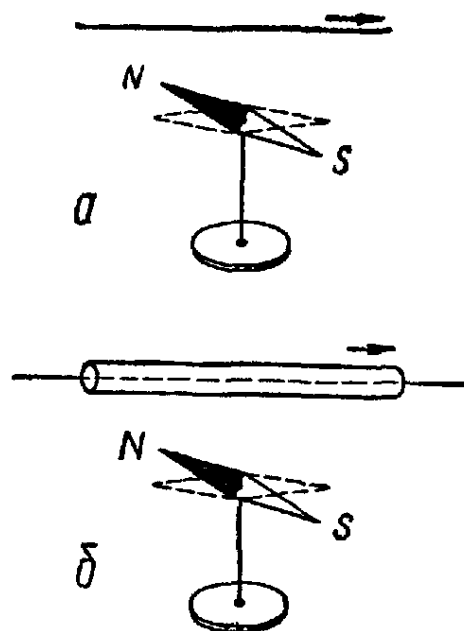


Рис 31—14.

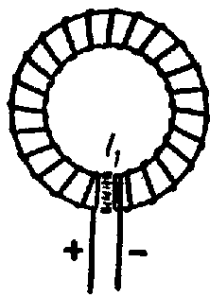


Рис. 31—17.

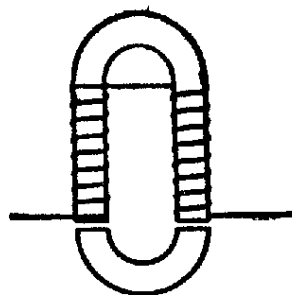


Рис. 31—18.

б) взять стрелку более длинную? в) окружить провод железной трубой (рис. 31—14, б)?

○ 31—38. Кривая намагничивания железа асимптотически приближается к прямой (рис. 31—15). Что означает величина OB_0 ?

○ 31—39. Как определить по графику (рис. 31—16) значения B и H , соответствующие максимуму μ ?

○ 31—40. Определить коэрцитивную напряженность в материале постоянного магнита длиной 15 см, если поле вне магнита исчезает при наличии тока 2 а в обмотке в 300 витков, навитой на магнит.

○ 31—41. На железном кольце (тороиде) имеется обмотка, содержащая 1000 витков. По обмотке идет ток 1 а. Определить напряженность и индукцию магнитного поля внутри тороида на расстоянии: а) 10 см от центра тороида; б) 12,5 см.

○ 31—42. Средний диаметр железного кольца равен 15 см. Площадь сечения кольца 7 см². На кольцо навито 500 витков провода. Принимая, что поле внутри кольца, имеющее место при наличии тока в обмотке, является однородным, определить:

а) магнитный поток в сердечнике при токе 0,6 а;

б) при каком токе магнитный поток в кольце равен $8,4 \cdot 10^{-4}$ вб.

○ 31—43. Средняя длина окружности железного кольца $l = 61$ см. В нем сделан прорез $l_1 = 1$ см (рис. 31—17). На кольцо имеется обмотка с $w = 1000$ витками. Когда по обмотке идет ток $I = 1,5$ а, индукция поля в прорезе равна $B = 1800$ гс. Определить μ железа при этих условиях, приняв, что площадь сечения магнитного потока в прорезе в $k = 1,1$ раза больше площади сечения кольца.

○ 31—44. Два одинаковых железных кольца ($d = 10$ см) имеют обмотки по $w = 100$ витков каждая. В одном из колец имеется поперечный прорез $d_1 = 1$ мм. По обмотке сплошного кольца идет ток $I_1 = 2$ а. Какой ток I_2 надо пустить по обмотке второго кольца, чтобы создать в нем ту же индукцию? Считать

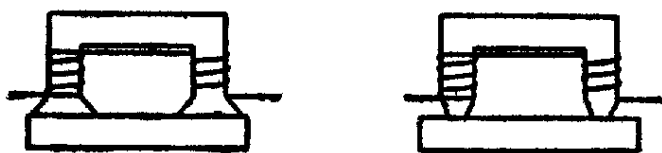


Рис. 31—19.

площади сечения потока индукции в воздухе и в железе одинаковыми.

⊖ 31—45. Общая длина силовых линий в электромагните равна 36 см, а толщина каждого из воздушных зазоров 0,2 мм (рис. 31—18). Площадь сечения магнитного потока всюду равна 2 см². Обмотка электромагнита имеет 294 витка. При токе 3 а подъемная сила магнита равна 160 н. Определить, каковы при этих условиях: а) индукция; б) магнитная проницаемость железа.

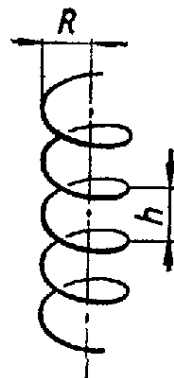


Рис. 31—20.

⊖ 31—46. Какой из электромагнитов, изображенных на рисунке 31—19, имеет большую подъемную силу, если используемый магнитный поток в обоих случаях одинаков?

⊖ 31—47. Объяснить следующий опыт. Имеется намагниченная стальная спица, у концов которой удерживаются приложенные к ним небольшие одинаковые гвозди. Если один из концов спицы накалил добела (примерно до середины) и затем охладить, то подвергшийся нагреванию конец не удерживает гвоздика, в то время как другой конец удерживает.

⊖ 31—48. Траектория пучка электронов, движущихся в вакууме в магнитном поле ($B = 70$ гс), — дуга окружности радиусом 3 см. Определить скорость и энергию электронов.

⊖ 31—49. Электрон движется в магнитном поле, индукция которого $B = 20$ гс, по винтовой линии радиусом $R = 2$ см и шагом $h = 5$ см (рис. 31—20). Определить скорость электрона.

⊖ 31—50. Однородное электрическое ($E = 3 \frac{b}{\text{см}}$) и магнитное ($B = 1$ гс) поля направлены взаимно перпендикулярно. Каковы должны быть направление и величина скорости электрона, чтобы его траектория была прямолинейна?

⊖ 31—51. Каковы нормальное и тангенциальное ускорения электрона, движущегося в совпадающих по направлению электрическом и магнитном полях? а) Скорость электрона v направлена вдоль полей. б) Скорость электрона направлена перпендикулярно к ним.

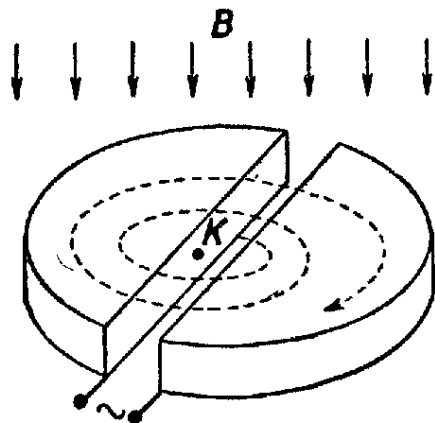


Рис. 31—21.

⊕ 31—52. Одним из типов приборов, служащих для получения быстро движущихся заряженных частиц, является циклотрон, представляющий собой низкую цилиндрическую металлическую коробку (рис. 31—21), разрезанную на две половины (дуанты). Дуанты помещены в вакуум. Между ними создается электрическое поле, причем через некоторые промежутки времени направление этого поля меняется. Вблизи центра одного из

дуантов имеется источник ионов K . Дуанты находятся в однородном магнитном поле, направление которого показано на рисунке стрелками.

Ион, попавший в разрез между дуантами, вследствие действия электрического поля движется с ускорением. Затем внутри дуанта он движется под действием магнитного поля по дуге окружности и вновь подлетает к разрезу между дуантами. Промежуток времени, по истечении которого напряжение между дуантами меняет свой знак, подбирается так, чтобы ион успел описать внутри дуанта полуокружность. Таким образом, при каждом переходе иона из одного дуанта в другой скорость его увеличивается, и ион описывает внутри дуантов полуокружности все большего диаметра.

а) Доказать, что промежутки времени, через которые надо менять направление электрического поля между дуантами, не зависят от радиуса полуокружности, по которой движется ион, а потому должны оставаться неизменными во все время движения иона.

б) Определить индукцию магнитного поля, которая требуется для сообщения протону энергии $\mathcal{E} = 4 \text{ Мэв}$, если максимальный радиус полуокружности внутри дуанта равен $R = 60 \text{ см}$.

в) Определить промежуток времени, в течение которого протон достигает указанной энергии. Его начальная скорость мала. В моменты перехода протона из одного дуанта в другой напряжение между ними равно $U = 20\,000 \text{ в}$. Промежуток между дуантами $d = 1 \text{ см}$. Принять, что поле между дуантами однородно.

§ 32. Работа при перемещении проводника с током в магнитном поле и электромагнитная индукция

В приводимых ниже формулах рационализированная форма относящаяся, в частности, к системе СИ дается в скобках.

1) Работа при перемещении проводника, по которому идет ток I ,

$$\Delta A = I \cdot \Delta \Phi,$$

где $\Delta \Phi$ — изменение магнитного потока в контуре, по которому идет ток.

2) Мощность при перемещении со скоростью v в магнитном поле проводника длиной Δl , по которому идет ток I ,

$$P = B \cdot I \cdot \Delta l \cdot v \cdot \sin(B, v).$$

Направления Δl и v предполагаются взаимно перпендикулярными.

3) Э. д. с. индукции в контуре, пронизываемом потоком Φ ,

$$E = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

4) Э. д. с. индукции в проводнике длиной Δl , движущемся в магнитном поле со скоростью v ,

$$E = B \cdot \Delta l \cdot v \sin(B, v).$$

Направление v и Δl предполагаются взаимно перпендикулярными.

5) Количество индуцируемого электричества в контуре с сопротивлением R при изменении пронизывающего его потока на $\Delta\Phi$

$$q = - \frac{\Delta\Phi}{R}.$$

6) Индуктивность соленоида с числом витков ω

$$L = \frac{\Phi\omega}{I}.$$

7) Индуктивность прямого соленоида равна

$$L = k \frac{4\pi\omega^2\mu S}{l} \quad \left(L = k \frac{\omega^2\mu' S}{l} \right),$$

где l — длина соленоида, S — площадь, ограничиваемая каждым витком соленоида (приближенно ее можно считать равной площади сечения сердечника соленоида), ω — число витков, μ и μ' — магнитная проницаемость среды (приближенно под μ можно подразумевать магнитную проницаемость сердечника, находящегося внутри соленоида), выраженная соответственно в системе СГСМ и в системе СИ, k — безразмерный множитель, значение которого зависит от отношения диаметра соленоида к его длине (см. задачу 32—24). При $l \gg d$ можно принимать k равным единице. В случае кольцевого соленоида, диаметр которого значительно больше диаметра витков, можно применять для расчета индуктивности ту же формулу, подразумевая под l среднюю длину магнитных силовых линий внутри соленоида.

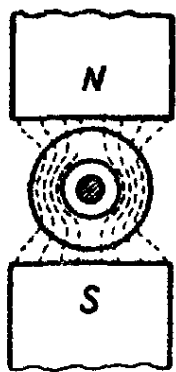
8) Если в цепь включены две катушки, индуктивности которых равны L_1 и L_2 , а взаимная индуктивность равна M , то общая индуктивность системы равна

$$L = L_1 + L_2 \pm 2M.$$

Знак $+$ ставится в том случае, если магнитные поля в катушках усиливают друг друга.

9) Ток в цепи, содержащей постоянную э. д. с., омическое сопротивление R и индуктивность L , через время t после замыкания

$$I = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right).$$



10) Ток в цепи через время t после исчезновения в ней э.д.с.

$$I = I_0 e^{-\frac{R}{L} t}.$$

где I_0 — ток в момент исчезновения э.д.с.

11) Плотность энергии магнитного поля

$$W = \frac{BH}{8\pi} \quad \left(W = \frac{BH}{2} \right).$$

Рис. 32—1.

12) Энергия магнитного поля тока

$$\mathcal{E} = \frac{LI^2}{2}.$$

○ 32—1. Ось катушки, имеющей 1000 витков, диаметром 10 см, расположена горизонтально по земному магнитному меридиану. По катушке идет ток 0,5 а. Горизонтальная составляющая земного магнетизма в системе СИ $16 \frac{a}{m}$. Какую работу надо произвести, чтобы повернуть катушку на 180° ?

○ 32—2. Медный провод заключен в железную оболочку, как показано на рисунке 32—1, поэтому магнитное поле в полости железной оболочки слабее наружного. Как это отзывается на электродвижущей силе индукции: а) при движении проводника вместе с железной оболочкой в магнитном поле? б) во время усиления или ослабления магнитного поля при неподвижном проводнике?

○ 32—3. В катушку, замкнутую на гальванометр, вдвигают магнит, и стрелка гальванометра дает отброс. Затем гальванометр заменяют реостатом, сопротивление которого равно сопротивлению гальванометра, и снова с той же скоростью вдвигают магнит. Одинаковы ли величины индукционных токов в этих случаях?

○ 32—4. Внутри короткозамкнутой катушки вставлена другая, по которой идет ток от аккумулятора. Во вторую катушку вдвигают железный сердечник, вследствие чего в первой катушке индуцируется ток, и она нагревается. За счет какой работы производится нагревание?

○ 32—5. В короткозамкнутую катушку один раз быстро, другой медленно вдвигают магнит. а) Одинаковое ли количество электричества индуцируется в катушке в первый и второй раз? б) Одинаковую ли работу против электромагнитных сил производит сила руки, вдвигающей магнит?

○ 32—6. Магнит вдвигается в металлическое кольцо, возбуждая в нем индукционный ток. а) Чему равна разность потенциалов между двумя точками на кольце? б) Что покажет гальванометр, присоединенный одними и теми же проводами

к точкам A и B кольца: так, как показано сплошной линией, или так, как показано пунктиром на рисунке 32—2?

○ 32—7. В переменном однородном магнитном поле находится сетка, описанная в задаче 26—2 (без подводящих проводов). Что можно сказать про индукционные токи в проводниках, из которых состоит сетка?

○ 32—8. Какие явления происходят в кольце, если в него вдвигается магнит? Рассмотреть случаи: а) кольцо сделано из диэлектрика; б) кольцо сделано из сверхпроводника.

○ 32—9. Горизонтальный металлический стержень вращается около вертикальной оси, проходящей на расстоянии $\frac{l}{k} = \frac{1}{3}$ его длины, с частотой оборотов $n = 2 \text{ сек}^{-1}$. Длина стержня равна $l = 60 \text{ см}$. Определить разность потенциалов между концами стержня, если вертикальная составляющая земного магнитного поля равна $H = 0,5 \text{ э}$.

⊖ 32—10. При вращении металлических тел электроны удаляются от оси вращения и в теле создается электрическое поле. С какой частотой оборотов должен вращаться около вертикальной оси металлический диск, чтобы электрическое поле в нем отсутствовало? Вертикальную составляющую магнитного поля Земли принять равной в системе СИ $40 \frac{\text{а}}{\text{м}}$.

⊕ 32—11. Проволочное кольцо ($R = 10 \text{ см}$) находится в постоянном однородном магнитном поле ($B = 100 \text{ гс}$), перпендикулярном плоскости кольца. Центр кольца соединен с ним двумя прямыми проволочками (рис. 32—3). Одна из проволочек (OA) неподвижна, другая (OB) вращается около центра с постоянной угловой скоростью $\omega = 4 \text{ рад} \cdot \text{сек}^{-1}$, вследствие чего и по прямым проволочкам и по кольцу идут индукционные токи. Сопротивление проволочки длиной 1 см равно $\gamma = 10^{-2} \text{ ом}$. Магнитные поля индукционных токов малы по сравнению с наводящим магнитным полем. Определить токи в прямых проволочках и в дугах кольца при следующих положениях: а) $\varphi = 0$, б) $\varphi = \pi$, в) $\varphi = 2\pi$.

⊖ 32—12. В катушке без железного сердечника, имеющей 1000 витков, диаметр сечения 10 см и длину 50 см , величина тока рав-

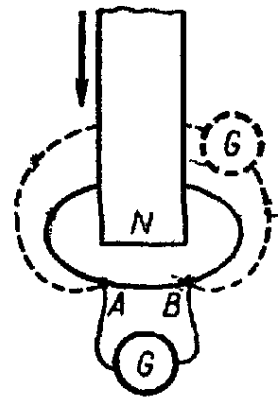


Рис 32—2.

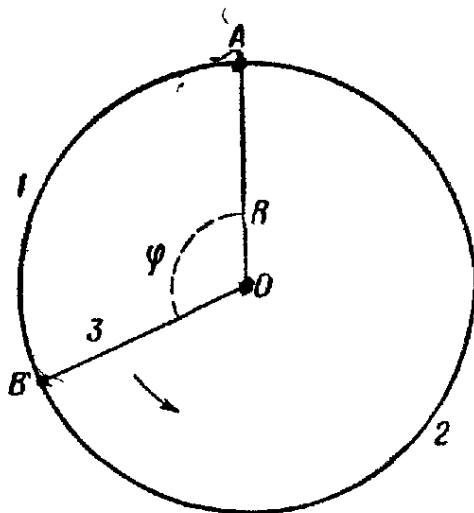


Рис 32 -3.

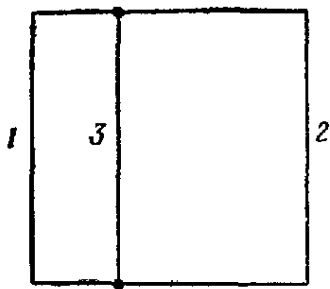


Рис. 32—4

номерно увеличивается на $0,1$ а за 1 сек (посредством реостата). На катушку надето кольцо из медной проволоки площадью сечения 2 мм^2 . Считая, что магнитные потоки, пронизывающие катушку и кольцо, в любой момент равны между собой, найти ток в кольце.

⊕ 32—13. Проволочный каркас в виде квадрата с перекладиной, сделанной из той же проволоки (рис. 32—4), находится в однородном переменном магнитном поле, вследствие чего по проволокам идут индукционные токи. Магнитные поля индукционных токов малы по сравнению с изменениями внешнего магнитного поля. В каком случае индукционные токи выделяют большие количества теплоты: а) перекладина находится на середине квадрата? б) перекладина сдвинута к одной из сторон квадрата? в) перекладина делит площадь квадрата на части в отношении $1 : 3$?

⊖ 32—14. Постоянный магнит (магнитный момент которого равен 6000 СГСМ), длиной 20 см вдвигается в катушку, диаметр основания которой равен 5 см , имеющей обмотку из медной проволоки сечением $0,5 \text{ мм}^2$. Какое количество электричества проходит при вдвигании магнита в катушку по ее обмотке?

⊖ 32—15. На деревянный цилиндр, длина которого $l = 20 \text{ см}$ значительно больше его диаметра, навиты две медные обмотки сечениями $S = 2 \text{ мм}^2$. Одна из обмоток замкнута накоротко. Какое количество электричества индуцируется в ней, если другую обмотку присоединить к аккумулятору с э.д.с., равной $E = 2 \text{ в}$ и с очень малым внутренним сопротивлением?

⊖ 32—16. Медный обруч, имеющий массу $m = 5 \text{ кг}$, расположен в плоскости магнитного меридиана. Какое количество электричества индуцируется в нем, если его повернуть около вертикальной оси на 90° ? Горизонтальная составляющая земного магнетизма равна $H_{\text{г}} = 0,2 \text{ э}$.

○ 32—17. Каков магнитный поток, создаваемый катушкой из 1000 витков, имеющей индуктивность 5 гн , если по катушке течет ток $0,6 \text{ а}$?

○ 32—18. Когда по катушке идет ток, то она вследствие взаимодействия токов стремится изменить свои продольные и поперечные размеры. Как изменяется индуктивность катушки, если изменение размеров имеет место?

○ 32—19. Почему индуктивность катушки сильно зависит от магнитных свойств сердечника, находящегося внутри катушки, и мало зависит от магнитных свойств тел, окружающих катушку?

○ 32—20. Сколько витков надо намотать на картонный цилиндр длиной $l = 60 \text{ см}$, диаметром $d = 5 \text{ см}$, чтобы получить

катушку, индуктивность которой $L = 6 \cdot 10^{-3} \text{ гн}$? Множитель k (см. введение, пункт 7) принять равным 1.

⊖ 32—21. На круглом деревянном цилиндре имеется обмотка из медной проволоки, масса которой равна $m = 50 \text{ г}$. Расстояние между крайними витками, равное $l = 60 \text{ см}$, много больше диаметра цилиндра. Сопротивление обмотки $R = 30 \text{ ом}$. Какова ее индуктивность?

○ 32—22. а) Две катушки с индуктивностями $L_1 = 5 \text{ мгн}$ и $L_2 = 3 \text{ мгн}$ включены последовательно и расположены так, что их магнитные поля взаимно усиливают друг друга. Индуктивность этой системы оказалась равной $L = 11 \text{ мгн}$. Чему равна взаимная индуктивность катушек?

б) Какова будет индуктивность системы катушек, если, не меняя расположения катушек, переменить направление тока в одной из них на обратное?

○ 32—23. Катушка A находится внутри катушки B большего размера и может вращаться около оси OO' , перпендикулярной к осям обеих катушек (рис. 32—5). При каком расположении катушек индуктивность двух последовательно соединенных катушек: а) наибольшая; б) наименьшая; в) равна сумме индуктивностей отдельных катушек?

○ 32—24. Коэффициент k в формуле для вычисления индуктивности катушки (см. введение, п. 7) для однослойной катушки имеет значения, указанные в таблице:

Диаметр Длина	0,00	0,02	0,1	0,2	0,33	0,5	1	2	5	10	100
k	1,00	0,992	0,959	0,920	0,872	0,818	0,688	0,526	0,320	0,203	0,035

Какова причина того, что у длинных катушек коэффициент k больше, чем у коротких того же диаметра?

32—25. Пользуясь таблицей, приведенной в задаче 32—24, определить индуктивность: а) катушки, намотанной в один слой плотно прилегающих друг к другу витков на деревянный сердечник длиной 10 см и диаметром 5 см . Диаметр проволоки вместе с изоляцией равен $0,5 \text{ мм}$; б) кольца диаметром 10 см , сделанного из проволоки диаметром 1 мм .

⊖ 32—26. а) Пользуясь таблицей, приведенной в задаче 32—24, определить взаимоиндуктивность двух одинаковых катушек, диаметр которых равен их длине, сложенных вплотную и соединенных последовательно согласно. Индуктивность каждой из них равна 10 мгн .

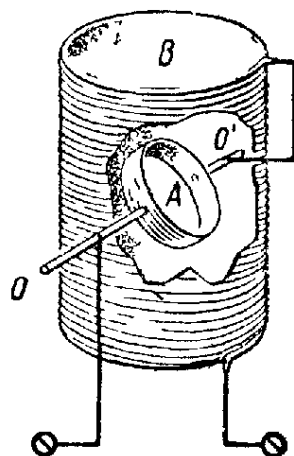


Рис. 32—5.

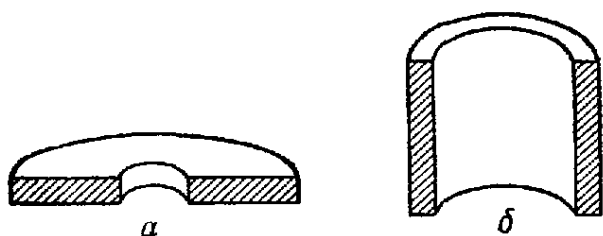


Рис. 32—6.

б) Какова взаимоиндуктивность тех же катушек, если они раздвинуты на расстояние, равное их длине?

Θ 32—27. а) Определить индуктивность катушки с замкнутой магнитной цепью (кольцевой соленоид) при

следующих данных: число витков $w = 1000$; площадь сечения магнитопровода $S = 25 \text{ см}^2$; средний диаметр кольца $d = 20 \text{ см}$; ток $I = 1 \text{ а}$. Магнитные свойства железа выражены кривой на рисунке 31—3. б) Тот же вопрос при токе $I_1 = 0,1 \text{ а}$.

Θ 32—28. Каково различие в зависимости индуктивности от величины тока у кольцевых соленоидов с железными сердечниками в виде полых цилиндров, сечения которых изображены на рисунке 32—6?

Θ 32—29. Сердечник соленоида представляет собой кольцо, состоящее из двух сложенных колец, сечения которых S_1 и S_2 и магнитные проницаемости μ_1 и μ_2 . Средняя длина силовых линий в кольце l ; число витков w . Определить индуктивность соленоида.

Θ 32—30. Определить индуктивность петли из двух проводов. Длина петли $l = 1500 \text{ м}$, диаметр проводов $d = 1 \text{ мм}$; расстояние между осями проводов $a = 2 \text{ см}$. Магнитным полем внутри проводов можно пренебречь.

○ 32—31. На катушку, сопротивление и индуктивность которой равны 10 ом и 58 мГн , дается постоянное напряжение. Через сколько времени ток в катушке достигает величины, равной половине установившегося тока?

○ 32—32. На рисунке 32—7 показана схема телеграфной передачи. Аппарат A на станции работает от местной батареи E_2 . Ток от батареи включается посредством реле P , приводимым в действие рабочим током из линии. Сколько времени пройдет после включения ключа K до замыкания местной цепи при таких данных: общее сопротивление всей цепи, включающей

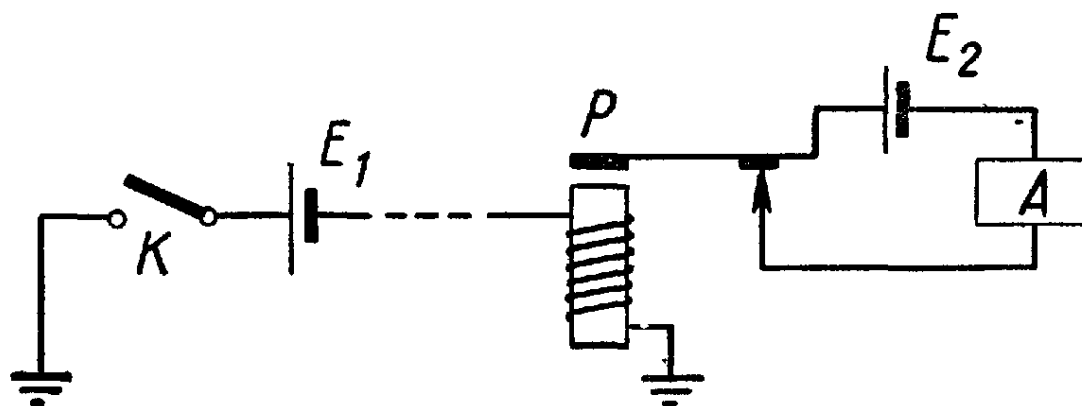


Рис. 32—7.

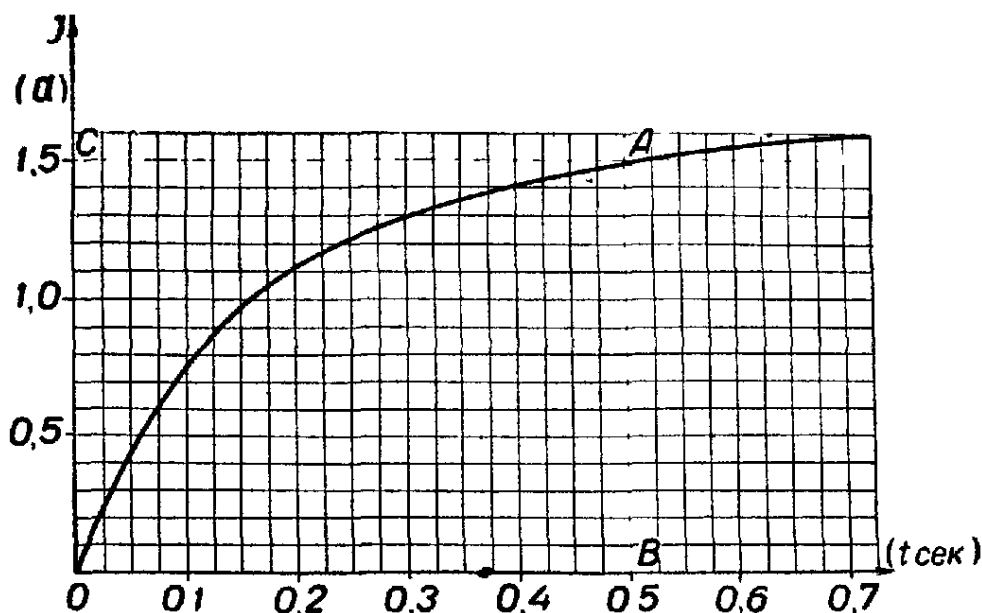


Рис. 32—8.

линию, 80 ом , индуктивность $0,6 \text{ гн}$; э д с. батареи 20 в ; для приведения в действие реле требуется ток $0,2 \text{ а}$?

⊕ 32—33. Катушка с сопротивлением $0,7 \text{ ом}$ и индуктивностью $0,2 \text{ гн}$ попадает на $0,3 \text{ сек}$ под напряжение 100 в . Как изменится при этом температура меди в катушке, если ее масса $2,5 \text{ кг}$, а изоляция не успеет нагреться?

⊕ 32—34. На рисунке 32—8 показан график тока в дросселе при приключении к нему источника постоянного тока.

а) Чему равны площади $OABO$ и $OCAO$?

б) Пользуясь графиком, определить индукцию магнитного поля, которая имеет место в сердечнике дросселя через $0,5 \text{ сек}$ по включении тока, если известны следующие данные: обмотка дросселя состоит из медного провода площадью сечения $S = 1 \text{ мм}^2$, диаметр сердечника равен $d = 5 \text{ см}$; сопротивлением всех частей цепи, кроме обмотки дросселя, можно пренебречь.

⊖ 32—35. На рисунке 32—9 изображена схема мостика Уитстона, причем измеряется омическое сопротивление катушки с индуктивностью $L = 0,1 \text{ гн}$. Ключи K_1 и K_2 смонтированы в виде двойного ключа так, что при нажатии кнопки сначала замыкается ключ K_1 , а затем ключ K_2 . Передвигая движок D по струне AB , добились, что при медленном нажатии кнопки двойного ключа гальванометр G не дает отброса.

а) В каком направлении пойдет ток в мостике DC , если нажать двойной ключ слишком быстро?

б) Какова разность потенциалов между точками D и C схемы через $t = 0,001 \text{ сек}$ после замыкания ключа K_1 , если сопротивление катушки $R_1 = 120 \text{ ом}$,

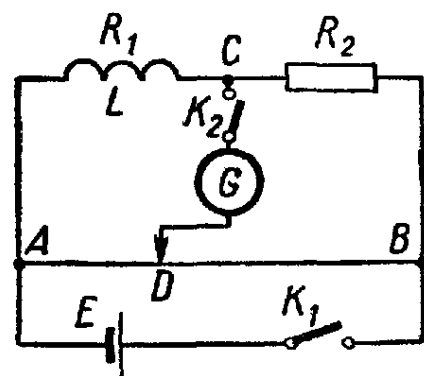


Рис. 32—9.

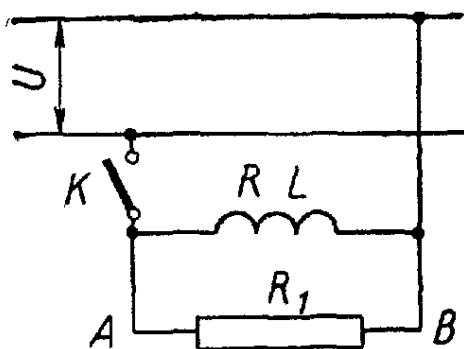


Рис. 32—10.

сопротивление $R_2 = 80 \text{ ом}$, э.д.с. источника тока равна $E = 1,4 \text{ в}$? Внутренним сопротивлением источника тока, сопротивлением подводящих проводов и индуктивностью всех частей установки, кроме катушки, можно пренебречь.

⊖ 32—36. Катушка с индуктивностью 6 гн и омическим сопротивлением 200 ом и безындуктивное сопротивление 1000 ом присоединены параллельно к магистрали, в

которой поддерживается напряжение 120 в (рис. 32—10). Какое напряжение будет между точками A и B схемы через $0,001 \text{ сек}$ после размыкания ключа K ?

⊖ 32—37. Катушка без железного сердечника имеет $10\,000$ витков диаметром 5 см . Длина катушки равна 50 см . Обмотка сделана из медного провода ($S = 0,1 \text{ мм}^2$). Через сколько времени после подключения катушки к батарее аккумуляторов величина тока достигнет значения $I = 0,99 I_0$, где I_0 — установившаяся величина тока? Таблица значений множителя k приведена в задаче 32—24.

○ 32—38. Определить энергию магнитного поля в железном сердечнике объемом 400 см^3 , если индукция равна $12\,000 \text{ гс}$.

○ 32—39. Определить энергию магнитного поля для случая, описанного в задаче 31—26.

○ 32—40. Имеются две входящие одна в другую катушки одинаковой длины с одинаковым числом витков. Если по обеим катушкам идет одинаковый ток, то плотности энергии магнитного поля в катушках равны между собой. Вставим меньшую катушку в большую так, чтобы магнитные поля их совпали. При этом внутри меньшей катушки плотность энергии учетверится (а не удвоится). За счет чего произойдет увеличение энергии в два раза?

Если же перевернуть внутреннюю катушку, то энергия магнитного поля внутри нее будет равна нулю. Куда она делась?

○ 32—41. Обмотка электромагнита имеет сопротивление 10 ом и индуктивность $0,2 \text{ гн}$ и находится под постоянным напряжением. В течение какого промежутка времени t в обмотке выделится количество теплоты, равное энергии магнитного поля в сердечнике?

○ 32—42. Какова энергия магнитного поля в катушке длиной в 50 см , имеющей $10\,000$ витков диаметром 25 см , без железного сердечника, если по ней идет ток 2 ма ? (См. задачу 32—24.)

⊖ 32—43. Определить энергию магнитного поля на единицу длины бесконечного прямого провода, по которому идет ток I . Дать объяснение полученному результату.

⊖ 32—44. а) Определить энергию магнитного поля, если по петле из двух проводов (см. задачу 32—30) идет ток силой 8 а.

б) Решить ту же задачу, считая провод бесконечно тонким.

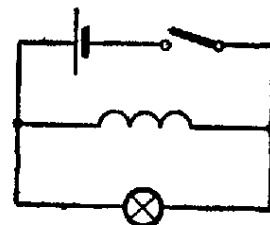


Рис. 32—11.

⊖ 32—45. Для демонстрирования явления самоиндукции при размыкании пользуются следующей установкой (рис. 32—11). Параллельно дросселю с большой индуктивностью включают лампочку накала на 120 в. Ток на дроссель и лампочку дает батарея аккумуляторов 4—6 в. При этом нить накала лампы нагревается очень слабо. При размыкании тока в дросселе лампочка на мгновение вспыхивает. Определить температуру накала при таких условиях: индуктивность дросселя $L = 0,03$ гн; величина тока в нем $I = 5$ а; материал нити накала — вольфрам; длина ее $l = 43$ см; диаметр $d = 0,019$ мм; начальная температура нити $t_1 = 100^\circ \text{C}$. Принять, что на нагревание нити накала идет вся энергия магнитного поля в дросселе.

⊕ 32—46. По обмотке, густо навитой на железный тороид, идет ток, величина которого периодически меняется; достигая то некоторого положительного значения, то такого же по абсолютной величине отрицательного. При этом напряженность магнитного поля в тороиде меняется пропорционально току в обмотке. Зависимость магнитной индукции в железе от напряженности для данного случая представлена на рисунке 32—12 (петля гистерезиса). Вычисляя плотность энергии магнитного поля в железе по формуле, указанной в пункте 11 введения, получим для состояний, соответствующих точкам А, С, D и E графика, значения 0, а для точек L и K отрицательные значения. Как истолковать эти результаты?

⊕ 32—47. Имеется постоянный магнит в виде кольца с прорезом шириной 4 мм. Средний диаметр кольца равен 10 см, а сечение кольца имеет форму круга, диаметр которого мал по сравнению с диаметром кольца. При таких размерах поле в прорезе можно считать однородным, а площади сечения магнитного потока в прорезе и в кольце равными между собой. Индукция в прорезе равна 100 гс.

а) Какова напряженность магнитного поля в кольце?

б) Какова плотность энергии магнитного поля в кольце?

в) Чему равна сумма энергий магнитных полей в кольце и в прорезе?

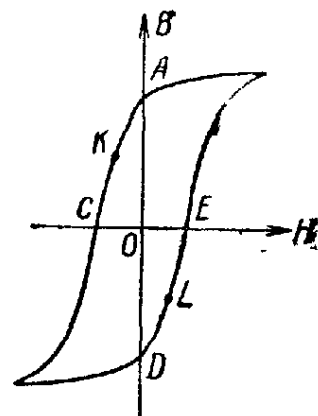


Рис. 32—12.

У к а з а н и е. Применить теорему о циркуляции напряженности магнитного поля (введение к § 31, п. 10).

§ 33. Периодические токи

1) Эффективные значения величины тока и напряжения

$$I_{\text{eff}}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt; \quad U_{\text{eff}}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt,$$

где T — период тока; i, u — мгновенные значения тока и напряжения. В тексте задач, где нет специальных оговорок, эффективные значения тока и напряжения обозначаются буквами I и U без индексов.

2) Для синусоидального тока

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}; \quad U_{\text{eff}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}},$$

где I_m и U_m — амплитуды тока и напряжения.

3) Средние величины тока и напряжения

$$I_{\text{med}} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i dt; \quad U_{\text{med}} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} u dt.$$

4) Для синусоидального тока

$$I_{\text{med}} = \frac{2}{\pi} I_m; \quad U_{\text{med}} = \frac{2}{\pi} U_m.$$

5) Закон Ома для синусоидального тока

$$I = \frac{U}{z},$$

где I и U — эффективные величины (или амплитуды).

6) Кажущееся сопротивление для участка, включающего омическое сопротивление R , индуктивность L и емкость C ,

$$z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{\omega C}\right)^2},$$

где $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ — циклическая частота.

7) Мощность тока при сдвиге фазы φ

$$P = I_{\text{eff}} U_{\text{eff}} \cos \varphi.$$

8) Активное сопротивление

$$R_A = \frac{P}{I_{\text{eff}}^2} = z \cos \varphi.$$

R_A равно омическому сопротивлению R при отсутствии потерь на нагревание железных сердечников вследствие гистерезиса и токов Фуко, на нагревание диэлектриков в переменном электрическом поле и т. д. При наличии этих потерь $R_A > R$.

Кроме того, при высоких частотах активное сопротивление R_A увеличивается вследствие того, что практически весь ток идет в поверхностных слоях проводника.

9) Сила взаимодействия токов, текущих по проводам длиной l , расположенным параллельно на расстоянии b друг от друга,

$$F = \frac{2\mu I_1 I_2 l \cos \varphi}{b} \quad \left(\text{для рационализир. формы } F = \frac{\mu' I_1 I_2 l \cos \varphi}{2\pi b} \right).$$

10) Решение задач на переменные токи в последовательно или в параллельно соединенных приборах очень облегчается черчением векторных диаграмм напряжений и токов.

11) Под дросселем, упоминаемом в ряде задач этого параграфа, подразумевается катушка с железным сердечником.

○ 33—1. Эффективный ток равен 7 а . Каков средний ток?

⊖ 33—2. Переменный ток, выпрямляемый прибором, пропускающим ток только одну половину периода (рис. 33—1), проходя в течение 10 мин по раствору медного купороса, выделил на электроде 200 мг меди. Какова амплитуда тока?

⊖ 33—3. а) Аккумулятор, емкость которого равна $q = 20 \text{ а} \cdot \text{ч}$, заряжают выпрямленным синусоидальным током, график которого показан на рисунке 33—2. Тепловой амперметр, включенный в цепь, показывает ток $I = 1,5 \text{ а}$. Сколько времени надо заряжать аккумулятор? При расчете принять, что на зарядку используется 100% протекающего тока.

б) Сколько времени надо заряжать аккумулятор, если график выпрямленного тока имеет вид, показанный на рисунке 33—1, и если показание теплового амперметра то же?

⊕ 33—4. Если увеличивать напряжение, под которым находится неоновая лампа, то при напряжении 80 в она вспыхивает. Если затем уменьшать напряжение, то при 70 в лампа гаснет. Лампу присоединяют к сети переменного тока через потенциометр и увеличивают напряжение.

а) При каком эффективном напряжении лампа вспыхнет?

б) Какую долю от общего времени горения лампы составляет продолжительность свечения каждого из электродов, если лампа находится под эффективным напряжением 120 в ?

○ 33—5. На рисунке 33—3 показана схема установки для одного из способов измерения подвижностей ионов. В пространство между двумя электродами A и B через сеточный электрод A

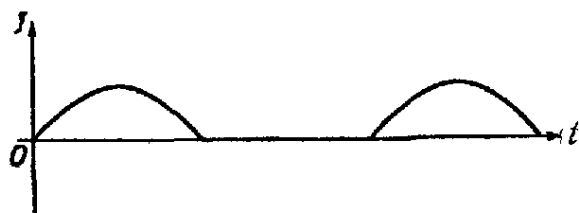


Рис 33—1.

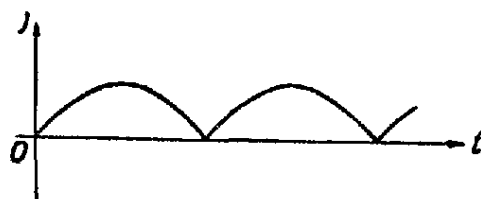
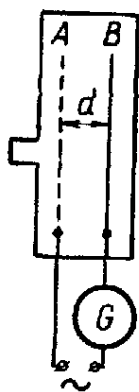


Рис 33—2.



проникают ионы какого-либо одного знака (например, отрицательные ионы от накаливаемой металлической проволоочки). Электроды A и B находятся под переменным (синусоидальным) напряжением, причем амплитуду напряжения можно менять. Увеличивая напряжение переменного тока, добиваются того, что ионы достигают электрода B , и гальванометр G начинает давать отклонение.

При измерении подвижности отрицательных ионов кислорода в приборе, в котором расстояние между электродами $d = 1$ см, отклонение гальванометра получается при эффективном напряжении, не меньшем $U = 61,5$ в. Вычислить подвижность ионов, если частота переменного тока $f = 50$ гц.

○ 33—6. Батарея аккумуляторов с э.д.с. $E = 40$ в соединена к сети переменного тока ($U = 120$ в) через сопротивление $R = 80$ ом (рис. 33—4).

Амперметр A_1 — магнитоэлектрический, A_2 — тепловой.

а) Каковы показания приборов A_1 и A_2 ?

б) Какое количество теплоты выделяется в сопротивлении R за 10 сек? Все сопротивления, кроме R , ничтожно малы.

⊖ 33—7. Найти соотношение между максимальным, средним и эффективным токами в случае переменного тока, график которого показан на рисунке 33—5.

⊕ 33—8. Начертить примерные графики напряжения, при котором график тока в приборе имеет форму, показанную на рисунке 33—5. Рассмотреть случаи: а) прибор, по которому идет ток, имеет чисто омическое сопротивление; б) прибор имеет ничтожное омическое сопротивление и значительную индуктивность, в) прибор имеет значительные омическое сопротивление и индуктивность, г) ток идет по конденсатору.

○ 33—9. При каком напряжении по обмотке дросселя, имеющей омическое сопротивление 35 ом и индуктивность 0,1 гн, пойдет ток 3 а? Частота 50 гц.

○ 33—10. Какой емкости конденсатор надо взять, чтобы его емкостная проводимость была эквивалентна проводимости реостата с сопротивлением 500 ом, если частота тока равна: а) 50 гц? б) 50 000 гц?

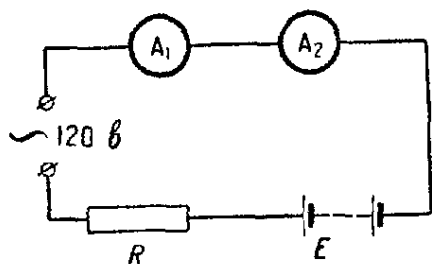


Рис. 33—4.

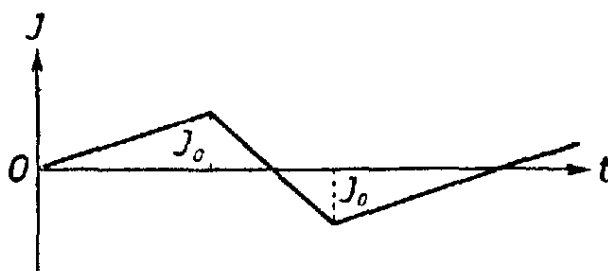


Рис. 33—5.

○ 33—11. В катушке с омическим сопротивлением 10 ом при частоте 50 гц получается сдвиг фазы между напряжением и током, равный 60° . Определить индуктивность катушки

⊖ 33—12. На картонный цилиндр длиной $l = 50\text{ см}$ и диаметром $d_2 = 5\text{ см}$ навиты $w = 500$ витков медного провода диаметром $d_1 = 0,5\text{ мм}$. При какой частоте f кажущееся сопротивление такой катушки в $n = 2$ раза больше ее омического сопротивления?

⊕ 33—13. а) Кольцо, диаметр которого $d_1 = 10\text{ см}$, сделанное из медной проволоки диаметром $d_2 = 1\text{ мм}$, вращается в однородном магнитном поле ($B = 10\text{ гс}$) с частотой оборотов $n = 10\text{ сек}^{-1}$. Индуктивность кольца таких размеров $L = 350\text{ см}$ (см. задачу 32—24). Определить эффективный ток в кольце. б) Каков был бы ток в кольце, если бы его сопротивление было близко к нулю (или в случае сверхпроводника)? Пренебречь уменьшением индуктивности из-за скин-эффекта.

⊖ 33—14. На деревянное кольцо, диаметр которого $d = 30\text{ см}$, а поперечное сечение имеет вид круга, навита обмотка из медной проволоки, масса которой $m = 2\text{ кг}$. Обмотку присоединяют сначала к сети постоянного тока, затем к сети переменного тока ($f = 50\text{ гц}$), причем эффективное напряжение равно напряжению постоянного тока. В каком случае потребляется большая мощность?

⊖ 33—15. Обмотка дросселя, имеющая ничтожное омическое сопротивление и значительную индуктивность, находится под напряжением, меняющимся с течением времени по закону синуса. Гистерезис в железном сердечнике дросселя выражен слабо, и им можно пренебречь.

Токи Фуко тоже ничтожно малы. Изменения магнитного потока значительны, и часть периода проходит при насыщении.

а) Является ли близким к синусоидальному ток, идущий по обмотке дросселя?

б) Является ли близким к синусоидальному магнитный поток в сердечнике дросселя?

○ 33—16. Начертить векторные диаграммы напряжений и токов для случаев, изображенных на схемах рисунка 33—6.

○ 33—17. Начертить векторные диаграммы токов и напряжений для случаев, изображенных на схемах рисунка 33—7.

○ 33—18. Какой ток пойдет по последовательно соединенным конденсатору ($C = 20\text{ мкф}$) и безындук-

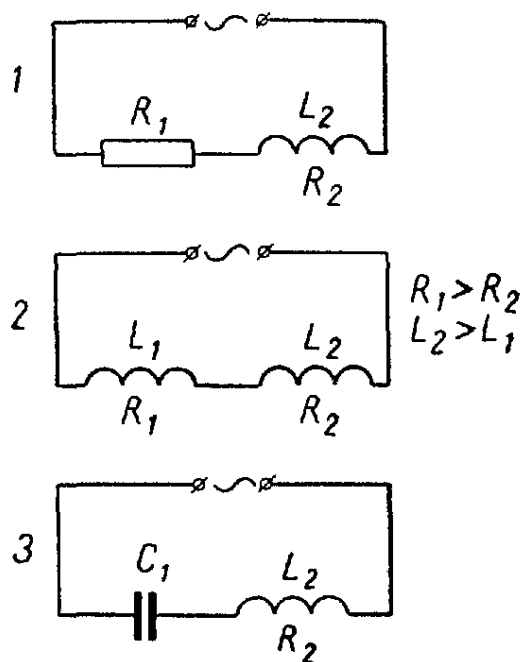


Рис. 33—6.

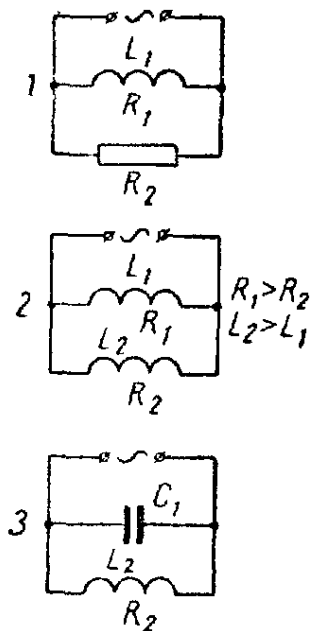


Рис. 33—7.

тивному сопротивлению ($R = 150 \text{ ом}$), если дать на них напряжение ($U = 110 \text{ в}$; $f = 50 \text{ гц}$)? Какое напряжение будет на каждом приборе?

○ 33—19. По последовательно соединенным дросселю и конденсатору (10 мкф) идет ток 1 а . Частота 50 гц . Омическое сопротивление дросселя 120 ом . Общее напряжение 220 в . Определить индуктивность дросселя.

○ 33—20. К сети переменного тока (120 в ; 50 гц) присоединены параллельно конденсатор (20 мкф) и дроссель (100 ом ; $0,5 \text{ гн}$). Определить токи в конденсаторе, дросселе и общий.

○ 33—21. Параллельно соединенные реостат (60 ом) и дроссель (20 ом ; $0,05 \text{ гн}$) присоединены к сети переменного тока (50 гц). По дросселю идет ток 4 а . Какой ток идет по реостату и какой ток поступает из сети?

⊖ 33—22. Катушка, индуктивность которой равна $0,1 \text{ гн}$ и омическое сопротивление 2 ом , соединена последовательно с конденсатором. Эта система присоединена к источнику переменного тока.

а) Какова должна быть емкость конденсатора, чтобы при частоте 50 гц по катушке шел наиболее сильный ток?

б) Конденсатор выдерживает напряжение не более 400 в . Какое максимальное напряжение можно дать на эту систему без опасности пробить конденсатор?

○ 33—23. Измерительные приборы на щитке у генератора переменного тока показывают ток 540 а , напряжение 235 в и мощность 108 кВт . Каков сдвиг фазы φ ?

○ 33—24. Определить потери мощности в проводке от магистрали к потребителю при следующих данных: передаваемая мощность 100 кВт ; напряжение на станции 220 в ; сопротивление проводки $0,01 \text{ ом}$; сдвиг фазы 37° .

⊖ 33—25. Дроссель, соединенный последовательно с безындуктивным сопротивлением $R = 20 \text{ ом}$, присоединен к сети с напряжением $U = 120 \text{ в}$ ($f = 50 \text{ гц}$). При этом дроссель находится под напряжением $U_2 = 91 \text{ в}$, а сопротивление R — под напряжением $U_1 = 44 \text{ в}$. Какие мощности (P_2 и P_1) поглощаются дросселем и сопротивлением?

⊖ 33—26. Дроссель и безындуктивное сопротивление 50 ом присоединены параллельно к сети синусоидального тока. По дросселю идет ток $2,8 \text{ а}$, по сопротивлению — ток $2,5 \text{ а}$; из сети потребляется ток $4,5 \text{ а}$. Определить мощность, потребляемую дросселем и сопротивлением.

⊖ 33—27. Омическое сопротивление дросселя равно 14 ом , активное 17 ом , кажущееся 40 ом . Определить потери мощности

в железном сердечнике, дросселя, если напряжение, под которым находится дроссель, равно 120 в.

⊖ 33—28. К магистрали переменного тока, в которой поддерживается напряжение $U=120$ в ($f=50$ гц), присоединена через дроссель с индуктивностью $L=0,05$ гн и активным сопротивлением $R_0=1$ ом осветительная сеть жилой квартиры (рис. 33—8).

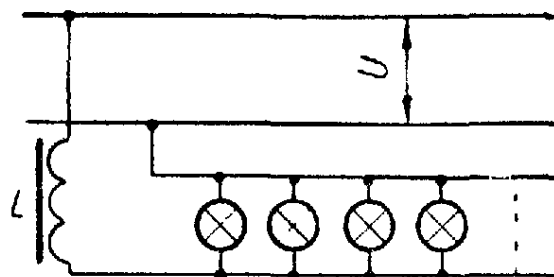


Рис. 33—8.

а) Под каким напряжением U_1 находятся лампы в квартире, если общий потребляемый ток равен $I_0=2$ а?

б) Какова может быть максимальная мощность, потребляемая сетью в квартире?

в) Какая мощность будет потребляться дросселем, если в квартире произойдет короткое замыкание?

⊕ 33—29. По обмотке дросселя идет переменный ток 2 а ($f=50$ гц). Ток вызывает в сердечнике дросселя максимальную напряженность 10 э. Объем сердечника 500 см³. На рисунке 33—9 показана петля гистерезиса для железа, из которого сделан сердечник. Омическое сопротивление обмотки сердечника равно 0,7 ом. Токи Фуко в сердечнике практически отсутствуют.

а) Определить мощность, затрачиваемую на нагревание железного сердечника вследствие гистерезиса.

б) Определить активное сопротивление дросселя.

⊖ 33—30. В раствор медного купороса ($\rho=40$ ом · см) опущены две медные пластинки. Электрическую проницаемость раствора можно принять равной $\epsilon=80$ СГСЭ. При какой частоте f емкостная и омическая проводимости равны между собой?

⊖ 33—31. Диэлектрик с электрической проницаемостью $\epsilon=2,8$ СГСЭ употреблен в качестве изолятора в конденсаторе. Конденсатор, находясь под напряжением, поглощает некоторую мощность, причем при $f=50$ гц коэффициент мощности $\cos \varphi=0,1$. Определить удельное сопротивление диэлектрика.

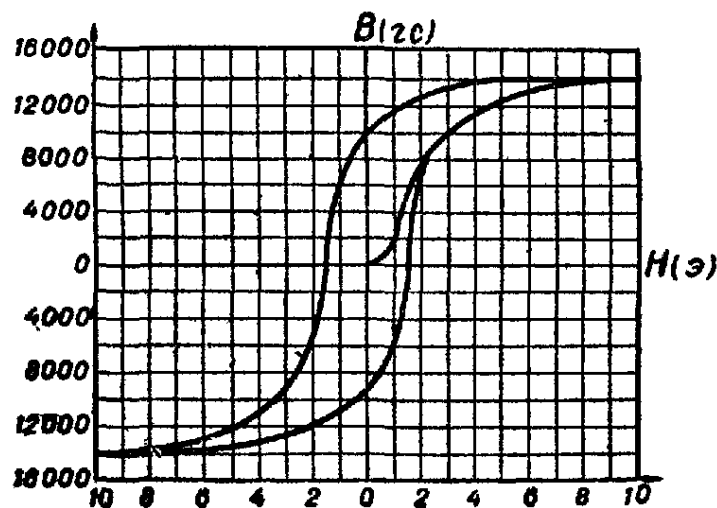


Рис. 33—9.

○ 33—32. По двум параллельным проводам текут токи 5 а и 15 а одной и той же частоты,

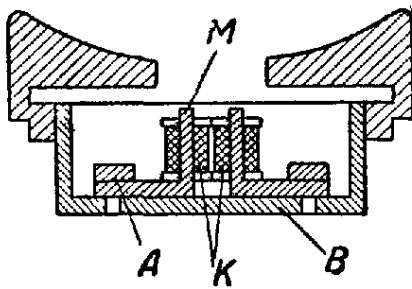


Рис. 33—10.

отличающиеся между собой по фазе на 60° . С какой силой притягиваются друг к другу части проводов длиной 1 м , если расстояние между ними 3 см ?

○ 33—33. По двум параллельным проводам текут токи, частоты которых равны 500 гц и 503 гц . Как они взаимодействуют?

⊖ 33—34. Какой груз может удерживать электромагнит, питаемый переменным током, если максимальная индукция $B_m = 10\,000\text{ гс}$, площадь соприкосновения $S = 2\text{ см}^2$? Предположить, что индукция меняется по закону $B = B_m \sin \omega t$ и что за отрезок периода, в течение которого индукция настолько мала, что электромагнит не может удержать груза, он не успевает упасть.

⊕ 33—35. На рисунке 33—10 изображен разрез телефона: М — мембрана; К — обмотка; А — постоянный магнит; В — полюсные наконечники из мягкого железа.

а) С какой целью вводится в конструкцию телефона постоянный магнит?

б) Какова амплитуда силы, действующая на мембрану, при прохождении по обмотке тока $I = I_m \sin \omega t$ при следующих данных: амплитуда тока $I_m = 2 \times 10^{-4}\text{ а}$; индукция в воздушном промежутке при отсутствии тока в обмотке $B_0 = 800\text{ гс}$; сечение каждого из полюсных наконечников имеет площадь $S = 15\text{ мм}^2$; число витков в обмотке $\omega = 400$; длина воздушного зазора $l = 0,2\text{ мм}$.

При расчете пренебречь магнитным сопротивлением всех участков магнитной цепи, кроме воздушных, и принять во внимание, что индукция постоянного магнита значительно больше индукции, создаваемой током в сердечниках катушки.

○ 33—36. Первичная обмотка понижающего трансформатора находится под напряжением 120 в и потребляет ток $0,5\text{ а}$. Вторичная обмотка дает ток на лампу накала 3 а при напряжении 10 в . Коэффициент полезного действия $0,7$. Определить сдвиг фазы в первичной обмотке.

§ 34. Электрические колебания

1) Период свободных колебаний в контуре, включающем емкость C , индуктивность L и сопротивление R ,

$$T = 2\pi \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}$$

или при

$$\frac{1}{LC} \gg \frac{R^2}{4L^2},$$

$$T = 2\pi \sqrt{LC}.$$

2) Ток при затухающих колебаниях

$$I = I_0 e^{-\frac{R}{2L}t} \cdot \sin \omega t,$$

где $\omega = 2\pi f$.

3) Логарифмический декремент затухания

$$\vartheta = \frac{R}{2L} T.$$

○ 34—1. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью 0,07 гн и плоского конденсатора с площадью обкладок 0,45 м², разделенных парафинированной бумагой толщиной 0,1 мм. Определить период колебаний. Сопротивление ничтожно мало.

○ 34—2. Максимальное напряжение в колебательном контуре, состоящем из катушки индуктивностью $L = 5000$ см и конденсатора емкостью $C = 12\,000$ см, равно $U_0 = 1,2$ в. Сопротивление ничтожно мало.

а) Определить эффективную величину тока в контуре.

б) Определить максимальное значение магнитного потока, если число витков катушки $w = 28$.

○ 34—3. Контур состоит из катушки индуктивностью 30 000 см и сопротивлением 1 ом и из конденсатора емкостью 2000 см. Какую мощность должен потреблять контур, чтобы в нем поддерживались незатухающие колебания, при которых максимальное напряжение на конденсаторе равно 0,5 в?

○ 34—4. Батарея, состоящая из двух конденсаторов емкостью по 2 мкф каждый, разряжается через катушку ($L = 1$ мгн; $R = 50$ ом).

Возникнут ли при этом колебания, если конденсаторы соединены: а) параллельно? б) последовательно?

○ 34—5. Как изменится логарифмический декремент затухания, если, не меняя длины катушки в контуре, увеличить число витков на ней в n раз (считать, что диаметр витков остается без изменения)?

○ 34—6. Какова относительная ошибка, которая будет сделана, если воспользоваться формулой $T = 2\pi \sqrt{LC}$ для вычисления периода колебания контура, состоящего из емкости $C = 5000$ см и катушки, сделанной из медной проволоки, площадью сечения $S = 0,2$ мм²? Длина катушки $l = 50$ см. Диаметр катушки мал по сравнению с ее длиной.

○ 34—7. Определить логарифмический декремент затухания контура с емкостью $C = 2000$ см и индуктивностью $L = 150\,000$ см, если на поддержание в этом контуре незатухающих колебаний с максимальным напряжением $U_m = 0,9$ в требуется мощность $P = 10$ мквт.

○ 34—8. В контуре, состоящем из катушки и конденсатора переменной емкости, создаются вынужденные колебания. Если

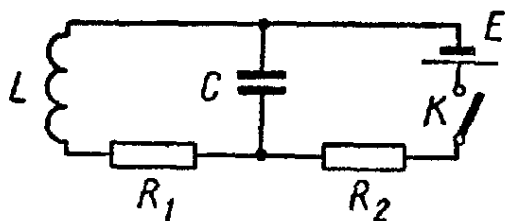


Рис 34—1.

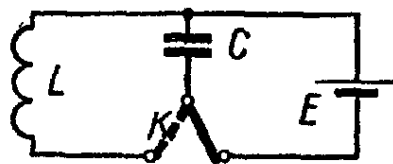


Рис. 34—2.

емкость увеличить на $\beta = 0,01$ емкости, соответствующей максимуму колебаний, то величина тока в контуре убывает в $n = 1,5$ раза. Определить логарифмический декремент затухания.

⊕ 34—9. В установке, собранной по схеме на рисунке 34—1, все сопротивления, кроме $R_1 = 1 \text{ ом}$ и $R_2 = 50 \text{ ом}$, ничтожно малы. Индуктивность катушки $L = 0,1 \text{ гн}$, емкость конденсатора $C = 1 \text{ мкф}$, э.д.с. элемента $E = 1,4 \text{ в}$. Ключ K замыкают и, после того как ток в катушке L установится, размыкают.

а) Какова начальная энергия колебаний, которые будут иметь место в контуре LC после размыкания ключа K ?

б) Какова энергия колебаний через $0,2 \text{ сек}$ после размыкания ключа?

34—10. Контур состоит из катушки с сопротивлением $R = 14 \text{ ом}$ и индуктивностью $L = 10^{-5} \text{ гн}$ и конденсатора емкостью $C = 0,002 \text{ мкф}$. Конденсатор C заряжается от батареи аккумуляторов (рис. 34—2), а затем присоединяется к катушке L .

а) Найти логарифмический декремент затухания колебаний, которые начнутся в контуре.

б) Какая доля периода соответствует переходу величины тока от нуля до максимального значения?

в) Найти отношение между энергиями магнитного поля в катушке и электрического поля в конденсаторе в момент максимума тока.

г) Какая доля периода соответствует переходу напряжения от максимального значения до нуля?

д) Каково значение величины I_0 в формуле тока (см. п. 2 введения), если э.д.с. батареи равна $3,5 \text{ в}$?

§ 35. Волны

1) Связь длины волны λ , скорости волн c и частоты колебаний f

$$\lambda = \frac{c}{f}.$$

2) Скорость продольных волн в тонких стержнях

$$c = \sqrt{\frac{E}{D}},$$

где E — модуль упругости (модуль Юнга), D — плотность.

3) Скорость продольных волн в неограниченной упругой среде

$$c = \sqrt{\frac{K}{D}},$$

где K — модуль всестороннего сжатия.

4) Скорость поперечных (сдвиговых) волн в неограниченной упругой среде

$$c = \sqrt{\frac{G}{D}},$$

где G — модуль сдвига.

5) Скорость поперечных волн в натянутой нити (струне)

$$c = \sqrt{\frac{F}{S D}},$$

где F — сила, растягивающая нить, S — площадь поперечного сечения нити. Формула справедлива в том случае, когда напряжение, вызванное сдвигом, мало по отношению к напряжению, вызванному растягивающей силой.

6) Скорость волн в газах

$$c = \sqrt{\frac{p\kappa}{D}},$$

где κ — отношение удельных теплоемкостей газа $\frac{c_p}{c_v}$.

Для идеальных газов

$$c = \sqrt{\frac{\kappa RT}{\mu}},$$

здесь R — универсальная газовая постоянная, μ — молекулярный вес.

7) Связь между амплитудой давления в продольных волнах Δp , скоростью волн и амплитудой волновой скорости v_m

$$\Delta p = v_m D c.$$

Здесь под D разумеется средняя плотность среды.

8) Поток энергии в волновом поле сквозь 1 см^2 площадки, поставленной перпендикулярно к скорости волн, за 1 сек (вектор Умова)

$$S = \Delta p \cdot v,$$

здесь Δp — волновое давление (разность между давлением в волновом поле и давлением в той же среде при отсутствии волнового процесса), v — волновая скорость.

9) Интенсивность продольных волн

$$I = S_{\text{средн}} = \frac{(\Delta p_m)^2}{2 D c}.$$

10) Затухание волн

$$I = I_0 e^{-\beta x},$$

где β — коэффициент поглощения, I и I_0 — интенсивности плоских волн в начале и в конце расстояния x .

11) Скорость электромагнитных волн в среде с электрической проницаемостью ϵ и магнитной проницаемостью μ

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}.$$

12) Вектор Умова — Пойнтинга

$$S = \frac{EH}{4\pi} \quad (\text{для рационализир. формы } S = EH).$$

○ 35—1. Скорость продольных волн в стальном стержне равна 5100 $\frac{\text{м}}{\text{сек}}$. Определить модуль упругости у стали.

○ 35—2. Какова скорость продольных волн в ртути?

⊖ 35—3. При повышении температуры от 20 до 100° С скорость продольных волн в медном стержне убывает на 7,4 % скорости при 20° С. Каков средний температурный коэффициент модуля упругости в этом интервале температур?

⊖ 35—4. Почему в неограниченном твердом теле невозможны волны, в которых направление колебаний составляет с направлением распространения волн угол, отличный от 0° (продольные волны) и от 90° (поперечные волны)?

⊖ 35—5. Скорость продольных волн в земной коре равна $14 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$; скорость поперечных волн $7,5 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$. Определить угловое расстояние от центра землетрясения A (гипоцентра) до сейсмической станции B (рис. 35—1), если по записи сейсмографа видно, что продольные колебания пришли на 91 сек раньше поперечных (при такой величине Δt можно предполагать, что волны идут только по земной коре).

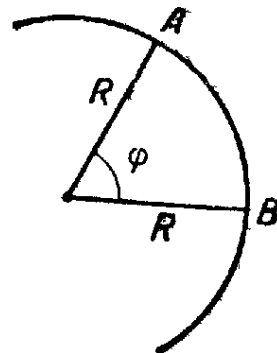


Рис. 35—1.

⊖ 35—6. От поверхности Земли вертикально вверх идут воздушные волны. Через какой отрезок времени они дойдут до высоты 10 км, если температура воздуха у поверхности Земли равна 16°C , а градиент температуры в атмосфере равен $-0,007 \frac{\text{град}}{\text{м}}$?

○ 35—7. Скорость продольных волн в кислороде при нормальных условиях равна $3,172 \cdot 10^4 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$. Определить отношение $\frac{c_p}{c_v}$.

○ 35—8. Найти отношение между скоростью продольных волн в газе и средней скоростью теплового движения молекул в нем.

○ 35—9. При отражении упругих волн, падающих на границу между двумя средами с разными волновыми сопротивлениями, происходит изменение направления вектора Умова на обратное, то есть меняется или знак Δp , или знак v . В каком случае происходит первое изменение и в каком второе?

○ 35—10. Определить частоту колебаний в трубе длиной 80 см при температуре воздуха 16°C : а) открытой; б) закрытой.

⊖ 35—11. Две одинаковые закрытые трубы длиной по 60 см вследствие неодинаковости температуры воздуха в них дают 1 биение в секунду. Температура воздуха в трубе, дающей более низкий тон, равна 16°C . Какова температура воздуха в другой трубе?

○ 35—12. Две одинаковые струны длиной по 1 м настроены в унисон. Если одну из струн укоротить на 0,5 см, то струны при звучании дают биения с частотой 2 гц. Определить частоту тона струны (до укорачивания).

○ 35—13. На нити образовались стоячие волны, причем расстояния между точками, в которых колебания происходят с амплитудой 3 мм, равны 3 см и 7 см. Найти длину волны и амплитуду в середине пучности.

⊖ 35—14. На нити образовались стоячие волны. Какую долю натяжения нити (при отсутствии волн) составляет амплитуда

колебаний натяжения в узлах, если амплитуда смещений в середине нити равна 0,1 расстояния между узлами? Принять, что проекция силы натяжения нити на направление покоящейся нити равна силе ее натяжения при отсутствии волн.

○ 35—15. Определить три наименьшие частоты, при которых в медном стержне длиной 90 см, закрепленном посередине, получатся стоячие продольные волны.

○ 35—16. По цилиндрической трубе диаметром 5 см бегут синусоидальные воздушные волны. Интенсивность волн равна $8 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек}}$, частота 300 гц.

а) Какую энергию несет каждая волна?

б) Какова средняя и максимальная плотность энергии в волнах, если температура воздуха равна 10°C ?

○ 35—17. Определить полную мощность источника продольных волн в воздухе, если в любом направлении на расстоянии 100 м от него амплитуда давления равна $0,9 \frac{\text{дин}}{\text{см}^2}$. Давление нормальное, температура воздуха 20°C , затухание ничтожно.

○ 35—18. Интенсивность волн на расстоянии 20 м от источника равна $0,03 \frac{\text{эрг}}{\text{сек} \cdot \text{см}^2}$. Какова интенсивность волн на расстоянии 100 м от источника, если коэффициент затухания равен $5 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}$?

○ 35—19. Плотность энергии в некоторой точке волнового поля спустя 0,01 сек после прохождения максимума синусоидальной волны равна 0,2 максимальной. Какова частота?

○ 35—20. Определить длину волны, соответствующую колебательному контуру, состоящему из катушки с индуктивностью $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ гн}$ и конденсатора емкостью $3 \cdot 10^{-2} \text{ мкф}$. Сопротивление ничтожно мало.

○ 35—21. Какова скорость электромагнитных волн в керосине?

○ 35—22. Имеются два параллельных провода, одни концы которых изолированы, а другие связаны индуктивной или емкостной связью с генератором колебаний (рис. 35—2, а). При

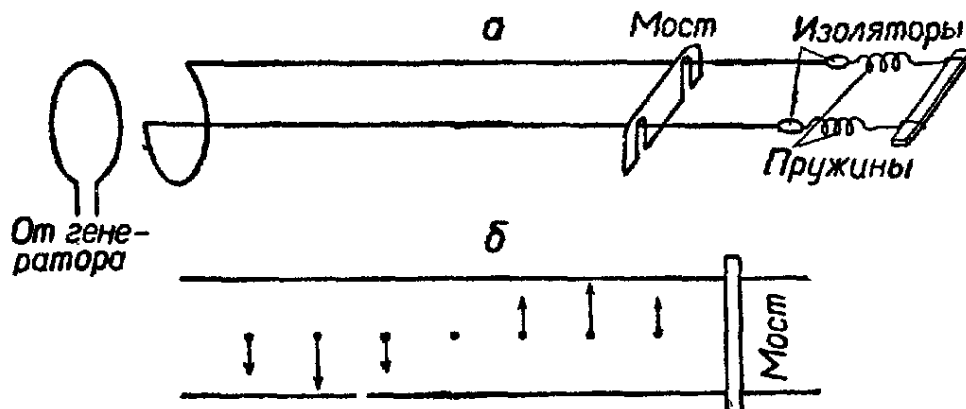


Рис. 35—2.

надлежащем подборе частоты колебаний в системе возникают стоячие волны.

а) Зависит ли длина стоячих волн от толщины проводов и от расстояния между ними?

б) На рисунке 35—2, б показаны стрелками разной длины напряженности электрического поля в точках, находящихся посередине между проводами на протяжении одной стоячей волны для момента, когда токи в проводах и магнитное поле отсутствуют. Где на проводах находятся положительные и отрицательные заряды? Изобразить их распределение вдоль проводов крестиками и минусами разных размеров, соответственно их плотностям

в) Что будет иметь место через одну четверть периода? Изобразить распределение токов в проводах и в медной пластине (мост) стрелками разной длины. Изобразить напряженности магнитного поля в точках, находящихся на середине расстояния между проводами, значками \oplus и \odot разной величины.

г) Каковы будут напряженности электрического и магнитного полей через 0,5 периода и через 0,75 периода? Сделать соответствующие рисунки.

д) От чего зависит амплитуда колебаний в системе? Почему при увеличении числа стоячих волн, образующихся в системе, что достигается отодвиганием моста дальше от генератора, амплитуда колебаний уменьшается?

е) Расстояние между двумя пучностями в системе при проволочках, опущенных в спирт, равно 40 см. Какова частота колебаний?

У к а з а н и е. При ответах на все вопросы, кроме вопроса д), принимать, что сопротивление проводов ничтожно мало

⊖ 35—23. Излучение антенны полевой радиостанции имеет мощность 50 *вт*. Какова средняя напряженность электрического поля при приеме на наземную антенну на расстоянии 80 км?

У к а з а н и е. Принять во внимание, что интенсивность излучения направлению, перпендикулярному к антенне, в три раза больше той, которая имела бы место при равномерном излучении по всем направлениям.

○ 35—24. Три наблюдателя находятся на одной прямой на расстоянии 10 км друг от друга и измеряют среднюю напряженность электрического поля в электромагнитных волнах, излучаемых некоторым источником. Где находится источник волн, если напряженность поля у крайних наблюдателей одинакова, а у среднего на 10% больше?

⊖ 35—25. На рисунке 35—3, а показаны две системы плоских электромагнитных волн (I и II); длины волн одинаковы; направления движения составляют угол 2 *и*. Векторы *E* лежат в плоскости чертежа и изображены стрелками. Векторы *H* перпендикулярны к плоскости чертежа и изображены кружками с точкой (вектор направлен на читателя) или с крестиком (век-

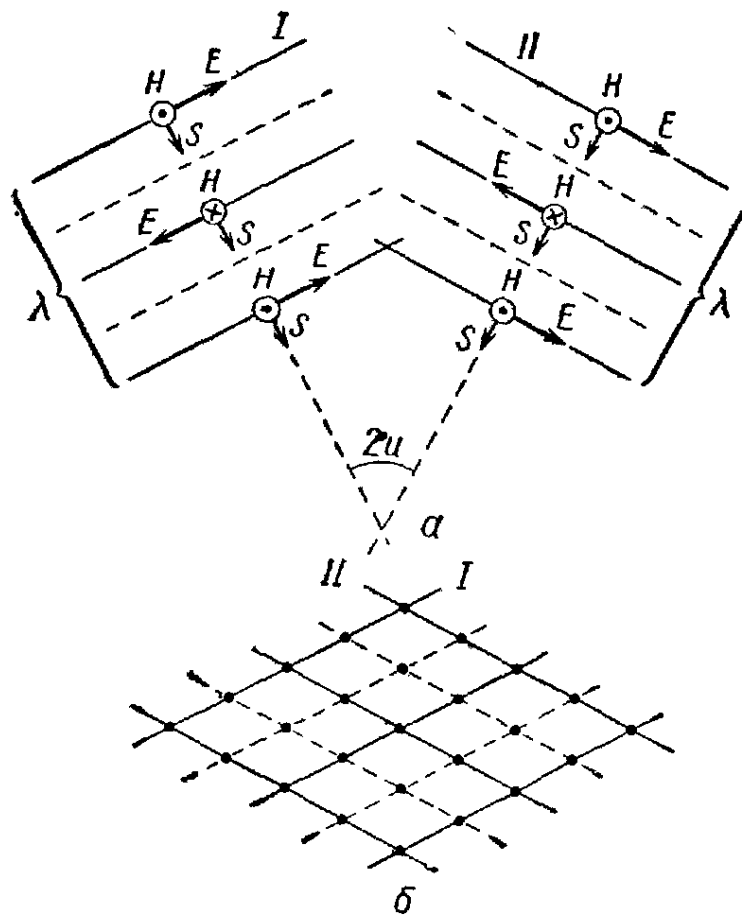


Рис. 35—3.

тор направлен от читателя). Показаны также векторы Умова — Пойнтинга S для тех же точек. На рисунке 35—3, б те же системы волн показаны наложенными друг на друга.

а) Начертить векторы Умова — Пойнтинга во всех точках волнового поля, показанных на рисунке 35—3, б черными кружками.

б) Найти расстояние x между направлениями, в которых векторы Умова — Пойнтинга имеют максимальное значение, если угол $2u = 1'$ и длины волн равны $\lambda = 0,5$ мк.

⊕ 35—26. Предположим, что две цепочки электронов движутся параллельно друг другу в пустоте со скоростью в m раз меньшей скорости света. Что больше: сила, с которой цепочки электронов отталкиваются вследствие электростатического взаимодействия, или сила, с которой они притягиваются вследствие магнитного взаимодействия?

§ 36. Звуковые явления

1) Уровень ощущения звука

$$L = \lg \frac{I}{I_0} = 2 \lg \frac{\Delta p}{\Delta p_0},$$

где индексами 0 отмечены величины, соответствующие порогу ощущения для звука данной частоты.

2) Принцип Допплера. Воспринимаемая частота:

а) в случае движения источника звука частоты f со скоростью v

$$f' = f \frac{1}{1 \mp \frac{v}{c}},$$

где c — скорость звука;

б) в случае движения наблюдателя

$$f'' = f \left(1 \pm \frac{v}{c}\right).$$

○ 36—1. Какую долю от средней скорости молекул воздуха составляет максимальная акустическая скорость молекул при плоских волнах:

а) амплитуда давления $\Delta p_1 = 900 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$ (сильный звук, вызывающий боль в ушах)?

б) $\Delta p_2 = 9 \cdot 10^{-4} \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$ (еле слышный звук).

Давление воздуха нормальное.

○ 36—2. Какова амплитуда колебаний в звуковой волне в воздухе при речи средней громкости (максимальное давление около $9 \frac{\text{дин}}{\text{см}^2}$) при частоте 400 гц? Давление нормальное, температура воздуха 20°C .

○ 36—3. В воздухе при температуре 27°C и при нормальном давлении идет звуковая волна, максимальное давление которой $900 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$ (сильный звук, вызывающий боль в ушах). Определить температуру в месте максимального давления.

○ 36—4. Иногда на большом расстоянии голос слышен, но слов разобрать нельзя. Чем это объясняется?

○ 36—5. Два звука разнятся по уровню ощущения на 1 дб. Каково: а) отношение их интенсивностей? б) отношение амплитуд давлений?

○ 36—6. При амплитуде давления $1 \frac{\text{дин}}{\text{см}^2}$ уровень ощущения звука равен 60 дб. Какова амплитуда давления для звука той же частоты при пороге слышимости?

○ 36—7. Звук распространяется по трубе длиной 50 м. Средний коэффициент поглощения можно принять равным 10^{-1}см^{-1} . Каков уровень ощущения звука у конца трубы, если у начала он равен 60 дб?

○ 36—8. На расстоянии 10 м от источника звука, размеры которого малы, уровень ощущения звука равен 20 дб. Пренебрегая затуханием, вычислить:

а) уровень ощущения на расстоянии 5 м;

б) на каком расстоянии звук не слышен.

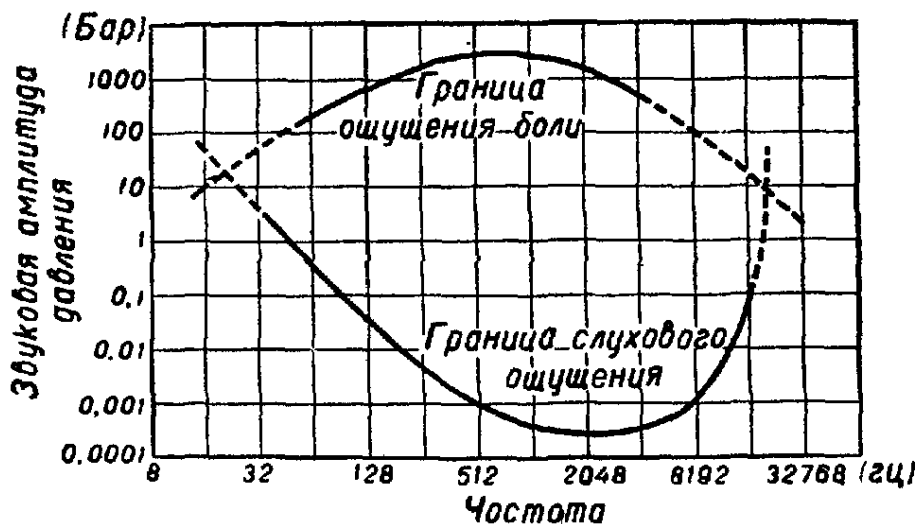


Рис. 36—1.

⊖ 36—9. Наблюдатель, находящийся на расстоянии 10 м от звучащего камертона, отметил исчезновение звучания камертона на 20 сек раньше, чем наблюдатель, находящийся на расстоянии 1 м. Определить коэффициент затухания колебаний камертона.

⊖ 36—10. На рисунке 36—1 дана диаграмма, показывающая свойства человеческого слуха (амплитуды давлений даны в $\frac{\text{дин}}{\text{см}^2}$). Пользуясь ею, определить:

а) интенсивность звука при нижней границе слуха (порог слышимости) и при верхней границе слуха (ощущение боли) для частот 256 гц и 2048 гц;

б) уровень ощущения звука при амплитуде давления 1 $\frac{\text{дин}}{\text{см}^2}$ для частот 32 гц и 2048 гц;

в) уровень ощущения звука при мощности источника звука 10^{-5} вт (человеческая речь) при частоте 256 гц на расстоянии 5 м;

г) мощность источника звука при уровне ощущения на 50 дб на расстоянии 10 м (частота 1024 гц).

У к а з а н и е. При пользовании диаграммой на рисунке ограничиваться следующими, приближенными значениями: $\lg 1,6 = 0,2$; $\lg 2 = 0,3$; $\lg 3 = 0,5$; $\lg 4 = 0,6$; $\lg 5 = 0,7$; $\lg 6 = 0,8$; $\lg 8 = 0,9$.

⊖ 36—11. В струнных музыкальных инструментах (например, в рояле) для низких тонов применяют стальную проволоку того же диаметра, как струн средних и высоких тонов. Так как для низких тонов нужна большая масса струны, то на проволоку навивают медную проволоку (канитель), не доводя ее до самых концов струны.

а) Почему нельзя для струн низких тонов применять толстую стальную проволоку без канители?

б) Как влияет наличие канители на затухание основного тона и обертонов?

○ 36—12. Частота основного тона гудка паровоза 650 *гц*. Какова кажущаяся частота гудка для наблюдателя, к которому паровоз приближается со скоростью $54 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$? Температура воздуха 16°C .

○ 36—13. а) Наблюдателю, слушающему гудок автомобиля, кажется, что при приближении автомобиля основной тон гудка на секунду выше (т. е. частота больше в $\frac{9}{8}$ раза), чем при удалении. Определить скорость автомобиля, приняв скорость звука в воздухе равной $340 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$. Считать воздух неподвижным.

б) Тот же вопрос в случае, если гудок неподвижен, а наблюдатель находится на автомобиле, сначала приближающемся, затем удаляющемся от гудка.

○ 36—14. Паровоз, движущийся со скоростью $72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, дает свисток в течение 2 *сек*. Какова продолжительность звука, воспринятого неподвижным наблюдателем; а) если паровоз приближается к нему? б) если паровоз удаляется от него? Температура воздуха — 17°C .

ОПТИКА. СТРОЕНИЕ АТОМА

§ 37. Законы освещения

1) Освещенность E при силе света I на расстоянии r от точечного источника света при угле падения света α

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2}.$$

2) Связь между световым потоком F и средней силой света $I_{\text{ср}}$

$$F = 4\pi I_{\text{ср}}.$$

3) Светность R и яркость B источника света

$$R = \frac{\Delta F}{\Delta S}; \quad B = \frac{\Delta I}{\Delta S},$$

где ΔF — суммарный световой поток, излучаемый площадкой ΔS ; ΔI — сила света, излучаемого поверхностью ΔS в направлении нормали. Если тело излучает по закону Ламберта (сила света пропорциональна косинусу угла между направлением излучения и нормалью), то $R = \pi B$.

4) Световой поток монохроматического света с длиной волны $551 \text{ м}\mu$, равный 1 люмену, имеет мощность $0,0016 \text{ вт}$.

○ 37—1. На рисунке 37—1 показана кривая видности, дающая чувствительность нормального глаза к световым волнам разной длины. Какова мощность светового потока в 1 лм, если свет монохроматический и длина волны равна: а) $610 \text{ м}\mu$; б) $520 \text{ м}\mu$?

○ 37—2. Определить освещенность на расстоянии 4 м от источника света, если сила света равна 180 св и если лучи падают под углом 37° .

○ 37—3. Над полусферой находится точечный источник света ($I = 50 \text{ св}$) на высоте, равной диаметру полусферы (рис. 37—2). Определить освещенность в той точке поверхности полусферы, в которой лучи падают под углом 35° . Радиус полусферы равен 1 м.

○ 37—4. Точечный источник света S освещает поверхность MN (рис. 37—3). Как изменится освещенность в точке A , в ко-

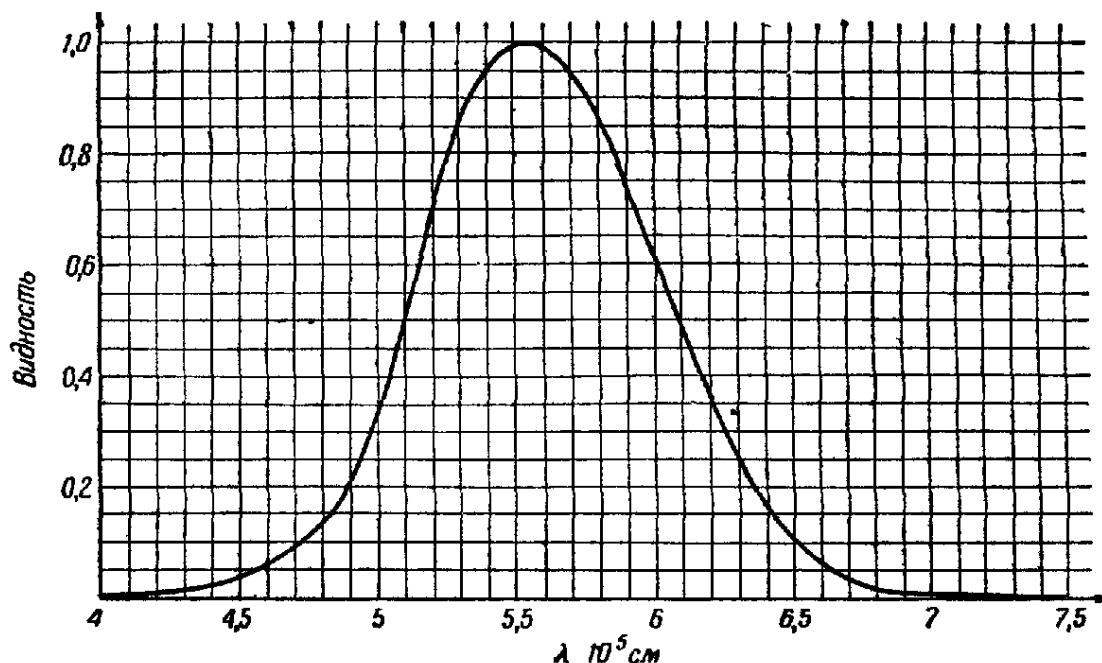


Рис 37—1.

торой лучи от S падают на поверхность нормально, если сбоку S на таком же расстоянии, как и освещаемая поверхность, поместить зеркало Z , отражающее свет в A ? Коэффициент отражения принять равным 1.

⊖ 37—5. Проектор заливающего света установлен на высоте 15 м над освещаемой площадью. В некоторой точке площади освещенность горизонтальной поверхности равна 10 лк, а наибольшая освещенность вертикальной плоскости 20 лк. Определить силу света прожектора по направлению к этой точке.

⊖ 37—6. Над горизонтальной поверхностью MN помещены на высоте 2 м и на расстоянии 1 м друг от друга два источника света, дающие световые потоки по 300 лм каждый. Определить освещенность на поверхности MN : а) в точках под источниками света; б) на середине расстояния между ними.

⊖ 37—7. На рисунке 37—4 показана кривая распределения силы света для «условной» лампы, дающей световой поток

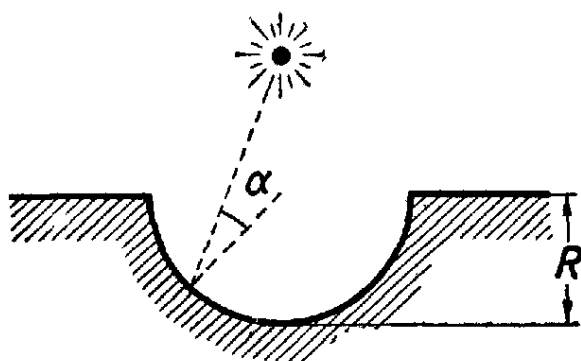


Рис. 37—2.

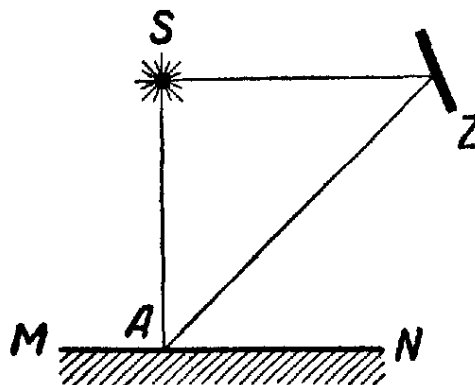


Рис. 37—3.

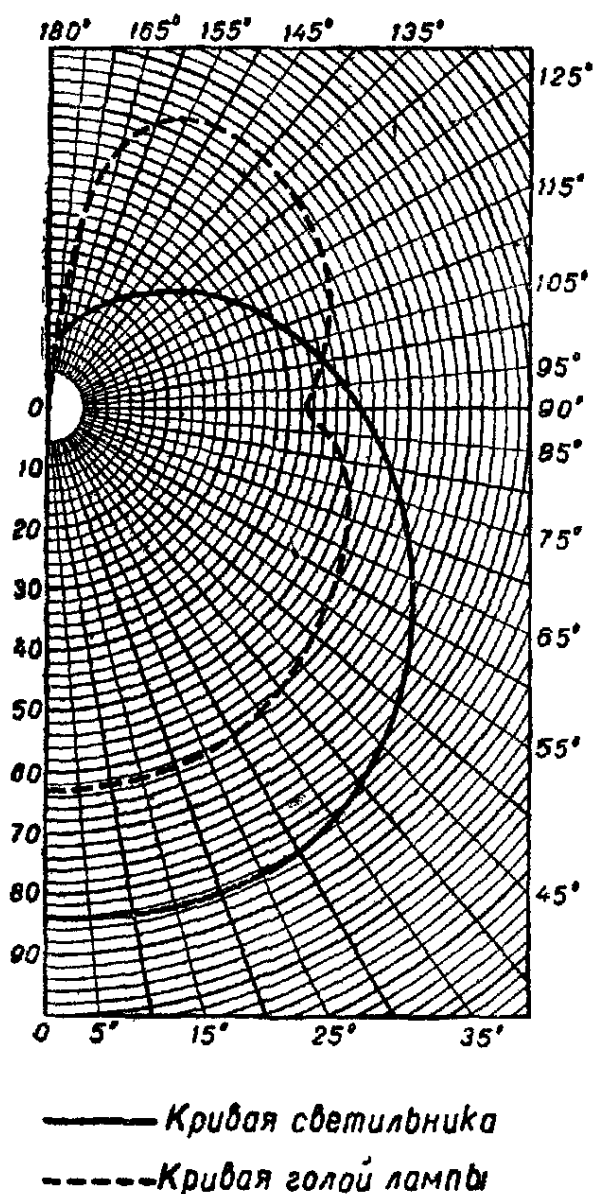


Рис. 37—4.

Какая требуется продолжительность печатания при лампе 30 св на расстоянии 1,5 м? Предполагается, что общее количество энергии, полученной фотоснимком, должно быть в первом и втором случаях одинаково.

⊖ 37—10. При фотографировании объекта, освещенного 100-ваттной лампой на расстоянии 1 м, требуется экспозиция 8 сек. Какова должна быть продолжительность экспозиции при освещении двумя 100-ваттными лампами на расстояниях

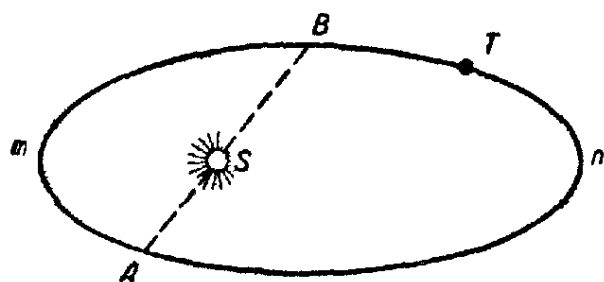


Рис. 37—5.

1000 лм, снабженной светильником (прибором для распределения света), предназначенным для освещения улиц и больших цехов. В светильник помещена лампа, дающая поток 3050 лм (200 вт). Светильник подвешен на высоте 5 м над землей. Определить освещенность мостовой:

а) в точке А, находящейся под светильником;

б) в точке В, удаленной на 7 м от точки А;

в) те же вопросы для лампы без светильника (пунктирная линия).

⊖ 37—8. По вершинам равностороннего треугольника помещены три одинаковых источника света. Показать, что маленькая пластинка, помещенная в центре треугольника под произвольным углом к сторонам треугольника, освещена одинаково с обеих сторон.

⊖ 37—9. Для печатания фотоснимка при лампе, дающей силу света 40 св на расстоянии 1 м, требуется продолжительность печатания 2 сек.

3 м и 4 м, если общее количество энергии, попавшей на светочувствительную пластинку, должно быть таким же?

⊖ 37—11. Рисунок 37—5 показывает орбиту Земли Т вокруг Солнца S. На рисунке проведена произвольная прямая ASB. Показать, что

общие количества световой энергии, получаемые Землей от Солнца, в то время как она проходит участки AmB и BnA орбиты, равны между собой.

○ 37—12. Электrolампа накаливания, потребляющая мощность 40 вт , дает световой поток 380 лм . 40% этого потока направлено на поверхность 5 м^2 . Определить среднюю освещенность поверхности.

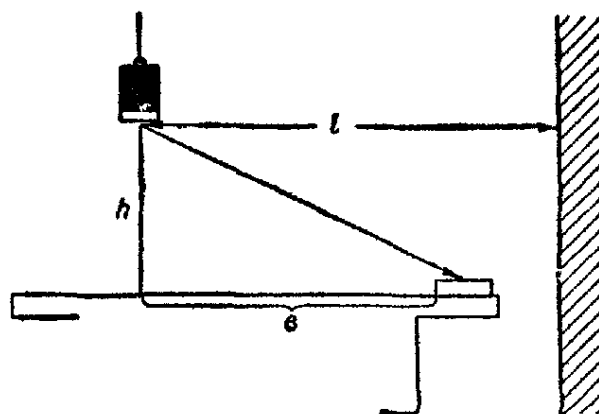


Рис. 37—6

⊖ 37—13. Общий световой поток, излучаемый прямой накаленной нитью длиной $l = 60 \text{ см}$, равен $F = 132 \text{ лм}$. Определить наибольшую освещенность плоской поверхности, помещенной параллельно нити на расстоянии $a = 5 \text{ см}$ от нее (имеется в виду место, находящееся против середины нити).

○ 37—14. Источник света имеет форму куба, ребро которого равно 10 см . Максимальная сила света равна 90 св . Определить яркость источника.

⊖ 37—15. Источник света заключен в цилиндр, боковая поверхность которого непрозрачна, а дно прозрачно и рассеивает свет по закону Ламберта. Источник помещен над центром круглого стола, радиус которого $b = 70 \text{ см}$ (рис. 37—6). На краю стола лежит книга A . Яркость источника равна $B = 8000 \text{ нт}$, площадь светящей поверхности равна $S = 100 \text{ см}^2$.

а) На какой высоте h надо поместить источник света, чтобы книга была освещена наиболее сильно? Какова эта освещенность?

б) Какова наибольшая освещенность стены, отстоящей от центра стола на расстоянии $l = 1,5 \text{ м}$?

○ 37—16. Какова светность волоска электрической лампы, если излучаемый световой поток равен 400 лм , длина волоска 60 см и диаметр его $0,04 \text{ мм}$?

○ 37—17. На экран площадью 3 м^2 , рассеивающий свет с коэффициентом отражения $0,8$, падает световой поток 150 лм . Каковы: а) светность; б) яркость экрана?

⊖ 37—18. Светящаяся часть люминесцентной лампы мощностью 15 вт имеет форму цилиндра длиной 42 см и диаметром $2,24 \text{ см}$. Яркость ее $5 \cdot 10^3 \text{ нт}$. Определить ее к.п.д.

⊖ 37—19. Сквозь отверстие в ставне в комнату падает пучок солнечных лучей, образующих зайчик на листе белой бумаги, лежащей на полу. Площадь зайчика 80 см^2 и освещенность $10\,000 \text{ лк}$; коэффициент отражения бумаги равен $0,8$. Какова освещенность:

а) потолка комнаты над листом бумаги, если высота комнаты равна 4 м ?

б) стены на высоте 2 м от пола? Стена отстоит на 3 м от зайчика и расположена перпендикулярно к плоскости падения луча Солнца на пол.

§ 38. Зеркала, призмы и линзы

1) Формула сферического зеркала

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{2}{R} = \frac{1}{f} = D,$$

где x и y — расстояния точки и ее изображения от вершины зеркала; R — радиус сферы; f — фокусное расстояние; D — оптическая сила.

2) Закон преломления света

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2,$$

здесь i_1 и i_2 — углы падения и преломления, n_1 и n_2 — коэффициенты преломления первой и второй сред для данной длины световой волны. В задачах § 38 (за исключением особо оговоренных случаев) имеются в виду указанные в таблице XXXI средние коэффициенты преломления лучей видимого света.

3) Связь между углом наименьшего отклонения в призме ε_m и преломляющим углом призмы ϑ

$$n_1 \sin \frac{\varepsilon_m + \vartheta}{2} = n_2 \sin \frac{\vartheta}{2},$$

здесь n_1 и n_2 — коэффициенты преломления среды, окружающей призму, и материала, из которого сделана призма.

4) Отклонение луча в призме с малым преломляющим углом

$$\varepsilon = \vartheta \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right).$$

5) При прохождении параксиального пучка лучей света сквозь сферическую поверхность, разделяющую среды с коэффициентами преломления n_1 и n_2 , имеет место соотношение

$$n_1 \left(\frac{1}{a_1} - \frac{1}{R} \right) = n_2 \left(\frac{1}{a_2} - \frac{1}{R} \right),$$

где a_1 и a_2 — расстояния сопряженных точек от сферической поверхности, R — ее радиус. Здесь и далее положительными считаются расстояния, отсчитываемые по направлению распространения света.

Отсюда

$$-\frac{n_1}{a_1} + \frac{n_2}{a_2} = D,$$

где

$$D = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

есть оптическая сила сферической границы между двумя средами.

6) Формула линзы

$$-\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = D.$$

Здесь a_1 и a_2 — расстояния сопряженных точек от главных плоскостей линзы. Главные плоскости H_1 и H_2 отстоят от вершин сферических поверхностей линзы (или от плоских поверхностей) на расстояниях x_1 и x_2 (рис. 38—1)

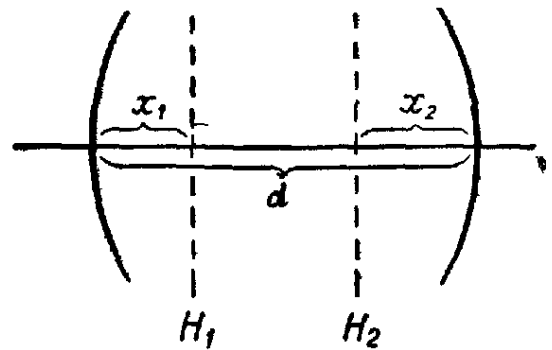


Рис. 38—1.

$$x_1 = -d \frac{n_1 D_2}{n_2 D}; \quad x_2 = +d \frac{n_1 D_1}{n_2 D},$$

где d — толщина линзы, D_1 и D_2 — оптические силы ее поверхностей, D — оптическая сила всей линзы, равная

$$D = D_1 + D_2 - \frac{d}{n_2} D_1 D_2.$$

7) В случае тонкой линзы (толщина линзы d мала) расстояния a_1 и a_2 можно без существенной погрешности отсчитывать от плоскости, проходящей сквозь некоторую среднюю точку линзы. Это не относится к менисковым линзам, у которых при значительных кривизнах их поверхностей погрешность может быть большой. Оптическую силу тонкой линзы можно определять по формуле

$$D = D_1 + D_2 = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right).$$

8) Оптическая сила системы двух центрированных линз с оптическими силами D_1 и D_2

$$D = D_1 + D_2 - \Delta \cdot D_1 \cdot D_2 = -\delta \cdot D_1 \cdot D_2,$$

где Δ — расстояние от второй главной плоскости первой линзы до первой главной плоскости второй линзы; δ — оптический интервал системы (расстояние между вторым фокусом первой линзы и первым фокусом второй линзы; у отрицательных линз первый фокус лежит сзади линзы, а второй — спереди).

9) Светосила объектива

$$C = D \cdot d,$$

где d — диаметр входного отверстия.

10) Увеличение угла зрения визуальными приборами

$$N = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha_0}.$$

Здесь α — угол зрения, под которым предмет виден сквозь прибор, α_0 — угол зрения, под которым предмет виден невооруженным глазом (в случае лупы и микроскопа под α_0 подразумевается угол зрения при наблюдении предмета, находящегося на условном расстоянии $L_0 = 25$ см). Приведенные ниже формулы увеличения относятся к случаю, когда глаз наблюдателя аккомодирован на бесконечность.

а) Лупа

$$N = D \cdot L_0.$$

б) Микроскоп (D_1 и D_2 — оптические силы объектива и окуляра)

$$N = -L_0 D_1 D_2 \delta.$$

в) Трубы Кеплера и Галилея

$$N = -\frac{D_2}{D_1}.$$

⊖ 38—1. Небольшой предмет расположен между двумя плоскими зеркалами, поставленными под углом $\alpha = 32^\circ$, на расстоянии $r = 10$ см от линии пересечения зеркал ближе к одному из зеркал.

а) На каком расстоянии x друг от друга находятся первые мнимые изображения предмета в зеркалах?

б) Как сместится середина отрезка прямой, соединяющей два изображения предмета, если предмет сдвинуть на $l = 2$ см так, чтобы его расстояние от линии пересечения зеркал осталось неизменным?

⊖ 38—2. Луч света падает на одно из зеркал, составляющих двугранный угол 20° , параллельно плоскости, делящей угол пополам, под прямым углом к линии пересечения зеркал. Как он идет дальше? Какова будет сила света по выходе луча из двугранного угла, если начальная сила света равна 10 св и если при каждом отражении сила света уменьшается в два раза?

⊖ 38—3. Три плоских зеркала расположены взаимно перпендикулярно. Показать, что луч, упавший под произвольным углом на одно из зеркал и отразившийся на второе, а затем на третье зеркало, после трех отражений идет антипараллельно прежнему направлению.

○ 38—4. Волосок маленькой электрической лампочки находится на расстоянии 24 см от вершины вогнутого зеркала с фокусным расстоянием 20 см. а) Где надо поставить экран, покрытый белой бумагой, чтобы получить на нем четкое изображение накаливаемого волоска? б) Какова яркость этого изображения при следующих условиях: лампочка дает световой поток 10 лм, на зеркало падает $0,2$ этого потока, коэффициент отражения бумаги равен $0,8$, волосок имеет длину 2 см и диаметр $0,1$ мм?

⊖ 38—5. Луч света падает на вогнутое сферическое зеркало с радиусом R параллельно оптической оси OO' на расстоянии a

от нее (рис. 38—2) и после отражения пересекает оптическую ось OO' в точке B . Найти отношение между a и R , при котором относительная ошибка, которую мы делаем, принимая $OB = 0,5 R$, равна 1%.

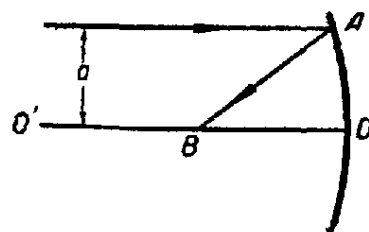


Рис 38—2.

○ 38—6. Вогнутое сферическое зеркало, радиус отверстия которого величина того же порядка, как радиус сферы, дает на экране размытое действительное изображение. Почему же при рассматривании этого изображения в зеркале мы видим его четким (хотя и искаженным)?

○ 38—7. Наблюдатель глядит сквозь тонкую стеклянную пластинку на свое изображение в выпуклом зеркале и, перемещая пластинку, добивается, что изображения его глаза, видимые в зеркале и в стеклянной пластинке, налагаются друг на друга и не смещаются при покачивании головы (отсутствует параллакс).

На каком расстоянии от глаза наблюдателя помещена пластинка, если фокусное расстояние зеркала равно — 10 см и глаз отдален от его вершины на 40 см?

○ 38—8. На рисунке 38—3, a и b показаны положения оси сферического зеркала MM , светящей точки S и ее изображения S' . Найти построением положения вершины зеркала и его центра для обоих случаев.

○ 38—9. Высота Солнца над горизонтом равна 20° . Пользуясь плоским зеркалом, пускают зайчик в воду в пруду. Как надо расположить зеркало, чтобы отраженный от него луч шел в воде под углом 60° к горизонту?

○ 38—10. Каков предельный угол при падении луча на границу стекло — вода?

⊖ 38—11. Лучи, исходящие из какой-либо точки предмета, находящегося в воде, проходят сквозь плоскую границу между водой и воздухом.

а) Доказать, что продолжения направлений преломленных лучей в сторону воды не пересекаются в одной точке.

б) Доказать, что продолжения лучей, исходящих из одной точки и прошедших сквозь плоскопараллельную пластину, тоже не пересекаются в одной точке.

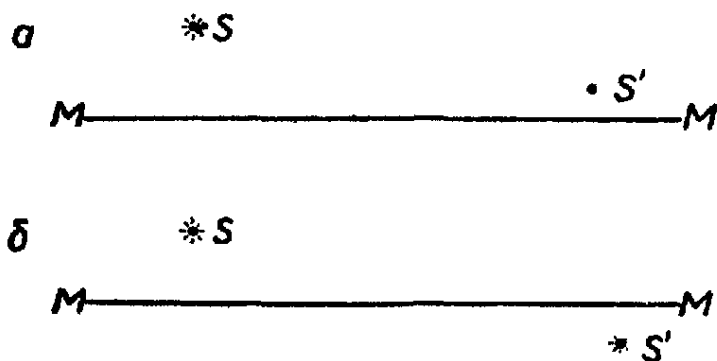


Рис. 38—3.

в) Почему, несмотря на это, мы видим дно водоема или предметы за прозрачной плоскопараллельной пластинкой вполне четко?

⊖ 38—12. Наблюдатель смотрит на предмет, лежащий на дне водо-

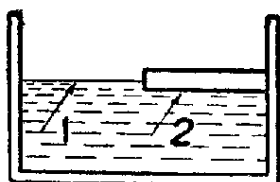


Рис. 38—4.

ема. Ему кажется, что предмет находится на глубине $h = 1$ м на расстоянии $l = 5$ м от его глаз по прямой линии. Глаза наблюдателя находятся на одной и той же высоте, а именно на высоте $H = 1,5$ м над поверхностью воды. На какой глубине h_0 лежит предмет?

⊖ 38—13. Человек смотрит на свое изображение в зеркале, положенном на дно сосуда, наполненного водой. На какое расстояние аккомодирован глаз человека, если он находится на высоте 10 см над уровнем воды, а зеркало на глубине 8 см под уровнем воды?

○ 38—14. В воде идут два параллельных луча 1 и 2 (рис. 38—4). Луч 1 выходит в воздух непосредственно, а луч 2 проходит сквозь горизонтальную плоскопараллельную стеклянную пластинку.

а) Будут ли лучи 1 и 2 параллельны по выходе в воздух?

б) Выйдет ли в воздух луч 2, если луч 1 испытывает полное отражение?

⊖ 38—15. Луч падает на плоскую стеклянную пластинку толщиной 3 см под углом 70° . Определить смещение луча внутри пластинки.

○ 38—16. Луч света проходит сквозь несколько прозрачных плоскопараллельных пластин. При каждом преломлении теряется 0,1 часть силы света; внутри каждой пластины поглощается 0,2 силы света. Какова сила света, прошедшего сквозь 5 пластин, если начальная сила света равна 10 св?

○ 38—17. При рассматривании предметов сквозь призму наибольшая отчетливость получается при наименьшем отклонении лучей. Почему?

○ 38—18. Приставив призму к глазу, мы видим сквозь нее прямые линии, параллельные ребру призмы, в виде дуг. Объяснить явление.

⊖ 38—19. а) Каков преломляющий угол у стеклянной призмы, если угол наименьшего отклонения равен преломляющему углу?

б) Каков должен быть коэффициент преломления вещества, из которого сделана призма, чтобы условие а) могло быть выполнено?

⊖ 38—20. Полая стеклянная равноугольная призма находится в воде. Определить угол наибольшего отклонения. Пояснить решение чертежом.

⊖ 38—21. Имеются две одинаковые призмы с преломляющими углами θ , дающие угол наименьшего отклонения ϵ_0 . Как следует расположить их, чтобы луч, проходя сквозь призмы, в каждой из них отклонялся на ϵ_0 ?

○ 38—22. Призма с преломляющим углом 50° дает угол наименьшего отклонения 35° . Какой угол наименьшего отклонения получится, если погрузить эту призму в воду?

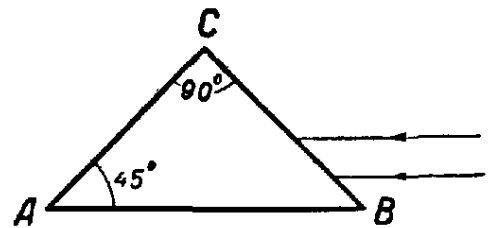


Рис. 38—5.

⊖ 38—23. Для получения посредством проекционного аппарата проекций опытов в прямом, а не в перевернутом виде употребляют «оборотную призму», преломляющий угол которой равен 90° .

Начертить, как идут в призме и за ней два луча, падающие на призму параллельно стороне AB (рис. 38—5). Изменяется ли расстояние между лучами? Одинаковы ли длины первого и второго лучей внутри стекла?

⊖ 38—24. При каких условиях луч, падающий на первую грань стеклянной призмы в плоскости, перпендикулярной к ребру преломляющего угла ϑ , проходит сквозь вторую грань? Рассмотреть случаи:

- а) $\vartheta \geq 2\beta_0$ (β_0 — предельный угол для стекла); б) $\vartheta = \beta_0$;
- в) $\vartheta < \beta_0$.

Пояснить ответы чертежами.

⊖ 38—25. Галó, т. е. светлые круги вокруг Солнца (или Луны), видимые в морозные дни, являются результатом преломления света в ледяных кристаллах, взвешенных в воздухе и имеющих форму шестигранных призм. Угловые радиусы кругов 22° и 46° соответствуют углам наименьшего отклонения лучей, идущих от Солнца. Какие грани в ледяных призмах образуют преломляющие углы, соответствующие этим кругам?

⊖ 38—26. В каких пределах может изменяться угол отклонения, который может дать стеклянная призма с преломляющим углом $\vartheta = 60^\circ$?

○ 38—27. На тонкостенную сферическую колбу, наполненную жидкостью, падает параллельный пучок лучей света, диаметр сечения которого значительно меньше диаметра колбы. На противоположной стороне колбы пучок

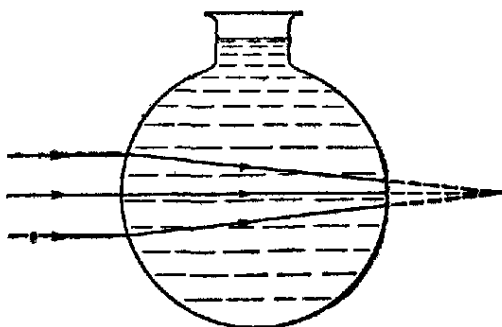


Рис. 38—6.

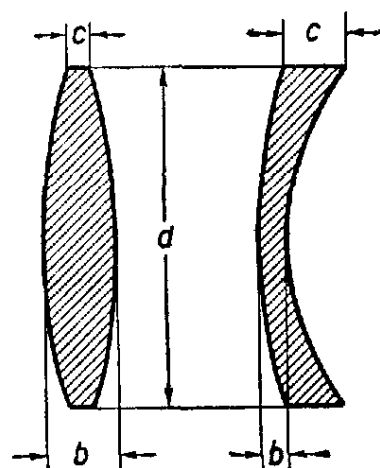


Рис. 38—7.



Рис. 38—8.



Рис. 38—9.

света освещает кружок, диаметр которого в два раза меньше диаметра пучка, падающего на колбу (рис. 38—6). Определить показатель преломления жидкости.

○ 38—28. Каково фокусное расстояние тонкой двояковыпуклой линзы, сделанной из стекла, если радиусы ее поверхностей одинаковы и равны 13 см?

⊖ 38—29. На рисунке 38—7 показаны сечения двух несимметричных стеклянных линз. Определить их оптические силы, если для первой линзы $d_1 = 40$ мм, $b_1 = 5$ мм, $c_1 = 3$ мм, для второй линзы $d_2 = 40$ мм, $b_2 = 1,5$ мм, $c_2 = 3$ мм, принимая их за тонкие.

○ 38—30. Оптическая сила тонкой стеклянной линзы в воздухе равна 5,5 дп. Какова оптическая сила той же линзы, погруженной в воду?

○ 38—31. Тонкая стеклянная линза имеет оптическую силу +5 дп. Та же линза, погруженная в жидкость, действует как линза с оптической силой —1 дп. Определить показатель преломления жидкости.

⊖ 38—32. Тонкая плоско-вогнутая линза опущена в воду в горизонтальном положении вогнутой поверхностью вниз так, что пространство под ней заполнено воздухом (рис. 38—8). Радиус вогнутой поверхности равен 15 см. Каково фокусное расстояние такой системы?

⊖ 38—33. Горизонтально расположенное вогнутое зеркало заполнено водой (рис. 38—9). Радиус зеркала 60 см. Каково фокусное расстояние такой системы? Наибольшая глубина воды в зеркале мала по сравнению с радиусом сферы.

○ 38—34. На рисунке 38—10 показаны положения тонкой собирающей линзы LL и ее фокусов F_1 и F_2 . Найти построением ход произвольного луча AB после линзы.

○ 38—35. На рисунке 38—11, a и b показаны положения оптической оси MM тонкой линзы, светящейся точки S и ее изображения S' . Найти построением положения центра линзы и ее фокусов для обоих случаев.

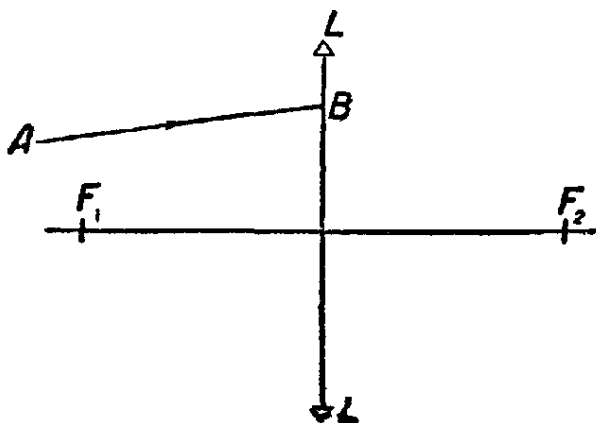


Рис. 38—10.

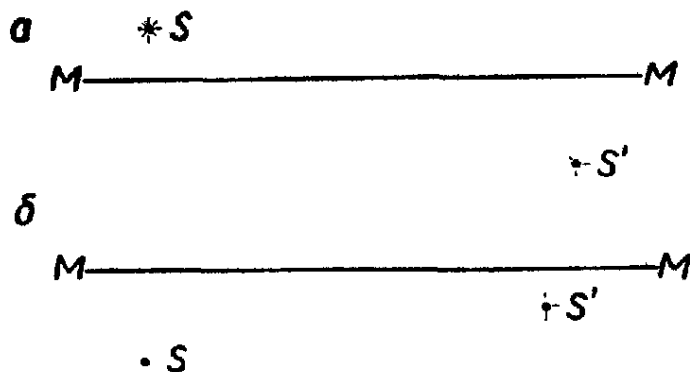


Рис. 38—11.

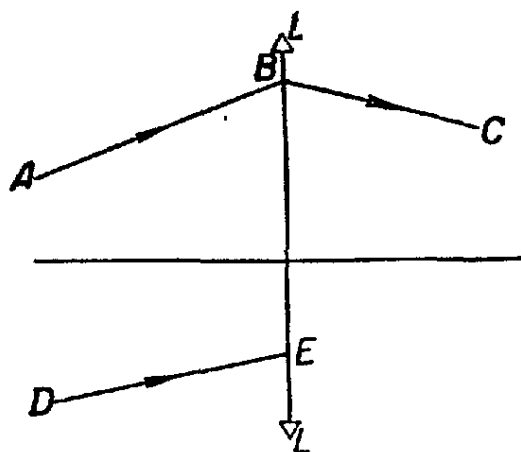


Рис. 38—12.

○ 38—36. На рисунке 38—12 показаны положения оптической оси тонкой линзы LL и ход проходящего сквозь нее луча ABC . Найти построением ход произвольного луча DE за линзой.

⊕ 38—37. Чтобы найти положение изображения точки S_1 , лежащей на главной оптической оси тонкой собирающей линзы, можно провести следующее построение: из оптического центра линзы O восставить перпендикуляр к оси и отложить на нем фокусное расстояние линзы $OA = f$ (рис. 38—13). Затем из точки O провести прямую OK под углом 45° к оси. Из точки B пересечения продолжения S_1A и прямой OK опустить перпендикуляр на ось. Его основание есть искомая точка S_2 . Доказать правильность такого построения: а) для точек, лежащих за фокусом; б) для точек, лежащих между фокусом и линзой.

○ 38—38. Диапозитив имеет размер $8 \times 8 \text{ см}^2$. Определить оптическую силу тонкой собирающей линзы, которая может служить объективом проекционного аппарата, если изображение диапозитива на экране должно иметь размеры $1,2 \cdot 1,2 \text{ м}^2$. Расстояние от объектива до экрана равно 4 м .

○ 38—39. На экране, отстоящем от объектива (тонкая линза оптической силой 5 дп) на расстоянии 4 м , получено четкое изображение диапозитива. Экран отодвигают на 20 см . На сколько надо переместить диапозитив, чтобы восстановить четкость изображения?

⊖ 38—40. Предмет находится на расстоянии 90 см от экрана. Между предметом и экраном перемещают тонкую собирающую линзу, причем при одном положении линзы на экране получается увеличенное изображение, а при другом —

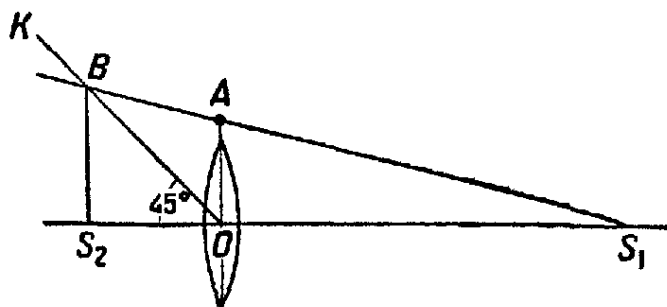


Рис. 38—13.

уменьшенное. Каково фокусное расстояние линзы, если линейные размеры первого изображения в 4 раза больше размеров второго?

⊖ 38—41. Экран находится на расстоянии $d = 100$ см от свечи. Помещая между свечой и экраном собирающую тонкую линзу, можно получить изображение свечи на экране при двух положениях линзы, отстоящих на расстоянии $b = 20$ см. Во сколько раз отличаются яркости изображений свечи?

○ 38—42. Точечный источник света находится на расстоянии 95 см от экрана. На каком расстоянии от источника света следует поместить линзу с фокусным расстоянием $+16$ см и с диаметром оправы 10 см, чтобы получить на экране ярко освещенный кружок диаметром 2,5 см? Пояснить ответ чертежами.

⊖ 38—43. Солнечные лучи, падая нормально на экран, дают освещенность 10 000 лк. Перед экраном помещают: а) тонкую линзу оптической силой $+5$ дп на расстоянии 60 см; б) линзу оптической силой -2 дп на расстоянии 20 см. Определить в обоих случаях среднюю освещенность экрана в тени от линзы и в светлом кольце вокруг тени. Потерями света в линзе пренебречь.

⊖ 38—44. Лучи Солнца освещают бумагу. Как изменится освещенность бумаги, если на ней при помощи тонкой линзы с оптической силой в 4 дп и с диаметром отверстия 6 см получить изображение Солнца?

⊖ 38—45. Фотограф снимает человека в белом платье. Какова освещенность фотопластинки в аппарате в том месте, где находится изображение человека, при следующих условиях: освещенность человека равна 1000 лк (открытое место, пасмурный день); коэффициент отражения белой материи равен 0,8, светосила объектива фотоаппарата равна $\frac{1}{4,5}$; потери света в объективе составляют 10%.

○ 38—46. При каком условии оптическая сила центрированной системы двух тонких линз положительна, при каком отрицательна и при каком равна нулю (т. е. система является телескопической)?

Рассмотреть случаи:

- а) обе линзы собирающие;
- б) первая линза собирающая, вторая рассеивающая;
- в) первая линза рассеивающая, вторая собирающая;
- г) обе линзы рассеивающие.

Пояснить ответы чертежами хода лучей.

○ 38—47. а) Как следует разместить две тонкие линзы с оптическими силами $+5$ дп, чтобы оптическая сила системы была равна 8 дп? б) 5 дп?

⊖ 38—48. Расстояние между двумя тонкими линзами, образующими телескопическую систему, равно 12 см, а увеличение равно -5 . Какова будет оптическая сила системы тех же линз, если их сложить вплотную?

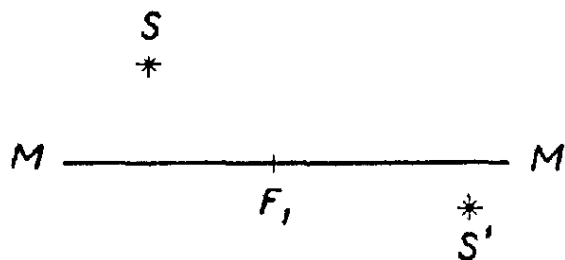


Рис. 38—14.

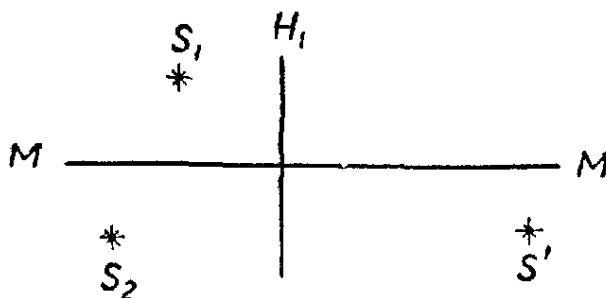


Рис. 38—15.

⊖ 38—49. Две стеклянные линзы, находясь на некотором расстоянии в воздухе, образуют телескопическую систему.

Как надо изменить расстояние между линзами, чтобы они образовали телескопическую систему, находясь в воде?

⊖ 38—50. Лучи света проходят сквозь тонкую собирающую линзу ($D = +5 \text{ дп}$), отражаются от поставленного сзади нее плоского зеркала и вновь проходят сквозь линзу. Какова оптическая сила такой системы, если отражающая поверхность зеркала отстоит от второй главной плоскости линзы на расстоянии 6 см?

○ 38—51. На рисунке 38—14 показаны оптическая ось MM и первый фокус F_1 толстой собирающей линзы, а также две сопряженные точки S и S' . Найти построением положения главных плоскостей и второго фокуса линзы.

○ 38—52. На рис. 38—15 показаны оптическая ось толстой собирающей линзы MM , первая главная плоскость H_1 и две сопряженные точки S_1 и S' . Построить точку, сопряженную с произвольной точкой S_2 .

○ 38—53. На рисунке 38—16 показаны положения оптической оси MM толстой линзы, ее первой главной плоскости H_1 и ход некоторого луча до и после линзы. Найти построением фокусы линзы.

⊖ 38—54. Найти положения главных и фокальных плоскостей стеклянных линз (в воздухе) следующих форм:

а) Передняя поверхность линзы выпуклая ($R_1 = 13 \text{ см}$), задняя плоская. Толщина линзы 3,5 см.

б) Обе поверхности линзы выпуклые ($R = 13 \text{ см}$). Толщина линзы 3,5 см.

в) Передняя поверхность линзы выпуклая ($R_1 = 6,5 \text{ см}$), задняя вогнутая ($R_2 = 13 \text{ см}$). Толщина линзы 3,5 см.

г) Передняя поверхность линзы вогнутая ($R_1 = 6,5 \text{ см}$), задняя выпуклая ($R_2 = 13 \text{ см}$). Толщина линзы 3,5 см.

д) Линза имеет форму шара с радиусом 3,5 см.

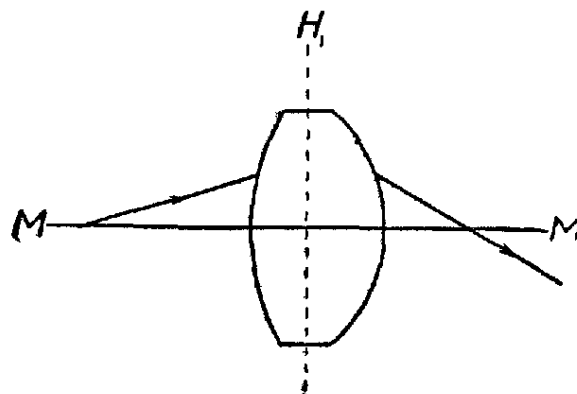


Рис. 38—16.

⊖ 38—55. Какова должна быть толщина двояковыпуклой стеклянной линзы ($R_1=R_2=5$ см), чтобы ее оптическая сила в воздухе была равна нулю?

⊖ 38—56. Плоские поверхности плоско-выпуклой и плоско-вогнутой линз склеены тонким слоем прозрачного клея. Коэффициенты преломления стекол, из которых сделаны линзы, равны соответственно 1,6 и 1,5. Радиусы сферических поверхностей и толщины линз одинаковы и равны соответственно 10 см и 2,4 см. Определить оптическую силу такой системы в воздухе.

⊖ 38—57. При помощи линзы, описанной в задаче 38—54, в), получено изображение пламени свечи на экране. Если повернуть линзу так, чтобы вершины выпуклой и вогнутой поверхностей поменялись местами, то для получения четкого изображения линзу придется сдвинуть. На какое расстояние?

⊖ 38—58. Две одинаковые плоско-выпуклые стеклянные линзы сложены вплотную. Радиусы сферических поверхностей равны 5 см, толщина 2,5 см. Определить оптическую силу системы в воздухе в следующих случаях:

а) плоская поверхность одной линзы приложена к плоской поверхности второй;

б) выпуклая поверхность одной линзы касается выпуклой поверхности другой;

в) выпуклая поверхность одной линзы касается плоской поверхности второй.

⊖ 38—59. а) Имеются два стеклянных шара диаметрами 10 см и 1 см. Как следует расположить эти шары в воздухе, чтобы получилась телескопическая система?

б) Каково увеличение такой системы?

○ 38—60. Начертить примерный ход лучей от некоторой точки предмета до ее изображения на сетчатке глаза, accommodированного на бесконечность и вооруженного: а) лупой; б) микроскопом; в) трубой Кеплера; г) трубой Галилея.

⊖ 38—61. а) Каково фокусное расстояние 2,5-кратной лупы?

б) Какое увеличение дает эта лупа, если наблюдатель рассматривает сквозь нее свой зрачок, видимый в плоском зеркале? Глаз accommodирован на бесконечность.

⊖ 38—62. Человек рассматривает свой глаз, пользуясь вогнутым зеркалом с радиусом кривизны 10 см. Глаз accommodирован на бесконечность. Каково увеличение?

○ 38—63. К микроскопу приложены объективы и окуляры со следующими данными:

Объективы:

№	Фокусное расстояние	Числовая апертура
1	18 мм	0,20
2	4,3 мм	0,65

Окуляры:

	Фокусное расстояние
А	36 мм
В	17 мм

а) Если установить тубус микроскопа на механическую длину 16 см, то при объективе № 1 и окуляре А микроскоп дает 56-кратное увеличение, а при объективе № 2 и окуляре В — 600-кратное. Вычислить в обоих случаях оптические интервалы микроскопа. Почему они не равны между собой?

б) Каковы будут увеличения микроскопа при тех же объективах и окулярах, если механическую длину тубуса установить 18 см?

○ 38—64. Фокусное расстояние объектива одного из рефракторов в Пулковке равно 14,1 м. Каково увеличение этого рефрактора при пользовании окуляром с фокусным расстоянием 2,5 см?

○ 38—65. Каждая трубка театрального бинокля состоит из собирающей линзы (объектив) и рассеивающей линзы (окуляр). Расстояние между линзами, которые можно считать тонкими, при аккомодации глаз на бесконечность, равно 5 см. Диаметр объектива 3,6 см, окуляра 1,2 см. Увеличение бинокля равно 2,5.

а) Что получится, если посмотреть в объектив бинокля, обратив окуляр к объекту?

б) Каковы оптические силы объектива и окуляра?

в) Что более ограничивает пучок лучей, проходящих сквозь бинокль, оправа объектива или окуляра?

○ 38—66. На экране получен непрерывный спектр (при помощи щели, освещенной электрической дугой, объектива и призмы). Что будет происходить, если ширину щели постепенно увеличивать?

○ 38—67. Что видит наблюдатель, рассматривающий сквозь стеклянную призму черную черту на белой бумаге? Сделать поясняющий чертеж.

○ 38—68. При помощи объектива и стеклянной призмы с преломляющим углом 60° на экране получено окрашенное изображение щели (спектр). Какова ширина спектра при таких условиях: лучи падают на призму под углом 49° ; экран находится на расстоянии 3 м от объектива; коэффициент преломления стекла для крайних красного и фиолетового лучей равен 1,505 и 1,525? Шириной щели можно пренебречь.

○ 38—69. Коэффициент преломления стекла для крайних красных лучей спектра равен $n_1=1,510$, а для крайних фиолетовых $n_2=1,531$. Определить расстояние между фокусами для красных и фиолетовых лучей двояковыпуклой тонкой линзы с радиусами преломляющих поверхностей по 15 см.

§ 39. Волновая природа света

1) Расстояние x между полосами интерференции на экране, находящемся на расстоянии l от двух когерентных источников света, отстоящих друг от друга на расстоянии d (рис. 39—1), равно

$$x = \frac{\lambda}{2n_1 \sin u_1} = \frac{\lambda}{n_1} \cdot \frac{l}{d \cos u_1}.$$

Здесь $\frac{\lambda}{n_1}$ — длина световой волны в среде, в которой находится экран, u_1 — половина угла между направлениями лучей, образующих в данной точке экрана интерференционную картину, n_1 — коэффициент преломления среды, в которой находится экран. Если $l \gg d$, $\cos u_1 \rightarrow 1$ и формула принимает вид

$$x = \frac{\lambda \cdot l}{n_1 \cdot d}.$$

2) Принято считать, что протяженный источник света (например, щель, сзади которой находится источник света) дает на экране удобонаблюдаемую интерференционную картину, если интерференционные картины, образуемые крайними точками источника, сдвинуты одна по отношению к другой не более чем на 0,5 расстояния между полосами. На основании этого для наблюдаемости интерференционной картины необходимо соблюдение следующего условия: линейные размеры источника света (например, ширина щели b) должны удовлетворять соотношению

$$b < \frac{\lambda}{4n \sin u}.$$

Здесь u — половина угла между направлениями лучей, исходящих из какой-либо точки источника света и сходящихся в некоторой точке экрана (рис. 39—2), n — коэффициент преломления среды, в которой находится источник света.

3) Число длин волн, укладывающихся в разности хода лучей, отраженных от двух поверхностей тонкой пластинки под углом α , по обе стороны которой находятся одинаковые среды, равно

$$\nu = \frac{2d}{\lambda} \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{1}{2}.$$

4) Соотношение для углов отклонения φ от нормали для глав-

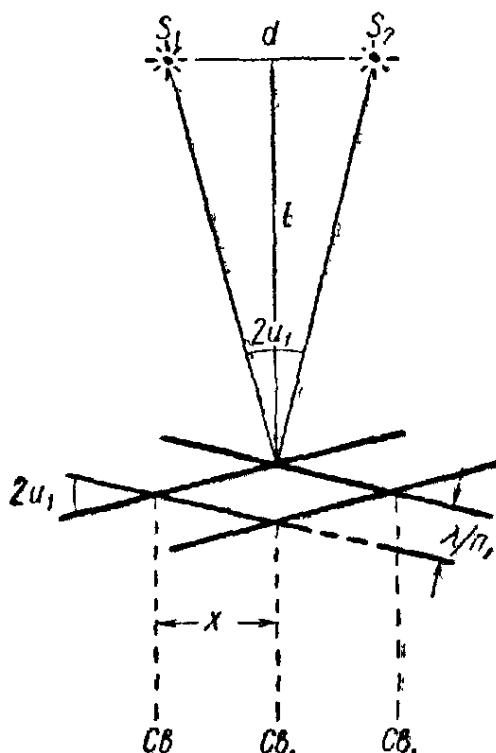


Рис. 39—1.

ных максимумов, даваемых дифракционной решеткой при нормальном падении света на решетку, находящуюся в пустоте

$$c \cdot \sin \varphi = k\lambda$$

$$(k = 0; 1; 2; \dots),$$

где k — порядок спектра,

c — постоянная решетки. Если лучи падают на решетку под углом α , то имеет место соотношение

$$c (\sin \varphi - \sin \alpha) = k\lambda.$$

5) Закон Брэгга — Вульфа для отражения рентгеновских лучей от кристалла

$$k\lambda = 2d \sin \Theta,$$

где λ — длина волны; k — порядок спектра; d — постоянная кристаллической решетки; Θ — угол между направлением отраженного луча и гранью кристалла.

6) Разрешающая сила дифракционной решетки

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN,$$

где N — общее число штрихов в дифракционной решетке.

7) Разрешающая сила оптического прибора определяется соотношением

$$b > \frac{\lambda}{2n \sin u},$$

здесь b — наименьшее расстояние между двумя штрихами на объекте, различимое при наблюдении посредством прибора, n — показатель преломления среды, заполняющей пространство от объекта до прибора, u — половина угла раскрытия лучей, исходящих из точек объекта и попадающих в прибор.

8) Полная поляризация света, отраженного от диэлектрика, коэффициент преломления которого равен n_2 , в среду, коэффициент преломления которой равен n_1 , имеет место при угле падения Φ , удовлетворяющем соотношению

$$\operatorname{tg} \Phi = \frac{n_2}{n_1}.$$

9) Интенсивность света I , прошедшего сквозь поляризатор и анализатор, плоскости поляризации которых образуют угол α ,

$$I = I_0 \cos^2 \alpha,$$

где I_0 — интенсивность поляризованного света, падающего на анализатор.

10) Угол поворота плоскости поляризации

$$\psi = \alpha \cdot d,$$

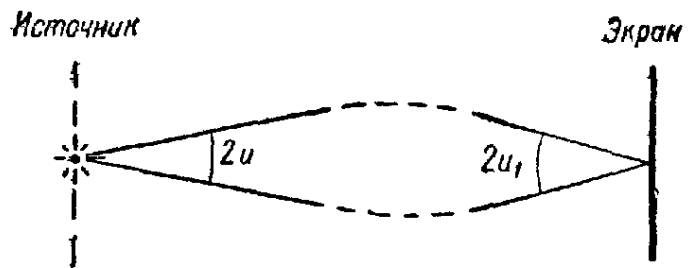


Рис. 39—2.

где α — постоянная вращения, зависящая от природы вещества и длины световых волн, d — длина светового луча в веществе.

Для растворов угол поворота определяется соотношением

$$\psi = [\alpha] d c,$$

где $[\alpha]$ — удельная постоянная вращения, d — длина луча в растворе и c — концентрация активного вещества (число граммов активного вещества в 1 см^3 раствора).

○ 39—1. Длина волны красного луча в воде равна длине волны зеленого луча в воздухе. Вода освещена красным светом. Какой цвет видит при этом свете человек, открывший глаз под водой?

⊖ 39—2. Угол между зеркалами Френеля равен $\alpha = 10'$. На них падает свет от щели, находящейся на расстоянии $r = 10 \text{ см}$ от линии пересечения зеркал. Длина световых волн равна $\lambda = 0,6 \text{ мк}$. Отраженный от зеркал свет дает интерференционную картину на экране, отстоящем на расстоянии $L = 270 \text{ см}$ от линии пересечения зеркал.

а) Каково расстояние между интерференционными полосами на экране?

б) Что случится с интерференционной картиной на экране, если щель сдвинуть на расстояние $s = 2 \text{ мм}$ в таком направлении, что ее расстояние от линии пересечения зеркал не изменится?

в) Что случится с картиной на экране, если расстояние от щели до линии пересечения зеркал увеличить вдвое?

г) Показать справедливость соотношения, указанного в пункте 2) введения, как условия наблюдаемости интерференционной картины, получаемой при помощи зеркал Френеля.

д) Определить наибольшую ширину щели, при которой интерференционная картина еще может наблюдаться.

е) Сколько интерференционных полос можно видеть на экране?

П р и м е ч а н и е. Предварительно следует решить задачу 38—1.

⊖ 39—3. На рисунке 39—3 изображена схема опыта с бипризмой Френеля. Лучи от источника света S (освещенная щель) проходят сквозь бипризму B и дают на экране KK интерференционную картину. Каков тупой угол δ бипризмы, если при

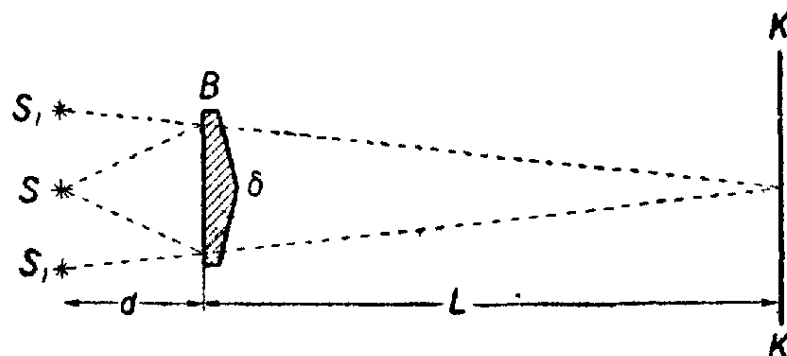


Рис. 39—3.

расстоянии $d=50$ см от щели до бипризмы и при расстоянии $L=450$ см от бипризмы до экрана интерференционные полосы натриевого света ($\lambda=590$ мкм) отстоят друг от друга на $x=1,1$ мм? Коэффициент преломления данного сорта стекла (легкий флинт) равен $n=1,578$.

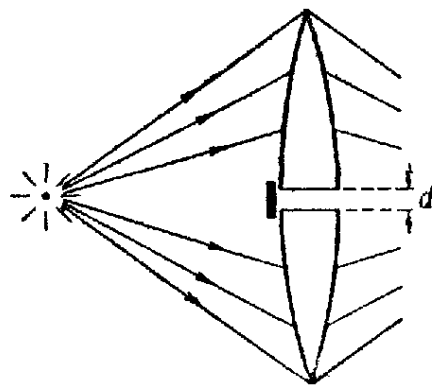


Рис. 39—4.

⊖ 39—4. Лучи от источника света (накаленная нить) проходят сквозь разрезанную на две половины собирающую линзу (рис. 39—4). При этом на экране получаются интерференционные полосы.

а) Объяснить их происхождение.

б) Определить расстояние между темными полосами интерференции при таких данных: нить находится на расстоянии 20 см от разрезанной линзы; фокусное расстояние линзы 10 см; половинки линзы раздвинуты на расстояние 1 мм; экран находится на расстоянии 450 см от линзы; длина волны 500 мкм.

в) Каков должен быть диаметр нити для того, чтобы получилась интерференционная картина?

г) Сколько интерференционных полос видно на экране?

○ 39—5. Какова толщина мыльной пленки, если при наблюдении ее в отраженном свете она представляется зеленой ($\lambda=500$ мкм), когда угол между нормалью и лучом зрения равен 35° ? Показатель преломления мыльной воды принять 1,33.

⊖ 39—6. На изображении натриевого пламени ($\lambda=589$ мкм), наблюдаемом на вертикальной мыльной пленке (рис. 39—5), видны темные горизонтальные полосы. Расстояние между серединами темных полос $l=5$ мм. Коэффициент преломления мыльной воды $n=1,33$. Каков угол между поверхностями пленки?

⊖ 39—7. а) Какова максимальная толщина d_m мыльной пленки, при которой наблюдается интерференционная картина, показанная на рисунке 39—5, при следующих условиях: глаз наблюдателя находится на уровне пленки; натриевое пламя ($\lambda=589$ мкм) отстоит от наблюдаемого места пленки на расстоянии $a=30$ см; высота пламени $b=3$ см; свет от пламени падает на пленку под углом $\alpha=45^\circ$?

б) Почему у свежеполученной пленки интерференционные полосы сперва не видны, а затем появляются в верхней части пленки и постепенно

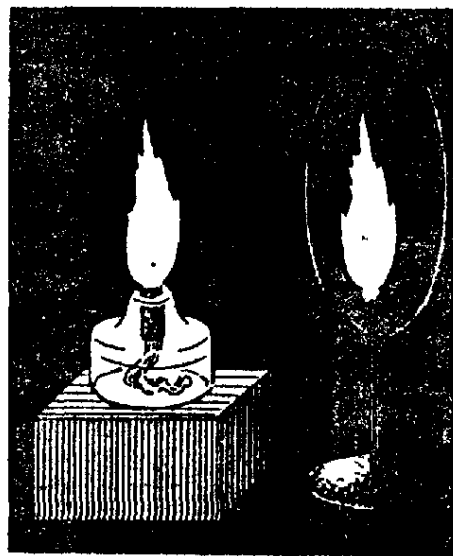


Рис. 39—5.

распространяются вниз? в) Почему при освещении пленки белым светом видны окрашенные в разные цвета светлые полосы и притом только в верхней части пленки?

○ 39—8. На рисунке 39—6 показано расположение линзы и пластинки в опыте по наблюдению колец Ньютона в отраженном свете. Свет может отразиться от следующих поверхностей: от верхней поверхности линзы 1, от выпуклой нижней поверхности линзы 2 и от плоской поверхности темного стекла 3. Почему при расчете явления принимается во внимание возможность интерференции лучей, отразившихся от второй и третьей поверхностей, и не обсуждается возможность интерференции лучей, отразившихся от первой и второй поверхностей?

○ 39—9. Собирающая линза положена на плоскую стеклянную пластинку, причем вследствие попадания пыли между линзой и пластинкой нет контакта (рис. 39—7). Диаметры 5-го и 15-го темных колец Ньютона, наблюдаемых в отраженном свете ($\lambda=589$ мкм), равны 0,7 мм и 1,7 мм. Определить радиус кривизны поверхности линзы, обращенной к пластинке.

○ 39—10. Стеклянная симметричная двояковыпуклая линза сложена с такой же двояковогнутой, причем получившаяся система имеет оптическую силу $D=0,25$ дп. Между линзами в некоторой точке имеется контакт, вокруг которого наблюдается в отраженном свете интерференционная картина.

а) Определить радиус пятого темного кольца ($k=5$), если длина волны $\lambda=0,6$ мкм.

б) Тот же вопрос, если пространство между линзами заполнено водой.

○ 39—11. Наблюдатель отсчитывает ширину 10 колец Ньютона вдали от их центра. Она оказывается равной 0,7 мм. Ширина следующих 10 колец оказывается равной 0,4 мм. Наблюдение производится в отраженном свете при длине волны 589 мкм. Определить радиус кривизны поверхности линзы.

○ 39—12. а) Какова будет форма полос интерференции, если цилиндрическую собирающую линзу положить на плоскую стеклянную пластинку?

б) Какова будет форма полос интерференции, если сложить две цилиндрические собирающие линзы так, чтобы их образующие составляли прямой угол?

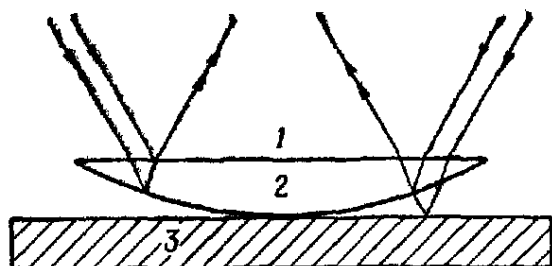


Рис. 39—6.

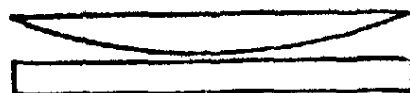
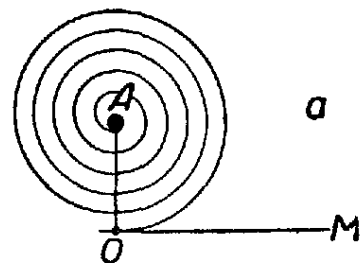


Рис. 39—7.

○ 39—13. Спектр натрия состоит из двух линий с длинами волн 589,00 мкм и 589,59 мкм. Какое по счету темное кольцо Ньютона, соответствующее одной из этих линий, совпадает со следующим по счету темным кольцом, соответствующим другой линии? Наблюдение производится в отраженном свете.



○ 39—14. На рисунке 39—8, а показана диаграмма амплитуды колебания, дошедшего до некоторой точки К от светящей точки S. Каждая половина витка спирали соответствует одной зоне Френеля. Направление прямой OM показывает фазу колебания, дошедшего от светящей точки до точки К по прямой. Отрезок OA показывает амплитуду колебания, дошедшего до точки К при полном отсутствии препятствий между S и К. На рисунке 39—8, б показана диаграмма, соответствующая случаю, когда между источником света и точкой К помещена ширма с отверстием, диаметр которого соответствует 2,4 первых зон Френеля. Сплошная часть спирали соответствует зонам, видимым сквозь отверстие, а пунктирная — закрытым. OB — амплитуда колебаний в точке К.

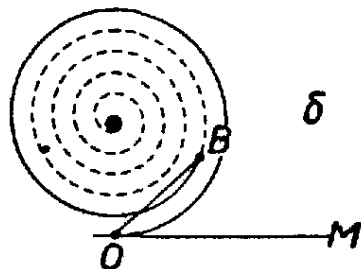


Рис. 39—8.

а) Начертить подобные диаграммы для случаев, когда ширма закрывает все зоны Френеля, кроме: 1) первой зоны Френеля; 2) двух первых зон; 3) трех с половиной первых зон. (Спираль следует воспроизводить приближенно.)

б) Показать, что при отсутствии препятствий интенсивность света (освещенность) в точке К приблизительно в 4 раза меньше интенсивности света, прошедшего сквозь отверстие, пропускающее только первую зону Френеля.

в) Показать, что интенсивность света, прошедшего сквозь отверстие, пропускающее только половину первой зоны, приблизительно в два раза больше интенсивности при полном отсутствии препятствий.

г) Начертить диаграмму, соответствующую случаю, когда первые 1,5 зоны закрыты круглым диском.

д) Начертить диаграмму, соответствующую случаю, когда свет проходит сквозь кольцевое отверстие, открывающее третью и четвертую зоны.

е) Начертить диаграмму, соответствующую случаю, когда третья и четвертая зоны закрыты непрозрачным кольцом.

○ 39—15. Точечный источник света S, излучающий свет с длиной волны $\lambda = 5500 \text{ \AA}$, освещает экран, расположенный на расстоянии $l = 11 \text{ м}$ от S. Между источником света S и экраном на расстоянии $a = 5 \text{ м}$ от экрана помещена ширма с круглым отверстием, диаметр которого $d = 4,2 \text{ мм}$. Является ли

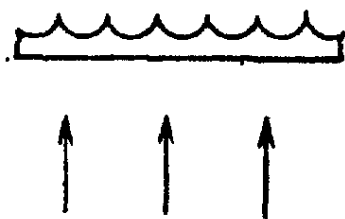


Рис. 39—9.

освещенность в центре получающейся на экране дифракционной картины большей или меньшей, чем та, которая будет иметь место, если ширму убрать?

○ 39—16. Какова роль линзы в опытах с дифракционной решеткой?

⊖ 39—17. Лучи света падают нормально на ту сторону стеклянной дифракционной решетки, где нанесены штрихи, а с другой стороны решетки производится наблюдение получающегося спектра и измерение длин волн. Лучи дифрагируют в стекле, проходят сквозь стеклянную пластинку и выходят в воздух. Следует ли отсюда, что измеряются длины волн в стекле?

⊖ 39—18. Одна сторона плоскопараллельной прозрачной пластинки гладкая, а на другой имеются цилиндрические канавки одинаковой ширины (порядка 0,01 мм), вплотную прилегающие друг к другу, так что плоская поверхность отсутствует (рис. 39—9).

а) Как действует такая пластинка на свет, нормально падающий на ее поверхность?

б) Как изменится действие пластинки на свет, если ее поместить в жидкость с таким же коэффициентом преломления, как и вещество пластинки?

○ 39—19. На дифракционную решетку нормально падает свет от натриевого пламени ($\lambda = 589$ мкм). При этом для спектра третьего порядка получается угол отклонений $10^\circ 11'$. Какова длина волны, для которой угол отклонения во втором порядке равен $6^\circ 16'$?

○ 39—20. а) На дифракционную решетку, имеющую 50 штрихов на 1 мм, падает нормально параллельный пучок белого света. Какова разность углов отклонения конца первого и начала второго спектров? Длины крайних красных и крайних фиолетовых волн принять равными 760 мкм и 400 мкм.

б) Какова разность углов отклонения конца второго и начала третьего спектров?

⊖ 39—21. На решетку с постоянной 0,006 мм нормально падает монохроматический свет. Угол между спектрами 1-го и 2-го порядков равен $4^\circ 36'$. Определить длину световой волны.

○ 39—22. Определить наибольший порядок спектра, который может образовать дифракционная решетка, имеющая 500 штрихов на 1 мм, если длина волны равна 590 мкм. Рассмотреть два случая: а) свет падает на решетку нормально; б) свет падает под углом 30° .

⊖ 39—23. Если смотреть сквозь дифракционную решетку на отдаленную лампочку, то видна дифракционная картина. Дать объяснения всем явлениям, которые будут наблюдаться, если, оставляя решетку перед глазом: а) вращать ее вокруг оси, проходящей сквозь ее середину и перпендикулярной к плоскости

решетки; б) двигать решетку поступательно перпендикулярно к прямой, направленной от лампочки к глазу, и вдоль этой прямой; в) вращать решетку вокруг оси, совпадающей с плоскостью решетки и параллельной ее штрихам; г) вращать решетку вокруг оси, совпадающей с плоскостью решетки и перпендикулярной ее штрихам.

⊖ 39—24. Две среды с показателями преломления n_1 и n_2 граничат по плоской поверхности, на которой нанесены штрихи, образующие дифракционную решетку с постоянной c . Показать, что при длине волны, удовлетворяющей соотношению

$$\lambda > (n_1 + n_2) c,$$

лучи света проходят сквозь такую заштрихованную поверхность так же, как и сквозь гладкую.

⊕ 39—25. Прозрачная пластинка покрыта с обеих сторон штрихами, образующими дифракционные решетки. На пластинку нормально падает монохроматический свет. Чем отличается действие на свет такой пластинки по сравнению со стеклянной пластинкой такой же толщины, покрытой штрихами только с одной стороны? Рассмотреть два случая:

а) толщина пластинки значительно больше постоянной решетки;

б) толщина пластинки равна постоянной решетки.

⊖ 39—26. Рентгеновские лучи от палладиевого антикатаода падают на грань (1 0 0) кристалла хлористого натрия и отражаются под углом $5^\circ, 9$.

а) Определить длину падающей волны, зная, что решетка хлористого натрия имеет вид, показанный на рисунке 39—10, на котором белые кружки соответствуют положениям центров ионов натрия, а черные — хлора. Грань (1 0 0) параллельна плоскости YZ .

б) Под каким углом должно происходить отражение первого порядка для грани (1 1 0)? (Эта грань параллельна оси Z и отсекает от осей X и Y равные отрезки.)

○ 39—27. Какова должна быть длина дифракционной решетки, имеющей 50 штрихов на 1 мм, чтобы в спектре второго порядка можно было раздельно различить две линии натрия 5800 \AA и 5896 \AA ?

○ 39—28. Диаметр зрачка человеческого глаза может меняться от 2 до 8 мм. Чем объяснить, что максимальная острота зрения имеет место при диаметре зрачка 3—4 мм?

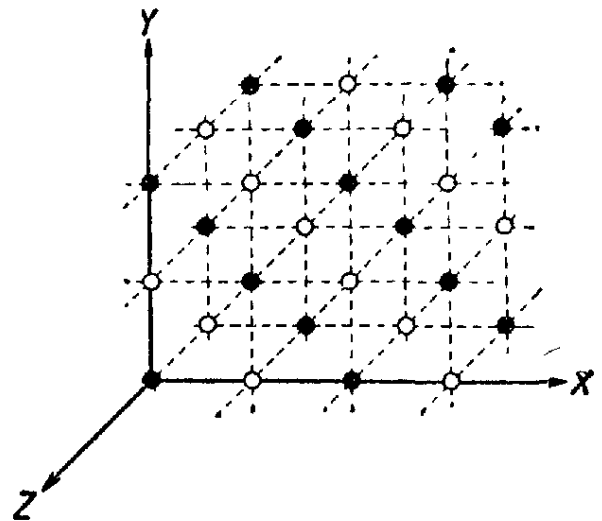


Рис. 39—10.

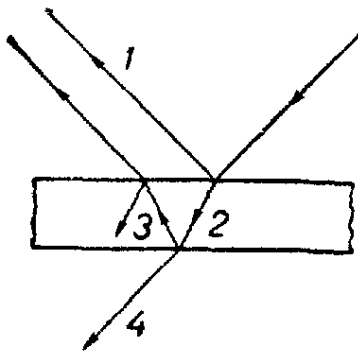


Рис. 39—11.

○ 39—29. Средний человеческий глаз может видеть на расстоянии 10 м раздельно два параллельных штриха на белой бумаге, отстоящих друг от друга на 3 мм. При остром зрении расстояние между раздельно видимыми штрихами уменьшается до 2 мм. Соответствуют ли эти данные разрешающей способности глаза, вычисленной по формуле пункта 7 введения?

Принять для расчета диаметр зрачка равным 3 мм, длину световых волн 6000 \AA .

○ 39—30. Предположим, что диаметр зрачка при наблюдении в призматический бинокль с 8-кратным увеличением равен 5 мм. Каков должен быть диаметр оправы объектива, чтобы увеличение разрешающей силы, получающейся при пользовании биноклем, по сравнению с невооруженным глазом было тоже 8-кратным?

○ 39—31. Определить коэффициент преломления в следующих случаях:

а) Для непрозрачной эмали угол полной поляризации при отражении оказался равным 58° .

б) Для прозрачного вещества угол полной поляризации (при падении света извне) оказался равным предельному углу (наименьшему углу, при котором получается полное отражение).

○ 39—32. Найти угол полной поляризации при отражении от границы стекло — вода.

○ 39—33. Каков должен быть преломляющий угол у стеклянной призмы, чтобы углы входа и выхода луча из призмы были углами полной поляризации? Каков при таком преломляющем угле угол наименьшего отклонения?

○ 39—34. Естественный луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку. Угол падения равен углу полной поляризации. При таком угле падения на стекло интенсивность отраженного луча составляет около 0,1 от интенсивности падающего естественного света. Определить интенсивность естественного и поляризованного света в лучах, помеченных цифрами на рисунке 39—11, приняв интенсивность падающего луча за единицу. Поглощением света в пластинке пренебречь.

○ 39—35. Пусть поглощение света в николе таково, что наибольшая сила поляризованного света, прошедшего сквозь николь, равна 90% поляризованного света, падающего на него.

а) Во сколько раз уменьшается сила естественного света при прохождении света сквозь два николя, плоскости поляризации которых составляют угол 63° ?

б) Во сколько раз уменьшается сила света, если, кроме двух николей, упомянутых в условии а), свет проходит еще сквозь

один нико́ль, направление плоскости поляризации которого совпадает с первым нико́лем?

⊕ 39—36. а) Две стопы стеклянных пластинок, используемые как поляризаторы, при параллельных плоскостях поляризации пропускают в $n=16$ раз больше света, чем при скрещенных плоскостях. Определить степень поляризации p (отношение интенсивности поляризованного света к общей интенсивности прошедшего света), которую создает каждая стопа в отдельности.

б) Какова будет степень поляризации p , если число стеклянных пластинок в каждой стопе удвоить?

○ 39—37. Определить толщину кварцевой пластинки, для которой угол поворота плоскости поляризации света с длиной волны 509 мкм равен 180° . Постоянная вращения в кварце для этой длины волны равна $29^\circ,7 \text{ мм}^{-1}$.

⊖ 39—38. Монохроматический свет ($\lambda=4047 \text{ Å}$) проходит сквозь поляроид P (рис. 39—12) и падает на кварцевую пластинку K , имеющую форму клина, угол между гранями которого равен $\Theta=7^\circ48'$. Направление оптической оси в кварце показано штриховкой. Лучи света проходят в кварце пути порядка нескольких миллиметров. Постоянная вращения для указанной длины волны в кварце равна $48^\circ,9 \text{ мм}^{-1}$. Какая картина видна наблюдателю, который смотрит сквозь второй поляроид A ?

⊖ 39—39. На рисунке 39—13 показана схема демонстрационного опыта выдающегося русского физика Н. А. Умова. Свет от источника S проходит сквозь поляризатор (поляроид) P , а затем идет сверху вниз сквозь слегка замутненный раствор сахара в стеклянном сосуде B . В сосуде видна темная винтообразно расположенная полоса.

а) Объяснить явление.

б) Какова длина шага темного винта в растворе при следующих условиях: раствор содержит 650 г сахара на 1 л воды;

плотность раствора $1,32 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$; освещение

раствора производится светом с длиной волны 521 мкм , для которого постоянная вращения равна 87° дм^{-1} ?

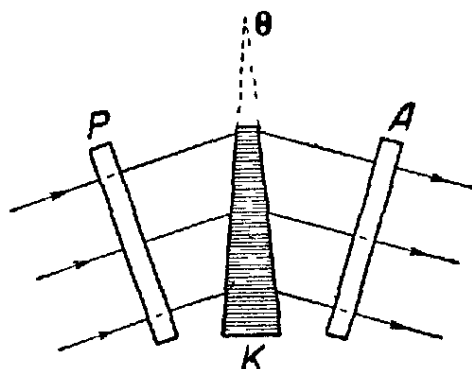


Рис. 39—12.

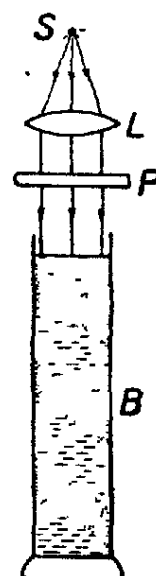


Рис. 39—13.

§ 40. Квантовые явления в оптике

1) Энергия фотона

$$\varepsilon = h\nu,$$

где h — постоянная Планка; ν — частота.

2) Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта

$$\frac{mv^2}{2} = h\nu - \varphi,$$

где φ — работа выхода электрона из тела; m и v — масса и скорость вылетевшего электрона.

3) Световое давление (при зеркальном отражении и нормальном падении)

$$p = \frac{I}{c} (1 + r),$$

где I — интенсивность света; \widehat{r} — коэффициент зеркального отражения; c — скорость света.

4) Движению частицы со скоростью v соответствует волновой процесс, причем длина волны

$$\lambda = \frac{h}{mv},$$

где m — масса частицы.

О 40—1. Определить энергию одного фотона: а) для красного света ($\lambda=600$ мкм); б) для жестких рентгеновских лучей ($\lambda=1$ Å). в) При какой температуре средняя энергия теплового движения (на одну степень свободы) молекул равна энергии указанных фотонов?

О 40—2. Лампочка карманного фонаря потребляет мощность около 1 Вт. Приняв, что эта мощность рассеивается во всех направлениях в виде излучения и что длина волны, соответствующая средней частоте, равна 1 мкм, определить число фотонов, падающих на 1 см² площадки, поставленной перпендикулярно к лучам на расстоянии 10 км, в течение 1 сек.

О 40—3. Определить наибольшую длину световой волны, при которой может иметь место фотоэффект: а) для платины, б) для цезия.

О 40—4. Определить максимальную скорость электрона, вылетевшего из цезия при освещении светом с длиной волны 400 мкм.

О 40—5. Селеновый фотоэлемент имеет чувствительность по току, равную $200 \frac{\text{мкА}}{\text{лм}}$. Принимая, что такая же чувствительность имеет место при освещении фотоэлемента монохроматическим светом с длиной волны 5510 Å, определить, сколько фотонов приходится на 1 электрон, участвующий в фототоке.

У к а з а н и е. Принять во внимание пункт 4 введения к § 37.

○ 40—6. Наименьшая длина рентгеновских лучей, получаемых при посредстве трубки, работающей под напряжением U , вычисляется по формуле: $\lambda_0 = \frac{A}{U}$, где A — постоянная, зависящая от выбора единиц. Определить величину A при условии, что λ выражена в ангстремах, а U — в киловольтах.

⊖ 40—7. Излучение рентгеновской трубки падает на кристалл кальцита (CaCO_3). Наименьший угол между плоскостью кристалла и пучком рентгеновских лучей, при котором можно отметить отражение, равен $2^\circ 36'$. Постоянная решетки кальцита равна $3,04 \cdot 10^{-8}$ см. Под каким напряжением работает рентгеновская трубка?

⊖ 40—8. а) Определить давление лучей Солнца на поверхность черного тела, помещенного на таком же расстоянии от Солнца, как и Земля. Угол падения равен нулю. Солнечная постоянная (интенсивность солнечной радиации за пределами атмосферы) равна $1,35 \cdot 10^8 \frac{\text{дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{сек}}$.

б) Произвести тот же расчет для тела, отражающего все лучи.

в) Произвести тот же расчет для стеклянной пластинки, отражающей 4% всех лучей и поглощающей 6% их энергии.

⊖ 40—9. Часть стенки колбы электролампы накаливания, представляющей собой сферу радиусом 4 см, посеребрена. Лампа потребляет мощность 50 вт, из которых 90% затрачивается на излучение. Что больше, давление газа в колбе (10^{-8} мм рт. ст.) или световое давление на стенки?

⊖ 40—10. Свет падает на плоскую пластинку под углом $\alpha \neq 0$. В каком направлении будет отталкиваться пластинка: а) если ее поверхность поглощает весь свет? б) если поверхность зеркально отражает свет?

⊕ 40—11. В вакууме подвешена плоская металлическая пластинка, с одной стороны блестящая ($r=1$), с другой зачерненная ($r=0$). Ее освещают нормально падающим сильным светом. Найти отношение сил, на нее действующих, при освещении блестящей и черной ее сторон.

⊖ 40—12. Предположим, что находящаяся в вакууме пылинка под давлением световых лучей движется с ускорением. За счет чего увеличивается ее кинетическая энергия? Рассмотреть случаи: а) пылинка отражает все лучи; б) пылинка поглощает все лучи.

○ 40—13. Определить длины волн для волновых процессов, соответствующих:

а) движению альфа-частицы со скоростью $5000 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$;

б) движению молекул кислорода при температуре 27°C (при средней скорости).

○ 40—14. Электроны, падающие на алюминиевую фольгу, дают дифракционную картину, причем угловое отклонение

спектра первого порядка равно $1^\circ,1$. Постоянная решетки алюминия равна $4,05 \text{ \AA}$. Какова скорость электронов?

○ 40—15. В электронном микроскопе электроны ускоряются разностью потенциалов 90 кВ. Какова может быть апертура микроскопа, если требуется рассмотреть объект, детали которого имеют размеры около 1 мкм?

⊖ 40—16. В 1913 г. Н. Бор предложил модель атома водорода, сыгравшую роль первого наброска современной теории строения атомов. По этой модели атом водорода состоит из положительно заряженного ядра (протон), вокруг которого обращается по окружности электрон. Устойчивым является движение электрона лишь по тем орбитам, для которых момент количества движения равен или кратен постоянной Планка, деленной на 2π :

$$mvr = n \frac{h}{2\pi},$$

где $n=1; 2; 3$ и т. д.; m — масса электрона; v — скорость его; r — радиус орбиты. Каждой орбите соответствует определенный уровень энергии атома, так что при поглощении атомом энергии или при испускании ее электрон переходит с одной орбиты на другую.

а) Показать, что приведенное выше условие устойчивости движения электрона равносильно требованию, чтобы на орбите электрона укладывалось целое число стоячих волн, длины которых соответствуют движению электрона.

б) Найти радиус орбиты электрона, соответствующий наименьшему уровню энергии атома водорода.

в) Определить работу ионизации атома водорода, т. е. полного удаления электрона с первой орбиты.

г) Определить длину волны спектра испускания атомного водорода λ_n , излучаемой при переходе электрона с орбиты с номером $n=4$ на орбиту с номером $n=2$. Каково изменение скорости атома водорода при излучении им этой линии?

д) Определить длину волны спектра испускания ионизованного гелия, соответствующего переходу электрона с орбиты с номером $n=4$ на орбиту с номером $n=2$.

§ 41. Законы излучения

1) Тело, поглощающее падающий на него поток электромагнитных волн полностью, называется абсолютно черным телом или полным излучателем. Коэффициент поглощения абсолютно черного тела равен единице для волн всех частот ($A=1$). Тела, поглощающие падающие на них потоки волн частично ($A < 1$), называются «нечерными». У нечерных тел коэффициент A зависит от частоты. Воображаемые тела, у которых коэффициент A для всех частот имеет одно и то же значение, называются «серыми».

2) Стенки замкнутой полости внутри любого тела являются абсолютно черными (полным излучателем), если температура их всюду одна и та же. Любое тело той же температуры внутри полости тоже является полным излучателем. Свойства стенок незамкнутой полости тем ближе к свойствам полного излучателя, чем меньше площадь отверстия по сравнению с общей площадью стенок полости.

3) Мощность излучения с единицы площади нечерного тела в интервале частот от ν до $\nu + \Delta\nu$ равна

$$\Delta i_\nu = A \cdot \Delta J_\nu,$$

где A — коэффициент поглощения в том же интервале частот, ΔJ_ν — мощность излучения с единицы площади полного излучателя в том же интервале (закон Кирхгофа).

4) Суммарная мощность излучения с единицы площади полного излучателя, имеющего температуру T (закон Стефана),

$$J = \sigma T^4.$$

5) Суммарная мощность излучения с единицы площади нечерного тела

$$J = \varepsilon \sigma T^4,$$

где ε — коэффициент полного излучения данного тела, равный, согласно закону Кирхгофа, коэффициенту суммарного поглощения тела и зависящий от природы тела и его температуры. У серых тел ε не зависит от температуры.

6) Формула Планка для функции распределения мощности полного излучателя по интервалам частот

$$E(\nu) = \frac{\Delta J_\nu}{\Delta \nu} = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2 \left(e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1 \right)}.$$

7) Связь между температурой полного излучателя и длиной волны, соответствующей максимуму функции распределения мощности полного излучателя по интервалам длин волн,

$$\lambda_0 T = C,$$

где C — постоянная величина.

8) При решении задач об излучении вольфрама следует использовать сведения о вольфраме, приведенные в таблице XXXII.

○ 41—1. Мощность излучения с поверхности Земли в космос принимается равной $91 \frac{\text{дж}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек}}$.

а) Какова температура абсолютно черного тела (полного излучателя), имеющего ту же мощность излучения?

б) Каков коэффициент полного излучения тела, если при температуре 15°C (средняя температура поверхности Земли) оно имеет ту же мощность излучения?

○ 41—2. Вольфрамовая нить накаливается в вакууме током 1 а до температуры 1000°K . При каком токе нить накалится до 3000°K ? При расчете пренебречь потерями энергии вследствие теплопроводности подвесов нити и обратным излучением окружающих тел.

○ 41—3. Вольфрамовая нить диаметром 0,1 мм соединена последовательно с другой вольфрамовой нитью. Нити накаляются в вакууме током, причем первая нить имеет температуру 2000°K , а вторая — 3000°K . Каков диаметр второй нити?

⊖ 41—4. Температура волоска электрической лампы, питаемой переменным током, колеблется. Разница между наибольшей и наименьшей температурами накала вольфрамового волоска электрической лампы (15 вт, 120 в) при переменном токе (50 гц) оценивается в 80° . Во сколько раз изменяется общая мощность излучения вследствие колебания температуры, если среднее ее значение равно 2300°K ? Принять, что вольфрам излучает, как серое тело.

⊖ 41—5. При работе радиоламп происходит разогревание анода вследствие бомбардировки его электронами. Рассеяние энергии производится в основном в виде излучения, рассеяние посредством теплопроводности подводящих частей незначительно. Определить допустимую силу анодного тока в лампе, работающей под напряжением 400 в. Анод сделан из никеля: он имеет форму цилиндра длиной 4 см и диаметром 1 см. Принять, что энергия рассеивается только с наружной поверхности цилиндра и что нагревание анода до 1000°K является допустимым. При этой температуре коэффициент полного излучения никеля равен 0,2.

⊕ 41—6. Вольфрамовый волосок находится в вакууме. Диаметр волоска 0,1 мм. Волосок накален до 2500°K . а) На сколько температура волоска на его оси отличается от температуры его поверхности, если теплопроводность вольфрама при 2500°K равна $148 \frac{\text{дж}}{\text{м} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}}$?

б) Какой ток идет по волоску?

⊖ 41—7. Интенсивность солнечной радиации вблизи Земли за пределами ее атмосферы (солнечная постоянная) равна $J = 1,35 \cdot 10^3 \frac{\text{дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{сек}}$. Принимая, что Солнце излучает, как абсолютно черное тело, определить температуру его излучающей поверхности.

⊖ 41—8. Определить диаметр сферической космической частицы, если действующие на нее силы светового давления и притяжения к Солнцу взаимно уравниваются. Частица состоит из железа. Температуру Солнца принять равной $T_c = 6000^{\circ}\text{K}$.

⊖ 41—9. Вокруг сплошного, проводящего теплоту шара расположен другой, полый; коэффициент поглощения наружной поверхности второго шара равен нулю. Если температуры обоих

шаров одинаковы, то второй излучает энергии больше, чем первый, так как излучающая поверхность больше. Как это примирить со вторым принципом термодинамики?

○ 41—10. Муфельная печь потребляет мощность 0,5 кВт. Температура ее внутренней поверхности при открытом отверстии диаметром 5 см равна 700°C . Какая часть потребляемой мощности рассеивается стенками?

○ 41—11. Согласно положению о световых единицах 1 лм есть световой поток, излучаемый абсолютно черным телом с площади $0,5305\text{ мм}^2$ при температуре затвердевающей платины (2042°K). Каков коэффициент полезного действия такого излучателя?

○ 41—12. Вольфрамовая нить диаметром 0,1 мм натянута в вакууме по оси трубки, длина которой во много раз больше ее диаметра. Температура трубки поддерживается равной 700°K . По нити идет ток, вследствие чего ее температура на 300°K выше температуры трубки. Определить ток.

При расчете принять, что интегральный коэффициент поглощения вольфрамом обратного излучения трубки равен коэффициенту полного излучения вольфрама при той же температуре.

⊖ 41—13. Колосниковая решетка площадью 2 м^2 окружена железными стенками. Температура угля на колосниковой решетке равна 1300°K , температура стенок 600°K . Коэффициенты поглощения угля и окисленного железа можно считать равными 0,9. Вычислить количество теплоты, передаваемое лучами от решетки к стенкам за 1 час.

⊕ 41—14. Лучи Солнца собираются посредством линзы со светосилой $\frac{d}{f}=0,5$ на маленькое отверстие полости, стенки которой изнутри зачернены, а снаружи блестящие (рис. 41—1). Диаметр отверстия меньше диаметра изображения Солнца. Пренебрегая потерями энергии при прохождении лучей Солнца сквозь атмосферу и линзу, а также количеством тепла, проходящим сквозь стенки полости, определить температуру T внутри полости. Температуру поверхности Солнца принять равной $T_{\text{с}}=6000^{\circ}\text{K}$.

⊕ 41—15. Внутри солнечной системы на таком же расстоянии R от Солнца, как и Земля, находится частица сферической формы. Принимая, что Солнце излучает, как абсолютно черное тело с температурой $T_{\text{с}}=6000^{\circ}\text{K}$, и что температура частицы T во всех ее точках одинакова, определить ее температуру, исходя из следующих предположений:

а) частица обладает свойствами серого тела;

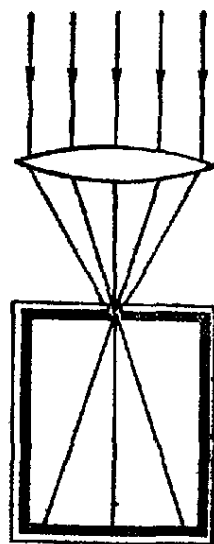


Рис 41—1.



б) частица поглощает и излучает только лучи с длиной волны, близкой к $\lambda = 5000 \text{ \AA}$;

в) частица поглощает и излучает только лучи с длиной волны, близкой к $\lambda = 5 \text{ мк}$.

⊖ 41—16. Проходя афелий, Земля находится на 3,3% дальше от Солнца, чем когда она проходит перигелий. Принимая Землю за серое тело со средней температурой 288°K , определить разность температур, которые Земля имеет в афелии и перигелии.

⊖ 41—17. В электрической лампе вольфрамовый волосок диаметром $d = 0,05 \text{ мм}$ накаливается при работе лампы до $T_1 = 2700^\circ\text{K}$. Через сколько времени после выключения тока температура волоска упадет до $T_2 = 600^\circ\text{K}$? При расчете принять, что волосок излучает, как серое тело, с коэффициентом

Рис. 41—2. поглощения $A = 0,3$. Пренебречь всеми другими причинами потери теплоты.

○ 41—18. В каком случае электрокалильная лампа дает больше света: когда она работает на постоянном токе или на переменном, эффективное напряжение которого равно напряжению постоянного тока?

○ 41—19. Как изменилось бы общее количество энергии, излучаемой Солнцем, если бы одна часть его поверхности немного охлаждалась, а другая на столько же нагрелась?

⊖ 41—20. Написать формулы, выражающие функции распределения излучения абсолютно черного тела: а) по интервалам длин волн; б) по интервалам логарифмов частот; в) по интервалам логарифмов длин. Показать, что при заданной температуре максимумы функций распределения по интервалам частот и по интервалам длин волн соответствуют разным длинам волн, а максимумы функций распределения по интервалам логарифмов этих величин соответствуют одинаковым длинам волн.

⊖ 41—21. Определить длину волн, соответствующих максимумам функции распределения по интервалам длин волн в следующих случаях: а) Волосок софитной лампы (рис. 41—2) имеет длину $l = 15 \text{ см}$ и диаметр $d = 0,03 \text{ мм}$. Потребляемая мощность $P = 10 \text{ Вт}$, из нее около $P_1 = 2 \text{ Вт}$ рассеивается вследствие теплопроводности. Принять, что волосок излучает, как серое тело, с коэффициентом поглощения $A = 0,3$. б) Указанная лампа помещается в металлический цилиндр, с поверхности которого, равной 150 см^2 , рассеивается указанная выше мощность. Принять, что потери на теплопроводность и коэффициент поглощения не изменились.

⊖ 41—22. На экране получен спектр от положительного кратера вольтовой дуги, имеющего температуру 4000°K . Определить отношение x между мощностями излучения, падающими

на участки экрана, соответствующие длинам волн от 695 до 705 *ммк* (участок красного цвета) и от 395 до 405 *ммк* (участок фиолетового цвета). Принять, что кратер излучает, как черное тело. Поглощение в стекле и в воздухе одинаково для красных и фиолетовых лучей.

§ 42. Внутрядерные явления

1) Число радиоактивных атомов, распадающихся за промежуток времени Δt , пропорционально числу наличных атомов n и промежутку времени

$$\Delta n = -\lambda n \cdot \Delta t = -\frac{\ln 2}{T} n \cdot \Delta t,$$

где λ — постоянная распада; T — период полураспада.

2) Если количества материнского и дочернего радиоактивных веществ с течением времени не меняются (установилось радиоактивное равновесие), то имеет место соотношение

$$\lambda_1 n_1 = \lambda_2 n_2.$$

3) Единица активности радиоактивных веществ — кюри. Кюри есть активность такого радиоактивного препарата, в котором за 1 *сек* происходит $3,700 \cdot 10^{10}$ актов распада.

4) Изменение энергии W , соответствующее изменению массы на величину m ,

$$W = mc^2,$$

где c — скорость света.

○ 42—1. Вследствие радиоактивного распада ${}_{92}\text{U}^{238}$ превращается в ${}_{82}\text{Pb}^{206}$. Сколько α -превращений и β -превращений он при этом испытывает?

○ 42—2. За какой промежуток времени из 10^7 атомов актиния распадается один атом?

⊖ 42—3. Определить среднюю продолжительность τ жизни атома радия A .

⊖ 42—4. Крупинка, содержащая радий, находится на расстоянии 1,2 *см* от флуоресцирующего экрана. Какое количество радия имеется в ней, если в течение минуты на площади экрана, равной 0,02 *см*², видно 47 сцинтилляций? Продукты распада радия очень быстро отсасываются насосом. Принять, что все выбрасываемые при распаде атомов радия α -частицы вылетают из крупинки.

⊖ 42—5. Натрий ${}_{11}\text{Na}^{23}$, облучаемый дейтонами, превращается в радиоактивный изотоп натрия ${}_{11}\text{Na}^{24}$ с периодом полураспада 15,5 часа. Какая доля первоначального количества радиоактивного натрия останется через сутки, если прекратить облучение дейтонами?

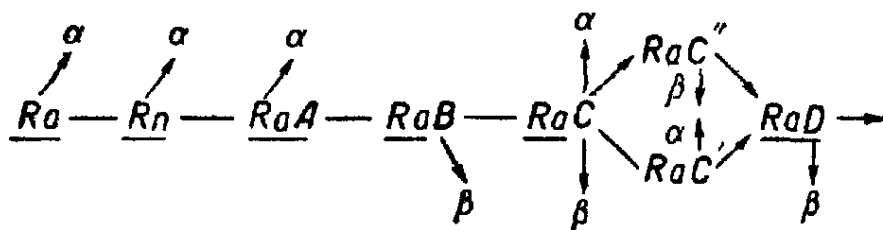


Рис. 42—1.

○ 42—6. Определить отношение количества радия к количеству урана в древних минералах.

⊖ 42—7. На рисунке 42—1 показана схема превращения Ra в RaD. Сколько α -частиц испускает за 1 секунду смесь 1 мг радия со всеми продуктами распада, указанными на схеме, если установилось радиоактивное равновесие?

⊖ 42—8. Определить объем 1 кюри радона при нормальных условиях.

⊖ 42—9. Измерения показывают, что ионизационный ток насыщения в присутствии 1 милликюри радона в воздухе равен 0,92 мка. Сколько ионов производит в воздухе каждая α -частица, выбрасываемая радоном?

○ 42—10. Определить энергию, соответствующую массе покоящегося электрона (собственная энергия электрона).

○ 42—11. Определить энергию связи (разность энергии сложной частицы и энергий составляющих частиц): а) у дейтона; б) у α -частицы.

⊖ 42—12. При бомбардировке лития протонами с энергией 1 Мэв образуются две α -частицы. Определить их скорость для случая, когда направления их вылета образуют одинаковый угол с направлением полета протона.

⊕ 42—13. Мишень, содержащая дейтерий (такой мишенью может служить «тяжелый лед»), бомбардируется дейтонами. При ударе дейтона в ядро дейтерия к дейтерию присоединяется один электрон и образуется легкий изотоп гелия ${}^3\text{He}$ и нейтрон. Какова энергия нейтрона (E_2), если энергия дейтона перед ударом равна $E_1 = 0,6$ Мэв и если скорость нейтрона направлена перпендикулярно к скорости ударяющего дейтона?

⊕ 42—14. Облучение нейтронами некоторых тяжелых атомов вызывает деление их ядер на две различные, близкие по массам, разлетающиеся с громадными скоростями частицы. В дальнейшем эти частицы, выбрасывая нейтроны и испытывая β -превращения, превращаются в ядра атомов со средними номерами. Допустив в качестве примера, что в результате деления ядра изотопа урана (${}_{92}\text{U}^{235}$) появятся ядра рубидия (${}_{37}\text{Rb}^{85}$) и цезия (${}_{55}\text{Cs}^{133}$), провести грубый подсчет выделяющейся при этом энергии:

а) по изменению энергии электрического поля, рассматривая ядра атомов как шары с равномерно распределенным по их

объему зарядом (см. задачу 24—35); радиусы ядер можно определить по эмпирической формуле:

$$R = 1,4 \sqrt[3]{A} \cdot 10^{-13} \text{ см},$$

где A — атомный вес элемента;

б) по изменению энергии связи (см. задачу 42—11). Известно, что у ядер со средними массовыми числами энергия связи на один нуклон приблизительно равна 8,5 Мэв. У урана энергия связи на 1 нуклон составляет около 7 Мэв.

в) Приняв, что средняя энергия, выделяющаяся при делении одного атома ${}_{92}\text{U}^{235}$, равна 200 Мэв, определить количество угля с теплотворной способностью $7000 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$, эквивалентное энергии, выделяющейся при делении 1 кг урана.

ОТВЕТЫ

1-1. г) $4 \frac{м}{сек}$ и $5,4 \frac{м}{сек}$.

1-3. 150 м.

1-5. От 0 до 3,3 м — ускоренное, от 3,3 до 9 м — равномерное, далее замедленное.

1-6. б) Площадь, ограниченная кривой и осью абсцисс, показывает половину разностей квадратов скоростей, соответствующих конечному и начальному моментам движения.

в) Начальная и конечная скорости равны.

1-7. Нет.

1-8. а) Обозначим угол между направлением, в котором виден автомобиль, и направлением, по которому должен бежать человек, буквой α . Пусть человек прибежит к некоторому месту дороги через τ_2 сек, а автомобиль приедет туда же через τ_1 сек. Пользуясь рисунком 1, легко найти, что

$$\sin \alpha = \frac{h \cdot v_1 \cdot \tau_1}{b \cdot v_2 \cdot \tau_2}.$$

По условию $\tau_1 > \tau_2$. Поэтому

$$\sin \alpha \geq \frac{h v_1}{b v_2}.$$

Отсюда $56^\circ,5 < \alpha < 123^\circ,5$.

б) $2,5 \frac{м}{сек}$.

1-9. Уменьшалось.

1-10. $+0,83 \frac{м}{сек^2}$ и $-0,83 \frac{м}{сек^2}$.

1-11. $\tau_n = \tau_1 (\sqrt{n} - \sqrt{n-1}) = 0,8$ сек.

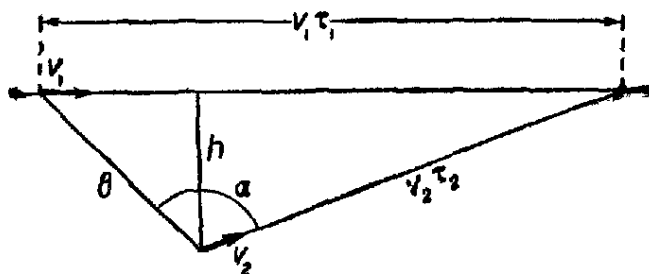


Рис. 1

1-12. $-0,25 \frac{м}{сек^2}$.

1-13. $-30 \frac{см}{сек^2}$; $45 \frac{см}{сек}$.

1-14. Обозначив путь, который успеет пройти зайчик за время t , буквой s , имеем:

$$s = R_0 \operatorname{tg} 2\pi n t.$$

$$\text{Отсюда } \Delta s = R_0 \operatorname{tg} 2\pi n (t + \Delta t) - R_0 \operatorname{tg} 2\pi n t = \frac{R_0 \sin 2\pi n \cdot \Delta t}{\cos 2\pi n t \cdot \cos 2\pi n (t + \Delta t)}$$

и

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{R_0 2\pi n}{\cos^2 2\pi n t} = 10,4 \frac{м}{сек}.$$

1—15. В 12 раз.

1—16.

$$v_c = v \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha}; \text{ при } \beta = \frac{\pi}{2} - \alpha; \text{ при } \beta = 0.$$

1—17. $225 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$; $4^\circ, 4$ к меридиану.

1—18. а) и б) $v_2 > v_1$.

в) Против течения под углом 60° .

г) Первая требует времени больше на 2,14 мин.

д) При $v_2 = \frac{n}{\sqrt{n^2 - 1}} \cdot v_1 = 2,9 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

1—19. Точка; прямая; окружность; спираль Архимеда.

1—20. $0,25 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$; $0,32 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$.

1—21. $18,3 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$; $16,7 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$; $15,0 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$.

1—22. $\omega = 6,5 \text{ сек}^{-1}$.

1—23. а) На круге будет видно четыре неподвижных размытых темных сектора, каждый около 67° .

б) Секторы будут казаться вращающимися в сторону, противоположную вращению диска при $n = 0,5 \text{ сек}^{-1}$.

1—24. а) Вертикально вниз; б) перпендикулярно к оси.

1—25. $-5,24 \text{ сек}^{-2}$; 375.

1—26. Через 10 сек.

1—27. $140 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$ и $-20 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$.

1—28. $4,25 \text{ сек}^{-1}$; 28° .

1—29. а) $-29 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}$; б) $9,6 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$; $-17 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}$.

1—30. а) $40 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$; б) $30 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$; в) $60 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$; г) $63 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$.

1—31. $4,7 \frac{\text{км}}{\text{сек}^2}$.

1—32. Радиус колеса значительно меньше длины шатуна.

1—33. Совершает гармонические колебания по направлению оси балансира.

1—34. а) $84^\circ, 3$; б) $90 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$.

1—35. 0,06 сек.

1—36. Будут наблюдаться биения с частотой $0,5 \text{ сек}^{-1}$ и амплитудой 0,2 мм.

1—37. 8 гц и 10 гц; 1 см.

2—1. а) 20,4 м; б) $1,4 \cdot 10^{-7} \text{ см}$.

2—2. б) $g = 9,87 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$.

2—3. 120 гц.

2—4. $t = \frac{v_0 \pm \sqrt{v_0^2 - 2gh}}{g}$.

Верхний знак перед радикалом соответствует восходящему движению, нижний — исходящему.

а) $t_1 = 0,98 \text{ сек}$; $t_2 = 2,1 \text{ сек}$; б) Не будет.

2—5. 20,6 см.

2—6. а) Вниз со скоростью $12,4 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$.

б) Вверх со скоростью $8,5 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$.

2—7. а) $t = \frac{2v_0 - g\tau}{2g} = 2,25 \text{ сек}$; $h = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{g\tau^2}{8} = 30,3 \text{ м}$.

2—9. $v_0 = s \sqrt{\frac{g}{2h}} \approx 11 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$; $v = \sqrt{v_0^2 + 2gh} \approx 12,6 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$.

2—10. Правильно.

2—11. 3 м.

2—12. 20 раз.

2—13. 76° .

2—14. а) Минимальная скорость при данном расстоянии соответствует самому выгодному углу бросания $\alpha = 45^\circ$ и равна $22,83 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$. б) На экваторе

при такой начальной скорости и $\alpha = 45^\circ$ получилось бы расстояние 53,3 м.

в) Следует указать: 1) высоту, с которой диск был брошен; 2) точную величину g для места метания; 3) угол, под которым диск был брошен.

2—15. Объем воды $V = S \cdot t \sqrt{\frac{s \cdot g}{\sin 2\alpha}} = 69 \text{ л}$.

2—16. Вертикальная прямая.

2—17. а) $\tan \alpha = \frac{v_0 \sin \alpha_0 - gt}{v_0 \cos \alpha_0}$; $\alpha_1 = 14^\circ, 7$; $\alpha_2 = -35^\circ, 7$.

б) $h = 10 \text{ м}$.

2—19. $63^\circ 26'$ и $26^\circ 34'$.

2—20. $v_0 = \frac{s}{2 \cos \alpha} \sqrt{\frac{2g}{s \cdot \tan \alpha + h}} = 19,8 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$;

$$\tau = \sqrt{\frac{2(h + s \cdot \tan \alpha)}{g}} = 3 \text{ сек};$$

$$h_{\max} = \frac{(2h + s \cdot \tan \alpha)^2}{4(h + s \cdot \tan \alpha)} = 12,1 \text{ м}.$$

2—21. $s = 8h \sin \alpha = 96 \text{ см}$.

2—22. $R_1 = \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g} = 10,2 \text{ м}$; $R_2 = \frac{v_0^2}{g \cos \alpha} = 82 \text{ м}$.

3—1. а) $F = 5000 \text{ н}$; $t = 4 \cdot 10^{-4} \text{ сек}$.

б) Пуля пробьет доску и вылетит со скоростью $141 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$; $0,59 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^{-1}$.

3—2. 7,7 м.

3—3. В нижних частях подъема и спуска 1,051 кг. В середине подъема и спуска 1 кг. В верхних частях подъема и спуска 0,949 кг.

3—4. $h_1 = h_2 \frac{2n}{n+1} = 40 \text{ см}$.

3—5. а) $47 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}$; б) 4,2 м.

3—6. а) $F = g \frac{m_1 m_2 (1 + \mu)}{m_1 + m_2} = 1,47 \text{ н}$.

б) Не изменится; в) 2,08 н.

3—7. а) Нет; б) $\frac{(nm_1 - \mu m_2)(m_1 + m_2)}{(nm_1 + m_2)(m_1 - \mu m_2)} = 3,54$; в) 0,031.

$$3-8. a = g \frac{2(2m_1 - m_2)}{4m_1 + m_2};$$

а) $0,4g$; б) 0 ; в) $-2g$; г) g .

$$3-11. а) \operatorname{tg} 2\alpha_0 = -\frac{1}{\mu}; \alpha_0 = 45^\circ; 52^\circ; б) \mu = 0,27.$$

$$3-12. \mu = \operatorname{tg} \alpha \frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} = 0,1.$$

$$3-13. a_1 = g \left[\sin \alpha - \mu_1 \cos \alpha + \frac{m_2}{m_1} (\mu_2 - \mu_1) \cos \alpha \right];$$

$$a_2 = g (\sin \alpha - \mu_2 \cos \alpha).$$

а) $a_1 = a_2$; б) $a_1 < a_2$; в) и г) $a_1 = a_2$; д) $a_1 = 0$; $a_2 \neq 0$.

3-14. 420 н.

3-15. а) Нет, так как количество движения, получаемое водой, отталкиваемой винтом парохода назад, при равномерном движении точно равно количеству движения, получаемому водой, увлекаемой корпусом парохода вперед.

б) Втягивая воду в полость, каракатица получает равные, противоположно направленные количества движения, а потому остается на месте; выбрасывая воду, каракатица отдает некоторое количество движения и движется с ускорением в противоположную сторону.

3-16. Надо рассматривать движение струны совместно с движением корпуса инструмента, на котором натянута струна.

3-17. Левая пройдет расстояние в 9 раз большее.

3-18. Положим, что с момента пуска ракеты уже прошло время t . За промежуток от t до $t+dt$ выбрасывается газа μdt .

Отсюда

$$\mu dt \cdot v_1 = - (m - \mu t) dv,$$

$$t = \frac{m}{\mu} \left(1 - e^{\frac{v}{v_1}} \right).$$

а) Принимая во внимание, что v и v_1 направлены в противоположные стороны, имеем $t=0,375$ сек.

б) Полагая $\mu t = m_0$, имеем $v = v_1 \ln \frac{m}{m - m_0}$ (формула Циолковского)

$$v = 330 \frac{м}{сек}.$$

3-19. а) Центр шарика 3.

б) Если ось X направить по линии 4—3, а ось Y по линии 4—1, то $x_0=5$ см; $y_0=3$ см.

в) Если ось X направить по линии 4—1, ось Y по линии 4—3, а ось Z по линии 4—2, то $x_0=1$ см, $y_0=3$ см; $z_0=2$ см.

3-20. а) На общей оси цилиндров на расстоянии 9,3 см от нижнего основания; б) на расстоянии 10,6 см.

3-21. Центр инерции находится на расстоянии 0,56 дм от центра диска.

3-22. $19^\circ,5$.

3-24. 7,5 м.

$$3-25. а) a = g \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 = 109 \frac{см}{сек^2}; б) 47 \frac{см}{сек}.$$

3-26. а) 20 см; б) 20 см; в) 20 см и 0. г) Влево; результирующая сила равна нулю.

3-27. 20 см.

3-28. а) $5 \cdot 10^4$ кдж.

б) $-16 \cdot 10^4$ кдж.

3-29. 9000 квт; 2500 квт.

$$3-30. а) 0,176 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-2}; 0,026 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-2}; б) 66 \frac{км}{ч}.$$

3—31. 24,5 км.

3—32. $v_0 = 2 \cos \alpha \frac{v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2}$. Так как угол α уклона мал, то $v_0 = 4,2 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$.

3—33. $\mu = \frac{2s}{gt^2} = 0,02$; $P = \frac{4ms^2}{t^3} = 46 \text{ вт}$.

3—34. 3,5 дж.

3—35. $A = \frac{m}{2} \left(\frac{g^2 t^2}{4} + \frac{s^2}{t^2} \right) = 5,2 \text{ дж}$.

3—38. а) $\left(\frac{n+1}{n-1} \right)^2 = 1,4$; б) $\frac{n+1}{n-1} = 1,2$; в) 9 раз и 3 раза.

3—39. Работа сжатия равна:

$$E - E_1 = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_1 - v_2)^2,$$

где $v_1 - v_2$ есть относительная скорость движения шаров.

3—40. 93%.

3—41. а) $h_1 = l \frac{4m_2^2}{(m_1 + m_2)^2} = 16 \text{ см}$; $h_2 = l \frac{(m_2 - m_1)^2}{(m_1 + m_2)^2} = 36 \text{ см}$.

б) Большой шар поднимется на 36 см, меньший сделает полный оборот в) 3 : 1.

3—42. $-\frac{v}{5}$; $\frac{2\sqrt{3}}{5} v$.

3—45. а) $126 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$ и $63 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$; б) 60 см.

4—1. а) 0,49 н; б) 6,37 н.

4—2. а) 981,4 дин. б) около 640 дин.

4—3. $x = 2,4 \text{ см}$.

4—4. $h = \frac{R}{3}$.

4—5. а) $h_1 = \frac{2h + R}{3}$; б) $h \geq 2,5R$.

4—6. 0,29 н.

4—7. а) Получается пространственная кривая.

б) Для решения следует определить векторную сумму сил, действующих на отдельные элементы одной из половинок цепочки. Эта сумма равна удвоенной искомой силе.

$F = mn^2 l = 4,8 \text{ н}$.

4—8. 550 мм рт. ст.

4—9. а) $F = 2mg \cos^2 \alpha$; б) $F = 2mg(3 - 2 \cos \alpha)$; в) $F = 2mg$.

4—10. $\lg \alpha = \sqrt{2}$; $\alpha = 54^\circ, 7$.

4—11. $\cos \alpha = \frac{g}{4\pi^2 n^2 l}$; $\alpha = 78^\circ, 6$.

4—12. а) $v = \sqrt{R\mu g} = 19 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$; б) $\lg \alpha = \mu$; $\alpha = 21^\circ, 8$.

4—13. а) $v = \sqrt{\frac{(0,5d - h)g}{\mu}} = 14 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$; б) $\alpha = 11^\circ$.

4—14. $n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{h}} = 0,4 \text{ сек}^{-1}$.

4—15. $0,96 \text{ сек}^{-1}$.

4—16. 4,3 кГ.

4—17. 762 кГ и 938 кГ.

4—18. а) $5 \cdot 10^3 \text{ г} \cdot \text{см}^2$; б) $2 \cdot 10^3 \text{ г} \cdot \text{см}^2$; в) $1 \cdot 10^3 \text{ г} \cdot \text{см}^2$; г) $2 \cdot 10^3 \text{ г} \cdot \text{см}^2$

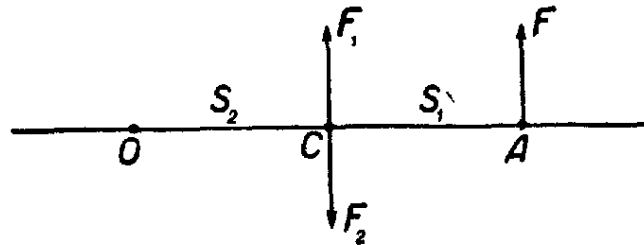


Рис. 2.

4—19. а) ma^2 ; б) $ma^2(1 + \sin^2 \beta)$ (β — угол между осью и плоскостью).

4—20. а) $689 \text{ г} \cdot \text{см}^2$; б) $414 \text{ г} \cdot \text{см}^2$; в) $275 \text{ г} \cdot \text{см}^2$.

4—21. Нуль и $2,26 \cdot 10^5 \text{ г} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$.

4—23. а) $g \sin \alpha$, б) $0,67 g \sin \alpha$; в) $1,14 g \sin \alpha$.

$$4-24. a = 5g \sin \alpha \frac{4r^2 - d^2}{28r^2 - 5d^2} = 49,7 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}.$$

4—25. а) Приложим мысленно в точке C две равные и противоположные силы $F_1 = F_2 = F$ (рис. 2). Сила F_1 вызовет поступательное движение стержня с ускорением $a = \frac{F}{m}$. Пара сил F и F_2 вызовет вращение с угловым ускорением $\varepsilon = \frac{F \cdot s_1}{J_c}$ около оси, проходящей сквозь центр масс C . Вследствие вращения стержня точка O будет двигаться с линейным ускорением $\varepsilon s_2 = \frac{F \cdot s_1 s_2}{J_c}$. Если точка O покоится, то

$$\frac{F \cdot s_1 s_2}{J_c} = \frac{F}{m},$$

откуда

$$s_1 s_2 = \frac{J_c}{m};$$

б) Повернется около точки A .

в) $s_2 = \frac{l}{6}$, где l — длина стержня.

4—26. 25 вт.

4—27. 22,2 кдж.

4—28. а) $v = \sqrt{3gh} = 12 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$. б) Точка, находящаяся на высоте, равной $\frac{2}{3}$

высоты столба.

4—29. а) $F = \frac{m(g-a)}{2}$, где a — ускорение, с которым прибор опускается;

$$a = \varepsilon r = \frac{m(g-a) \cdot r}{J} \cdot r,$$

отсюда

$$a = \frac{mgr^2}{mr^2 + J}; F = \frac{mgJ}{2(mr^2 + J)} = 4,85 \text{ н. б) При подъеме — то же втяжение;}$$

в) 4,90 н.

4—30. Ось цилиндра будет двигаться с ускорением:

$$a_1 = g \frac{2 \sin^2 \alpha}{1 + 3 \sin \alpha} = 1,96 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}. \text{ Груз будет двигаться с ускорением: } a_2 = 3,92 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}.$$

$$4-31. \text{ а) } \varepsilon = g \frac{2(m_1 - m_2)}{l(m_1 + m_2)}, F = \frac{4m_1 m_2}{m_1 + m_2} g. \text{ б) } \omega = 2 \sqrt{\frac{(m_1 - m_2)g}{(m_1 + m_2)l}};$$

$$F = g \frac{3(m_1^2 + m_2^2) - 2m_1 m_2}{m_1 + m_2}.$$

4-32. а) $\omega = \frac{6m_1 v}{(m + 3m_1)l} = 29 \text{ рад} \cdot \text{сек}^{-1}$. б) Кинетическая энергия стержня с застрявшей в нем пулей равна $\frac{3m_1}{m + 3m_1}$ от начальной энергии системы, то есть 3%.

4-33. а) Сумма кинетических энергий диска и грузиков уменьшается на величину совершенной работы; б) сумма количеств движения диска и грузиков в любой момент равна нулю; в) момент количества движения диска убывает, момент количества движения грузиков настолько же возрастает.

$$4-34. A = \pi^2 m (l_1^2 - l_2^2) n_1 n_2 = 48 \text{ Дж}.$$

$$4-35. \text{ а) } \omega = \frac{J_1 \omega_1 + J_2 \omega_2}{J_1 + J_2};$$

б) энергия уменьшается на величину $\frac{J_1 J_2}{J_1 + J_2} \cdot \frac{(\omega_1 - \omega_2)^2}{2}$.

4-36. а) Система, состоящая из двух дисков A и B , не является замкнутой, а потому закон сохранения моментов количества движения к ней не относится.

б) Центры инерции гантелей движутся с антипараллельными скоростями. Поэтому система двух гантелей имеет момент количества движения, равный $2m \cdot d \cdot 2v$ (здесь $2m$ — масса гантели, d — расстояние между направлениями скоростей центров инерции гантелей, $2v$ — относительная скорость гантелей). После удара скорость центра инерции каждой из гантелей равна нулю, зато каждая гантель имеет момент количества движения $2md \cdot v$. Сумма моментов количеств движения обеих гантелей равна $4md \cdot v$, то есть моменту количества движения всей системы до удара.

4-37. а) Момент количества движения стержня до разрыва равен $\frac{1}{12} K$, где $K = ml^2 \omega$ (m — масса стержня, l — длина, ω — угловая скорость). После разрыва каждая из половинок продолжает вращаться с той же угловой скоростью. Сумма моментов количеств движения обеих половинок равна $\frac{1}{48} K$.

Кроме того, так как центры инерции половинок движутся с антипараллельными скоростями, система из двух половинок имеет момент количества движения, равный $\frac{1}{16} K$,

$$\frac{1}{48} K + \frac{1}{16} K = \frac{1}{12} K,$$

то есть моменты количеств движения до и после разрыва равны.

б) Кинетическая энергия стержня до разрыва равна

$$\frac{1}{24} A, \text{ где } A = ml^2 \omega^2.$$

После разрыва энергия вращения половинок равна $\frac{1}{96} A$. Энергия поступательного движения половинок равна $\frac{1}{32} A$. Общая сумма энергий после разрыва равна

$$\frac{1}{96} A + \frac{1}{32} A = \frac{1}{24} A.$$

4—38. а) $0,75 \text{ } mv^2$; б) $0,7 \text{ } mv^2$,
в) $1,25 \text{ } mv^2$.

4—39. $1,3 \text{ см.}$

$$4-40. k = \frac{1,4sd}{gt^2} = 0,15 \text{ см.}$$

4—41. При $d < \frac{gk}{r}$ (k — коэффициент трения качения, r — радиус шарика).

4—42. При $\text{tg } \alpha < 3,5\mu - 2,5\frac{k}{r}$;
 $\alpha < 38^\circ$.

$$4-43. 0,73 \frac{\text{см}}{\text{сек}}; 12 \text{ сек}^{-1}.$$

$$4-44. 1000 \text{ кдж.}$$

$$4-45. h = 1,7(R-r).$$

$$4-46. 0,63 \text{ н.}$$

$$4-47. 1,67 \text{ кн.}$$

4—48. а) Принимаем, что расстояние центра инерции человека от пола мало. В таком случае высота центра инерции человека над уровнем пола в середине равна (рис. 3)

$$y = \frac{x^2}{2\rho},$$

где ρ — полупараметр параболы, x — расстояние человека от оси. Если угловая скорость $\omega = \sqrt{\frac{g}{\rho}}$, то

$$m\omega^2 x = mg \text{ tg } \beta,$$

что и означает, что сила, действующая на человека, нормальна к поверхности пола.

б) При удалении человека от оси вращения на расстояние x энергия системы возрастает на величину

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{mv^2}{2} + mgy.$$

Но $v = \omega \cdot x$ и $v^2 = \frac{gx^2}{\rho} = 2gy$. Поэтому $\Delta \mathcal{E} = 2mgy$.

в) Во время движения человека от оси вращения двигатель, вращающий сооружение, работает с большей мощностью, чем при неподвижном человеке. Если человек идет по полу со скоростью $\frac{ds}{dt}$, то действует сила Кориолиса

$$2m\omega \frac{ds}{dt} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) = 2m\omega \frac{dx}{dt}.$$

Поэтому при движении человека двигатель дает дополнительную мощность

$$2m\omega^2 x \frac{dx}{dt}.$$

За время dt двигатель производит дополнительную работу

$$2m\omega^2 x dx,$$

а за все время движения человека от оси будет произведена дополнительная работа

$$m\omega^2 x^2 = 2mgy.$$

Итак, изменение энергии системы происходит за счет дополнительной работы двигателя при перемещении человека.

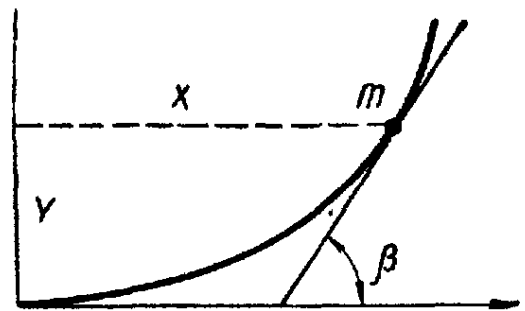


Рис. 3.

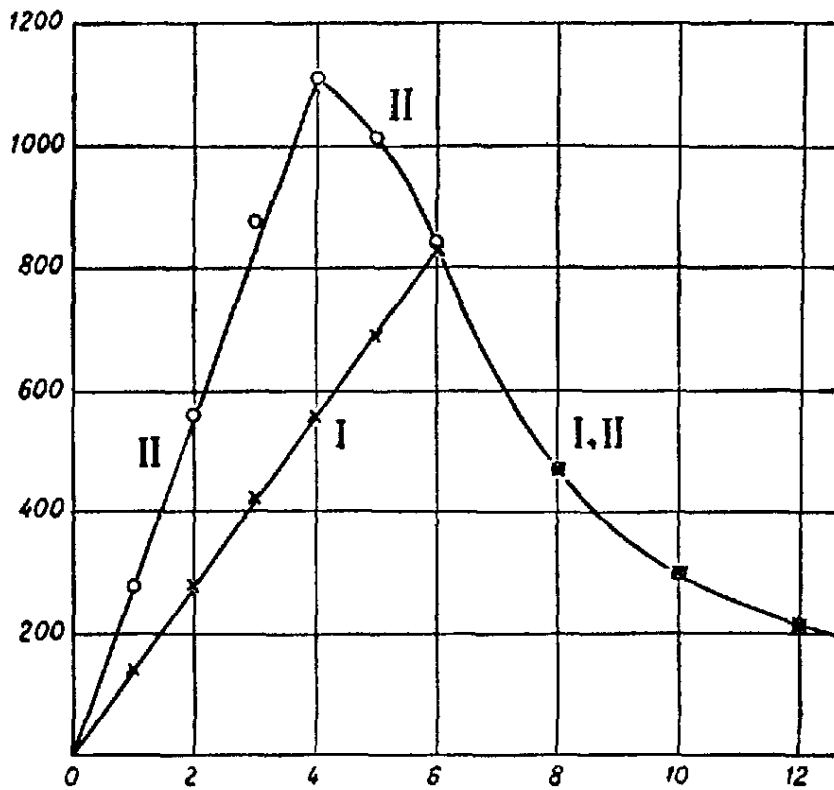


Рис. 4.

4—49. Нет.

5—1. 0,59 дин.

5—2. Нет.

5—3. а) Нет; б) 1,23%.

5—4. $2,34 \cdot 10^{-3}$ н.

5—5. Шары притягиваются, если а) $D_1 > D_0$ и $D_2 > D_0$; б) $D_1 < D_0$ и $D_2 < D_0$. Шары отталкиваются, если $D_1 > D_0 > D_2$ или $D_1 < D_0 < D_2$.

5—6. а) $F = \frac{\gamma \cdot m_1 m_2}{a(a+l)}$. б) Уменьшится в 1,33 раза.

5—7. Около 12 кг.

5—8. См. рисунок 4: а) — крестики, б) — кружочки.

5—9. $\frac{4}{3} \gamma D l$.

5—10. а) Напряженность поля тяготения в месте, где находится центр тяжести корабля, меньше напряженности в месте, где находится центр тяжести вытесненной воды в $\left(\frac{R}{R+h}\right)^2 \approx 1 - \frac{2h}{R}$ (R — радиус Земли). Поэтому

масса корабля больше массы вытесненной воды m на величину $\Delta m = m \frac{2h}{R} = 16$ кг.

б) Можно рассматривать корабли и вытесненные ими массы воды как точечные массы. Результирующая сила равна разности силы притяжения кораблей и силы притяжения вытесненных ими масс воды. Массы кораблей больше массы воды, но расстояния между центрами тяжести кораблей тоже больше, чем расстояния между центрами тяжести вытесненной воды. Эти два обстоятельства точно компенсируют друг друга, и результирующая сила оказывается равной нулю.

5—11. 38 400 км от центра Луны.

5—12. Около 600 км; $7,7 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$; $2,5 \cdot 10^6$ кдж.

$$5-13. \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{R_2}{R_1}} = 0,85.$$

5-14. а) Сила притяжения массы m_1 , находящейся на расстоянии x от центра Луны, равна $\frac{\gamma m m_1}{x^2}$, где m — масса Луны. Работа силы тяжести на пути dx есть $dA = \frac{\gamma m \cdot m_1}{x^2} dx$, а на пути из бесконечно удаленной точки до поверхности Луны есть

$$A = \int_R^{\infty} \frac{\gamma m m_1}{x^2} dx = \frac{\gamma m m_1}{R} = 0,5 m_1 v^2;$$

$$v = \sqrt{\frac{2\gamma m}{R}} = 2,38 \frac{\text{км}}{\text{сек}}.$$

5-15. 1600 км.

5-16. Радиус орбиты уменьшится на 2%, скорость увеличится на 1%, период уменьшится на 3%.

5-17. Принимая, что потенциальная энергия тел, удаленных на бесконечное расстояние, равна нулю, найдем

$$W = - \frac{\gamma \cdot m \cdot m_c}{2a},$$

где m_c — масса Солнца.

5-18. Падение на Солнце можно рассматривать как предельный случай обращения вокруг Солнца по весьма вытянутому эллипсу, большая ось которого немного больше радиуса a орбиты Земли. Такой эллипс стало бы описывать вокруг общего центра тяжести тело, помещенное в пространстве на расстоянии a от центра и получившее одновременно небольшую скорость v по направлению, перпендикулярному к прямой, соединяющей это тело с центром. В пределе, при $v = 0$, большая ось эллипса равна a (эллипс вытягивается в прямую). Обращение по такому эллипсу требует времени $\tau = T \sqrt{\frac{(0,5a)^3}{a^3}} = T \cdot \sqrt{0,125}$, где T — период обращения Земли вокруг Солнца. Продолжительность же падения тела на Солнце есть $\frac{\tau}{2} = \frac{T \cdot \sqrt{0,125}}{2} = 64,6$ суток.

6-1. а) 3,5 н; б) 0,17 н; в) 4,4 н или 0,16 н.

6-2. 212 н.

$$6-3. F_1 = \frac{mg \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} = 20 \text{ н}; F_2 = 34 \text{ н}.$$

6-4. Задача неопределенна. В этом случае силы зависят от обстоятельств, при которых шар был помещен в положение, показанное на рисунке 6-2.

6-5. 1240 кг.

6-7. 65 кг; 75 кг.

6-8. 83,5 см.

$$6-9. F_1 = \frac{mgR}{\sqrt{l^2 - 4R^2}} = 0,38 \text{ н} = F_2; F_3 = 0,29 \text{ н}.$$

6-10. На опору A действует под углом к горизонту сила 1130 кг. На опору B действует в горизонтальном направлении сила 915 кг.

6-11. а) 94 кг; 96 кг; б) 95 кг; 95 кг.

6-12. а) 886 Г и -274 Г, б) 656 Г.

$$6-13. \text{ а) } \operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{2\mu}; \varphi = 45^\circ.$$

б) Если человек встанет на нижнюю ступеньку, то лестница не упадет, она упадет, когда человек перейдет через ее середину.

6—14. а) $\cos \alpha = \frac{h}{l} \sqrt{\frac{D_0}{D_0 - D}}$; $\alpha = 48^\circ$; б) $\alpha = 0$.

6—15. $A = \frac{\sqrt{2}-1}{2} g \sqrt[3]{\frac{m^4}{D}} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ Дж.}$

6—16. 0,4 кгм.

6—17. При волочении работа равна $A_1 = mg\mu L$, где m — масса ящика. При кантовании ящик приходится опрокидывать $n = \frac{L}{a}$ раз (a — ребро ящика).

Работа при одном опрокидывании равна $mga \left(\frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{2} \right) = 0,207 mga$. При n опрокидываниях работа равна $A_2 = 0,207 mgL$. Работы A_1 и A_2 равны при $\mu = 0,207$.

6—18. а) Условие отсутствия соскальзывания карандаша

$$\operatorname{tg} \alpha < \mu.$$

Условие возвращения в положения равновесия есть

$$\operatorname{tg} \alpha < \frac{d_1}{d_2} \alpha - \frac{2b}{d_2},$$

где b — расстояние центра инерции второго карандаша от вертикали, проходящей сквозь ось первого карандаша при горизонтальном расположении второго. Это условие может иметь место только при $\frac{d_1}{d_2} > 1$.

б) Карандаш соскальзывает при $\alpha > 26^\circ$, карандаш опрокидывается при $\alpha > 24^\circ$. Следовательно, предельное значение угла α равно 24° .

7—1. 177 м.

7—2. а) $44 \frac{\kappa\Gamma}{\text{см}^2} = 4,3 \cdot 10^6 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$; б) $7,7 \frac{\kappa\Gamma}{\text{см}^2} = 7,5 \cdot 10^5 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$.

7—4. $n = \frac{\sqrt{2\rho m}}{\pi l \sqrt{D}} = 82,5 \text{ сек}^{-1}$.

7—5. На 0,32 см.

7—6. На 2,7 см.

7—7. Нет.

7—8. На $\frac{\pi d^3 p}{4Eb} = 1,06 \text{ см}^2$.

7—9. Около 200 м.

7—10. 56,5 л.

7—11. Около 10%.

7—12. $\Delta d = \frac{\pi^2 d^3 D n^2}{E} = 3,3 \cdot 10^{-5} \text{ см.}$

7—13. Нет. Удлинение будет равно $2\mu^2 \Delta l$.

7—14. а) $\Delta V = \frac{l(1-2\mu)F}{E} = 8 \text{ мм}^3$; б) $\Delta S = \frac{4l(1-\mu)F}{Ed} = 0,28 \text{ см}^2$.

7—15. 1,4 Дж.

7—16. $5,5 \cdot 10^4 \frac{\partial \mathcal{E}}{\text{м}^3}$.

7—17. $2,5 \cdot 10^4 \frac{\partial \mathcal{E}}{\text{м}^3}$.

7—18. На 4,2 см.

7—19. $71 \frac{\kappa\Gamma}{\text{см}^2}$.

7—22. Кинетическая энергия грузика равна разности изменения потенциальной энергии грузика в поле тяготения $mg l_1$ и работы растяжения нити $A = \frac{f \cdot (l_1 - l)}{2}$. Вычисление силы f в этом «поправочном» члене производим приближенно, заменяя радиус кривизны и скорость движения грузика величинами, относящимися к нерастяжимой нити длиной l_1 .

$$f \approx 3mg; \quad v \approx \sqrt{g(3l - l_1)} \approx 3,68 \frac{\text{м}}{\text{сек}}.$$

7—23. $2^\circ, 5$.

7—24. Формула $\Pi = \frac{F \Delta l}{2}$ относится к случаю справедливости закона Гука, когда, в частности, нет гистерезиса.

8—1. а) $2,5 \text{ сек}^{-1}$.

8—2. 32 н .

8—3. а) $A < 10^{-4} \text{ см}$; б) $A = \frac{g}{\omega} \sqrt{\frac{2h}{g} - \frac{1}{\omega^2}} = 7,7 \cdot 10^{-3} \text{ см}$.

8—4. $0,8 \text{ сек}$.

8—5. $11,5 \text{ сек}$.

8—6. В первом в 1,11 раза скорее.

8—7. $T = 2\pi \sqrt{\frac{l \cos 0,5\varphi}{g}} = 1,7 \text{ сек}$.

8—8. а) $1,419 \text{ сек}$; б) $T = 2\pi \sqrt[4]{\frac{l^2}{g^2 + a^2}} = 1,397 \text{ сек}$;

в) $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g \cos \alpha}} = 1,444 \text{ сек}$.

8—9. $T = 2\pi \sqrt{\frac{l(n+1)}{g(n-1)}} = 2,1 \text{ сек}$.

8—10. $1,74 \text{ сек}$.

8—11. а) $0,63 \text{ сек}$; б) $1,5 \text{ сек}$.

8—12. а) $2\pi \sqrt{\frac{2l}{3g}}$; б) $0,211 l$; $2\pi \sqrt{\frac{l}{g\sqrt{3}}}$.

8—13. $2,2\%$.

8—14.

$$J = \frac{T_1^2}{T_2^2 - T_1^2} \cdot \frac{ml}{4\pi^2} (4\pi^2 l - T_2^2 g) = 1200 \text{ г} \cdot \text{см}^2.$$

8—15. $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{2SDg}} = 0,77 \text{ сек}$.

8—16. $T = 2\pi \sqrt{\frac{1,4(R-r)}{g}}$,

где R — радиус чашки, r — радиус шарика.

8—17. $\tau = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{3\pi}{\gamma \cdot D}} = 21 \text{ мин}$.

8—18. а) $T = \frac{2\pi}{\sqrt{D\left(\frac{1}{J_1} + \frac{1}{J_2}\right)}}$.

б) Период колебаний увеличится в $\sqrt{\frac{J_1 + J_2}{J_2}}$ раз.

8—19. $1,55 \text{ сек}$.

8—20. а) Колебания шара синусоидальны при малых h ;

б) $A > \frac{mgl}{E \cdot S} = 0,12 \text{ см}$; в) $T = 2\pi \sqrt{\frac{ml}{E \cdot S}} = 0,07 \text{ сек}$.

8—21. При отклонении спицы в сторону равнодействующая сил трения направлена противоположно смещению x центра тяжести от середины расстояния между блоками и равна

$$F = - \frac{2mg\mu x}{d},$$

отсюда

$$T = \pi \sqrt{\frac{2d}{\mu g}} = 0,9 \text{ сек.}$$

8—22. 21 сек.

$$8-23. n_0 = \frac{n_1 n_3 - n_2^2}{n_1 + n_3 - 2n_2^2} = 10,4.$$

8—24. 0,014.

$$8-25. t = \frac{\ln \sqrt{n}}{\vartheta \cdot f} = 14 \text{ сек.}$$

8—26. 2 м.

$$8-27. \text{ а) } 1,5 \%; \text{ б) } \operatorname{tg} \omega t = \frac{\omega}{\alpha} = \frac{2\pi}{\ln 3}; \omega t = 80^\circ 5'; \text{ в) } \omega t = 160^\circ 10'.$$

8—28. а) Нет. б) Да. в) В случаях б) около 19 и 1 (декремент 19 надо признать лишенным реального смысла).

$$8-29. 21 \frac{\text{м}}{\text{сек}}.$$

$$8-30. f = \sqrt{f_1 \cdot f_2} = 245 \text{ гц.}$$

$$8-31. f = \sqrt{\frac{f_1^2 + f_2^2}{2}} = 255 \text{ гц.}$$

$$8-32. \alpha = \frac{\pi \cdot \Delta f}{\sqrt{3}} = 36 \text{ сек}^{-1}.$$

$$8-33. s = \frac{s_0}{2} \left(\frac{2\pi}{\vartheta} + \frac{\vartheta}{2\pi} \right); \text{ при } \vartheta < 1 \text{ можно принять, что } s = \frac{\pi \cdot s_0}{\vartheta}, \text{ откуда}$$

$$\vartheta = \frac{\pi \cdot s_0}{s} = 0,4.$$

8—34. Принимая во внимание пункт 8) введения, найдем коэффициент затухания колебаний струны

$$\alpha = \frac{f^2 - f_0^2}{4 \sqrt{n-1} \cdot \pi f},$$

где n — отношение мощностей при f_0 и f . Отсюда

$$\tau = 43 \text{ сек.}$$

8—35. 170 Дж.

$$9-1. \text{ а) } 242 \frac{\text{см}}{\text{сек}}; \text{ б) } 242 \frac{\text{см}}{\text{сек}}; \text{ в) } 257 \frac{\text{см}}{\text{сек}} \text{ и } 227 \frac{\text{см}}{\text{сек}}; \text{ г) } 171 \frac{\text{см}}{\text{сек}} \text{ и } 342 \frac{\text{см}}{\text{сек}}.$$

9—2. 46 см.

9—3. в) На половине расстояния от поверхности стола до уровня воды в сосуде.

9—4. а) Равнозамедленно; б) 227 сек; в) 65 сек; г) увеличится.

9—6. Пренебрегая S_2^2 по сравнению с S_1^2 , получим

$$t = \frac{l S_1}{S_2} \sqrt{\frac{S_1 D}{2F}} = 0,53 \text{ сек.}$$

$$9-7. v = \sqrt{\frac{\frac{2gh}{1 - \frac{16V^2}{\pi^2 l^2 d^4}}}{}} = 32 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

9-8. а) На уровне нижнего конца трубки В. б) Выше нижнего конца трубки В.

$$9-9. \text{ На } 0,52 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}.$$

$$9-10. m = \pi d_1^2 d_2^2 t \sqrt{\frac{\rho D}{8(d_1^4 - d_2^4)}} = 107 \text{ кг}.$$

9-11. Поднимается.

9-12. а) $Re = 5,4 \cdot 10^{-6}$; предположение правильно. б) 4,5 мм.

9-14. 12,5 кВт.

$$9-15. \text{ а) } 10^5; \text{ б) } 720 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}.$$

$$9-16. \text{ а) } 16,5 \frac{\text{см}}{\text{сек}}; \text{ б) } 5,4 \text{ мм рт. ст.}$$

9-17. Около 0,01 см³.

10-1. Объем не изменится; длина увеличится, если более холодный брусок имеет меньшую площадь сечения, параллельного плоскости соприкосновения.

10-2. Да.

10-3. а) 420° С; б) 140° С.

10-4. При условии $2\alpha_2 = \alpha_1$ (например, алюминий и железо).

10-6. На 16 сек.

$$10-7. \omega = \omega_0 \frac{1}{(1 + \alpha t)^2}, \text{ где } \alpha \text{ — коэффициент линейного расширения.}$$

Кинетическая энергия уменьшится на величину $\approx J_0 \omega_0^2 \alpha t$.

10-8. Если первый сосуд расширяется вверх, то уровень жидкости во втором сосуде понижается, и наоборот. При цилиндрическом сосуде уровень остается неизменным.

10-9. Около 47° С.

$$10-10. \beta_2 = \frac{P_2 - P_1 + \beta_1 t (P_2 - P_0)}{(P_1 - P_0) t} = 2,9 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1},$$

где β_1 — коэффициент объемного расширения ртути.

10-11. 754,6 мм.

10-12. 173° С.

11-1. 79.

11-2. 571 мм рт. ст.

11-3. а) 3,5 см. б) Больше 95 см.

11-4. $3,9 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст.

$$11-5. D = \frac{m h_2}{V(h_2 - h_1)} = 1,2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

$$11-6. 72 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}.$$

11-7. 150 см³.

11-8. 637.

11-9. 554 л.

$$11-10. 1,6 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}.$$

$$11-11. 1,82 \frac{\text{л}}{\text{г}}.$$

11-12. 1320 г.

11—13. 1,48 г.

$$11-14. u = \frac{mRT}{\mu p S \tau} = 0,9 \frac{\text{м}}{\text{сек}}.$$

$$11-15. 3 \frac{\text{см}}{\text{сек}}.$$

11—16. а) Подъемная сила

$$F = -(m_1 - m_2)g = m_1 g \left(1 - \frac{m_2}{m_1}\right),$$

где m_1 и m_2 — массы водорода и вытесненного воздуха. Но $\frac{m_2}{m_1} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$, поскольку давление, температуру и объем воздуха и водорода можно считать равными. Пока m_1 неизменно (газ не вытекает из оболочки), F постоянна.

б) 2 кг.

11—17. 29,3 м.

11—18. 2,4.

11—19. 2 ат.

$$11-20. 30,2 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

$$11-21. 0,48 \frac{\text{г}}{\text{л}}.$$

$$11-22. 1,45 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}.$$

11—23. 1950 м.

11—24. 20 н.

11—25. 758 мм рт. ст.

$$12-1. а) c_p = 508 \frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}; \quad c_v = 649 \frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}.$$

$$б) c_p = 1040 \frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}; \quad c_v = 741 \frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}.$$

12—2. $\kappa = 1,47$.

12—3. 1400 кал.

$$12-4. t_2 = t_1 + \frac{v^2}{2c_v} = 22^\circ \text{C}.$$

12—5. $3,15 \cdot 10^7 \text{дж}$.

12—6. Около 5м^3 и $5,5 \text{м}^3$.

12—7. Сначала определим массу продуктов горения

$$m = \frac{pV\mu}{RT} = 35,8 \text{ г}.$$

При сгорании выделится количество теплоты

$$Q = 0,9 \cdot 10\,000 \text{ кал}$$

и получится температура

$$t_2 = t_1 + \frac{Q}{mc_v} = 1650^\circ \text{C}.$$

При этом создается давление

$$p_2 = \frac{p_1 T_2}{T_1} = 20,3 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}.$$

12—8. $Q = 1,66 \cdot 10^4 \text{дж}$. $\Delta U = 1,18 \cdot 10^4 \text{дж}$. $A = 4,8 \cdot 10^3 \text{дж}$.

$$12-9. A = p_0 S \left(h_1 - h_0 \ln \frac{h_0 + h_1}{h_0} \right) = 2,37 \text{ дж}.$$

- 12—10. а) $2,5 \text{ л} \cdot \text{атм}$; $-6,5 \text{ л} \cdot \text{атм}$; $-9 \text{ л} \cdot \text{атм}$;
 б) $2,5 \text{ л} \cdot \text{атм}$; $-0,5 \text{ л} \cdot \text{атм}$; $-3 \text{ л} \cdot \text{атм}$.

$$12-11. \frac{A_2}{A_1} = \frac{1 - n^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}{(\kappa-1) \ln n}; \quad \text{а) } 1,5 \quad \text{б) } 0,8.$$

$$12-12. 450^\circ \text{ C}.$$

$$12-13. \Delta T = -\frac{g}{c_p} \Delta h = -5^\circ.$$

$$12-14. p = 32,4 \text{ атм}; \quad t = 491^\circ \text{ C}; \quad A = 4300 \text{ Дж}.$$

$$12-15. \text{ а) } 2,5 \text{ л} \cdot \text{атм}; \quad -3 \text{ л} \cdot \text{атм}; \quad -5,5 \text{ л} \cdot \text{атм};$$

$$\text{ б) } 2,5 \text{ л} \cdot \text{атм}; \quad -2,11 \text{ л} \cdot \text{атм}; \quad -4,61 \text{ л} \cdot \text{атм}.$$

$$12-16. T = 2\pi \sqrt{\frac{ml}{2Sp_0\kappa}} = 0,065 \text{ сек}.$$

$$12-17. \text{ См. рисунок 5.}$$

$$12-18. p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2}; \quad T = \frac{\frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2}}{\frac{p_1 V_1}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2}}.$$

12—19. Работа компрессора за один цикл определяется суммой площадей $ABGF$ и $BCOG$ за вычетом площади $ADOF$, определяющей работу по продвижению поршня назад. Так как $\square BCOG = p_2 V_2 = p_1 V_1 = \square ADOF$, то

$$\square ABGF + \square BCOG - \square ADOF = \square ABGF.$$

$$12-20. \text{ а) } 37,8 \text{ кВт}; \quad \text{ б) } 3250 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}.$$

12—21. Введем расчет для 1 г газа; $\eta = \frac{A}{Q_1}$. Работа A равна разности работ при двух адиабатных процессах; количество теплоты Q_1 принимаем равным количеству теплоты, потребному для нагревания газа от T_2 до T_3 ,

$$\eta = \frac{c_v (T_3 - T_4) + c_v (T_1 - T_2)}{c_v (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}.$$

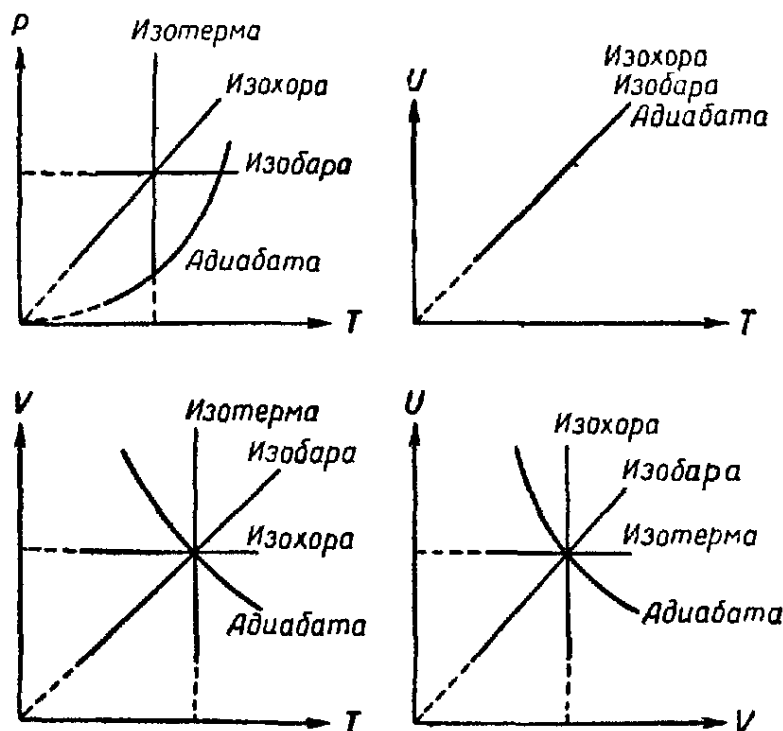


Рис. 5.

По уравнению адиабаты

$$T_3 V_2^{\kappa-1} = T_4 V_1^{\kappa-1}; T_1 V_1^{\kappa-1} = T_2 V_2^{\kappa-1}.$$

Откуда

$$\frac{T_4}{T_3} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}.$$

Поэтому

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1} = 0,34.$$

12-22. б) $c = c_v \frac{n-\kappa}{n-1}$. Поскольку c_v , n и κ постоянны, постоянно и c .

в) 1) Работа при повышении температуры газа на 1° по мере поднятия поршня уменьшается, уравнение процесса в нижней части цилиндра

$$p \frac{q - 2V}{q - V} = \text{const}$$

(q — общий объем газа в цилиндре) не может быть приведено к виду $pV^n = \text{const}$. Процесс не политропический.

2) Уравнение процесса в газе

$$\frac{p - p_0}{V - V_0} = \text{const},$$

здесь p_0 — атмосферное давление, V_0 — объем газа при положении поршня, показанном на рисунке 12-6 пунктиром. Процесс не политропический.

3) Уравнение процесса в газе имеет такой же вид, как и в случае 2), V_0 означает объем газа в левой части трубки при равенстве уровней жидкости в левой и правой частях. Процесс не политропический.

4) Уравнение процесса в газе

$$pV^{\frac{\kappa+1}{2}} = \text{const}.$$

Процесс политропический.

г) В первых трех случаях удельные теплоемкости газов при повышении температуры уменьшаются. В случае 4) удельная теплоемкость газа постоянна и равна $-c_v$. Знак минус получился потому, что в данном процессе газ при повышении температуры отдает теплоту вовне.

$$13-1. 8 \cdot 10^{16}.$$

$$13-2. 4,2 \cdot 10^{19}.$$

$$13-3. 0,23 \text{ мм рт. ст.}$$

$$13-4. \text{ Из формулы } c = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \text{ имеем: } c_2^2 = c_1^2 = \frac{3R\Delta T}{\mu}.$$

Подставляя $\Delta T = \frac{v^2}{2c_v}$ (см. решение задачи 12-4) и принимая во внимание, что $c_v = \frac{R}{\mu(\kappa-1)}$, получаем: $c_2^2 - c_1^2 = \frac{3}{2} v^2(\kappa-1)$.

$$\text{Отсюда а) } c_2^2 - c_1^2 = v^2; \text{ б) } c_2^2 - c_1^2 = 0,6v^2.$$

Физический смысл этого таков. В одноатомном газе вся энергия поступательного движения идет на увеличение энергии поступательного движения молекул. В двухатомном газе на увеличение энергии поступательного движения молекул идет 0,6 энергии, 0,4 энергии идет на увеличение энергии вращательного движения молекул.

$$13-5. \text{ а) } 562 \frac{\text{м}}{\text{сек}}; \text{ б) } 25 \frac{\text{м}}{\text{сек}}.$$

13—6. —203° С.

$$13-7. c = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{kT}{\pi D r^3}} = 169 \frac{\text{см}}{\text{сек}}.$$

13—8. а) Это видно из несимметричного вида кривой: ордината точки, соответствующей скорости, большей наиболее вероятной, более ординаты точки, соответствующей скорости, меньшей наиболее вероятной на такую же величину.

б) Единице.

в) Изменить абсциссы в $\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$ раз, а ординаты в $\sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$ раз.

$$13-9. а) u = 518 \frac{\text{м}}{\text{сек}}; \quad \rho = 459 \frac{\text{м}}{\text{сек}}.$$

13—10. Нулю.

13—11. Полагая

$$\epsilon = \frac{mv^2}{2},$$

имеем

$$\Delta n = n \frac{4\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{e^{1/2}}{m^{3/2}\rho^3} e^{-\frac{2\epsilon}{m\rho^2}} \Delta\epsilon = n\varphi(\epsilon) \Delta\epsilon.$$

Максимум функции $\varphi(\epsilon)$ соответствует

$$\epsilon_0 = \frac{m\rho^2}{4},$$

откуда скорость, соответствующая максимуму функции распределения, равна

$$v_0 = \frac{\rho}{\sqrt{2}}.$$

$$13-12. \frac{\Delta n}{n} = \frac{4}{e\sqrt{\pi}} \cdot 0,02 = 1,66 \%; \quad б) 1,85 \%.$$

13—14. Уменьшится в 2,3 раза.

13—15. а) $1,75 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

13—16. 55° С.

13—17. Относительная скорость движения двух тел есть векторная разность их абсолютных скоростей. Из того факта, что $r = u\sqrt{2}$, приходится вывести заключение, что среднее значение угла между ними равно 90°. Это естественно увязывается с тем фактом, что этот угол меняется в пределах от 0 до 180°.

13—18. $4,6 \cdot 10^{-2} \text{ мм рт. ст.}$

13—19. $6 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$

13—20. $9,3 \cdot 10^{-8} \text{ сек.}$

13—21. $7 \cdot 10^{28}$.

13—22. а) $6 \cdot 10^{-6} \text{ см.}$; б) $12,5 \cdot 10^{-6} \text{ см.}$; в) $9,4 \cdot 10^{-7} \text{ см.}$

13—23. а) Не изменится. б) Уменьшится в 1,41 раза. в) Увеличится в 1,15 раза.

13—24. $6,5 \cdot 10^{-6} \text{ см.}$

13—25. $6 \cdot 10^{-6} \text{ см.}$

13—26. $2,7 \cdot 10^{23} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$.

13—27. Уменьшится в $\gamma^{\frac{x+1}{2}} = 2,3$ раза.

$$13-28. \tau = \frac{\sqrt{2\pi R\mu T}}{N\rho S} = 0,31 \text{ сек.}$$

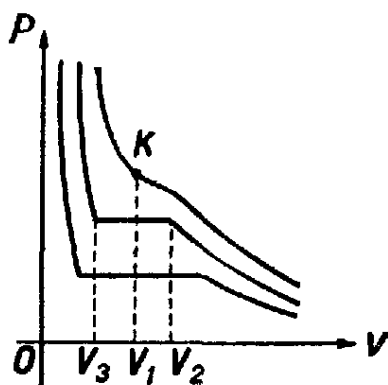


Рис. 6.

14-1. $p + \frac{a}{V^2}$ — давление, которое имело бы место, если бы все молекулы газа находились в объеме $V - b$ и не притягивались друг к другу.

14-2. а) 24,6 ат; б) 23,3 ат; в) 25,4 ат; г) 24,1 ат.

14-3. 25,6 ат; 29,5 ат.

14-4. 21° С; 0° С.

14-5. $b = 0,04 \frac{\text{л}}{\text{моль}}$; $a = 1,33 \frac{\text{л}^2 \cdot \text{ат}}{\text{моль}^2}$.

14-6. а) Более сжимаем при $T > \frac{a}{Rb}$;

б) 1020° К (углекислый газ); 112° К (водород).

1'-7. а) $56,4 \frac{\text{л} \cdot \text{ат}}{\text{моль}}$; б) $56,8 \frac{\text{л} \cdot \text{ат}}{\text{моль}}$.

14-8. Выражая $p_1 V_1$ и $p_2 V_2$ по формуле Ван-дер-Ваальса и полагая $U_1 = U_2$, имеем

$$R\Delta T = (RTb - a) \left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right).$$

Так как имеется в виду произвести приближенный расчет, то величину $\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2}$ можно вычислить по формуле Клапейрона

$$\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} = \frac{p_1 - p_2}{RT}.$$

Отсюда

$$\Delta T = \left(Tb - \frac{a}{R} \right) \cdot \frac{p_1 - p_2}{RT}.$$

а) -1,3° К; б) +0,2° К; эти числа близки к экспериментальным результатам.

14-9. $0,2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

14-10. $\approx 53 \text{ ат}$; 157° К.

14-11. $a = 3,6 \frac{\text{л}^2 \cdot \text{ат}}{\text{моль}^2}$;

$b = 0,043 \frac{\text{л}}{\text{моль}}$.

14-12. а) Масса эфира, имеющая критический объем V_0 , равна

$$m = \frac{\mu}{V_k} V_0 = \frac{8\mu p_k}{3RT_k} V_0.$$

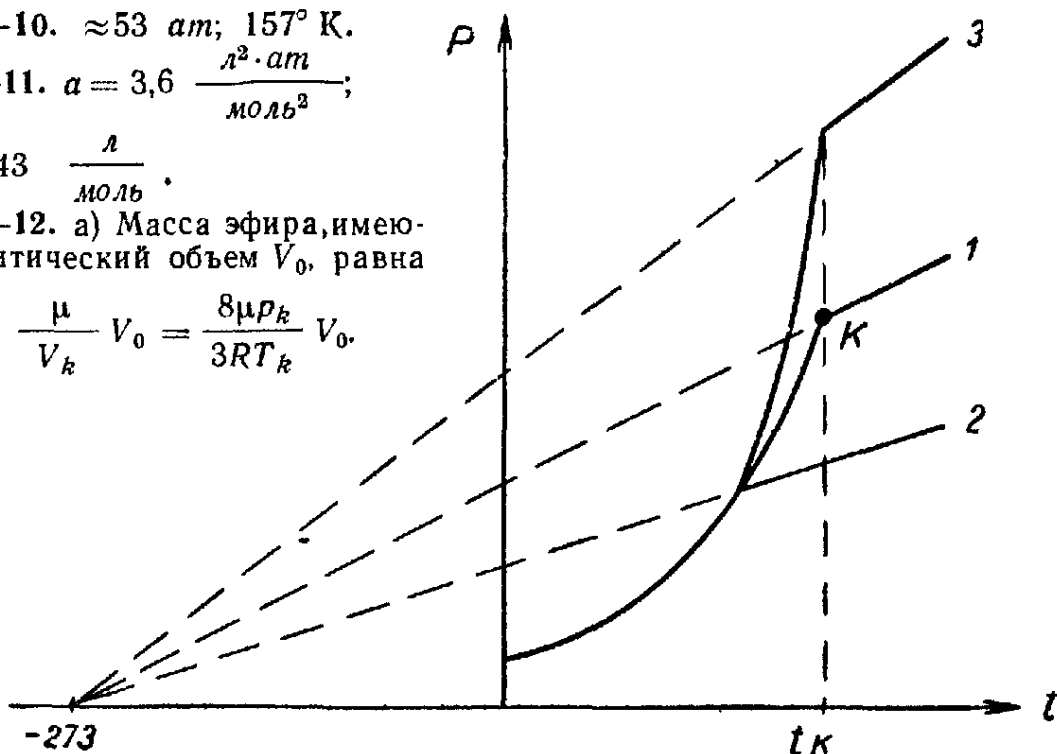


Рис. 7.

Ее объем при $t = 20^\circ \text{C}$ (массой паров эфира над жидким эфиром можно пренебречь) равен

$$V = \frac{m}{D} = \frac{8\mu\rho_k l_0}{3RT_k D},$$

$$\text{отсюда } \frac{V}{V_0} = 0,26.$$

б) Если температура по всему объему трубки одинакова, то критическое состояние возможно лишь в том случае, если критический объем взятой массы эфира равен объему полости трубки. При меньшем количестве эфира вся жидкость в нагреваемой трубке испаряется до достижения критической температуры. При большем количестве — до достижения критической температуры вся трубка заполняется жидкостью, после чего давление в трубке быстро повышается. Это видно на рисунке 8; при $V = V_1$ можно наблюдать критическое состояние; при $V = V_2$ вся жидкость испарится; при $V = V_3$ весь объем будет заполнен жидкостью.

в) См. рисунок 7; 1-я кривая — объем трубки равен критическому объему, 2-я — меньше критического объема, 3-я — больше критического объема.

14—13. См. рисунок 8.

15—1. Около $1,007 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

15—2. $2,6 \frac{\text{см}^3}{\text{сек}}$

15—3. а) $5 \cdot 10^{-3} \text{ дж}$; б) $2,3 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$

15—4. Пренебрегаем поверхностью первоначальной капли по сравнению с суммой поверхностей всех мелких капелек.

$$A = \frac{6m\sigma}{d \cdot D} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ дж}.$$

15—5. б) 6 см.

15—6. $\Delta R \approx \frac{D \cdot g \cdot d^3}{8\sigma} = 0,14 \text{ м}$

15—7. На рисунке 9 черные кружки изображают сечения проволочек сита. При равновесии внутри жидкости вблизи точки А давление равно $p_0 + Dgh$ (p_0 — атмосферное давление). Разность давлений внутри и вне жидкости (Dgh) равна $\frac{2\sigma}{R}$, где R — радиус кривизны вблизи точки А.

Если при прикосновении пальцем получится поверхность с большим радиусом кривизны (показанная пунктиром справа; $R_1 > R$), равновесие нарушится и жидкость будет вытекать, как показано на рисунке. Кроме того, поверх-

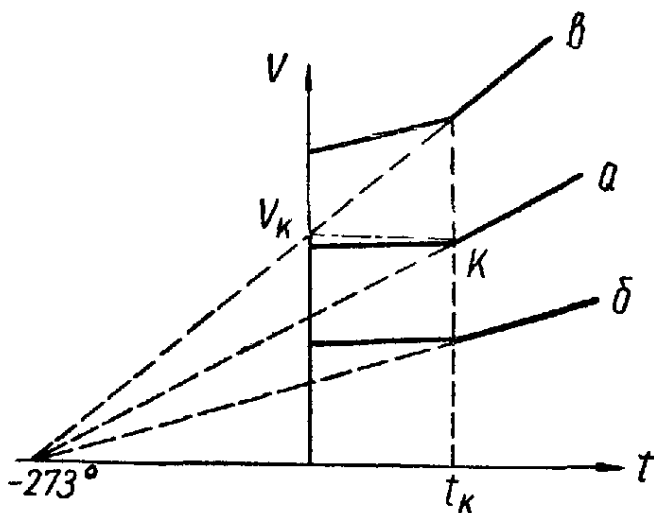


Рис. 8.

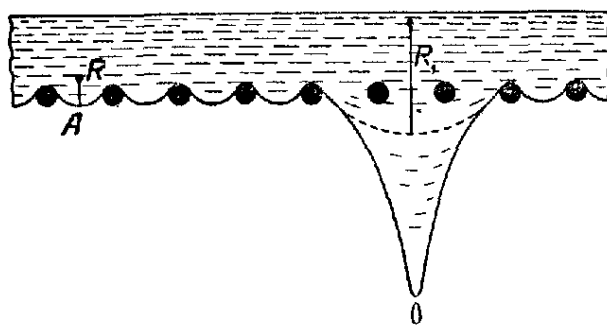


Рис. 9.

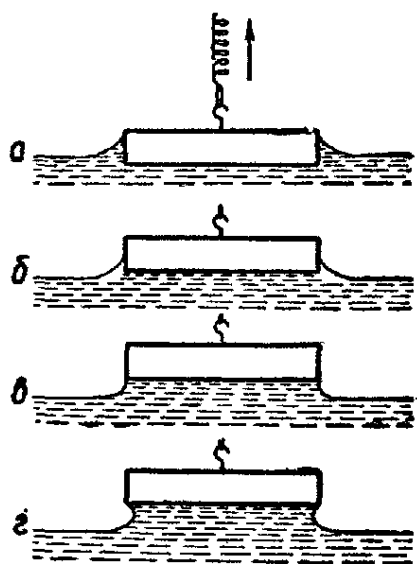


Рис. 10.

ностное натяжение жидкости может уменьшиться вследствие загрязнения ее пальцем.

15—8. а) Форма кривых поверхностей жидкости на рисунке 10 удовлетворяет соотношению $\frac{\sigma}{R} = Dgh$, где R — радиус кривизны; h — высота рассматриваемой точки над поверхностью жидкости; на рисунке 8, г показано положение пластинки, соответствующее моменту ее отрыва. Максимум натяжения пружины соответствует несколько меньшей высоте h .

б) На основании указанных в задаче предположений имеем $\frac{2\sigma}{h} = Dg \frac{h}{2}$, откуда

$$h = 2 \sqrt{\frac{\sigma}{Dg}}.$$

Так как поверхность воды при положении г (рис. 10) направлена вдоль поверхности пластинки и результирующая сил поверхностного натяжения, действующих на пластинку, равна нулю, то сила, действующая на пластинку, равна весу столба под ней

$$F = ShDg = 2S \sqrt{\sigma Dg} = 10\,500 \text{ дин} = 0,105 \text{ н.}$$

15—9. а) См. рисунки 11 и 12. Положение б на рисунке 11 и в на рисунке 12 соответствует наибольшей разности уровней в трубках; б) 41 мм; в) 27 мм.

15—10. а) См. рисунки 13 и 14. Положение б на рисунке 13 и г на рисунке 14 соответствует наибольшему давлению воздуха в капилляре.

$$\text{б) } p_1 = Dgh_1 + \frac{4\sigma}{d_1} = 5500 \frac{\text{дин}}{\text{см}^2} = 550 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}.$$

Радиусом пузырька по сравнению с глубиной погружения можно, очевидно, пренебречь.

$$\text{в) } 43000 \frac{\text{дин}}{\text{см}^2} = 4300 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}.$$

$$15—11. P = \pi \sigma d = 3,5 \text{ дин.}$$

15—12. Уровень воды в трубке будет совпадать с уровнем воды в сосуде до тех пор, пока не дойдет до более узкого места. Затем уровень воды в трубке будет подниматься вместе с трубкой и поднимется до 14 см, после чего упадет до следующего узкого места, и т. д.

15—13. При давлении воздуха в узком колене, на 3,5 мм рт. ст. больше, чем в широком.

$$15—14. h = \frac{4\sigma}{gD(d_1 - d_2)} = 5,7 \text{ см.}$$

$$15—16. 13 \text{ см.}$$

$$15—17. x = \frac{4h_0\sigma}{p_0d + 4\sigma} = 2,8 \text{ мм.}$$

$$15—18. \text{ а) } 17,8 \text{ см; б) } 20 \text{ см.}$$

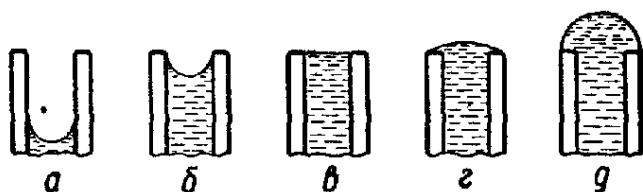


Рис. 11.

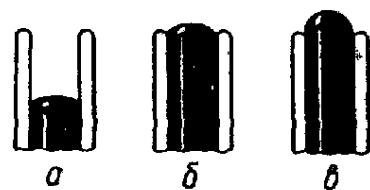


Рис. 12.

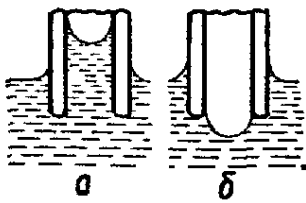


Рис. 13.

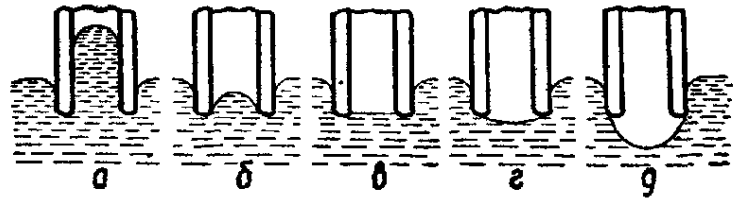


Рис. 14.

15—19. Справедливо лишь при условии, что поверхностное натяжение на границе между жидкостями равно разности поверхностных натяжений жидкостей на границе жидкость — пар (для каждой жидкости отдельно).

16—1. Насыщение воздуха парами имеет место при равновесии (тепловом и механическом), которого нет в атмосфере.

16—2. 2,8 см.

16—3. 0,0052 мм рт. ст.

16—4. 922 г.

16—5. $1,14 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

16—6. а) Давление пара можно определить по таблице ХХ, давление воздуха пропорционально абсолютной температуре.

Общее давление $p_1 = 1540 \text{ мм рт. ст.} = 2,05 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$.

б) Так как при 100°C пары не будут насыщающими, то их давление можно вычислить, пользуясь характеристическим уравнением для идеальных газов

Общее давление $p_2 = 1620 \text{ мм рт. ст.} = 2,16 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$.

16—7. а) 30°C , б) 29°C .

16—8. а) 0,015 г; б) приблизительно при 116°C ; в) 620 кал.

16—9. 19,8 г.

16—10. а) $37 \frac{\text{кал}}{\text{г}}$; б) $46 \frac{\text{кал}}{\text{г}}$.

16—11. 765 кал.

16—12. 768 мм рт. ст.

16—13. 0,013 мм. Равновесие неустойчиво. Пузыри меньшего размера исчезают, а большего бурно увеличиваются и поднимаются.

16—14. 9,41 мм рт. ст.

16—15. а) $7,67^\circ \text{C}$; б) $8,33^\circ \text{C}$.

16—16. $0,35 \frac{\text{г}}{\text{сек} \cdot \text{см}^2}$.

17—1. $P = 12 \text{ ат.}$

17—2. $P = 2,3 \text{ ат.}$

17—3. 0,26 г.

17—4. 3,7 мг.

17—6. На основании решения предыдущей задачи

$$\Delta p = \frac{D_1 mRT}{D_2 \mu V} = 1,2 \text{ мм рт. ст.}$$

Следовательно, давление паров воды равно 758,8 мм рт. ст.

17—7. Если стенки сосуда, в котором кипит раствор, и другие тела, с которыми соприкасается пар, выделяющийся из раствора, имеют температуру, равную температуре раствора или более высокую, то пар имеет температуру раствора. Если же стенки сосуда или термометр, опущенный в пар, имеют более низкую температуру, то пар конденсируется на них до тех пор, пока они не прогреются до температуры, которая соответствует температуре насыщающего пара при имеющемся атмосферном давлении. Таким образом, при отсутствии термометра температура пара равна температуре кипящего

раствора. При наличии термометра пар конденсируется и температура его равна при нормальном атмосферном давлении 100°C .

17—8. а) На основании сказанного в тексте задачи

$$\Theta = \frac{0,11}{3} \Delta p,$$

где Δp выражено в мм рт. ст.

Но
$$\Delta p = \frac{D_1 \Pi}{D_2} = \frac{D_1 m R T}{\mu V D_2},$$

где $m = 1 \text{ г}$, $V = 100 \text{ см}^3$. Отсюда

$$C = \mu \Theta = 5,1 \text{ град} \cdot \text{г} \cdot \text{моль}^{-1};$$

б) $\mu = 283 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$

17—9. На $0,13^{\circ}\text{C}$.

17—10. $7,76 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$

17—11. 750 мм рт. ст

18—2. $0,62 \frac{\text{кал}}{\text{град}} = 2,6 \frac{\text{дж}}{\text{град}}.$

18—3. а) $-0,0476 \frac{\text{кал}}{\text{град}} = -0,199 \frac{\text{дж}}{\text{град}};$

б) $-0,0664 \frac{\text{кал}}{\text{град}} = -0,277 \frac{\text{дж}}{\text{град}}.$

18—4. $-0,2 \frac{\text{кал}}{\text{град}}.$

18—5 а) $-0,7 \frac{\text{кал}}{\text{град}};$ б) $+0,7 \frac{\text{кал}}{\text{град}}.$

18—6. $3450 \frac{\text{кал}}{\text{град}}.$

18—7. Это видно из следующих соображений:

а) температура смеси равна: $T = \frac{T_1 + T_2}{2};$

$$\Delta S = m \ln \frac{T}{T_1} + m \ln \frac{T}{T_2} = m \ln \frac{(T_1 + T_2)^2}{4T_1 T_2} > 0,$$

так как

$$(T_1 + T_2)^2 > 4T_1 T_2.$$

б) Внутренние энергии газа в сосудах до смешения: $\frac{p_1 V}{\kappa - 1}$ и $\frac{p_2 V}{\kappa - 1};$

после смешения: $2 \frac{pV}{\kappa - 1}$, где κ — отношение теплоемкостей.

Отсюда, так как обмен теплотой с окружающими телами отсутствует:

$$p = \frac{p_1 + p_2}{2}.$$

Таким образом,

$$\Delta S = m \left(c_v \ln \frac{p}{p_1} + c_v \ln \frac{p}{p_2} \right) = m c_v \ln \frac{(p_1 + p_2)^2}{4p_1 p_2} > 0.$$

18—8. $+0,78 \frac{\text{кал}}{\text{град}}.$

$$18-9. \Delta S = \frac{p}{T} \left[V_1 \ln \frac{V_1 + V_2}{V_1} + V_2 \ln \frac{V_1 + V_2}{V_2} \right] = 0,43 \frac{\text{кал}}{\text{град}}.$$

$$18-10. + 0,53 \frac{\text{кал}}{\text{град}}.$$

18—11. Решение основано на том положении, что изменение энтропии системы зависит только от начального и конечного состояний системы. Изменение удельной энтропии пара при постоянном объеме при повышении температуры от T_1 до T_2 равно $c_v \ln \frac{T_1}{T_2}$. С другой стороны, процесс нагре-

вания пара в постоянном объеме можно заменить следующим рядом процессов: 1) пар превращается в воду той же температуры; 2) получившаяся вода нагревается от T_1 до T_2 ; 3) вода превращается в пар; 4) получившийся пар изотермически расширяется до начального объема; так как в условиях задачи плотность пара невелика, то процесс расширения можно рассчитывать по формулам для идеального газа.

$$c_v \ln \frac{T_1}{T_2} = - \frac{r_1}{T_1} + c_0 \ln \frac{T_1}{T_2} + \frac{r_2}{T_2} + \frac{R}{\mu} \ln \frac{v_1}{v_2},$$

где c_0 — удельная теплоемкость воды (в указанном интервале температур ее можно принять равной $1 \frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}}$). Подставляя данные из таблицы XXI, найдем

$$c_v = 0,32 \frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}}.$$

18—12. Обозначим процентное содержание конденсированного пара через x , абсолютную температуру и скрытую теплоту парообразования пара при давлении $14 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ через T_1 и r_1 ; при $0,2 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ — через T_2 и r_2 . В таком случае

$$S_2 - S_1 = \frac{r_2}{T_2} - \frac{r_1}{T_1} - c \ln \frac{T_1}{T_2} - x \frac{r_2}{T_2}.$$

При адиабатном процессе $S_2 - S_1 = 0$.

Отсюда

$$x = \frac{\frac{r_2}{T_2} - \frac{r_1}{T_1} - c \ln \frac{T_1}{T_2}}{\frac{r_2}{T_2}} = 21\%$$

$$18-13. - 0,00756 \frac{\text{град}}{\text{ат}}.$$

$$18-14. \text{Около } 542 \frac{\text{кал}}{\text{г}}.$$

18—15. Полагая ввиду незначительности высоты h

$$\Delta p = D_2 g h, \text{ имеем } \Delta T = \frac{g h T \left(1 - \frac{D_2}{D_1} \right)}{r},$$

или, ввиду того что $\frac{D_2}{D_1} \ll 1$,

$$\Delta T = \frac{g h T}{r} = 0,0012^\circ \text{C}.$$

$$18-16. 114 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2}.$$

$$18-17. 195 \frac{\text{кал}}{\text{г}}.$$

Опыт дает около $550 \frac{\text{кал}}{\text{г}}$. Расхождение объясняется неправильностью применения по отношению к отдельным молекулам понятий, касающихся собирания молекул.

$$18-18. 1,47 \text{ кдж}.$$

$$18-19. Q = A \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 3 \text{ ккал}.$$

18-20. Во-первых, вода в отопительной системе, являясь холодным телом в двигателе, получает $H \frac{T_3}{T_1}$ теплоты. Во-вторых, та же вода является горячим телом в холодильной машине и потому получает $H \frac{T_1 - T_3}{T_1} \cdot \frac{T_3}{T_3 - T_2}$

теплоты. Итого она получает при сжигании 1 кг топлива

$$H \frac{T_3(T_1 - T_2)}{T_1(T_3 - T_2)} = 14900 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}.$$

18-21. Рассмотрим изменение объема 1 моля газа:

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = R \ln \frac{V_2}{V_1} = k \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^N = k \ln w.$$

$$18-22. V = \frac{kT \ln \frac{n_2}{n_1}}{gh(D - D_0)} = 1,9 \cdot 10^{-13} \text{ см}^3,$$

где D и D_0 — плотности гуммигута и воды.

$$19-1. 1360 \text{ ккал} = 5,69 \cdot 10^6 \text{ дж}.$$

$$19-2. 0,36^\circ \text{C}.$$

$$19-3. 28,6^\circ \text{C}.$$

$$19-4. 0,285 \frac{\text{кал}}{\text{см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}}.$$

19-5. Примем, что ребро кубика равно 1 см. Обозначим число пар пластинок и их толщины n , b_1 и b_2 . Тогда

$$n(b_1 + b_2) = 1; \quad \lambda_{\perp} = \frac{1}{n \left(\frac{b_1}{\lambda_1} + \frac{b_2}{\lambda_2} \right)}; \quad \lambda_{\parallel} = n(b_1 \lambda_1 + b_2 \lambda_2);$$

$$\frac{\lambda_{\parallel}}{\lambda_{\perp}} = n^2 \left[b_1^2 + b_2^2 + b_1 b_2 \frac{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}{\lambda_1 \lambda_2} \right] > 1,$$

так как

$$\frac{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}{\lambda_1 \lambda_2} > 2.$$

19-6. Градиент температуры у верхней стенки меньше.

$$19-7. Q = \frac{2\pi\lambda\tau(t_2 - t_1)l}{\ln \frac{d_1}{d_2}} = 200\,000 \text{ ккал}.$$

19-8. Первая труба отдает в 1,2 раза больше теплоты.

$$19-9. 1030 \text{ ккал}.$$

$$19-10. а) 12\,000 \text{ ккал}.$$

б) Температура слоя сажи $400-200^\circ \text{C}$; железа $200-195^\circ \text{C}$; напхпи $195-183^\circ \text{C}$.

20—1. $2,3 \cdot 10^{-8}$ к.

20—2. 0,076 мм.

20—3. Шарики соприкоснутся, а затем установятся на расстоянии 3,1 см.

20—4. 2,2 СГСЭ.

20—5. $1,6 \frac{e}{\text{см}^3}$.

20—6. а) Под электроном на расстоянии $1,2 \cdot 10^{-4}$ см; б) 2,3 см.

20—7. Расстояние от заряда q_1 равно

$$x = l \frac{\sqrt{q_1}}{\sqrt{q_1} \pm \sqrt{q_2}}.$$

Знак — соответствует разноименным зарядам, знак + одноименным.

20—8. а) 0; б) 0, $\frac{2q}{\epsilon a^2}$ или $\frac{4q}{\epsilon a^2}$ в зависимости от расположения зарядов.

20—9. $4,3 \cdot 10^{11} \frac{e}{\text{м}}$; $4,2 \cdot 10^{11} \frac{e}{\text{м}}$.

20—10. а) $3,9 \cdot 10^{-9}$ см; б) 137 СГСЭ и 68 СГСЭ;

в) $6,6 \cdot 10^{-8}$ дин и $3,3 \cdot 10^{-8}$ дин, 10^{-14} дин · см и нуль.

20—11. а) $2 \cdot 10^{-7}$ дин; б) $1,3 \cdot 10^{-12}$ эрг; в) $510 \frac{\text{кал}}{e}$.

20—12. Диполь А: $-\frac{p^2}{r^3}$; диполь В: $-\frac{2p^2}{r^3}$; на всю систему: $+\frac{3p^2}{r^3}$.

Сумма всех вращающих моментов равна нулю.

20—13. $5,9 \cdot 10^4$ к.

20—14. 10^{-10} н.

20—15. а) Индукция останется без изменения, а напряженность уменьшится в 2 раза.

б) Индукция увеличится в два раза, а напряженность останется без изменения.

20—16. а) $1,33 \cdot 10^{-7}$ к; б) $3,3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{к}}{\text{м}^2}$ (рационализиров.)

20—17. Не изменится.

20—18. $3,4 \cdot 10^{-3}$ дж.

20—19. $E = \frac{q}{\epsilon R R_0} = 0,2$ СГСЭ ед. напряженности.

20—20 а) 0; б) $E = \frac{qh}{\epsilon \sqrt{(R^2 + h^2)^3}} = 0,36$ СГСЭ ед. напряженности.

в) Максимальная напряженность имеет место в точке, отстоящей от кольца на расстоянии:

$$h_0 = \frac{R}{\sqrt{2}}; E_{\text{max}} = 0,77 \text{ СГСЭ ед. напряженности.}$$

20—21. а) Исходим из решения предыдущей задачи. Разделяем пластинку на ряд бесконечно тонких колец (рис. 15). Заряд на кольце с радиусом x равен:

$$q = \sigma \cdot 2\pi x \cdot dx.$$

Тогда

$$dE = \frac{2\pi\sigma \cdot b x dx}{\epsilon (x^2 + b^2)^{3/2}},$$
$$E = \frac{2\pi\sigma}{\epsilon} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{a^2}{b^2}}} \right) = 12,57 \text{ СГСЭ ед. напряженности}$$

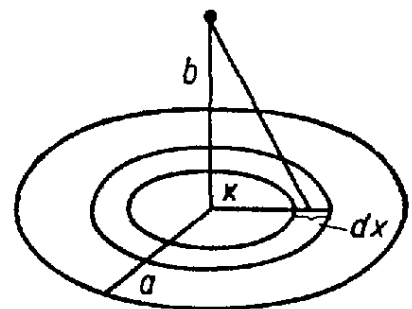


Рис. 15.

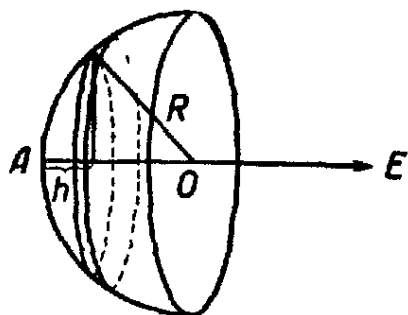


Рис 16

б) При $b \rightarrow 0$ второй член в скобках равен нулю и

$$E = \frac{2\pi\sigma}{\epsilon}.$$

Если $a \ll b$, то

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{a^2}{b^2}}} \approx 1 - \frac{a^2}{2b^2}.$$

При этом

$$E = \frac{q}{\epsilon b^2}.$$

20—22. Решение легко получается как следствие решения задачи 20—21

$$E = \frac{2\pi\sigma}{\epsilon \sqrt{1 + \frac{a^2}{b^2}}}$$

20—23. Разбиваем полусферу на ряд бесконечно узких колец (рис 16). Площадь каждого кольца $2\pi R d \cdot h$. Заряд на кольце $\sigma \cdot 2\pi R d \cdot h$. Из соображений симметрии ясно, что поле направлено по линии OA . Поэтому напряженность поля, создаваемая зарядом на кольце, равна

$$dE = \frac{\sigma \cdot 2\pi R dh}{\epsilon R^2} \cdot \frac{R-h}{R}.$$

Отсюда

$$E = \frac{\pi\sigma}{\epsilon}.$$

20—24. а) $2 \cdot 10^5 \frac{в}{м}$, б) $-7,2 \cdot 10^4 \frac{в}{м}$.

20—25. а) 0, б) 0,75 СГСЭ, в) 2,51 СГСЭ

20—26. $E = 2,6$ СГСЭ ед напряженности

21—2. а) Нет, так как направление поля во всех точках вполне определено

б) Нет, так как соприкосновение между собой двух силовых линий означало бы бесконечную величину напряженности в данной точке

в) Нет

21—5. а) 2,8 эв, б) $3,5 \cdot 10^{-2}$ эв, в) 0,434 эв, г) 18 эв

21—6. 40 электронов

21—7. $1,6 \cdot 10^{-17}$ К

21—8. $F = \frac{U^2 \epsilon S}{8\pi d^2} = 25 \text{ дин} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ н}$

21—9. а) При постоянстве напряжения между пластинами

б) При постоянстве зарядов

21—11. а) 4 эрг, б) 0, в) 0 и 6,7 эрг.

21—12. а) $2,5 \cdot 10^{-6}$ Дж, б) нуль

21—13. а) $U = \frac{q}{\epsilon \sqrt{R^2 + h^2}}$, б) $E = \frac{q h}{\epsilon (R^2 + h^2)^{3/2}}$;

в) $U_1 = 10$ СГСЭ ед. потенциала, $U_2 = 4,47$ СГСЭ ед. потенциала.

21—14. $U = 2\pi\sigma (\sqrt{a^2 + b^2} - b) \epsilon^{-1}$

21—15. а) $\frac{q}{\epsilon R}$; б) $\frac{q}{\epsilon R}$, в) $\frac{q}{\epsilon (R + a)}$.

21—17. -3000 в, -3600 в.

$$21-18. \text{ а) } \gamma = \frac{\epsilon U}{2 \ln \frac{R_2}{R_1}} = 0,623 \text{ ед. заряда СГСЭ,}$$

$$\text{б) } \sigma_1 = 0,033 \text{ СГСЭ, } \sigma_2 = 0,0099 \text{ СГСЭ,}$$

$$\text{в) } E = \frac{U}{R \ln \frac{R_2}{R_1}}, \quad 125 \frac{\text{в}}{\text{см}}; 57,5 \frac{\text{в}}{\text{см}}; 37,4 \frac{\text{в}}{\text{см}}.$$

$$21-19. 10^{17} \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}, \quad 5 \cdot 10^8 \frac{\text{см}}{\text{сек}}.$$

21—20. Пробьется лишь после введения стеклянной пластинки, так как в этом случае напряженность в воздухе будет $31,4 \frac{\text{кв}}{\text{см}}$, а после пробития

воздуха напряженность в стекле будет $130 \frac{\text{кв}}{\text{см}}$.

21—21. Напряженность в слое диэлектрика в цилиндрическом конденсаторе наиболее велика у внутренней его поверхности. При достижении напряжения, соответствующего пробоем в данном диэлектрике, мы имеем условия

$$\frac{2\gamma}{r_1 \epsilon_1} = E_1, \quad \frac{2\gamma}{r_2 \epsilon_2} = E_2,$$

где r_1 и r_2 — внутренние радиусы диэлектрических цилиндров. Отсюда

$$E_1 r_1 \epsilon_1 = E_2 r_2 \epsilon_2.$$

21—22. а) Из соотношения между наибольшими напряженностями в изолирующих слоях

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{\epsilon_1 r_1}{\epsilon_2 r_2}$$

следует, что при повышении напряжения на конденсаторе будет пробит сперва бумажный, а затем стеклянный слой. Исходя из этого, можно подсчитать, что пробой произойдет при напряжении 45 кв, б) в этом случае тоже сперва будет пробит бумажный слой при напряжении 48 кв.

$$21-23. \text{ а) } E = \frac{2U}{l \cdot \ln \frac{l-r}{r}} = 40 \frac{\text{в}}{\text{см}}.$$

б) Складывая векторно, имеем

$$E = \frac{U \cdot l}{2R_1 R_2 \ln \frac{l-r}{r}} = 3 \frac{\text{в}}{\text{см}}.$$

$$21-24. \quad U = \frac{\pi r d^2}{2\epsilon} = 79 \text{ в.}$$

$$21-26. \quad U = 2U_0 \ln \frac{R_2}{R_1}.$$

$$21-27. \quad v = \sqrt{\frac{eUb}{dms} \left(\frac{b}{2} + l \right)} = 1,58 \cdot 10^9 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$$

$$21-28. \quad U_2 = \frac{2d^2 U_1}{b^2} = 400 \text{ в.}$$

$$21-29. \text{ Под действием поля в конденсаторе электрон сместился на } s = \frac{eUb^2}{2dmv_0^2}, \text{ работа сил электрического поля равна } \frac{eU}{d} s = \frac{e^2 U^2 b^2}{2d^2 m v_0^2}. \quad \text{Она}$$

равна разности энергий электрона $\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$; эту разность можно принять ввиду незначительности прироста $v - v_0$ равной $(v - v_0)v_0 t$. Отсюда

$$v - v_0 = \frac{e^2 U^2 b^2}{2d^2 m^2 v_0^3} = 5,6 \cdot 10^8 \frac{\text{см}}{\text{сек}}.$$

22—1. а) Одна и та же разность потенциалов, равная $\frac{U}{3}$. Нет. Одна и та же напряженность, равная $\frac{U}{d}$.

б) Между A и C и между B и D разность потенциалов $\frac{U}{3}$.

Между C и D разность потенциалов равна нулю. На пластинках C и D отрицательный и положительный заряды такой же величины, как и на пластинках A и B . Напряженность поля между A и C и между B и D равна $\frac{U}{d}$, между C и D равна нулю.

в) Разность потенциалов и напряженность между A и C и между B и D равны $\frac{U}{9}$ и $\frac{U}{3d}$, между C и D эти величины равны соответственно $-\frac{2U}{9}$ и $-\frac{2U}{3d}$.

г) а) Ответы прежние. б) Между A и C и между D и B разность потенциалов равна $\frac{U}{2}$, между C и D равна нулю. Напряженность поля между A и C и между D и B равна $\frac{3U}{2d}$; между C и D равна нулю. в) Разность потенциалов и напряженность поля между C и D равны $-\frac{U}{3}$ и $-\frac{U}{d}$.

22—2. а) Наведенные заряды остаются без изменения. б) Увеличиваются в 2 раза.

22—3. а) Силы, действующие на заряды, никак не изменяются; не меняется и напряженность поля во всех точках пространства.

б) Напряженность поля между оболочками равна нулю. Напряженность поля в остальном пространстве и силы остаются прежними.

22—4. Расположение силовых линий в случае шарика и стены, отведенной к земле, таково же, как и в случае двух разноименных шариков, находящихся на удвоенном расстоянии (рис. 17).

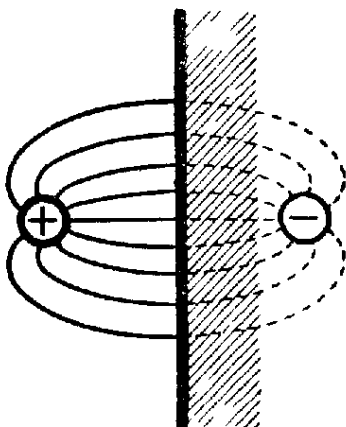


Рис 17.

$$F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon' (2a)^2} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ н.}$$

22—5. Это следует из результата предыдущей задачи

$$22-6. \text{ а) } F = \frac{q_1^2 - q_2^2}{4\pi\epsilon' (d_1 - d_2)^2} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ н.}$$

$$22-7. E = \frac{2qh}{\epsilon \sqrt{(h^2 + s^2)^3}} = 114 \frac{\text{в}}{\text{см}}.$$

$$22-8. \text{ а) } \sigma = -\frac{q}{2\pi a^2} = -0,088 \text{ СГСЭ.}$$

б) На основании таких же соображений

$$\sigma = -\frac{qa}{2\pi r^3} = -0,019 \text{ СГСЭ.}$$

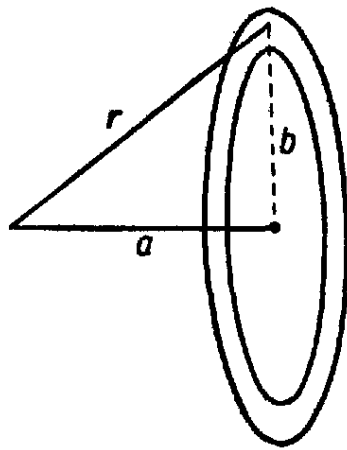


Рис. 18.

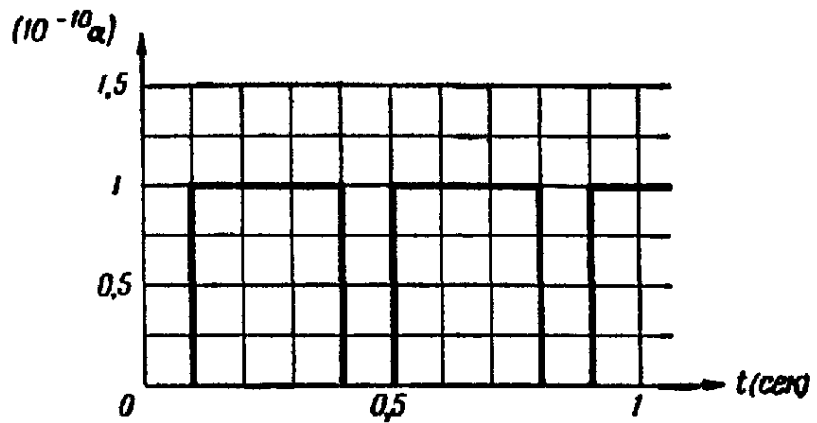


Рис. 19.

в) Рассмотрим (рис. 18) бесконечно узкое кольцо с радиусом b . Его площадь $dS = 2\pi b \cdot db$. Заряд на нем равен

$$dq' = \sigma dS = - \frac{q \cdot ab \cdot db}{V(a^2 + b^2)^{3/2}}.$$

Полный заряд на всей стенке

$$q' = - \frac{qa}{2} \int_0^\infty \frac{2b \cdot db}{V(a^2 + b^2)^{3/2}} = -q = -5 \text{ СГСЭ ед. заряда.}$$

22—9. Пылинки, заряженные положительно, и пылинки незаряженные будут при всех условиях двигаться к проволоке. Пылинки, заряженные отрицательно, будут двигаться к трубе, если они находятся вдали от проволоки, и к проволоке, если они находятся ближе определенного расстояния.

22—10. Работа производится за счет энергии руки при переносе заряда от более низкого потенциала к более высокому. Поэтому при первых переносах, пока потенциалы близки, работа мала.

22—11. См рисунок 19.

$$23-1. k = 0,48 \text{ ед. СГСЭ или } k' = 5,3 \cdot 10^{-11} \frac{\kappa}{\text{м} \cdot \text{в}}.$$

$$23-2. 1,06 \cdot 10^{-8} \frac{\kappa}{\text{см}^2}.$$

$$23-3. \text{ а) } 78^\circ 46'; \text{ б) } 131 \frac{\text{в}}{\text{см}}; \text{ в) } 0,034 \text{ ед. СГСЭ.}$$

23—4. а) Условие равенства индукции в воздухе и в керосине дает

$$\left(\frac{a}{h^2} - 2\pi\sigma_1 \right) \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \left(\frac{q}{h^2} + 2\pi\sigma_1 \right),$$

здесь ϵ_0 и ϵ — электрические проницаемости воздуха и керосина. Отсюда

$$\sigma_1 = \frac{q}{2\pi h^2} \cdot \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon + \epsilon_0} = 0,29 \text{ ед. СГСЭ.}$$

$$\text{б) } \sigma_1 = \frac{qh}{2\pi r^3} \cdot \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon + \epsilon_0} = 0,064 \text{ ед. СГСЭ.}$$

в) см. ответ к задаче 22—8:

$$q_1 = q \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon + \epsilon_0} = 17 \text{ ед. СГСЭ.}$$

23—6. Результирующая сила, действующая на верхнюю пластинку, равна сумме притяжения находящегося на ней заряда к заряду на нижней пластинке, которая имела бы место, если бы также и нижняя пластинка находилась в воздухе, и притяжения к фиктивному заряду на поверхности жидкости, плотность которого равна, как это видно из решения задачи 23—4,

$$\sigma_1 = \frac{q}{S} \cdot \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}.$$

Итак,

$$F_1 = q \left(\frac{2\pi q}{\varepsilon_1 S} + \frac{2\pi \sigma_1}{\varepsilon_1} \right) = \frac{4\pi q^2}{S} \cdot \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1 (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} = 11\,300 \text{ дин.}$$

Аналогично вычисляется сила, действующая на нижнюю пластинку:

$$F_2 = \frac{4\pi q^2}{S} \cdot \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2 (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} = 1300 \text{ дин.}$$

Сила, действующая на поверхность жидкости, равна

$$F_3 = \frac{4\pi q^2}{S} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_1} - \frac{1}{\varepsilon_2} \right) = 10\,000 \text{ дин.}$$

24—2. 15 в.

24—4. $3,5 \cdot 10^{-9}$ ф.

24—5. Емкость системы двух соприкасающихся шаров, очевидно, меньше суммы емкостей двух изолированных шаров. При удалении шаров емкость большего увеличивается на меньшую величину. Поэтому потенциал большего уменьшается на меньшую величину.

24—6. 670 см.

24—7. 350 см.

24—8. Увеличилась на 12,5%.

24—9. Увеличивается почти вдвое.

24—10. $2,6 \cdot 10^{-8}$ а.

24—11. $9 \cdot 10^{-9}$ к.

2'—12. а) $C = \frac{\varepsilon_0 d (2l - d)}{8(l - d)} = 0,257 \text{ см.}$ б) $C = \frac{\varepsilon_0 d (4l - d)}{4(2l - d)} = 0,51 \text{ см.}$

24—13. а) 7500 в; 4500 в; б) 2,25 мкк.

24—14. 40 см.

24—15. 3500 в.

24—16. Да.

24—17. а) $C = \frac{(C_1 + C_2)(C_3 + C_4)}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4}$; $C' = \frac{C_1 C_3}{C_1 + C_3} + \frac{C_2 C_4}{C_2 + C_4}$.

б) Положим, $C_3 = kC_1$; $C_4 = kC_2$;

$$C = \frac{(C_1 + C_2)^2 k}{(C_1 + C_2)(1 + k)} = \frac{(C_1 + C_2)k}{1 + k};$$

$$C' = \frac{kC_1^2}{C_1(1 + k)} + \frac{kC_2^2}{C_2(1 + k)} = \frac{(C_1 + C_2)k}{1 + k} = C.$$

24—18. $C = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 S}{4\pi(\varepsilon_2 d_1 + 2\varepsilon_1 d_2)} = 516 \text{ пф.}$

24—19. $C_1 = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 l}{2 \left(\varepsilon_1 \ln \frac{r_3}{r_2} + \varepsilon_2 \ln \frac{r_2}{r_1} \right)} = 1070 \text{ см; } C_2 = 1100 \text{ см.}$

24—20. а) 0,05 мкф. б) Увеличится в 1,75 раза.

24—21. 0,14 кал.

24—22. а) При одинаковых конденсаторах перетекания зарядов не происходит и энергия системы остается без изменения.

Это можно показать еще так: при переводе из последовательного соединения в параллельное напряжение уменьшается в n раз, а емкость увеличивается в n^2 раз. Следовательно, энергия остается без изменения.

В случае различной емкости конденсаторов при переключении происходит перетекание зарядов, т. е. частичный разряд. Энергия системы, а также работа разряда батареи уменьшается.

б) Энергия системы остается без изменения. Однако если соединить крайние обкладки конденсаторов батареи, то произойдет лишь частичный разряд батареи, так как средние конденсаторы останутся частично заряженными.

24—23. Если при замыкании ключа K происходит перетекание зарядов, то энергия системы уменьшается; отсюда следует, что емкость ее увеличилась. Если перетекания нет, то емкость остается без изменения.

$$24-24. A = \frac{\epsilon S U^2 (\epsilon - \epsilon_0)}{8\pi d \epsilon_0} = 279 \text{ эрг.}$$

$$24-25. 119 \text{ эрг.}$$

24—26. а) Изменение энергии положительно и совершается за счет механической работы при раздвигании или при вытаскивании изолятора

б) Изменение энергии отрицательно. Производится положительная механическая работа и удвоенная отрицательная работа в источнике тока.

$$24-30. A = \frac{C_1 C_2 U^2 (C_1 - C_2)^2}{2 (C_1 + C_2)^3} = 4,7 \text{ мдж.}$$

$$24-31. A = \frac{C U^2 (\epsilon - \epsilon_0)^2}{2\epsilon (\epsilon + \epsilon_0)} = 600 \text{ эрг.}$$

$$24-32. A = \frac{1}{2} \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} (U_1 - U_2)^2 = 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

$$24-33. \text{ а) } M = \frac{C_1^2 U^2 (C_1 - C_2)}{2 C^2 \pi}; 48 \text{ дин}\cdot\text{см}; 180 \text{ дин}\cdot\text{см}; 59\,000 \text{ дин}\cdot\text{см.}$$

$$\text{б) } M = \frac{(C_1 - C_2) U^2}{2\pi} = 48 \text{ дин}\cdot\text{см при любом угле } \alpha.$$

24—34. Емкость батареи до и после пробития:

$$\frac{C}{n} \text{ и } \frac{C}{n-1}.$$

Энергия

$$\frac{C U^2}{2n} \text{ и } \frac{C U^2}{2(n-1)}.$$

Изменение энергии

$$\text{а) } \Delta \mathcal{E} = \frac{C U^2}{2} \left(\frac{1}{n-1} - \frac{1}{n} \right) = \frac{C U^2}{2n(n-1)} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ Дж.}$$

$$\text{б) } A_1 = \frac{C U^2}{2n(n-1)} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ Дж.}$$

$$\text{в) } A_2 = \frac{C U^2}{n(n-1)} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ Дж.}$$

$$24-35. 9,4 \cdot 10^{14} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^3}.$$

$$24-36. \text{ а) Нуль; б) } 0,28 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^3}.$$

24—37. а) Напряженность поля внутри шара на расстоянии r от центра равна

$$E_1 = \frac{q \cdot r}{\epsilon_0 R^3}$$

энергия

$$\mathcal{E}_1 = \int_0^R \frac{E^2 \epsilon_0}{8\pi} \cdot 4\pi r^2 \cdot dr = \frac{q^2}{10\epsilon_0 R}.$$

б) Напряженность поля вне шара на расстоянии r

$$E_2 = \frac{q^2}{\epsilon_0 r^2};$$

отсюда

$$\mathcal{E}_2 = \frac{q^2}{\epsilon_0 2R}.$$

$$\text{в) } \mathcal{E} = \frac{3}{5} \frac{q^2}{R\epsilon_0}.$$

$$\text{г) } \Delta\mathcal{E} = 0,222 \frac{q^2}{R\epsilon_0}.$$

25—1. а) 15 к; б) 0,26 к.

25—2. 44 000 $\frac{a}{\text{см}^3}$.

25—3. $3,8 \cdot 10^{-4} \frac{a}{\text{см}^2}$ и $0,19 \frac{a}{\text{см}^2}$.

25—4. 2,5 м.

25—5. 57 ом.

25—6. $R = \frac{\rho}{2\pi d} = 160 \text{ ом.}$

25—7. Нет.

25—8. а) В вольфрамовом волоске ток при включении значительно больше, чем после. В угольном — наоборот.

б) Плотность тока в вольфрамовом волоске в середине меньше, чем по краям, в угольном — наоборот.

25—9. 44° С.

25—10. 0,0049 град⁻¹.

25—11. Угольный стержень должен быть в 44 раза короче.

25—12. Для того чтобы температура не влияла на показания вольтметра, необходимо, чтобы ток, от которого зависит вращающий момент рабочей катушки, изменялся пропорционально изменению упругости пружинки. Температурный коэффициент манганинового сопротивления и сопротивления катушек равен

$$\alpha = \alpha_1 \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

Компенсация получится при условии $\frac{1}{1+\alpha t} = 1 + \beta t$, что ввиду малости

β может быть заменено соотношением $\alpha = -\beta$, откуда

$$\alpha_1 \frac{R_1}{R_1 + R_2} = -\beta; R_2 = 9R_1.$$

25—13. а) 45 в и 15 в; б) 20 в и 40 в; в) 60 в и 0.

24—14. $U = j_0 \pi d \rho \omega = 6,4 \text{ в.}$

25—15. $R_x = R \frac{(U_0 - U_2) U_1}{(U_0 - U_1) U_2} = 78\,600 \text{ ом.}$

25—16. 77 ма.

25—17. 4,1 в и 0,05 ом.

25—18. а) —2 в; знак минус указывает, что источник тока включен встречно; б) 3,2 в.

25—19. 0,47 а.

25—20. а) $E_1 > 2E_2$; б) $E_1 = 2E_2$; в) $E_1 < 2E_2$.

25—21. Стрелка первого вольтметра отклонится вправо и покажет 1,75 в; стрелка второго вольтметра отклонится влево и покажет 1,5 в.

25—22. а) Нуль; б) нуль; в) разность потенциалов между проводами через нечетное число элементов равна E_1 , через четное — нулю.

25—23. $q = I\rho\varepsilon' = 1,8 \cdot 10^{-10}$ к.

25—24. На границах слоя электролита образуются действительные заряды, изменяющие поле.

25—26. Силовые линии следуют всем изгибам трубки или провода. Это вызывается наличием действительных зарядов на стенках трубки (или на изоляции провода).

25—27. а) $0,013 \frac{a}{\text{см}^2}$; б) $0,0057 \frac{a}{\text{см}^2}$; в) 4,1а.

25—28. а) Это явствует из следующего рассуждения. На основании закона Ома (который можно применять ввиду малости получающихся при этом плотностей тока) в слоях диэлектрика получаются напряженности E_1 и E_2 ,

отношение которых $\frac{E_1}{E_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$ отлично от отношения напряженностей в слоистом конденсаторе $\frac{E_1'}{E_2'} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$, если $\frac{\rho_1}{\rho_2} \neq \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$.

Вследствие этого равновесное состояние установится только тогда, когда на границах диэлектриков будут находиться такие заряды, при которых имеет место соотношение

$$\frac{E_1'}{E_2'} = \frac{\rho_1}{\rho_2}.$$

Очевидно, что при наличии проводимости и при условии $\frac{\rho_1}{\rho_2} \neq \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$ емкость конденсатора больше, чем при отсутствии проводимости.

б) Величину этих зарядов можно подсчитать так. Если U — полное напряжение на конденсаторе, то по закону Ома

$$E_1 = \frac{U\rho_1}{\rho_1 d_1 + \rho_2 d_2}; \quad E_2 = \frac{U\rho_2}{\rho_1 d_1 + \rho_2 d_2}.$$

С другой стороны, при равновесии

$$E_1 = \frac{4\pi\sigma_1}{\varepsilon_1} \quad \text{и} \quad E_2 = \frac{4\pi\sigma_2}{\varepsilon_2},$$

где σ_1 и σ_2 — плотности действительных зарядов на границе диэлектриков,

$$\sigma = \sigma_1 - \sigma_2 = \frac{1}{4\pi} (\varepsilon_1 E_1 - \varepsilon_2 E_2) = \frac{U}{4\pi} \cdot \frac{\rho_1 \varepsilon_1 - \rho_2 \varepsilon_2}{\rho_1 d_1 + \rho_2 d_2} = 22 \text{ ед. СГСЭ.}$$

в) При разряде внешние заряды на обкладках конденсаторов перемещаются так, что на обкладках остаются одноименные заряды, в сумме равные σS (но не равные, вообще говоря, между собой). Получаются как бы два последовательно соединенных конденсатора, заряженных в противоположных направлениях, так что их противоположные обкладки (т. е. обкладки слоистого конденсатора) находятся при одном потенциале. Так как один из конденсаторов разряжается скорее другого, то появляется разность потенциалов между обкладками слоистого конденсатора и возможен разряд.

$$25-29. t = CR \ln \frac{E}{E-U} = 0,046 \text{ сек.}$$

$$25-30. \rho = \frac{4\pi l}{\ln \frac{q_0}{q}} = 1,47 \cdot 10^{15} \text{ ом} \cdot \text{см.}$$

$$26-1. 1,3 \text{ ом.}$$

$$26-2. \text{ а) } 0,75 \text{ ом; б) } 1 \text{ ом.}$$

$$26-3. \text{ а) } R_1 = r\sqrt{3}; \text{ б) } R_2 = \frac{r}{\sqrt{3}},$$

$$26-4. 261 \text{ ом.}$$

$$26-5. \text{ а) } +0,1\%; \text{ б) } +11\%.$$

$$25-6. \text{ а) } -0,3\%; \text{ б) } -30\%.$$

$$26-7. R = \frac{U_2}{I_2} - \frac{U_2 - U_1}{I_1} = 25,6 \text{ ом.}$$

$$26-8. 0,025 \text{ а.}$$

$$26-9. \text{ а) } 1 \text{ а; б) } 3,73.$$

$$26-10. x = 6,40 \text{ км.}$$

$$26-11. \text{ а) } \gamma \frac{(a+b)\sqrt{a^2+b^2}}{a+b+2\sqrt{a^2+b^2}}; \text{ б) } \gamma \frac{2ab + (a+b)\sqrt{a^2+b^2}}{a+b+2\sqrt{a^2+b^2}}.$$

$$26-12. l = \frac{U \cdot R_1}{R_2 R_1 + R(R_2 + R_1)} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ а.}$$

$$26-13. R_1 = \frac{R(U - U_1 - U_2)}{U_2} = 204 \text{ 000 ом.}$$

$$R_2 = \frac{R(U - U_1 - U_2)}{U_1} = 255 \text{ 000 ом.}$$

$$26-14. \text{ а) } 108 \text{ в и } 72 \text{ в, б) } 99 \text{ в и } 81 \text{ в, в) } 4000 \text{ ом и } 6000 \text{ ом.}$$

$$26-15. U_1 = U \frac{xrl}{Rx l + r l^2 - Rx^2};$$

$$\text{ а) } U_1 = 0; \text{ б) } U_1 = U; \text{ в) } U_1 = U \frac{2r}{R+4r} < \frac{1}{2} U;$$

$$\text{ г) } U_1 \text{ пропорционально } x.$$

$$26-16. 1,58 \text{ а и } 3,65 \text{ а.}$$

$$26-17. \frac{1}{3} \text{ а; } \frac{2}{3} \text{ а; } 1 \text{ а.}$$

$$26-18. \text{ а) } U_1 = 0,27 \text{ в, } U_2 = 1,27 \text{ в, } U_3 = -2,23 \text{ в, б) } 0,73 \text{ в.}$$

$$26-19. 0,5 \text{ ом, } 0,33 \text{ ом; } 0,5 \text{ ом}$$

$$26-20. I_1 = 1,5 \text{ а; } I_2 = 2,5 \text{ а, } I_3 = 4 \text{ а.}$$

$$26-21. \text{ Без вычислений видно, что } I_4 = 0, \text{ так как } R_4 \text{ закорочено. П} \\ \text{ня! это во внимание, находим } I_1 = 0,4 \text{ ма, } I_2 = 0,7 \text{ ма, } I_3 = 1,1 \text{ ма.}$$

$$26-22. \Delta t = \frac{RU}{R_{ve}} = 3,2^\circ \text{ C.}$$

$$26-23. n_1 = 2; \quad n_2 = 200.$$

$$26-24. \text{ а) } I_1 = \frac{E_1 r_2 + R(E_1 - E_2)}{r_1 r_2 + R(r_1 + r_2)}; \quad I_2 = \frac{E_2 r_1 + R(E_2 - E_1)}{r_1 r_2 + R(r_1 + r_2)};$$

$$I = \frac{E_2 r_1 + E_1 r_2}{r_1 r_2 + R(r_1 + r_2)};$$

$$\text{ б) } r = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}; \quad E = \frac{E_1 r_2 + E_2 r_1}{r_1 + r_2};$$

$$\text{в) } I_1 = \frac{E_1}{r_1}; \quad I_2 = \frac{E_2}{r_2},$$

т. е. токи таковы же, как и при коротком замыкании отдельных элементов.

г) Второй элемент не дает тока 1) если $r_2 \rightarrow \infty$. В этом случае первый элемент дает ток

$$I_1 = \frac{E_1}{r_1 + R} = I;$$

$$2) \text{ если } E_2 = \frac{E_1}{r_1 + R} \cdot R$$

Это значит, что E_2 равно напряжению во внешней цепи.

$$\text{д) } R = \frac{E_1 r_2 - E_2 r_1}{2(E_2 - E_1)}.$$

Возможно в следующих случаях: 1) при $\frac{E_1}{r_1} = \frac{E_2}{r_2}$; 2) при $\frac{E_1}{r_1} \geq \frac{E_2}{r_2}$ и $E_2 \approx E_1$.

26—25. В случае б) показание амперметра уменьшается, в случае в) увеличивается.

27—2. 23.

27—3. 54 м.

$$27-5. \text{ а) } I = \frac{nE \mp \sqrt{n^2 E^2 - 4Pnr}}{2rn}; \quad I_1 = 2\frac{2}{3}a; \quad I_2 = 2a;$$

$$\text{б) } P_{\max} = \frac{nE^2}{4r} = 8\frac{1}{6} \text{ вт}$$

$$27-7. A = \frac{1}{3} \tau R (I_1^2 + I_2^2 + I_1 I_2) = 2480 \text{ Дж.}$$

27—8. а) +2 Дж; +2 Дж;

б) +2 Дж; +0,7 Дж; в) -2 Дж, +0,6 Дж.

$$27-9. \text{ а) } \eta = \eta_0 \frac{E(I_1 + I_2) - UI_2}{UI_1} = 64\%; \quad \text{б) } 67\%.$$

$$27-10. \text{ а) } A_1 = \frac{q^2 R}{\tau} = 54 \text{ кал} = 2,4 \cdot 10^2 \text{ Дж.}$$

$$\text{б) } A_2 = \frac{4q^2 R}{3\tau} = 72 \text{ кал} = 3,0 \cdot 10^2 \text{ Дж.}$$

$$\text{в) } A_3 = \frac{\ln 2 \cdot q^2 \cdot R}{2\tau} = 19 \text{ кал} \approx 79 \text{ Дж.}$$

27—11. 7 мин

27—12. 133.

27—13. а) 30 мин, б) 6 мин 40 сек.

27—14. На основании указанного в задаче предположения можно написать

$$\frac{U_1^2}{R} \tau_1 - k\tau_1 = \frac{U_2^2}{R} \tau_2 - k\tau_2 = \frac{U_3^2}{R} \tau_3 - k\tau_3,$$

откуда

$$\tau_3 = \tau_1 \tau_2 \frac{U_1^2 - U_2^2}{U_3^2(\tau_2 - \tau_1) + U_1^2 \tau_1 - U_2^2 \tau_2} = 44 \text{ мин.}$$

$$27-15. \text{ а) } R_1 R_2 = r^2, \text{ б) } R_1 R_2 > r^2$$

$$27-16. Q = \frac{l^2}{2\pi d} \rho \tau \ln \frac{R}{r} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ кал.}$$

$$27-17. \text{ а) } \tau = \frac{Dl^2 c t \rho_0 (1 + 0,5\alpha t)}{U^2} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ сек.}$$

где $\rho_0 (1 + 0,5\alpha t)$ — среднее удельное сопротивление свинца при изменении его температуры от 0°C до точки плавления t , D и c — плотность и теплоемкость свинца.

$$\text{б) } \tau = \frac{\pi^2 d^4 D c \ln(1 + \alpha t)}{16 I^2 \rho \alpha} = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ сек.}$$

27—18. Предельный ток для данного предохранителя определяется условием, чтобы температура при установившемся режиме равнялась температуре плавления. Количество теплоты, теряемое проволокой за 1 сек, равно

$$Q = S \cdot f(t),$$

где функция $f(t)$ учитывает зависимость потери теплоты от температуры. При установившемся состоянии для первой проволоки

$$\frac{I_1^2 \rho (1 + \alpha t) l \cdot 4}{\pi d_1^2} = \pi l d_1 \cdot f(t);$$

для второй проволоки

$$\frac{I_2^2 \rho (1 + \alpha t) l \cdot 4}{\pi d_2^2} = \pi l d_2 \cdot f(t).$$

Отсюда

$$\frac{I_1^2}{I_2^2} = \frac{d_1^3}{d_2^3}; \quad I_2 = I_1 \sqrt[3]{\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3} = 23a.$$

27—19. Вследствие одинаковости температуры накала волосков боковые поверхности волосков должны быть пропорциональны мощности ламп. Отсюда, получаем

$$d_2 = d_1 \sqrt[3]{\frac{P_2^2 U_1^2}{P_1^2 U_2^2}} = 0,0131 \text{ мм}; \quad I_2 = I_1 \sqrt[3]{\frac{P_2 U_2^2}{P_1 U_1^2}} = 614 \text{ мм.}$$

27—20. 4 в; 0,55 а.

27—21. При установившемся состоянии количество теплоты, выделяемое током за 1 сек, равно количеству теплоты, рассеиваемой в воздух:

$$I^2 R = kS (t_1 - t_0),$$

где k — коэффициент теплоотдачи.

Далее

$$\Delta l = l_0 \alpha (t_1 - t_0),$$

где α — коэффициент расширения.

Отсюда

$$I^2 R = \frac{kS \Delta l}{l_0 \alpha}; \quad \frac{\Delta l}{l_0} = k_1 I^2,$$

где k_1 — коэффициент пропорциональности, равный

$$k_1 = \frac{4\alpha\rho}{\pi^2 d^3 k},$$

обратно пропорционален кубу диаметра проволоки.

27—22. По участку EC течет ток I_1 , прямо пропорциональный напряжению U ; $I_1 = k_1 U$. По участку AC течет ток $I_2 = k_2 I$ (пропорциональный нагрузочному току) минус ток $\frac{I_1}{2}$, т. е. $I_2 - \frac{I_1}{2}$. По участку CB течет ток $I_2 + \frac{I_1}{2}$

Удлинение участка AC равно $c \left(I_2 - \frac{I_1}{2}\right)^2$, где c — коэффициент пропорцио-

нальности, зависящий от размеров и материала проволоочки (см. предыдущую задачу). Удлинение участка CB равно $c \left(I_2 + \frac{I_1}{2} \right)^2$. Разность удлинений, обуславливающая поворот стрелки, равна

$$2cI_1I_2 = 2ck_1k_2IU = kP.$$

28—1. $I = \frac{Nev}{l}$, где N — общее число свободных электронов в проводе, v — скорость их упорядоченного движения. Отсюда

$$\rho = \frac{I l m}{e} = 2,3 \text{ г} \cdot \text{см} \cdot \text{сек}^{-1}.$$

28—2. а) 240 лет; б) 10 Т.

28—3. $2,8 \cdot 10^{-11} \text{ в.}$

28—4. $1,1 \cdot 10^{-10} \text{ к.}$

28—5. Наибольшая (теоретически) работа термопары равна:

$$A = Q \frac{T_1 - T_2}{T_2}.$$

Количество электричества равно:

$$q = \frac{A}{E} = \frac{Q(T_1 - T_2)}{ET_1} = 1480 \text{ к.}$$

28—7. При приближении положительного заряда по направлению к нему двигаются электроны, испускаемые накалившимся волоском. Осаждаясь на стенки колбы, они создают внутри стенки колбы поле, уничтожающее внешнее поле, и волосок остается в покое. По удалении положительного заряда волосок притягивается к отрицательному заряду на стенке колбы.

При слабом накале волосок испускает слишком мало электронов.

При сильном накале электроны, летящие от одного из электродов к другому, ионизируют остатки газа. Благодаря наличию ионов внутренний объем колбы обращается в проводник, почему электрическое поле внутри него отсутствует.

28—8. 3,1 эв.

28—9. 0,15 а.

28—10. 0,12 в.

$$29—1. v \geq 2 \sqrt{\frac{\varphi \cdot e}{m}} = 1,28 \cdot 10^6 \frac{\text{см}}{\text{сек}}.$$

29—2. а) $U \geq 13,56 \text{ в.}$

б) $U \geq \varphi (n + 1) = 67,8 \text{ в.}$

29—3. Сначала полоска притягивается, потому что на ней вследствие электризации через влияние образуется заряд, по знаку противоположный заряду на острие. Затем, когда напряженность поля вблизи острия достигает такого значения, что энергия ионов, соответствующая работе электрических сил на длине свободного пробега, оказывается достаточной для ионизации молекул воздуха, возникает ионный «ветер», полоска заряжается тем же знаком, как и острие, а потому отталкивается.

29—4. Если ω — угловая скорость вращения ионов, m_1 и m_2 — массы их, x — расстояние от первого иона до центра инерции системы, то энергии ионов равны

$$\frac{1}{2} m_1 \omega^2 x^2 \text{ и } \frac{1}{2} m_2 \omega^2 (b - x)^2.$$

По условию

$$\frac{1}{2} m_1 \omega^2 x^2 + \frac{1}{2} m_2 \omega^2 (b - x)^2 = \frac{3}{2} kT.$$

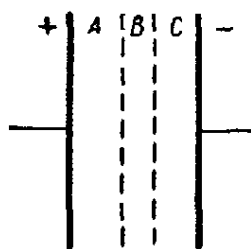


Рис. 20.

Центростремительные силы равны:

$$m_1 \omega^2 x = m_2 \omega^2 (b - x) = \frac{e^2}{\epsilon_0 b^2},$$

где e — заряд иона. Отсюда

$$b = \frac{e^2}{3kT\epsilon_0} \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ см},$$

где ϵ_0 — электрическая проницаемость вакуума.

29—5. $3,4 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$.

29—6. $4,78 \frac{\text{мкА}}{\text{см}^2}$.

29—7. $2,5 \cdot 10^7 \text{ см}^{-3} \cdot \text{сек}^{-1}$.

29—8. 17 000 раз.

29—9. а) Над океаном $n = 790 \text{ см}^{-3}$; над сушей $n = 800 \text{ см}^{-3}$.

б) Над океаном 14 м и 19,7 м; над сушей 178 см и 248 см.

29—10. а) $t = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{n_0} \right) = 62 \text{ сек}$; б) $t = \frac{1}{\beta} \ln \frac{n_0}{n} = 460 \text{ сек}$.

29—11. а) Ширина зоны A , откуда все образующиеся отрицательные ионы попадают на анод, равна (рис. 20)

$$\frac{U}{d} \tau k_+ = \frac{Un}{dq} k_+;$$

ширина зоны C равна:

$$\frac{Un}{dq} k_-.$$

В средней зоне B рекомбинация имеет место.

При получении насыщения зона B исчезает и общая ширина зон A и C делается равной d .

Отсюда

$$\frac{U}{d} = \frac{qd}{n(k_+ + k_-)}.$$

Подставляя это в формулу

$$I = en(k_+ + k_-) \frac{U}{d},$$

имеем

$$I = eqd,$$

что и требовалось доказать.

б) $U_0 = \frac{d^2 q}{n(k_+ + k_-)} = \frac{d^2 \sqrt{q\alpha}}{k_+ + k_-} = 11 \text{ в.}$

Этот результат неточен, потому что мы не приняли во внимание влияния пространственных зарядов и того обстоятельства, что $\tau = \frac{n}{q}$ есть лишь средняя продолжительность существования ионов. На деле насыщение получается при более высоких напряжениях, чем следует по найденной формуле.

29—14. Результирующая сила равна нулю, так как электроны, увеличивая свою скорость, притягиваются к себе анод.

30—2. 15,5 μ .

30—3. 0,203 г.

30—4. $m = \frac{\mu It}{2F} = 0,045 \text{ г}$, где μ — молекулярный вес воды.

30—5. Число молекул соли в 1 см^3 раствора $n = \frac{Nc}{\mu}$,
 где μ — молекулярный вес; N — число Авогадро.
 $\alpha = 0,77$.

30—6. $0,313 (\text{ом} \cdot \text{см})^{-1}$.

30—7. $2,8 \cdot 10^{-8} \text{ см}$.

30—8. а) $4,6 \cdot 10^4 \text{ н}$; б) $6 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}}{\text{сек}}$.

30—9. $7000 \frac{\text{кал}}{\text{моль}}$.

31—1. $1,42 \cdot 10^{-4} \text{ н} \cdot \text{м}$.

31—2. а) 6000 СГСМ; б) 4200 СГСМ; в) 2000 СГСМ; г) нуль.

31—3. $p = \mu_0 \omega_1 S_1 I$.

31—4. $70 \frac{\text{а}}{\text{м}}$ (рационализиров.).

31—5. Уменьшится в 2 раза.

31—6. а) Нет; б) $L = \frac{p\mu\mu}{2e} = 1,4 \cdot 10^{-7} \frac{\text{г} \cdot \text{см}^2}{\text{сек}}$, где m и e — масса и заряд электрона, μ — магнитная проницаемость среды.

31—8. Если провод, по которому идет ток I_z , расположен посередине, то решение невозможно. Если этот провод расположен с краю, то искомая прямая расположена на расстоянии 1 см от среднего провода.

31—9. На расстоянии 4 см к востоку.

31—10. а) На 2,1 см ниже провода, на 5,6 см южнее,
 б) 0,9 э и 0,63 э.

31—11. $0,7 \text{ э} = 56 \frac{\text{а}}{\text{м}}$ (рационализиров.).

31—12. $1 \text{ э} = 80 \frac{\text{а}}{\text{м}}$ (рационализиров.).

31—13. $H = \frac{2I \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{4}}{a} = 4,8 \text{ э}$.

31—14. $H = \frac{8I \sqrt{a^2 + b^2}}{ab} = 0,34 \text{ э}$.

31—15. $H = \frac{2I}{a \sqrt{3}} = 0,019 \text{ э}$.

31—16. а) $64 \frac{\text{а}}{\text{м}}$ (рационализиров.); б) $H = \frac{I \cdot R^2}{2 \sqrt{(a^2 + R^2)^3}} = 26 \frac{\text{а}}{\text{м}}$ (рационализиров.).

31—17. Нулю.

31—18. а) $7000 \frac{\text{а}}{\text{м}}$ (рационализиров.); б) $3500 \frac{\text{а}}{\text{м}}$ (рационализиров.).

31—19. Для решения удобно воспользоваться ответом к задаче 31—16, б). Обратив внимание, что на участке длиной dx (рис. 21) величина тока равна $I \omega_1 dx$, и приняв для упрощения вычислений

$$\frac{R}{\sqrt{x^2 + R^2}} = \sin \alpha \quad \text{и} \quad x = R \operatorname{ctg} \alpha,$$

получаем для случая а)

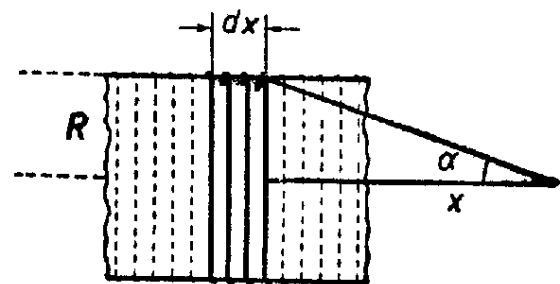


Рис. 21.

$$H = \frac{\omega_1 I}{\sqrt{1+n^2}} = \frac{2 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1} \cdot 1 \cdot 10^{-1} \text{ а}}{\sqrt{17}} = 485 \frac{\text{а}}{\text{м}} \text{ (рационализиров.)}$$

и для случая б)

$$H = \frac{\omega_1 I}{\sqrt{4+n^2}} = 450 \frac{\text{а}}{\text{м}} \text{ (рационализиров.)}.$$

31—20. Решение легко получается из ответа к задаче 31—16 б), если принять во внимание, что $a \gg R$:

$$H = \frac{p}{2\pi\mu_0 a^2} \text{ (рационализиров.)}.$$

$p = 60 \text{ СГСМ} = 6 \cdot 10^{-9} \text{ МКСА}$ (нерационализиров.) $= 7,5 \cdot 10^{-8} \text{ СИ}$ (рационализиров.).

$$H = 7,7 \cdot 10^{-2} \frac{\text{а}}{\text{м}} \text{ (рационализиров.)}.$$

$$31-21. \Phi = \frac{\mu'}{2\pi} b l w \cdot \ln \frac{R_2}{R_1} = 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ вб} \text{ (формула рационализиров.)}.$$

31—22. Отличие от нуля циркуляции напряженности магнитного поля Земли есть доказательство существования вертикальных электрических токов в атмосфере. Для тех областей, для которых циркуляция при обходе по часовой стрелке положительна, сумма токов, текущих сверху вниз, больше суммы токов, текущих снизу вверх.

31—23. а) 8 а (рационализированных единиц циркуляции системы СИ) $= 10 \text{ э} \cdot \text{см}$;

б) 16 а; в) нуль.

31—24. Для доказательства надо воспользоваться теоремой о циркуляции напряженности.

31—25. а) Поле вокруг тонкой проволоки и поле вне трубы таково же, как и поле при наличии тока в длинной тонкой проволоке; поле внутри трубы отсутствует. б) Вне шара имеется поле, обусловленное наличием тока в проводе, подводящем ток к шару; ток, идущий от шара, магнитного поля не имеет.

$$31-26. \Phi = \frac{\mu' l l \ln \frac{R_2}{R_1}}{2\pi} = 3,13 \cdot 10^{-4} \text{ вб}.$$

$$31-27. \text{ а) } H = \frac{I r}{2\pi R^2} = 1 \cdot 10^3 \frac{\text{а}}{\text{м}} \text{ (рационализиров.)};$$

$$\text{ б) } \Phi = \frac{\mu' l l}{4\pi} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ вб}.$$

31—28. $H = \frac{j d}{2}$ (напряженность в рационализированной форме). Поле в полости однородно. Вектор напряженности перпендикулярен векторам j и d .

31—29. а) $5 \cdot 10^3 \frac{\text{а}}{\text{м}}$ (рационализиров.); б) $20 \frac{\text{а}}{\text{м}}$ (рационализиров.); в) силовые линии не замкнуты.

$$31-30. B = \frac{2 \cdot \text{тга} S D g}{l} = 93,5 \text{ эс} = 9,35 \cdot 10^{-3} \frac{\text{вб}}{\text{м}^2}.$$

31—31. Не разорвется. Для разрыва требуется индукция:

$$B = \frac{2 S p_0}{l d} = 40\,000 \text{ эс} = 4 \frac{\text{вб}}{\text{м}^2}.$$

31—32. 120 н.

31—34. Вывод задачи 31—33 относится к случаю одинаковой плотности тока по всему сечению проводника. Так как это трудно осуществить в толстых проводах, следует пользоваться тонкими проводами.

$$31-35. F = \frac{6\rho_1\rho_2}{\mu R^4} = 0,00058 \text{ дин.}$$

31—36. Катушки стремятся расположиться так, чтобы их магнитные поля совпадали по направлению. В случае значительной разницы диаметров катушек совпадение полей имеет место только внутри неподвижной и вне подвижной катушек, а в пространстве между ними поля имеют противоположные направления. Поэтому при большой разнице диаметров сила взаимодействия заметно меньше, чем при малой разнице.

31—37. а) Угол отклонения не изменится; б) уменьшится, если размеры стрелки сравнимы с расстоянием до провода; в) не изменится.

31—38. Намагничивание при насыщении (в рационализиров. форме); $B = \mu'_0 H + P$, где P — намагничивание.

31—39. Искомые значения B и H определяются точкой касания касательной, проведенной из начала координат к кривой намагничивания. В данном случае $B = 8800 \text{ гс}$; $H = 15 \text{ э}$.

$$31-40. 50\text{э} = 4000 \frac{a}{m} \text{ (рационализиров.)}$$

31—41. Сначала определяем H , затем по графику на рисунке 31—3 находим B .

а) $H = 20 \text{ э}$; $B = 13\,900 \text{ гс}$; б) $H = 16 \text{ э}$; $B = 13\,300 \text{ гс}$.

31—42. а) Сначала вычисляем H при силе тока $0,6 \text{ а}$, затем по графику на рисунке 31—3 находим B .

$$\Phi = 80\,000 \text{ мкс} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ вб.}$$

б) $0,75 \text{ а}$.

$$31-43. \mu = \frac{B(l-l_1)k}{4\pi\omega l - \frac{Bl_1}{\mu_0}} = 1400 \text{ ед СГСМ,}$$

где μ_0 — проницаемость воздуха.

31—44. Определяем H в первом кольце

$$H = \frac{4\omega l_1}{d} = 8\text{э.}$$

По кривой на рисунке 31—3 находим $B = 11\,400 \text{ гс}$;

$$I_2 = \frac{(\pi d - d_1) H \mu_0 + B d_1}{4\pi\omega \mu_0} = 11\text{а.}$$

Здесь μ_0 — магнитная проницаемость воздуха.

31—45. а) $1 \frac{\text{вб}}{\text{м}^2}$; б) $5 \cdot 10^{-5} \text{ МКСА}$ (нерационализиров.) = $6,3 \cdot 10^{-4} \text{ СИ}$ (МКСА рационализиров.).

31—46. Правый.

$$31-48. 3,7 \cdot 10^9 \frac{\text{см}}{\text{сек}}; 3900 \text{ эв.}$$

$$31-49. v = \frac{eB}{2\pi m} \sqrt{h^2 + 4\pi^2 R^2} = 7,6 \cdot 10^8 \frac{\text{см}}{\text{сек}}.$$

31—50. Скорость электрона должна быть направлена перпендикулярно плоскости, в которой лежат векторы E и B , и равна $v = \frac{E}{B} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$.

$$31-51. \text{ а) } a_n = 0; \quad a_t = \frac{eE}{m}, \quad \text{ б) } a_t = 0; \quad a_n = \frac{e}{m} \sqrt{B^2 v^2 + E^2}.$$

$$31-52. \text{ б) } B = \frac{\sqrt{2\mathcal{E}m}}{eR} = 4800 \text{ зс.}$$

$$\text{в) } t = \frac{\sqrt{2\mathcal{E}m}}{2eU} (\pi R + 2d) = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ сек.}$$

$$32-1. 1570 \text{ эрг} = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ Дж.}$$

32-2. Никак.

32-3. Во втором случае больше.

3'-1. За счет работы аккумулятора.

32-5. а) Одинаковое; б) в первом случае больше.

32-6. Отброс гальванометра в случае пунктирной линии больше.

32-7. По наружному контуру идет индукционный ток. В радиальных проводниках токов нет.

32-8. а) Диэлектрик поляризуется. б) В сверхпроводящем кольце образуется ток, магнитный поток которого в сумме с потоком магнита равен нулю.

$$32-9. U = \pi \cdot B l^2 n \frac{k-2}{k} = 38 \text{ мкВ.}$$

$$32-10. 1,4 \cdot 10^6 \text{ сек}^{-1}.$$

$$32-11. \text{ а) } I_1 = 10^{-3} \text{ А; } I_2 = 0; I_3 = 10^{-3} \text{ А;}$$

$$\text{б) } I_1 = I_2 = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ А; } I_3 = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ А;}$$

$$\text{в) } I_1 = 0; I_2 = I_3 = 10^{-3} \text{ А.}$$

$$32-12. 7,4 \cdot 10^{-4} \text{ А.}$$

32-13. Во втором случае выделяется теплоты на 14%, а в третьем случае на 2% больше, чем в первом.

$$32-14. 0,007 \text{ к.}$$

$$32-15. q = \frac{\mu E S^2}{\rho^2 l} = 1,38 \cdot 10^{-2} \text{ К (формула нерационализированная).}$$

$$32-16. q = \frac{H_n \mu_0 m}{4 \pi \rho D} = 0,053 \text{ К, где } \mu_0 \text{ — магнитная проницаемость воздуха;}$$

D — плотность меди (формула в нерационализированной форме).

$$32-17. 3 \cdot 10^5 \text{ мкс} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

32-18. Увеличивается.

$$32-20. \omega = \frac{1}{\pi d} \sqrt{\frac{lL}{\mu}} = 1200 \text{ витков (формула в нерационализированной форме).}$$

$$32-21. L = \frac{m R \mu}{D \cdot \rho l} = 16,5 \text{ мГн (формула в нерационализированной форме).}$$

$$32-22. \text{ а) } 1,5 \text{ мГн; б) } 5 \text{ мГн.}$$

32-23. а) Магнитные поля катушек одинаково направлены; б) противоположны, в) образуют прямой угол.

$$32-25. \text{ а) } 0,81 \text{ мГн; б) около } 350 \text{ см.}$$

$$32-26. \text{ а) } 1,9 \text{ мГн; б) } 0,23 \text{ мГн.}$$

32-27. а) Сначала определим H :

$$H = \frac{4 \omega l}{d} = 20 \text{ А.}$$

Затем по кривой намагничивания (рис. 31—3) находим B и определяем L :

$$L = 3,5 \text{ Гн.}$$

$$\text{б) } 18,5 \text{ Гн.}$$

32-28. У соленоида, сердечник которого изображен справа, напряженность поля во всем сечении почти одна и та же. Поэтому индуктивность его меняется в зависимости от величины тока по тому же закону, что и μ (имеется острый максимум L).

У соленоида, сердечник которого изображен слева, напряженность поля в ближних частях значительно больше, чем в дальних. Поэтому максимум индуктивности сглажен.

$$32-29. L = \frac{4\pi\omega^2 (S_1\mu_1 + S_2\mu_2)}{l}.$$

$$32-30. L = 4\mu \ln \frac{2a-d}{d} = 2,2 \text{ мГн.}$$

$$32-31. 0,004 \text{ сек.}$$

$$32-32. \text{ Местная цепь замыкается через } 0,012 \text{ сек.}$$

$$32-33. \text{ Повысится на } 0,8^\circ.$$

32-34. а) Площадь $OABO$ равна количеству электричества, протекшего по дросселю за время $0,5 \text{ сек.}$ Площадь $OCAO$ равна $\frac{\Phi\omega}{R}$, где Φ — магнитный поток в сердечнике дросселя, ω — число витков в обмотке дросселя, R — сопротивление его обмотки.

б) Обозначим площадь $OCAO$ буквой σ ,

$$B = \frac{4\sigma\rho}{Sd}.$$

Сосчитав число клеток сетки на рисунке, которое заключает площадь $OCAO$, найдем, что $\sigma = 0,17 \text{ к.}$ Отсюда $B = 2300 \text{ Гс.}$

$$32-35. \text{ б) } U = \frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot e^{-\frac{R_1 + R_2}{L} \cdot t} = 0,076 \text{ в.}$$

$$32-36. 490 \text{ в.}$$

$$32-37. 0,008 \text{ сек.}$$

$$32-38. 0,19 \text{ дж.}$$

$$32-39. \mathcal{E} = \mu I^2 \cdot \ln \frac{R_2}{R_1} = 31300 \text{ эрг.}$$

$$32-41. 0,01 \text{ сек.}$$

$$32-42. 2 \cdot 10^{-5} \text{ дж.}$$

32-43. Бесконечность. Бесконечный прямой ток есть предельный случай конечного прямого тока. Полученный результат подчеркивает его неосуществимость.

$$32-44. \text{ а) } 0,07 \text{ дж; б) бесконечность.}$$

$$32-45. t_2 = t_1 + \frac{2I^2L}{D\pi d^2c} = 1150^\circ\text{C.}$$

32-46. Формула пункта 11 введения относится к случаю отсутствия гистерезиса.

$$32-47. \text{ а) На основании соотношения 10 введения к § 31 имеем:}$$

$$H_{\text{в}} \cdot l_{\text{в}} + H_{\text{ж}} \cdot l_{\text{ж}} = 0.$$

Здесь индексы «в» и «ж» указывают, что речь идет о напряженности магнитного поля H и длине силовых линий l в воздухе (в прорезе) и в железе (в кольце). Отсюда

$$H_{\text{ж}} = -1,3 \text{ Э;}$$

$$\text{б) } -5,2 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^3}; \quad \text{в) нуль.}$$

$$33-1. 6,3 \text{ а.}$$

$$33-2. 3,2 \text{ а.}$$

$$33-3. \text{ а) } \frac{q\pi}{2l\sqrt{2}} = 15 \text{ н.} \quad \text{б) } \frac{q\pi}{2l} = 21 \text{ н.}$$

33-4. а) 57 в; б) продолжительность свечения каждого из электродов составляет $38,5\%$ от времени горения лампы.

$$33-5. k = \frac{\pi d^2 f}{U\sqrt{2}} = 1,8 \frac{\text{см}^2}{\text{сек} \cdot \text{в}}.$$

$$33-6. \text{ а) Амперметр } A_1 \text{ покажет } I_1 = 0,5 \text{ а Амперметр } A_2 \text{ покажет } I_2 = \frac{1}{R} \sqrt{U^2 + E^2} = 1,6 \text{ а. б) } 480 \text{ кал.}$$

$$33-7. I_{\text{eff}} = \frac{I_m}{\sqrt{3}}, \quad I_{\text{med}} = \frac{I_m}{2}.$$

$$33-9. 141 \text{ в.}$$

$$33-10. \text{ а) } 6,4 \text{ мкф; б) } 0,0064 \text{ мкф.}$$

$$33-11. 0,055 \text{ гн.}$$

$$33-12. f = \frac{2\sqrt{n^2-1}\rho l}{k\pi^3 d_1^2 d_2 \mu \omega} = 1600 \text{ гц.}$$

$$33-13. \text{ а) } I = \frac{B\pi^2 d_1^3 n}{\sqrt{8(R^2 + \omega^2 L^2)}},$$

$$\text{где } R = \frac{4\rho d_1}{d_2^2} = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ ом; } \omega L = 3,08 \cdot 10^{-5} \text{ ом.}$$

Так как $\omega L \ll R$, то, пренебрегая $\omega^2 L^2$ по сравнению с R^2 , имеем

$$I = \frac{\sqrt{2} B\pi^2 d_1 \cdot d_2^2 n}{16\rho} = 0,072 \text{ а;}$$

$$\text{б) } I = \frac{\sqrt{2} B\pi d_1^2}{8L} = 16 \text{ а независимо от скорости вращения.}$$

$$33-14. \text{ В случае постоянного тока мощность в 1,2 раза больше.}$$

$$33-15. \text{ а) Нет, б) да.}$$

$$33-18. I = 0,5 \text{ а; напряжение на конденсаторе } 80 \text{ в, на сопротивле-}$$

$$\text{нии } 75 \text{ в.}$$

$$33-19. 1,6 \text{ гн.}$$

$$33-20. 0,75 \text{ а; } 0,64 \text{ а; } 0,4 \text{ а.}$$

$$33-21. 1,7 \text{ а; } 5,4 \text{ а.}$$

$$33-22. \text{ а) } 100 \text{ мкф. б) } 25 \text{ в.}$$

$$33-23. 31^\circ, 7.$$

$$33-24. 3,2 \text{ квт.}$$

$$33-25. P_1 = \frac{U_1^2}{R} = 97 \text{ вт; } P_2 = \frac{U^2 - U_1^2 - U_2^2}{2R} = 105 \text{ вт.}$$

$$33-26. 154 \text{ вт; } 312 \text{ вт.}$$

$$33-27. 27 \text{ вт.}$$

$$33-28. \text{ а) } U_1 = \sqrt{U^2 - I^2 L^2 \omega^2} - IR_0 = 114 \text{ в,}$$

б) Потребляемая квартирной сетью (включая дроссель) мощность равна

$$P = \frac{U^2 (R + R_0)}{(R + R_0)^2 + L^2 \omega^2},$$

где R — сопротивление всей сети, кроме дросселя. Отсюда

$$P_{\text{max}} = \frac{U^2}{2L\omega} = 460 \text{ вт.}$$

$$\text{в) При коротком замыкании } P_{\text{кор}} = 58 \text{ вт.}$$

$$33-29. \text{ а) Число клеток сетки, охватываемых петлей гистерезиса, приблизительно равно 38.}$$

Отсюда

$$P \approx 15, 2 \text{ вт;}$$

$$\text{б) } 4,5 \text{ ом.}$$

$$33-30. f = \frac{2}{\rho \epsilon} = 5,6 \cdot 10^6 \text{ гц.}$$

$$33-31. \rho = \frac{2}{\epsilon f} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}} = 1,28 \cdot 10^9 \text{ ом} \cdot \text{см.}$$

$$33-32. F = 25 \text{ дин.}$$

33-33. Взаимодействуют с силой, меняющейся по закону синуса с частотой 3 гц.

$$33-34. F = \frac{B_m^2 S}{16\pi\mu} = 40 \text{ н (формула в иерационализированной форме),}$$

где μ — проницаемость воздуха.

33-35. Сила притяжения мембраны к полюсам магнита равна

$$F = \frac{S}{4\pi\mu} (B_0 + B)^2 \approx \frac{S}{4\pi\mu} (B_0^2 + 2BB_0).$$

Нас интересует переменная составляющая, так как она вызывает колебания мембраны

$$F_1 = \frac{SBB_0}{2\pi\mu}.$$

Пренебрегая всеми магнитными сопротивлениями, кроме сопротивления воздушного промежутка, имеем

$$B = \frac{4\pi\omega I \mu}{2l}.$$

Отсюда амплитуда силы F_1

$$F_{1m} = \frac{SB_0\omega I_m}{l} = 48 \text{ дин.}$$

$$33-36. 44^\circ 4.$$

$$34-1. 4,7 \cdot 10^{-4} \text{ сек.}$$

$$34-2. \text{ а) } I = U_0 \sqrt{\frac{C}{2L}} = 44 \text{ ма,} \quad \text{б) } \Phi_{\max} \approx 1,1 \text{ мкс.}$$

$$34-3. 10^{-5} \text{ вт.}$$

$$34-4. \text{ а) Нет; б) да.}$$

$$34-5. \text{ Не изменится}$$

$$34-6. \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \sqrt{1 - \frac{\rho^2 Cl}{4S^2\mu}} = 2,5 \cdot 10^{-5}.$$

$$34-7. \vartheta = \frac{2\pi P}{U^2} \sqrt{\frac{L}{C}} = 0,02.$$

$$34-8. \vartheta = \frac{\pi\beta}{\sqrt{n^2 - 1}(1 + \beta)} = 0,028.$$

$$34-9. \text{ а) } \mathcal{E} = \frac{E^2(L + CR_1^2)}{2(R_1 + R_2)^2} = 380 \text{ эрг.}$$

$$\text{б) } 7 \text{ эрг.}$$

$$34-10. \text{ а) } \vartheta = 2\pi \sqrt{\frac{R^2 C}{4L - R^2 C}} = 0,2\pi = 0,63.$$

б) Максимум тока имеет место при фазовом угле ωt_1 , определяемом из соотношения

$$\operatorname{tg} \omega t_1 = \frac{4\pi}{\vartheta}, \quad \omega t_1 = 87^\circ, 1.$$

От начала колебания до максимума тока пройдет 0,24 периода.

в) Напряжение на конденсаторе равно

$$U = I \left(\frac{R}{2} + \frac{L\omega}{\operatorname{tg} \omega t} \right).$$

При $t = t_1$

$$U = I_m R.$$

Отношение энергий магнитного и электрического полей в этот момент равно

$$\frac{L}{CR^2} = 25.$$

г) Максимум напряжения имеет место при $\frac{dU}{dt} = -\frac{I}{C} = 0$, то есть при $I = 0$.

Напряжение равно нулю при

$$\operatorname{tg} \omega t_2 = -\frac{4\pi}{\vartheta}; \quad \omega t_2 = 92^\circ, 9.$$

Это соответствует 0,26 периода.

$$\text{д) } U_{\max} = \frac{I_0 \pi R}{\vartheta} \cdot e^{-\frac{R}{L} t}. \quad \text{При } t = 0, \quad U = \frac{I_0 \pi R}{\vartheta}.$$

Отсюда $I_0 = 0,05 \text{ а.}$

$$35-1. \quad 20\,700 \frac{\kappa\Gamma}{\text{мм}^2},$$

$$35-2. \quad 1340 \frac{\text{м}}{\text{сек}}.$$

$$35-3. \quad -1,9 \cdot 10^{-3} \text{град}^{-1}.$$

35-4. Вследствие того, что скорости распространения продольных и поперечных колебаний различны.

$$35-5. \quad 13^\circ, 25.$$

$$35-6. \quad 31,4 \text{ сек.}$$

$$35-7. \quad 1,42.$$

35-8. Скорость звука меньше средней скорости молекул для одноатомного газа в 1,236 раза; для двухатомного в 1,349 раза.

$$35-10. \text{ а) } 212 \text{ гц, б) } 106 \text{ гц.}$$

$$35-11. \quad 20^\circ \text{C.}$$

$$35-12. \quad 398 \text{ гц.}$$

$$35-13. \quad 20 \text{ см, } 6,6 \text{ мм или } 3,4 \text{ мм.}$$

$$35-14. \quad 0,05.$$

$$35-15. \quad 2040 \text{ гц; } 6120 \text{ гц; } 10\,200 \text{ гц.}$$

$$35-16. \text{ а) } 0,52 \text{ эрг; б) } 2,4 \cdot 10^{-4} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^3}; \quad 4,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^3}.$$

$$35-17. \quad 1,24 \text{ вт.}$$

$$35-18. \quad 8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек}}.$$

$$35-19. \quad 17,6 \text{ гц.}$$

$$35-20. \quad 11,3 \text{ км.}$$

$$35-21. \quad 2,1 \cdot 10^{10} \frac{\text{см}}{\text{сек}}.$$

$$35-22. \text{ а) Нет; е) } 7,4 \cdot 10^7 \text{ гц.}$$

$$35-23. \quad 8,4 \cdot 10^{-6} \frac{\text{в}}{\text{см}}.$$

35-24. На расстоянии 21,8 км от среднего наблюдателя.

$$35-25. \text{ б) } x = \frac{\lambda}{2 \sin u} = 17 \text{ мм.}$$

35—26. Сила электрического взаимодействия в m^2 раз больше сил магнитного взаимодействия.

36—1. а) $4,7 \cdot 10^{-8}$; б) $4,7 \cdot 10^{-9}$.

36—2. $8,7 \cdot 10^{-5}$ см.

36—3. $27,76^\circ\text{C}$.

36—4. Разборчивость речи связана с наличием верхних частот. Коэффициенты поглощения в воздухе для высоких частот больше, чем для низких, а потому верхние частоты ослабляются в большей мере, чем нижние.

36—5. а) 1,26; б) 1,12.

36—6. $0,001 \frac{\text{дин}}{\text{см}^2}$.

36—7. 51,3 дБ.

36—8. а) 26 дБ; б) 100 м.

36—9. $0,12 \text{ сек}^{-1}$.

36—10. а) 1) Частота 256 гц; порог слышимости: амплитуда давления $\Delta p_1 = 0,005 \frac{\text{дин}}{\text{см}^2}$; интенсивность звука $J_1 = 3 \cdot 10^{-7} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек}}$; верхняя граница $\Delta p_2 = 2000 \frac{\text{дин}}{\text{см}^2}$; $J_2 = 5 \cdot 10^4 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек}}$.

2) Частота 2048 гц: $\Delta p_1 = 0,0003 \frac{\text{дин}}{\text{см}^2}$; $J_1 = 1,1 \cdot 10^{-9} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек}}$;

$$\Delta p_2 = 1600 \frac{\text{дин}}{\text{см}^2}; \quad J_2 = 3 \cdot 10^4 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек}}.$$

б) Частота 32 гц не слышна; частота 2048 гц имеет громкость 70 дБ.

в) Около 20 дБ. г) Около $3 \cdot 10^{-4}$ вт.

36—12. 680 гц.

36—13. а) и б) $72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

36—14. а) 1,88 сек; б) 2,12 сек.

37—1. а) $0,0033 \frac{\text{вт}}{\text{лм}}$; б) $0,0023 \frac{\text{вт}}{\text{лм}}$.

37—2. 9 лк.

37—3. 15,3 лк.

37—4. Увеличится в 1,12 раза.

37—5. 25 000 св.

37—6. а) 10,2 лк; 10,9 лк.

37—7. а) Около 10 лк. б) Расстоянию 7 м соответствует угол с вертикалью $\alpha = 54^\circ,5$. По кривой видно, что сила света в этом направлении равна 73 св. Освещенность около 1,7 лк. в) Около 7,7 лк и 1,3 лк.

37—9. 6 сек.

37—10. 46 сек.

37—12. 30,4 лк.

37—13. $E = \frac{F}{2\pi al} = 700 \text{ лк}$.

37—14. 7000 нт.

37—15. а) $h = b$; $E_{\text{max}} = \frac{S \cdot B}{4b^2} = 41 \text{ лк}$.

б) 11,5 лк.

37—16. $530 \phi = 5,30 \cdot 10^8 \text{ лк}$.

37—17. а) 40 лк; б) 12,7 нт.

37—18. 5%.

37—19. а) 1,27 лк; б) 0,72 лк.

38—1. а) $x = 2r \sin \alpha = 10,6 \text{ см}$.

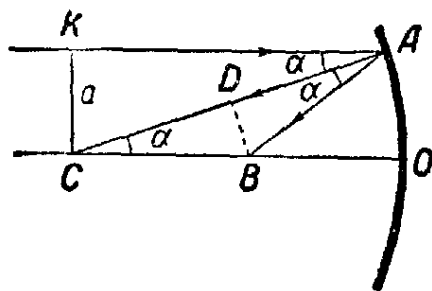


Рис. 22.

б) Сместится в противоположном направлении на расстояние

$$y = l \cdot \cos \alpha = 1,7 \text{ см.}$$

$$38-2. 0,02 \text{ см.}$$

38-4. а) На расстоянии 120 см от вершины зеркала; б) 1 см.

38-5. Из условия

$$\frac{R}{2} - BO = \frac{R}{2} 0,01$$

следует: $CB = 0,505R$.

С другой стороны (рис. 22)

$$CB = \frac{R^2}{2 \sqrt{R^2 - a^2}}.$$

Отсюда $\frac{a}{R} = 0,14$.

38-7. 24 см.

38-9. Зеркало должно образовать с горизонтом угол 34° .

38-10. $61^\circ 18'$.

38-11. а) Для доказательства возьмем три луча, лежащие в вертикальной плоскости XU , причем ось U направлена вдоль поверхности воды (рис. 23).

Уравнения лучей внутри воды имеют вид:

$$y = x \operatorname{tg} \alpha_1 + b_1;$$

$$y = x \operatorname{tg} \alpha_2 + b_2;$$

$$y = x \operatorname{tg} \alpha_3 + b_3.$$

Так как они исходят из одной точки S , то имеет место соотношение:

$$\begin{vmatrix} 1 \operatorname{tg} \alpha_1 b_1 \\ 1 \operatorname{tg} \alpha_2 b_2 \\ 1 \operatorname{tg} \alpha_3 b_3 \end{vmatrix} = 0.$$

Уравнения преломленных лучей имеют вид:

$$y = x \operatorname{tg} \beta_1 + b_1;$$

$$y = x \operatorname{tg} \beta_2 + b_2;$$

$$y = x \operatorname{tg} \beta_3 + b_3.$$

Так как $\operatorname{tg} \alpha_1 : \operatorname{tg} \alpha_2 : \operatorname{tg} \alpha_3 \neq \operatorname{tg} \beta_1 : \operatorname{tg} \beta_2 : \operatorname{tg} \beta_3$,

то

$$\begin{vmatrix} 1 \operatorname{tg} \beta_1 b_1 \\ 1 \operatorname{tg} \beta_2 b_2 \\ 1 \operatorname{tg} \beta_3 b_3 \end{vmatrix} \neq 0.$$

Это означает, что преломленные лучи не имеют общей точки.

38-12. Так как глаза наблюдателя находятся на одной высоте, то кажущееся положение предмета находится на той же вертикали, как и его истинное положение. Принимая это во внимание, находим

$$h_0 = h \sqrt{\frac{(n^2 - 1) l^2}{(H + h)^2} + 1} = 2 \text{ м.}$$

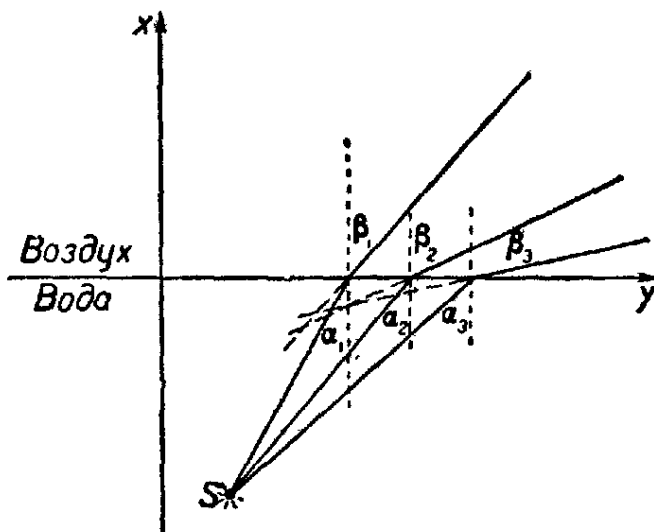


Рис. 23.

38—13. 32 см.

38—14. а) Да; б) нет.

38—15. 2 см.

38—16. 1,14 св.

38—19. а) 81° ; б) $\sqrt{2} < n < 2$.

38—20. 16° .

38—21. Угол между соседними гранями призмы должен быть равен $\theta + \epsilon_m$.

38—22. $10^\circ, 9$.

38—23. Лучи выходят из призмы параллельно прежнему направлению. Расстояние между ними не меняется. Длины лучей в призме одинаковы.

38—24. а) Луч не пройдет ни при каком угле падения. б) Луч пройдет при условии:

$0 < \gamma < \frac{\pi}{2}$, где γ — угол, показанный на рисунке 24.

в) Луч пройдет при условии: $0 < \gamma < \frac{\pi}{2} + \arcsin n \cdot \sin(\beta_0 - \vartheta)$.

38—25. В шестигранных призмах грани образуют между собой углы 120° , 60° и 90° . Гало 22° соответствует углу 60° ; гало 46° — углу 90° .

38—26. Угол наименьшего отклонения равен:

$$\epsilon_{\min} = 38^\circ 56'.$$

Наибольшее отклонение имеет место в том случае, когда луч выходит из призмы под углом, близким к $\frac{\pi}{2}$. В таком случае у первой грани угол падения

равен $\epsilon_{\max} + \vartheta - \frac{\pi}{2}$, а угол преломления $\vartheta - \beta_0$, где предельный угол β_0 при $n=1,52$ равен $41^\circ 8'$. Применяя закон преломления, имеем:

$$n \sin(\vartheta - \beta_0) = \sin\left(\epsilon_{\max} + \vartheta - \frac{\pi}{2}\right),$$

откуда

$$\epsilon_{\max} = 59^\circ 26'.$$

38—27. 1,333.

38—28. 12,5 см.

38—29. $D_1=5,2 \partial n$; $D_2=-3,9 \partial n$.

38—30. 1,48 ∂n .

38—31. 1,7.

38—32. $-38,5$ см.

38—33. 22,5 см.

38—38. 4 ∂n .

38—39. На 0,55 мм.

38—40. 20 см.

38—41. Меньшее изображение ярче в $\left(\frac{d+b}{d-b}\right)^2 = 2,25$ раза.

38—42. а) 80 см; б) 19 см; в) 69 см; г) 22 см.

38—43. а) 2500 лк и 12 500 лк; б) 5000 лк и 15 000 лк.

38—44. В 660 раз.

38—45. 9 лк.

38—46. а) $D > 0$, если $\delta < 0$, то есть если задний фокус F_1'' первой линзы дальше переднего фокуса F_2' второй линзы; $D < 0$, если F_1'' ближе F_2' ; $D=0$, если F_1'' и F_2' совпадают.

б) $D > 0$, если $\delta > 0$, то есть F_1'' лежит ближе F_2' (в отрицательной линзе передний фокус лежит сзади линзы); $D < 0$, если F_1'' лежит дальше F_2' ; $D=0$, если F_1'' и F_2' совпадают.

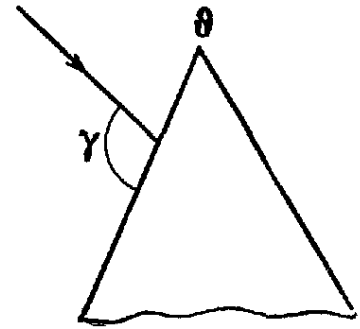


Рис. 24.

в) То же, что в случае б).

г) δ всегда положительна, и система может иметь только отрицательную оптическую силу.

38—47. а) На расстоянии 8 см. б) На расстоянии 20 см.

38—48. 60 дп.

38—49. Увеличить в 3,7 раза.

38—50. 7 дп.

38—54. а) Первая главная плоскость проходит сквозь вершину передней поверхности линзы; первая фокальная плоскость отстоит от нее на расстоянии 25 см. Вторая главная плоскость проходит внутри линзы на расстоянии 2,3 см от плоской поверхности, вторая фокальная плоскость отстоит от поверхности линзы на 22,7 см.

б) Главные плоскости проходят внутри линзы на расстоянии 1,2 см от вершин поверхностей, фокальные плоскости находятся от поверхностей линзы на расстоянии 11,9 см.

в) Первая главная плоскость расположена вне линзы на расстоянии 1,9 см от передней поверхности. Первая фокальная плоскость отстоит от линзы на 22,9 см. Вторая главная плоскость находится тоже вне линзы на расстоянии 0,4 см от передней поверхности. Вторая фокальная плоскость находится за линзой на расстоянии 17,1 см от ее поверхности.

г) Первая главная плоскость находится перед линзой на расстоянии 2,8 см от ее поверхности. Первая фокальная плоскость находится на расстоянии 24,4 см за задней поверхностью линзы. Вторая главная плоскость находится перед линзой на расстоянии 2,1 см от ее поверхности. Вторая фокальная плоскость проходит перед линзой на расстоянии 32,8 см от ее поверхности.

д) Обе главные плоскости проходят сквозь центр шара. Фокальные плоскости находятся на расстоянии 1,6 см от поверхности шара.

38—55. 29,2 см.

38—56. 1,93 дп.

38—57. 5,8 см.

38—58. а) 17,2 дп, б) 20,8 дп; в) 19,0 дп.

38—59. а) Поверхности шаров должны отстоять друг от друга на 2,5 см. б) 10.

38—61. а) 10 см; б) 2,5.

38—62. 5.

38—63. а) 14,5 см, 17,5 см; б) 64, 670.

38—64. 564

38—65. а) Увеличение будет равно 0,4, б) 12 дп и 30 дп. в) Оправа окуляра.

38—68. 9 см.

38—69. 5,8 мм.

39—2. а) Пользуемся формулой, указанной в пункте 1) введения. По рисунку 25 видно, что в данном случае

$$l = L + r \cos \alpha.$$

Далее на основании ответа к задаче 38—1 имеем

$$d = 2r \sin \alpha.$$

Отсюда, полагая для воздуха $n_1 = 1$, находим

$$x = \frac{\lambda \cdot (L + r \cos \alpha)}{2r \sin \alpha} = 2,9 \text{ мм};$$

б) сместится на расстояние

$$s' = s \frac{L}{r} = 5,4 \text{ см};$$

в) интерференционная картина не сместится, но расстояние между полосами уменьшится вдвое,

г) пользуясь ответом на вопрос б), получим, что смещение полос интерференционной картины, даваемой левым краем щели, по отношению к картине, даваемой правым краем, равно:

$$s' = b \frac{L}{r},$$

где b — ширина щели. Но по условию вопроса г) s' меньше половины расстояния между полосами. Отсюда

$$b \frac{L}{r} < \frac{\lambda (L + r \cos \alpha)}{4 \cdot r \cdot \sin \alpha}.$$

Так как α и u малы, то, пользуясь рисунком 25, можно вывести, что

$$\sin \alpha = \sin u \frac{L + r}{L}.$$

В таком случае

$$b < \frac{\lambda}{4 \sin u};$$

д) 0,052 мм;

е) 5 полос.

39—3. $\delta = \pi - \frac{\lambda (L + d)}{x d (n - 1)} = 179^\circ, 5.$

39—4. б) 1,1 мм, в) меньше 0,024 мм; г) 18 полос.

39—5. Задача неопределенная, пленка может иметь толщину $k \cdot 104$ мкм, где $k=1; 3; 5$ и т. д.

39—6. Пользуясь рисунком 26, можно найти, что увеличение толщины пленки при переходе от одной полосы к другой равно

$$\delta = l \cdot \varphi = \frac{\lambda}{2n}.$$

Отсюда

$$\varphi = \frac{\lambda}{2n \cdot l} = 9''.$$

39—7. Глаз фокусирован на пленку. Принимая во внимание, что $a \gg d$, найдем по рисунку 27

$$\sin u = \frac{d \operatorname{tg} \beta \cdot \cos \alpha}{a}.$$

Отсюда, пользуясь соотношением 2) введения к параграфу, находим

$$d_m = \frac{a \lambda \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{2b \sin 2\alpha} = 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ мм}.$$

39—9. 10,2 см.

39—10. а) $r = \sqrt{\frac{2k\lambda(n-1)}{D}} = 3,5 \text{ мм};$ б) 3 мм.

39—11. 175 мм.

39—13. 998-е кольцо, соответствующее меньшей длине волны.

39—15. Так как число зон Френеля равно

$$n = \frac{d^2}{4\lambda} \frac{l}{a(l-a)} = 2,94 \approx 3,$$

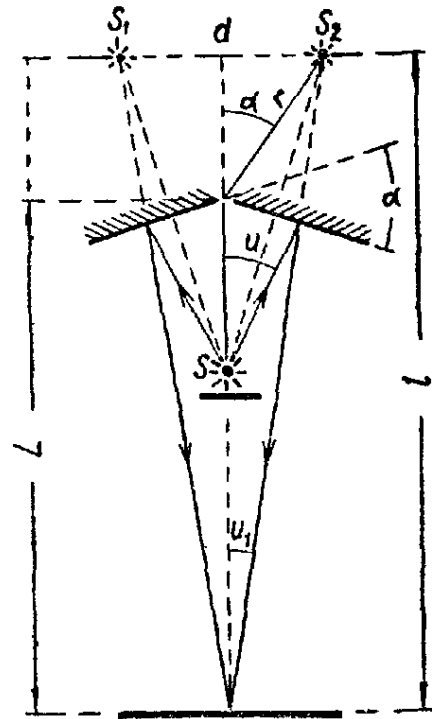


Рис 25.

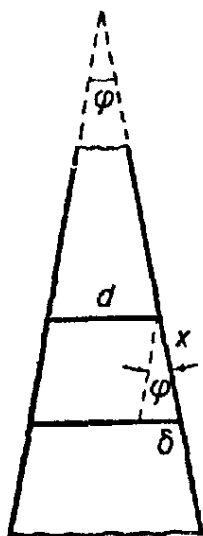


Рис. 26.

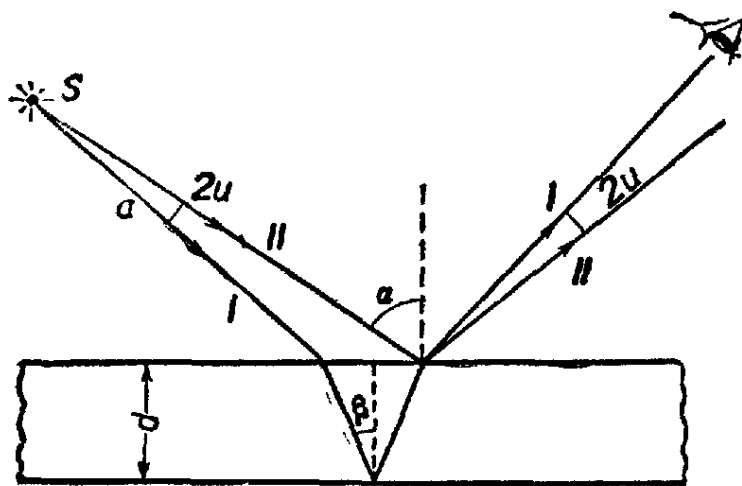


Рис. 27.

где λ — длина волны в воздухе.

39—19. 546 мкм.

39—20. а) 7'; б) —56'.

39—21. 478 мкм.

39—22. а) 3; б) 5.

39—25. а) Если толщина пластинки велика по сравнению с постоянной решетки, то можно считать, что на вторую решетку падают пучки лучей, ширина которых равна длине решетки. В этом случае свет проходит сквозь две решетки, образуя такой же дифракционный спектр, как свет, прошедший сквозь пластинку с одной решеткой.

б) Если толщина пластинки равна постоянной решетки, то, кроме света, прошедшего в направлении нормали, свет пройдет только в тех направлениях, которые удовлетворяют соотношению

$$c \cos \varphi = \frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{\lambda}{n},$$

где k_1 и k_2 — целые числа, n — коэффициент преломления.

39—26. а) Постоянную решетки хлористого натрия можно определить из соотношения:

$$d = \sqrt[3]{\frac{\mu}{2ND}},$$

где μ — молекулярный вес хлористого натрия; N — число Авогадро; D — плотность кристалла. Отсюда

$$\lambda = \frac{\sin \Theta}{k} \sqrt[3]{\frac{4\mu}{ND}} = 0,58 \text{ \AA}.$$

б) Для грани (110)

$$d_1 = \frac{d}{\sqrt{2}},$$

отсюда

$$\Theta' = 8^\circ,4.$$

39—27. 9,8 мм.

39—28. При большом диаметре зрачка острота зрения уменьшается из-за большой сферической аберрации глаза. При малом диаметре зрачка сказывается искажение изображения дифракционными явлениями.

39—29. Соответствует для острого зрения.

39—30. 4 см.

39—31. а) 1,6; б) 1,272.

39—32. $41^\circ 15'$.

39—33. $66^\circ 40'$; $46^\circ 40'$.

то освещенность при наличии ширмы больше, чем при ее отсутствии.

39—17. Нет. Угол φ' внутри стекла соответствует длине волны λ' в стекле:

$$c \sin \varphi' = k\lambda'.$$

Затем при выходе луча из стекла происходит преломление:

$$\sin \varphi' = \frac{\sin \varphi}{n},$$

где φ — измеряемый угол отклонения в воздухе:

$$c \sin \varphi = k\lambda'n = k\lambda,$$

39—34. Луч 1. Полностью поляризован. Его интенсивность 0,1.

Луч 2. После первого преломления получился луч, содержащий 0,8 естественного света и 0,1 поляризованного.

Луч 3. Полностью поляризован. Интенсивность $0,8 \cdot 0,1 = 0,08$.

Луч 4. Частично поляризован; 0,18 поляризованного света и 0,63 естественного.

39—35. а) 12 раз; б) 65 раз.

39—36. а) Прежде всего надо отметить, что число n не зависит от поглощения света внутри пластинок, так как оно одинаково и для поляризованного и для естественного света. Поэтому в дальнейшем коэффициент поглощения принят равным нулю. Если сквозь стопу прошло p поляризованного света и $1-p$ естественного, то общая интенсивность до стопы была $2p+1-p=1+p$. Таким образом, интенсивность поляризованного света равна $\frac{p}{1+p}$ от начальной, а естественного $\frac{1-p}{1+p}$ от начальной. Отсюда можно подсчитать, что интенсивность света, прошедшего сквозь две параллельные стопы, равна $\frac{1+p^2}{(1+p)^2}$ от начальной, а при скрещенных стопах $\frac{1-p}{(1+p)^2}$.

В таком случае

$$n = \frac{1+p^2}{1-p}.$$

Отсюда

$$p = -\frac{n}{2} + \sqrt{\frac{n^2}{4} + n - 1} = 0,89.$$

б) $p' = \frac{2p}{1+p^2} = 0,994$.

39—37. 6,06 мм.

39—38. Наблюдатель видит темные полосы на светлом фоне. Расстояние между полосами равно 2,7 см.

39—39. б) 80 см.

40—1. а) $3,31 \cdot 10^{-12}$ эрг; б) $1,99 \cdot 10^{-8}$ эрг; в) $48\ 000^\circ\text{K}$ и $2,9 \cdot 10^8^\circ\text{K}$.

40—2. $4 \cdot 10^5$ см⁻² · сек⁻¹.

40—3. а) 197 мкм (ультрафиолет.); б) 653 мкм (красная часть спектра).

40—4. $6,5 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$.

40—5. 3,6.

40—6. 12,41 кв · Å.

40—7. 45 кв.

40—8. а) $4,5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$; б) $9 \cdot 10^{-6} \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$; в) $6,3 \cdot 10^{-7} \frac{\text{н}}{\text{см}^2}$.

40—9. Давление света больше в 11 раз.

40—10. а) По направлению света;

б) по нормали.

40—11. Если пластинка обращена к свету блестящей стороной, то на нее действует сила $F_1 = \frac{2IS}{c}$, где S — ее поверхность.

Если пластинка обращена к свету зачерненной стороной, то сила светового давления равна $F' = \frac{IS}{c}$.

В то же время сама пластинка излучает в пространство перед собой полученную энергию. Если она излучает согласно закону Ламберта, то суммарная мощность, излучаемая во всех направлениях, равна

$$IS = \pi I' S,$$

где I' — интенсивность света, излучаемого по нормали.

Суммируя силы отдачи, действующие на пластику вследствие излучения в разных направлениях, получим общую силу отдачи

$$F'' = \frac{2IS}{3c}.$$

Результирующая сила равна

$$F_2 = F' + F'' = \frac{IS}{c} \left(1 + \frac{2}{3} \right).$$

Отсюда

$$\frac{F_1}{F_2} = 1,2.$$

40—12. а) Энергия фотонов, отраженных от движущегося зеркала, уменьшается (на волновом языке это проявление эффекта Доплера).

б) Приращение внутренней энергии пылинки меньше энергии поглощенного света.

40—13. а) $2 \cdot 10^{-12}$ см; б) $4 \cdot 10^{-9}$ см.

40—14. $9 \cdot 10^9 \frac{\text{см}}{\text{сек}}.$

40—15. 7'.

40—16. Центробежной силой является взаимодействие электрона с протоном:

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{\epsilon_0 r_1^2}.$$

Здесь r — радиус окружности, по которой движется электрон; r_1 — расстояние между центрами инерции электрона и протона; ϵ_0 — электрическая проницаемость вакуума. Так как масса электрона ничтожно мала по сравнению с массой протона, то

$$r_1 = r = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{4\pi^2 e^2 m} = 5,3 \cdot 10^{-9} \text{ см.}$$

в) Если принять, что потенциальная энергия протона и электрона, удаленного из атома в бесконечность, равна нулю, то потенциальная энергия при расстоянии r между ними

$$W_{\text{П}} = - \frac{e^2}{\epsilon_0 r}.$$

Кинетическая энергия

$$W_{\text{К}} = \frac{e^2}{2\epsilon_0 r}.$$

Следовательно, искомая работа

$$A = \frac{e^2}{2\epsilon_0 r} = 13,58 \text{ эв.}$$

Это число почти совпадает с результатом непосредственного измерения (13,54 эв).

$$\text{г) } \lambda_{\text{H}} = \frac{ch^3 \epsilon_0^2}{2\pi^2 e^4 m \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right)} = 487 \text{ мкм,}$$

что близко совпадает с результатом опыта

$$\Delta\nu = 81 \frac{\text{см}}{\text{сек}}.$$

д) Приняв во внимание, что ионизированный атом гелия имеет вдвое больший заряд ядра, чем атом водорода, и так же, как и атом водорода имеет один электрон, получим

$$\lambda_{\text{He}} = \frac{\lambda_{\text{H}}}{4} = 122 \text{ мкм},$$

что тоже близко совпадает с результатом опыта.

41—1. а) 200°K ; б) 0,23.

41—2. 8 а.

41—3. 0,063 мм.

41—4. Увеличивается в 1,14 раз.

41—5. 36 ма.

41—6. а) $0,11^\circ$; б) 1,5 а.

41—7. 5750°K .

41—8. На частицу действуют следующие силы: 1) сила притяжения к Солнцу, равная

$$F_1 = \frac{\gamma \cdot \pi d^3 m_c \cdot D}{6R^2},$$

где m_c — масса Солнца; R — расстояние от частицы до его центра; D — плотность железа;

2) сила светового давления со стороны Солнца, равная, если считать, что частица черная,

$$F_2 = - \frac{\pi d^2}{4} \cdot \sigma T_c^4 \frac{R_c^2}{R^2} \cdot \frac{1}{c},$$

где R_c — радиус Солнца.

При равновесии

$$F_1 + F_2 = 0,$$

$$d = \frac{3\sigma T_c^4 R_c^2}{2\gamma m_c D \cdot C} = 1,74 \cdot 10^{-5} \text{ см.}$$

41—10. Около 80%.

41—11. 0,3%.

41—12. 0,22 а.

41—13. $240\,000 \text{ ккал} = 1 \cdot 10^9 \text{ Дж}$.

41—14. $T = T_c \cdot \sqrt{\frac{d}{2f}} = 3000^\circ\text{K}$.

41—15. а) Мощность излучения Солнца, поглощаемая частицей, равна

$$P_1 = A \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \sigma T_c^4 \frac{R_c^2}{R^2},$$

где d — диаметр частицы; R_c — радиус поверхности Солнца; A — коэффициент поглощения.

Мощность излучения частицы по всем направлениям равна

$$P_2 = A \cdot \pi d^2 \cdot \sigma T^4.$$

При равновесии

$$P_1 = P_2,$$

$$T = T_c \sqrt{\frac{R_c}{2R}} = 290^\circ\text{K},$$

т. е. мало отличается от средней температуры поверхности Земли.

б) Мощность излучения Солнца, поглощаемая частицей, равна

$$P_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{2\pi h c^2 \Delta \lambda}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda k T_c}} - 1 \right)} \cdot \frac{R_c^2}{R^2}.$$

Мощность, излучаемая частицей, равна

$$P_2 = \pi d^2 \cdot \frac{2\pi hc^2 \Delta \lambda}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda k T_c}} - 1 \right)}.$$

При равновесии

$$P_1 = P_2,$$

имея в виду, что

$$e^{\frac{hc}{\lambda k T_c}} = e^{4,8} \gg 1$$

и что $T < T_c$, получаем

$$T = \frac{1}{\frac{1}{T_c} + \frac{2\lambda k \ln \frac{2R}{R_c}}{hc}} = 1700^\circ \text{K} \text{ (выше, чем серое тело);}$$

в) $T = 230^\circ \text{K}$ (ниже, чем серое тело).

41—16. $-4,8^\circ \text{K}$.

$$41-17. \tau = \frac{Dcd}{12 \cdot A \cdot \sigma} \left(\frac{1}{T_2^3} - \frac{1}{T_1^3} \right) = 0,033 \text{ сек},$$

где D и c — плотность и удельная теплоемкость вольфрама.

41—18. При переменном токе.

41—19. Увеличилось.

41—20. Максимумы функций распределения соответствуют минимумам следующих величин:

1) Для распределения по интервалам частот

$$\lambda^3 \left(e^{\frac{hc}{\lambda k T}} - 1 \right).$$

2) Для распределения по интервалам длин волн

$$\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda k T}} - 1 \right).$$

3) Для распределения по интервалам логарифмов частот (или логарифмов длин волн)

$$\lambda^4 \left(e^{\frac{hc}{\lambda k T}} - 1 \right).$$

Поэтому значение постоянной C в законе смещения максимума функции распределения в зависимости от температуры для разных функций распределения имеет разную величину. Обычно указывают значение C для распределения по интервалам длин волн (так сделано и в таблице VI).

Для серых тел значение постоянной C то же, что и для полных излучателей.

$$41-21. \text{ а) } \lambda_0 = C \sqrt[4]{\frac{A\pi d l \sigma}{P - P_1}} = 1,2 \text{ мк};$$

б) 6,9 мк.

41—22. Обратив внимание, что при указанных условиях $e^{\frac{hc}{\lambda k T}} \gg 1$, можно выразить искомое отношение так:

$$x = \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^5 e^{\frac{hc}{kT} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)} = 2,9.$$

42—1. 8 α -превращений и 6 β -превращений.

42—2. 61 сек.

42—3. 4,4 мин

42—4. $1,9 \cdot 10^{-8}$ г.

42—5. 0,34.

42—6. $3,4 \cdot 10^{-7}$.

42—7. По схеме на рисунке 42—1 видно, что число выбрасываемых смесью α -частиц в 4 раза больше числа частиц, выбрасываемых одним радием,

$$1,48 \cdot 10^8 \text{ сек}^{-1}.$$

42—8. 0,66 мм³.

42—9. $1,6 \cdot 10^5$.

42—10. 0,51 Мэв.

42—11. а) 2,2 Мэв; б) 28 Мэв.

42—12. $2,1 \cdot 10^9 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$.

42—13. Применяя законы сохранения энергии и сохранения количества движения, получим

$$E_2 = \frac{Q \cdot m_3 + E_1(m_3 - m_1)}{m_2 + m_3}.$$

Здесь Q — энергия, связанная с изменением масс частиц и равная

$$Q = (2m_1 - m_2 - m_3) \cdot c^2,$$

а m_1 , m_2 и m_3 суть массы дейтерия, нейтрона и атома ${}_2\text{He}^3$.

$E_2 = 2,6$ Мэв.

$$42—14. \text{ а) } \mathcal{E} = \frac{3}{5} e^2 \left(\frac{Z_U^2}{R_U} - \frac{Z_{\text{Rb}}^2}{R_{\text{Rb}}} - \frac{Z_{\text{Cs}}^2}{R_{\text{Cs}}} \right) = 290 \text{ Мэв};$$

б) 210 Мэв;

в) 2800 м.

1. Логарифмы

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

I. Логарифмы

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

II. Синусы

	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'
0°	0000	0017	0035	0052	0070	0087	0105	0122	0140	0157
1	0175	0192	0209	0227	0244	0262	0279	0297	0314	0332
2	0349	0366	0384	0401	0419	0436	0454	0471	0488	0506
3	0523	0541	0558	0576	0593	0610	0628	0645	0663	0680
4	0698	0715	0732	0750	0767	0785	0802	0819	0837	0854
5	0872	0889	0906	0924	0941	0958	0976	0993	1011	1028
6	1045	1063	1080	1097	1115	1132	1149	1167	1184	1201
7	1219	1236	1253	1271	1288	1305	1323	1340	1357	1374
8	1392	1409	1426	1444	1461	1478	1495	1513	1530	1547
9	1564	1582	1599	1616	1633	1650	1668	1685	1702	1719
10	1736	1754	1771	1788	1805	1822	1840	1857	1874	1891
11	1908	1924	1942	1959	1977	1994	2011	2028	2045	2062
12	2079	2096	2113	2130	2147	2164	2181	2198	2215	2233
13	2250	2267	2284	2300	2317	2334	2351	2368	2385	2402
14	2419	2436	2453	2470	2487	2504	2521	2538	2554	2571
15	2588	2605	2622	2639	2656	2672	2689	2706	2723	2740
16	2756	2773	2790	2807	2823	2840	2857	2874	2890	2907
17	2924	2940	2957	2974	2990	3007	3024	3040	3057	3074
18	3090	3107	3123	3140	3156	3173	3190	3206	3223	3239
19	3256	3272	3289	3305	3322	3338	3355	3371	3387	3404
20	3420	3437	3453	3469	3486	3502	3518	3535	3551	3567
21	3584	3600	3616	3633	3649	3665	3681	3697	3714	3730
22	3746	3762	3778	3795	3811	3827	3843	3859	3875	3891
23	3907	3923	3939	3955	3971	3987	4003	4019	4035	4051
24	4067	4083	4099	4115	4131	4147	4163	4179	4195	4210
25	4226	4242	4258	4274	4289	4305	4321	4337	4352	4368
26	4384	4399	4415	4431	4446	4462	4478	4493	4509	4524
27	4540	4555	4571	4586	4602	4617	4633	4648	4664	4679
28	4695	4710	4726	4741	4756	4772	4787	4802	4818	4833
29	4848	4863	4879	4894	4909	4924	4939	4955	4970	4985
30	5000	5015	5030	5045	5060	5075	5090	5105	5120	5135
31	5150	5165	5180	5195	5210	5225	5240	5255	5270	5284
32	5299	5314	5329	5344	5358	5373	5388	5402	5417	5432
33	5446	5461	5476	5490	5505	5519	5534	5548	5563	5577
34	5592	5606	5621	5635	5650	5664	5678	5693	5707	5721
35	5736	5750	5764	5779	5793	5807	5821	5835	5850	5864
36	5878	5892	5906	5920	5934	5948	5962	5976	5990	6004
37	6018	6032	6046	6060	6074	6088	6101	6115	6129	6143
38	6157	6170	6184	6198	6211	6225	6239	6252	6266	6280
39	6293	6307	6320	6334	6347	6361	6374	6388	6401	6414
40	6428	6441	6455	6468	6481	6494	6508	6521	6534	6547
41	6561	6574	6587	6600	6613	6626	6639	6652	6665	6678
42	6691	6704	6717	6730	6743	6756	6769	6782	6794	6807
43	6820	6833	6845	6858	6871	6884	6896	6909	6921	6934
44	6947	6959	6972	6984	6997	7009	7022	7034	7046	7059

II. Синусы

	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'
45°	7071	7083	7096	7108	7120	7133	7145	7157	7169	7181
46	7193	7206	7218	7230	7242	7254	7266	7278	7290	7302
47	7314	7325	7337	7349	7361	7373	7385	7396	7408	7420
48	7431	7443	7455	7466	7478	7490	7501	7513	7524	7536
49	7547	7559	7570	7581	7593	7604	7615	7627	7638	7649
50	7660	7672	7683	7694	7705	7716	7727	7738	7749	7760
51	7771	7782	7793	7804	7815	7826	7837	7848	7859	7869
52	7880	7891	7902	7912	7923	7934	7944	7955	7965	7976
53	7986	7997	8007	8018	8028	8039	8049	8059	8070	8080
54	8090	8100	8111	8121	8131	8141	8151	8161	8171	8181
55	8192	8202	8211	8221	8231	8241	8251	8261	8271	8281
56	8290	8300	8310	8320	8329	8339	8348	8358	8368	8377
57	8387	8396	8406	8415	8425	8434	8443	8453	8462	8471
58	8480	8490	8499	8508	8517	8526	8536	8545	8554	8563
59	8572	8581	8590	8599	8607	8616	8625	8634	8643	8652
60	8660	8669	8678	8686	8695	8704	8712	8721	8729	8738
61	8746	8755	8763	8771	8780	8788	8796	8805	8813	8821
62	8829	8838	8846	8854	8862	8870	8878	8886	8894	8902
63	8910	8918	8926	8934	8942	8949	8957	8965	8973	8980
64	8988	8996	9003	9011	9018	9026	9033	9041	9048	9056
65	9063	9070	9078	9085	9092	9100	9107	9114	9121	9128
66	9135	9143	9150	9157	9164	9171	9178	9184	9191	9198
67	9205	9212	9219	9225	9232	9239	9245	9252	9259	9265
68	9272	9278	9285	9291	9298	9304	9311	9317	9323	9330
69	9336	9342	9348	9354	9361	9367	9373	9379	9385	9391
70	9397	9403	9409	9415	9421	9426	9432	9438	9444	9449
71	9455	9461	9466	9472	9478	9483	9489	9494	9500	9505
72	9511	9516	9521	9527	9532	9537	9542	9548	9553	9558
73	9563	9568	9573	9578	9583	9588	9593	9598	9603	9608
74	9613	9617	9622	9627	9632	9636	9641	9646	9650	9655
75	9659	9664	9668	9673	9677	9681	9686	9690	9694	9699
76	9703	9707	9711	9715	9720	9724	9728	9732	9736	9740
77	9744	9748	9751	9755	9759	9763	9767	9770	9774	9778
78	9781	9785	9789	9792	9796	9799	9803	9806	9810	9813
79	9816	9820	9823	9826	9829	9833	9836	9839	9842	9845
80	9848	9851	9854	9857	9860	9863	9866	9869	9871	9874
81	9877	9880	9882	9885	9888	9890	9893	9895	9898	9900
82	9903	9905	9907	9910	9912	9914	9917	9919	9921	9923
83	9925	9928	9930	9932	9934	9936	9938	9940	9942	9943
84	9945	9947	9949	9951	9952	9954	9956	9957	9959	9960
85	9962	9963	9965	9966	9968	9969	9971	9972	9973	9974
86	9976	9977	9978	9979	9980	9981	9982	9983	9984	9985
87	9986	9987	9988	9989	9990	9990	9991	9992	9993	9993
88	9994	9995	9995	9996	9996	9997	9997	9997	9998	9998
89	9998	9999	9999	9999	9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

III. Тангенсы

	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'
0°	0 000	0017	0035	0052	0070	0087	0105	0122	0140	0157
1	.0175	0192	0209	0227	0244	0262	0279	0297	0314	0332
2	.0349	0367	0384	0402	0419	0437	0454	0472	0489	0507
3	.0524	0542	0559	0577	0594	0612	0629	0647	0664	0682
4	.0699	0717	0734	0752	0769	0787	0805	0822	0840	0857
5	.0875	0892	0910	0928	0945	0963	0981	0998	1016	1033
6	.1051	1069	1086	1104	1122	1139	1157	1175	1192	1210
7	.1228	1246	1263	1281	1299	1317	1334	1352	1370	1388
8	.1405	1423	1441	1459	1477	1495	1512	1530	1548	1566
9	.1584	1602	1620	1638	1655	1673	1691	1709	1727	1745
10	.1763	1781	1799	1817	1835	1853	1871	1890	1908	1926
11	.1944	1962	1980	1998	2016	2035	2053	2071	2089	2107
12	.2126	2144	2162	2180	2199	2217	2235	2254	2272	2290
13	.2309	2327	2345	2364	2382	2401	2419	2438	2456	2475
14	.2493	2512	2530	2549	2568	2586	2605	2623	2642	2661
15	.2679	2698	2717	2736	2754	2773	2792	2811	2830	2849
16	.2867	2886	2905	2924	2943	2962	2981	3000	3019	3038
17	.3057	3076	3096	3115	3134	3153	3172	3191	3211	3230
18	.3249	3269	3288	3307	3327	3346	3365	3385	3404	3424
19	.3443	3463	3482	3502	3522	3541	3561	3581	3600	3620
20	.3640	3659	3679	3699	3719	3739	3759	3779	3799	3819
21	.3839	3859	3879	3899	3919	3939	3959	3979	4000	4020
22	.4040	4061	4081	4101	4122	4142	4163	4183	4204	4224
23	.4245	4265	4286	4307	4327	4348	4369	4390	4411	4431
24	.4452	4473	4494	4515	4536	4557	4578	4599	4621	4642
25	.4663	4684	4706	4727	4748	4770	4791	4813	4834	4856
26	.4877	4899	4921	4942	4964	4986	5008	5029	5051	5073
27	.5095	5117	5139	5161	5184	5206	5228	5250	5272	5295
28	.5317	5340	5362	5384	5407	5430	5452	5475	5498	5520
29	.5543	5566	5589	5612	5635	5658	5681	5704	5727	5750
30	.5774	5797	5820	5844	5867	5890	5914	5938	5961	5985
31	.6009	6032	6056	6080	6104	6128	6152	6176	6200	6224
32	.6249	6273	6297	6322	6346	6371	6395	6420	6445	6469
33	.6494	6519	6544	6569	6594	6619	6644	6669	6694	6720
34	.6745	6771	6796	6822	6847	6873	6899	6924	6950	6976
35	.7002	7028	7054	7080	7107	7133	7159	7186	7212	7239
36	.7265	7292	7319	7346	7373	7400	7427	7454	7481	7508
37	.7536	7563	7590	7618	7646	7673	7701	7729	7757	7785
38	.7813	7841	7869	7898	7926	7954	7983	8012	8040	8069
39	.8098	8127	8156	8185	8214	8243	8273	8302	8332	8361
40	.8391	8421	8451	8481	8511	8541	8571	8601	8632	8662
41	.8693	8724	8754	8785	8816	8847	8878	8910	8941	8972
42	.9004	9036	9067	9099	9131	9163	9195	9228	9260	9293
43	.9325	9358	9391	9424	9457	9490	9523	9556	9590	9623
44	.9657	9691	9725	9759	9793	9827	9861	9896	9930	9965

III. Тангенсы

	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'
45°	1.0000	0035	0070	0105	0141	0176	0212	0247	0283	0319
46	1.0355	0392	0428	0464	0501	0538	0575	0612	0649	0686
47	1.0724	0761	0799	0837	0875	0913	0951	0990	1028	1067
48	1.1106	1145	1184	1224	1263	1303	1343	1383	1423	1463
49	1.1504	1544	1585	1626	1667	1708	1750	1792	1833	1875
50	1.1918	1960	2002	2045	2088	2131	2174	2218	2261	2305
51	1.2349	2393	2437	2482	2527	2572	2617	2662	2708	2753
52	1.2799	2846	2892	2938	2985	3032	3079	3127	3175	3222
53	1.3270	3319	3367	3416	3465	3514	3564	3613	3663	3713
54	1.3764	3814	3865	3916	3968	4019	4071	4124	4176	4229
55	1.4281	4335	4388	4442	4496	4550	4605	4659	4715	4770
56	1.4826	4882	4938	4994	5051	5108	5166	5224	5282	5340
57	1.5399	5458	5517	5577	5637	5697	5757	5818	5880	5941
58	1.6003	6066	6128	6191	6255	6319	6383	6447	6512	6577
59	1.6643	6709	6775	6842	6909	6977	7045	7113	7182	7251
60	1.7321	7391	7461	7532	7603	7675	7747	7820	7893	7966
61	1.8040	8115	8190	8265	8341	8418	8495	8572	8650	8728
62	1.8807	8887	8967	9047	9128	9210	9292	9375	9458	9542
63	1.9626	9711	9797	9883	9970	.0057	.0145	.0233	.0323	.0413
64	2.0503	0594	0686	0778	0872	0965	1060	1155	1251	1348
65	2.144	1543	1642	1742	1842	1943	2045	2148	2251	2355
66	2.2460	2566	2673	2781	2889	2998	3109	3220	3332	3445
67	2.3559	3673	3789	3906	4023	4142	4262	4383	4504	4627
68	2.4751	4876	5002	5129	5257	5386	5517	5649	5782	5916
69	2.6051	6187	6325	6464	6605	6746	6890	7034	7179	7326
70	2.7475	7625	7776	7929	8083	8239	8397	8556	8716	8878
71	2.9042	9208	9375	9544	9714	9887	.0061	.0237	.0415	.0595
72	3.0777	0961	1146	1334	1524	1716	1910	2106	2305	2506
73	3.2709	2914	3122	3332	3544	3759	3977	4197	4420	4646
74	3.4874	5105	5339	5576	5816	6059	6305	6554	6806	7062
75	3.7321	7583	7848	8118	8391	8667	8947	9232	9520	9812
76	4.0108	0408	0713	1022	1335	1653	1976	2303	2635	2972
77	4.3315	3662	4015	4373	4737	5107	5483	5864	6252	6646
78	4.7046	7453	7867	8288	8716	9152	9594	.0045	.0504	.0970
79	5.1446	1929	2422	2924	3435	3955	4486	5026	5578	6140
80	5.6713	7297	7894	8502	9124	9758	.0405	.1066	.1742	.2432
81	6.3138	3859	4596	5350	6122	6912	7720	8548	9395	.0264
82	7.1154	2066	3002	3962	4947	5958	6996	8062	9158	.0285
83	8.1443	2636	3863	5126	6427	7769	9152	.0579	.2052	.3572
84	9.5144	9.677	9.845	10.02	10.20	10.39	10.58	10.78	10.99	11.20
85	11.43	11.66	11.91	12.16	12.43	12.71	13.30	13.30	13.62	13.95
86	14.30	14.67	15.06	15.46	15.89	16.35	16.83	17.34	17.89	18.46
87	19.08	19.74	20.45	21.20	22.02	22.90	23.86	24.90	26.03	27.27
88	28.64	30.14	31.82	33.69	35.80	38.19	40.92	44.07	47.74	52.08
89	57.29	63.66	71.62	81.85	95.49	114.6	143.2	191.0	286.5	573.0

IV. Некоторые часто встречающиеся числа

	n	$\lg n$
π	3,141593	0,49715
4π	12,56637	1,09921
$\frac{2}{\pi}$	0,63662	1,80388
π^2	9,86960	0,99430
$\sqrt{\pi}$	1,77245	0,24857
e	2,718282	0,43429
$\ln 10$	2,3026	0,33222
$\ln 2$	0,6931	—
$\sqrt{2}$	1,41421	0,15052
$\sqrt{3}$	1,73205	0,23856
1°	0,017453	радиана
$1'$	0,000291	»
$1''$	0,0000048	»

V. Некоторые соотношения между единицами

1. Соотношения между механическими единицами систем СГС и СИ (МКС)

Система Величина	СГС		МКС		Отношение един. МКС един. СГС
	название	обозначение	название	обозначение	
Длина	сантиметр	см	метр	м	10^2
Площадь	квадратный сантиметр	см ²	квадратный метр	м ²	10^4
Объем	кубический сантиметр	см ³	кубический метр	м ³	10^6
Время	секунда	сек	секунда	сек	1
Частота колебаний	герц	гц	герц	гц	1
Частота оборотов	—	$\frac{1}{сек}$	—	$\frac{1}{сек}$	1
Скорость	кин	$\frac{см}{сек}$	—	$\frac{м}{сек}$	10^3
Угловая скорость	—	$\frac{1}{сек}$	—	$\frac{1}{сек}$	1
Ускорение	гал	$\frac{см}{сек^2}$	—	$\frac{м}{сек^2}$	10^2
Угловое ускорение	—	$\frac{1}{сек^2}$	—	$\frac{1}{сек^2}$	1
Масса	грамм	г	килограмм	кг	10^3
Сила	дина	дин	ньютон	н	10^5
Давление	—	$\frac{дин}{см^2}$	—	$\frac{н}{м^2}$	10

Система Величина	СГС		СИ и МКС		Отношение един. МКС един. СГС
	название	обозначение	название	обозначение	
Плотность	—	$\frac{г}{см^3}$	—	$\frac{кг}{м^3}$	10^{-3}
Работа, энергия	эрг	эрг	джоуль	дж	10^7
Плотность энергии	—	$\frac{эрг}{см^3}$	—	$\frac{дж}{м^3}$	10
Мощность	—	$\frac{эрг}{сек}$	ватт	вт	10^7
Момент силы	—	дин·см	—	н·м	10^7
Момент инерции	—	$г·см^2$	—	кг·м ²	10^7
Количество движения	—	$\frac{г·см}{сек}$	—	$\frac{кг·м}{сек}$	10^5
Момент количества движения	—	$\frac{г·см^2}{сек}$	—	$\frac{кг·м^2}{сек}$	10^7
Вязкость (динамическая)	гуаз	пз	—	$\frac{н·сек}{м^2}$	10

2. Соотношение между единицами давления

$$\begin{aligned} \text{а) } 1 \text{ нормальная атмосфера (атм)} &= 760 \text{ мм рт. ст.} = 1,0333 \frac{кг}{см^2} = \\ &= 1,013 \cdot 10^6 \frac{дин}{см^2} = 1,013 \cdot 10^5 \frac{н}{м^2}. \end{aligned}$$

$$\text{б) } 1 \text{ мм рт. ст.} = 0,001316 \text{ атм} = 1333 \frac{дин}{см^2} = 133,3 \frac{н}{м^2}.$$

$$\text{в) } 1 \frac{кг}{см^2} = 735,6 \text{ мм рт. ст.} = 9,80665 \cdot 10^4 \frac{н}{м^2}.$$

3. Соотношение между единицами работы, энергии

$$\text{а) } 1 \text{ дж} = 0,239 \text{ кал} = 6,242 \cdot 10^{18} \text{ эв.}$$

$$\text{б) } 1 \text{ кГм} = 9,80665 \text{ дж (при подсчетах принимать } 1 \text{ кГм} = 9,8 \text{ дж).}$$

$$\text{в) } 1 \text{ кал} = 4,185 \text{ дж} = 2,612 \cdot 10^{19} \text{ эв.}$$

$$\text{г) } 1 \text{ эв} = 1,602 \cdot 10^{-12} \text{ эрг} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ дж} = 1,63 \cdot 10^{-20} \text{ кГм} = \\ = 4,45 \cdot 10^{-26} \text{ квт·ч.}$$

$$\text{д) } 1 \text{ атм} \cdot л = 101,3 \text{ дж} = 24,1 \text{ кал.}$$

4. Соотношения между единицами электрических величин в системах СГСЭ, СГСМ и МКСА

Система единиц СГСЭ есть система сантиметр — грамм — секунда, в которой в качестве основной электрической величины принята электрическая проницаемость. За единицу электрической проницаемости принята проницаемость пространства, в котором отсутствуют частицы (вакуум). Система СГСМ есть система сантиметр — грамм — секунда, в которой в качестве основной электрической величины принята магнитная проницаемость. За единицу магнитной проницаемости принята проницаемость вакуума.

Система *МКСА* есть система метр — килограмм — секунда, в которой в качестве основной электрической величины принята сила тока. Определение единицы силы тока — ампера приведено в тексте задачи 31—34. Каждой из этих систем можно пользоваться при расчетах как по иррационализированным, так и по рационализированным формулам. Однако нужно помнить, что при пользовании одной и той же системой величина одних единиц меняется при замене иррационализированных формул рационализированными, а величина других единиц остается неизменной. Эти соотношения приведены в последнем столбце таблицы V—4.

В этой книге системы *СГСЭ* и *СГСМ* используются только с иррационализированными уравнениями, а система *МКСА* как с иррационализированными, так и с рационализированными. Когда система используется с рационализированными уравнениями, ее обозначаем *СИ*.

Название величины и ее обозначение	Название единицы и ее обозначение			Отношения			
	<i>СГСЭ</i>	<i>СГСМ</i>	<i>СИ</i> и <i>МКСА</i>	$\frac{\text{ед. СГСМ}}{\text{ед. СГСЭ}}$	$\frac{\text{ед. СИ}}{\text{ед. СГСЭ}}$	$\frac{\text{ед. СИ}}{\text{ед. СГСМ}}$	$\frac{\text{ед. СИ}}{\text{ед. МКСА}} = \frac{\text{ед. СГСМ}_p}{\text{ед. СГСМ}_p} = \frac{\text{ед. СГСЭ}_p}{\text{ед. СГСЭ}}$
Количество электричества q	—	—	кулон κ	$3 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^9$	10^{-1}	1
Разность потенциалов U	—	—	вольт в	$\frac{1}{3 \cdot 10^{10}}$	$\frac{1}{3 \cdot 10^9}$	10^8	1
Напряженность электрического поля E	—	—	вольт на метр $\frac{\text{в}}{\text{м}}$	$\frac{1}{3 \cdot 10^{10}}$	$\frac{1}{3 \cdot 10^9}$	10^6	1
Индукция электрического поля D	—	—	кулон на квадратный метр $\frac{\kappa}{\text{м}^2}$	$3 \cdot 10^{10}$	$3,77 \cdot 10^9$	$1,26 \cdot 10^{-4}$	4π
Емкость C	сантиметр см	—	фарада ϕ	$9 \cdot 10^{20}$	$9 \cdot 10^{11}$	10^{-9}	1
Электрическая проницаемость	—	—	—	$9 \cdot 10^{20}$	$1,13 \cdot 10^{11}$	$1,26 \cdot 10^{-10}$	4π
Сила тока I	—	—	ампер a	$3 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^9$	10^{-1}	1

Название величины и ее обозначение	Название единицы и ее обозначение			Отношения			
	СГСЭ	СГСМ	СИ и МКСА	$\frac{\text{ед. СГСМ}}{\text{ед. СГСЭ}}$	$\frac{\text{ед. СИ}}{\text{ед. СГСЭ}}$	$\frac{\text{ед. СИ}}{\text{ед. СГСМ}}$	$\frac{\text{ед. СИ}}{\text{ед. МКСА}} = \frac{\text{ед. СГСМ}}{\text{ед. СГСЭ}} \cdot \frac{\text{ед. СИ}}{\text{ед. СГСМ}} = \frac{\text{ед. СИ}}{\text{ед. СГСЭ}}$
Плотность тока j	—	—	ампер на квадратный метр $\frac{a}{m^2}$	$3 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^5$	10^{-5}	1
Сопротивление R	—	—	ом $ом$	$\frac{1}{9 \cdot 10^{20}}$	$\frac{1}{9 \cdot 10^{11}}$	10^9	1
Удельное сопротивление ρ	—	—	ом·метр $ом \cdot м$	$\frac{1}{9 \cdot 10^{20}}$	$\frac{1}{9 \cdot 10^9}$	10^{11}	1
Напряженность магнитного поля H	—	эрстед $э$	ампер на метр $\frac{a}{m}$	$3 \cdot 10^{10}$	$3,77 \cdot 10^8$	$1,26 \cdot 10^{-2}$	4π
Магнитный момент p	—	—	—	$\frac{1}{3 \cdot 10^{10}}$	$\frac{1}{37,7}$	$\frac{10^9}{1,26}$	$\frac{1}{4\pi}$
Магнитная проницаемость μ	—	—	—	$\frac{1}{9 \cdot 10^{20}}$	$\frac{1}{1,13 \cdot 10^{15}}$	$\frac{10^6}{1,26}$	$\frac{1}{4\pi}$
Магнитный поток Φ	—	максвелл $мкс$	вебер $вб$	$\frac{1}{3 \cdot 10^{10}}$	$\frac{1}{3 \cdot 10^2}$	10^8	1
Индукция магнитного поля B	—	гаусс $гс$	вебер на квадратный метр $\frac{вб}{m^2}$	$\frac{1}{3 \cdot 10^{10}}$	$\frac{1}{3 \cdot 10^6}$	10^4	1
Индуктивность L	—	сантиметр $см$	генри $гн$	$\frac{1}{9 \cdot 10^{20}}$	$\frac{1}{9 \cdot 10^{11}}$	10^9	1

Всюду, где в настоящей таблице стоят цифры 3 и 9, следует, строго говоря, ставить 2,99776 и 2,99776². В виду малой точности числовых данных в задачах при их решении вполне возможно округление точных чисел до 3 и 9.

Далеко не все единицы в указанных системах имеют наименования и обозначения. В таких случаях следует после числа ставить наименование системы (например, количество электричества q — 5 СГСЭ).

5. Разные величины

Д л и н а: микрон ($мк$); $1 мк = 10^{-3} м$.

Д л и н а: ангстрем (\AA); $1 \text{\AA} = 10^{-8} см$.

О б ъ е м: литр ($л$); $1 л = 10^3 см^3$ (точнее, 1000,028 $см^3$).

О с в е щ е н н о с т ь: люкс и фот; $1 лк = 10^{-4} ф$.

Я р к о с т ь: нит и стильб; $1 нт = 10^{-4} сб$.

Т е п л о п р о в о д и о с т ь:

$$1 \frac{ккал}{м \cdot ч \cdot град} = 2,778 \cdot 10^{-3} \frac{кал}{см \cdot сек \cdot град} = 1,162 \cdot 10^{-2} \frac{вт}{см \cdot град}.$$

Приставки к обозначениям единиц

Мега ($М$)	...	10^6
Кило ($к$)	...	10^3
Деци ($д$)	...	10^{-1}
Санти ($с$)	...	10^{-2}
Милли ($м$)	...	10^{-3}
Микро ($мк$)	...	10^{-6}
Пико ($п$)	...	10^{-12}

VI. Основные физические величины

1) Гравитационная постоянная: $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-8} \frac{см^3}{г \cdot сек^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{м^3}{кг \cdot сек^2}$.

2) Нормальная напряженность поля тяготения Земли (ускорение падающих тел): $g_0 = 9,80665 \frac{м}{сек^2}$. При решении задач принимать g равным $9,80 \frac{м}{сек^2}$, за исключением особо оговоренных случаев.

3) Число молекул в 1 грамм-моле (число Авогадро):

$$N = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

4) Молярный объем газа при нормальных условиях: $22,4 \frac{л}{моль}$.

$$\begin{aligned} 5) \text{ Универсальная газовая постоянная } R &= 8,314 \frac{дж}{моль \cdot град} = \\ &= 0,0820 \frac{атм \cdot л}{моль \cdot град} = 0,848 \frac{кГм}{моль \cdot град} = 8,314 \cdot 10^7 \frac{эрг}{моль \cdot град} = \\ &= 1,986 \frac{кал}{моль \cdot град}. \end{aligned}$$

6) Молекулярный вес воздуха (средний): $28,9 \frac{г}{моль}$.

7) Постоянная Больцмана:

$$k = 1,380 \cdot 10^{-16} \frac{эрг}{град} = 1,380 \cdot 10^{-23} \frac{дж}{град}.$$

- 8) Точка таяния льда: $273,16^{\circ}\text{K}$ (при решении задач принимать 273°K).
 9) Постоянная закона Стефана:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-5} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{град}^4} = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}^4}.$$

- 10) Постоянная закона смещения максимума излучения:

$$C = 0,290 \text{ см} \cdot \text{град}.$$

- 11) Заряд электрона:

$$e = 4,803 \cdot 10^{-10} \text{ СГСЭ} = 1,601 \cdot 10^{-19} \text{ К}$$

(при решении задач принимать $4,80 \cdot 10^{-10} \text{ СГСЭ}$).

- 12) Масса электрона (покоящегося):

$$m_e = 9,106 \cdot 10^{-28} \text{ г}$$

(при решении задач принимать $9,1 \cdot 10^{-28} \text{ г}$).

- 13) Масса протона:

$$m_p = 1,672 \cdot 10^{-24} \text{ г}.$$

- 14) Число Фарадея:

$$F = 9,65 \cdot 10^4 \frac{\text{К}}{\text{г-экв}}.$$

- 15) Постоянная Планка:

$$h = 6,62 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{сек}.$$

- 16) Скорость света в пустоте:

$$c = 2,99776 \cdot 10^{10} \frac{\text{см}}{\text{сек}}$$

(при решении задач принимать $3 \cdot 10^{10} \frac{\text{см}}{\text{сек}}$).

VII. Атомные веса

Азот	N	14,008	Магний	Mg	24,32
Алюминий	Al	26,97	Медь	Cu	63,57
Аргон	Ar	39,944	Натрий	Na	22,997
Барий	Ba	137,36	Неон	Ne	20,183
Бериллий	Be	9,02	Никель	Ni	58,69
Бор	B	10,82	Олово	Sn	118,70
Бром	Br	79,916	Платина	Pt	195,23
Висмут	Bi	209,00	Радий	Ra	226,05
Водород	H	1,0081	Радон	Rn	222
Вольфрам	W	184	Ртуть	Hg	200,61
Гелий	He	4,004	Свинец	Pb	207,22
Железо	Fe	55,84	Сера	S	32,060
Золото	Au	197,2	Серебро	Ag	107,88
Йод	I	126,92	Углерод	C	12,00
Калий	K	38,096	Уран	U	238,14
Кальций	Ca	40,08	Фосфор	P	31,02
Кислород	O	16,000	Хлор	Cl	35,457
Кремний	Si	28,08	Хром	Cr	52,01
Литий	Li	6,94	Цинк	Zn	65,38

VIII. Массы частиц, выраженные в атомных единицах массы

$\left(\frac{1}{12} \text{ массы атома изотопа углерода } C^{12}\right)$

e электрон	0,00055	1_1H атом водорода	1,00782
n нейтрон	1,00866	2_1H атом дейтерия	2,01410
P протон	1,00728	3_2He атом гелия	3,01602
D дейтон	2,01355	4_2He атом гелия	4,00260
α α -частица	4,00150	7_3Li атом лития	7,01600

IX. Диаметр молекул и атомов (см.)

H_2	$2,3 \cdot 10^{-8}$	H_2O	$2,6 \cdot 10^{-8}$
O_2	$2,9 \cdot 10^{-8}$	He	$1,9 \cdot 10^{-8}$
N_2	$3,1 \cdot 10^{-8}$		

X. Астрономические величины

Средний радиус Земли	6370 км
Масса Земли	$5,96 \cdot 10^{27} \text{ г}$
Радиус Солнца	696 000 км
Масса Солнца	$1,97 \cdot 10^{33} \text{ г}$
Среднее расстояние от Земли до Солнца	149 000 000 км
Радиус Луны	1735 км
Масса Луны	$7,35 \cdot 10^{25} \text{ г}$
Среднее расстояние от Луны до Земли	384 000 км
Угловая скорость вращения Земли . .	$7,272 \cdot 10^{-5} \text{ сек}^{-1}$

XI. Плотности (D)

а) Газы (при нормальных условиях) $\left(\frac{\text{г}}{\text{л}}\right)$

Воздух	1,293	Кислород	1,429
Углекислый газ	1,977	Водород	0,08988

б) Жидкости $\left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$

Бензол	0,88	Спирт	0,79
Керосин	0,80	Ртуть	13,6
Скипидар	0,85	Эфир (20° С)	0,714
Касторовое масло	0,97	Глицерин	1,21

в) Твердые вещества $\left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$

Висмут	9,7	Медь	8,9
Вольфрам	19,0	Натрий хлористый	2,17
Гуммигут	1,2	Никель	8,8
Железо (сталь)	7,8	Свинец	11,3
Лед	0,917	Цинк	7,0

XII. Вязкость (η)

$$1 \frac{\text{н} \cdot \text{сек}}{\text{м}^2} = 10 \text{ пз}$$

Воздух при 0° С	$1,8 \cdot 10^{-4} \text{ пз}$
Кислород при 0° С	$1,92 \cdot 10^{-4} \text{ »}$
Вода при 15° С	0,011 »
Касторовое масло при 20° С	10 »
Глицерин	3,5 »

XIII. Разрушающее напряжение при растяжении

$$1 \frac{\kappa\Gamma}{\text{см}^2} = 9,8 \cdot 10^4 \frac{\text{н}}{\text{мм}^2}$$

Сталь	7000	κΓ/см²
Железо	6000	»
Медь	2400	»
Свинец	200	»
Стекло	300	»

XIV. Упругость

$$1 \frac{\kappa\Gamma}{\text{мм}^2} = 9,8 \cdot 10^8 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$$

Название материала	Модуль упругости 1-го рода E $\left(\frac{\kappa\Gamma}{\text{мм}^2}\right)$	Коэффициент поперечного сжатия	Модуль сдвига G $\left(\frac{\kappa\Gamma}{\text{мм}^2}\right)$	Модуль всестороннего сжатия $\left(\frac{\kappa\Gamma}{\text{мм}^2}\right)$
Сталь	20 000	0,3	8000	16 500
Железо	20 000	0,3	8000	—
Медь	12 000	0,35	4500	13 500
Свинец	1 700	0,38	560	—
Стекло	5 000	0,2—0,3	—	3 000
Дерево	1 000	—	—	—
Ртуть	—	—	—	2 500
Вода	—	—	—	200

XV. Коэффициенты теплового расширения

а) линейное расширение (α)

Цинк	$29 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$	Латунь	$19 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$
Железо (сталь)	$12 \cdot 10^{-6} \text{ »}$	Стекло	$10 \cdot 10^{-6} \text{ »}$
Медь	$17 \cdot 10^{-6} \text{ »}$	Алюминий	$24 \cdot 10^{-6} \text{ »}$

б) объемное расширение (β)

Ртуть $0,00018 \text{ град}^{-1}$

XVI. Теплоемкости твердых и жидких веществ

Название материала	Теплоемкость		Название материала	Теплоемкость	
	$\left(\frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}}\right)$	$\left(\frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}\right)$		$\left(\frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}}\right)$	$\left(\frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}\right)$
Висмут	0,031	130	Медь	0,091	380
Вольфрам	0,037	$1,5 \cdot 10^2$	Свинец	0,032	$1,3 \cdot 10^2$
Железо (сталь)	0,11	460	Спирт	0,59	$2,5 \cdot 10^3$

XVII. Теплосмкостн газон

Название газа или пара	Теплосмкостъ при постоянном давлении C_p		Теплосмкостъ при постоянном объеме C_v		Коэффициент Пуассона $\alpha = \frac{C_p}{C_v}$
	$\left(\frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}}\right)$	$\left(\frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}\right)$	$\left(\frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}}\right)$	$\left(\frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}\right)$	
Воздух	0,243	1020	0,174	728	1,40
Водяной пар	0,435	1820	0,330	1380	1,32
Аргон	0,127	531	0,0762	319	1,67
Азот	0,249	1040	0,177	741	1,41
Кислород	0,218	912	0,155	649	1,40
Углекислый газ	0,2025	847	0,156	653	1,30

XVIII. Постоянные Ван-дер-Ваальса

Вещество	a $\left(\frac{\text{л}^2 \cdot \text{атм}}{\text{моль}^2}\right)$	b $\left(\frac{\text{л}}{\text{моль}}\right)$
N ₂	1,35	0,04
Ar	1,3	0,03
H ₂ O	5,47	0,03
CO ₂	3,6	0,043
O ₂	1,35	0,03
H ₂	0,24	0,26

XIX. Теплота плавления

Лед $79,6 \frac{\text{кал}}{\text{г}} = 3,33 \cdot 10^5 \frac{\text{дж}}{\text{кг}}$.

XX. Давление и плотность насыщенного водяного пара

$t^\circ \text{C}$	p (мм рт. ст.)	D $\left(\frac{\text{г}}{\text{м}^3}\right)$	$t^\circ \text{C}$	p (мм рт. ст.)	D $\left(\frac{\text{г}}{\text{м}^3}\right)$
-23	0,58	0,66	15	12,79	12,8
0	4,58	4,84	16	13,63	13,6
1	4,93	5,22	17	14,53	14,5
2	5,29	5,60	18	15,48	15,4
3	5,69	5,98	19	16,48	16,3
4	6,10	6,40	20	17,54	17,3
5	6,54	6,84	21	18,65	18,3
6	7,01	7,3	22	19,83	19,4
7	7,51	7,8	23	21,07	20,6
8	8,05	8,3	24	22,38	21,8
9	8,61	8,8	25	23,76	23,0
10	9,21	9,4	26	25,21	24,4
11	9,84	10,0	27	26,74	25,8
12	10,52	10,7	28	28,35	27,2
13	11,23	11,4	29	30,04	28,7
14	11,99	12,1	30	31,82	30,3

XXI. Свойства насыщающего водяного пара

Давление $\left(\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}\right)$	$t^\circ \text{C}$	Удельный объем пара $\left(\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}\right)$	Скрытая теплота испарения		Полная теплота испарения	
			$\left(\frac{\text{ккал}}{\text{кг}}\right)$	$\left(\frac{\text{кдж}}{\text{кг}}\right)$	$\left(\frac{\text{ккал}}{\text{кг}}\right)$	$\left(\frac{\text{кдж}}{\text{кг}}\right)$
0,02	17,2	68,3	586,9	2456	604,1	2528
0,1	45,4	14,96	570,4	2387	617,2	2583
0,2	59,7	7,80	563,7	2359	623,3	2608
0,4	75,4	4,071	554,6	2321	630,0	2636
0,6	85,45	2,785	548,6	2296	634,1	2653,7
0,8	93,0	2,127	544,1	2277	637,1	2666
0,9	96,2	1,905	542,0	2268	638,3	2671
1	99,1	1,726	540,2	2261	639,4	2676
1,0333	100	1,674	539,7	2259	639,8	2678
1,23	105	1,420	535,4	2241	640,4	2680
1,8	116,3	0,996	529,1	2214	645,8	2703
2	119,6	0,902	526,9	2205	646,9	2707
3	132,9	0,617	517,7	2167	651,2	2725
4	142,9	0,4708	510,4	2136	654,2	2738
5	151,1	0,3818	504,1	2110	656,4	2747
6	158,1	0,3214	498,7	2087	658,2	2755
7	164,2	0,2778	493,7	2066	659,5	2760
8	169,6	0,2448	489,2	2047	660,7	2765
9	174,5	0,2189	485,0	2030	661,7	2769
10	179,0	0,1980	481,1	2013	662,5	2773
12	187,1	0,1663	473,8	1983	663,7	2778
14	194,1	0,1434	467,2	1955	664,6	2781
16	200,4	0,1261	461,2	1930	665,3	2784
18	206,2	0,1125	455,5	1906	665,8	2786
20	211,4	0,1015	450,3	1884	666,2	2788
30	232,8	0,0679	427,5	1789	666,8	2791
40	249,2	0,0506	408,9	1711	666,4	2789

XXII. Коэффициенты теплопроводности (λ)

	кал	дж
	$\frac{\text{см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}}{\text{м} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}}$	$\frac{\text{м} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}}{\text{м} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}}$
Воздух	0,00056	0,023
Алюминий	0,5	210
Висмут	0,024	10
Железо	0,14	59
Медь	0,92	380
Свинец	0,083	35
	ккал	кдж
	$\frac{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}}$	$\frac{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}}$
Асбест	0,18	0,75
Дерево (перпендикулярно к волокам)	0,15	0,63
Кирпич	0,6	2,5
Накипь котельная	2,	8
Сажа	0,06	0,25
Стекло	0,6	2,5

XXIII. Коэффициенты теплоотдачи (α)

Металл — газ	$3 \cdot 10^{-4}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{град}} = 13$	$\frac{\text{дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{град}}$
Сажа — газ	20	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}} = 84$	$\frac{\text{кдж}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}}$
Металл, покрытый накипью, — вода	5000	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}} = 2,1 \cdot 10^4$	$\frac{\text{кдж}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}}$

XXIV. Поверхностное натяжение (σ)

$$\left(1 \frac{\text{дж}}{\text{м}^2} = 1 \cdot 10 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2} \right)$$

Вода при 20° С ¹	70	эрг/см ²
Мыльная вода	40	»
Ртуть	400	»
Скипидар	27	»
Спирт	22	»

XXV. Удельные сопротивления (при комнатной температуре) и температурные коэффициенты (ρ и α)

Алюминий	$2,8 \cdot 10^{-6}$	ом·см	$4,2 \cdot 10^{-3}$	град ⁻¹
Железо	$12 \cdot 10^{-6}$	»	$6 \cdot 10^{-3}$	»
Медь	$1,7 \cdot 10^{-6}$	»	$5 \cdot 10^{-3}$	»
Никелин	$4 \cdot 10^{-5}$	»	—	
Нихром	$1 \cdot 10^{-4}$	»	—	
Свинец	$22 \cdot 10^{-6}$	»	$4,2 \cdot 10^{-3}$	»
Уголь	$4 \cdot 10^{-3}$	»	$0,8 \cdot 10^{-3}$	»

XXVI. Электрические проницаемости (ϵ)

$$\epsilon' = \epsilon \cdot 8,84 \cdot 10^{-12} \frac{\phi}{\text{м}},$$

где ϵ — электрическая проницаемость, выраженная в единицах СГСЭ;
 ϵ' — электрическая проницаемость, выраженная в рационализованной системе МКСА, т. е. в СИ

Керосин	2	(ед. СГСЭ)
Спирт	26	»
Слюда	7	»
Фарфор	6	»
Стекло	7	»
Вода	81	»
Парафин	2	»

¹ Поверхностное натяжение воды при иных температурах можно вычислить, зная, что при повышении температуры на 1° поверхностное натяжение уменьшается на $0,15 \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2}$.

XXVII. Подвижности ионов (k)

а) Водные растворы

Ag ⁺	0,00056	см ² /в·сек
K ⁺	0,00067	»
H ⁺	0,00324	»
Cl ⁻	0,00068	»
NO ₃ ⁻	0,00064	»

б) Газы при нормальных условиях

	k_+	k_-
Воздух	. . . . . 1,37 см ² /в·сек	1,91 см ² /в·сек
Азот	. . . . . 1,27 »	1,84 »

XXVIII. Работа ионизации ($\phi \cdot e$)

	однократная	двукратная
Кислород	. . . . . 13,56 эв	48,56 эв
Азот	. . . . . 14,47 »	44,05 »

XXIX. Работа выхода электронов из металла ($\phi \cdot e$)

Платина	. . . . . 6,3 эв
Цезий	. . . . . 1,9 »
Вольфрам	. . . . . 4,53 »

XXX. Скорость звука (c)

В воздухе при 0° С	. . . . . 332 м/сек
В воде	. . . . . 1450 »

XXXI. Коэффициенты преломления (средние для видимых лучей) (n)

Стекло	. . . . . 1,52
Вода	. . . . . 1,333
Лед	. . . . . 1,31

XXXII. Коэффициенты полного излучения (ϵ) и удельные сопротивления (ρ) вольфрама при различных температурах (T)

T (°K)	ϵ	ρ (ом·см·10 ⁶)
1000	0,115	25,7
1500	0,194	41,8
2000	0,260	59,1
2500	0,303	77,2
3000	0,334	96,2
3500	0,351	115,7

XXXIII. Периоды полураспада радиоактивных веществ (T)

Уран	. . . . . $4,4 \cdot 10^9$ лет = $1,4 \cdot 10^{17}$ сек
Радий	. . . . . 1590 лет = $5,02 \cdot 10^{10}$ сек
Радон	. . . . . 3,825 суток = $3,305 \cdot 10^5$ сек
Актиний	. . . . . 13,5 лет = $4,23 \cdot 10^8$ сек
RaA	. . . . . 183 сек

XXXIV. Рекомендуемые обозначения некоторых величин

Длина	l, a, d	Отношение $\frac{c_p}{c_v}$	χ
Ширина	b	Коэффициент полезного действия	η
Глубина, высота	h	Поверхностное натяжение	σ
Диаметр	d	Температура по шкале Цельсия	t
Радиус	R, r	Абсолютная температура	T
Площадь	S	Количество теплоты	Q
Объем	V	Внутренняя энергия	U
Время	t, τ	Энтропия	S
Смещение, путь	s	Удельная теплоемкость	c
Скорость	v, u	Теплота испарения	r
Ускорение	a	Теплопроводность	λ
Угловое перемещение	φ	Заряд (количество электричества)	q
Угловая скорость	ω	Заряд электрона	e
Угловое ускорение	ε	Поверхностная плотность заряда	σ
Масса	m	Объемная плотность заряда	ρ
Плотность	D	Электрическая проницаемость	ϵ
Удельный объем	v	Напряженность электрического поля	E
Сила	F	Индукция электрического поля	D
Вес (в воздухе)	P	Емкость	C
Давление	p	Напряжение (разность потенциалов)	U
Момент силы	M	Электродвижущая сила	E
Момент инерции	I	Величина тока	I, i
Количество движения	K	Плотность тока	j
Момент количества движения	L	Сопротивление	R, r
Работа	A	Удельное сопротивление	ρ
Мощность	P, N	Проводимость	G
Коэффициент трения	μ	Удельная проводимость	g
Энергия	\mathcal{E}	Напряженность магнитного поля	H
Плотность энергии	W	Индукция магнитного поля	B
Энергия кинетическая	E	Магнитная проницаемость	μ
Энергия потенциальная	Π	Магнитный поток	Φ
Напряженность поля тяготения Земли	g	Число витков катушки	w
Период	T	Индуктивность	L
Частота колебаний	f, ν	Взаимная индуктивность	M
Частота оборотов	n	Кажущееся сопротивление	z
Циклическая частота	ω	Вектор Умова — Пойнтинга	S
Разность фаз	φ	Интенсивность воли	I
Длина волны	λ	Световой поток	F
Скорость волн (фазовая)	c	Освещенность	E
Скорость волн (групповая)	u	Сила света	J
Коэффициент затухания колебаний	α	Угол между лучом и нормалью к границе двух сред	i, i_1
Логарифмический декремент затухания	θ	Преломляющий угол призмы	θ
Модуль упругости 1-го рода (модуль Юнга)	E	Фокусное расстояние линзы, зеркала	f
Коэффициент поперечного сжатия	μ	Оптическая сила	D
Модуль сдвига	G	Коэффициент преломления	n
Модуль всестороннего сжатия	K		
Коэффициент линейного расширения	α		
Коэффициент объемного расширения	β		
Молекулярный вес	μ		

ОГЛАВЛЕНИЕ

Вниманию учащихся 3

Глава I. Механика

§ 1. Кинематика	7
§ 2. Движение свободно падающих и брошенных тел . .	15
§ 3. Законы движения. Работа, мощность, энергия . .	19
§ 4. Динамика вращательного движения	29
§ 5. Закон всемирного тяготения	40
§ 6. Статика твердого тела .	43
§ 7. Прочность и упругость материалов	47
§ 8. Динамика колебательного движения. Маятники . . .	51
§ 9. Движение жидкостей и газов	57

Глава II. Молекулярная физика

§ 10. Расширение при нагревании твердых и жидких тел	62
§ 11. Свойства идеальных газов	63
§ 12. Первый принцип термодинамики в применении к идеальным газам	67
§ 13. Кинетическая теория газов	72
§ 14. Реальные газы. Критическое состояние	76
§ 15. Молекулярные силы в жидкостях	79
§ 16. Свойства паров. Влажность воздуха	83
§ 17. Свойства растворов . . .	85
§ 18. Второй принцип термодинамики	87
§ 19. Передача теплоты	90

Глава III. Электричество

§ 20. Взаимодействие зарядов .	93
§ 21. Потенциал	98
§ 22. Проводники в электрическом поле	103
§ 23. Диэлектрики в электрическом поле	105
§ 24. Емкость	107
§ 25. Закон Ома	113
§ 26. Разветвленные цепи . . .	118
§ 27. Мощность и работа тока .	124
§ 28. Электрические явления в металлах	128
§ 29. Электрический ток в газах	130
§ 30. Явления в электролитах	133
§ 31. Магнетизм	134
§ 32. Работа при перемещении проводника с током в магнитном поле и электромагнитная индукция	146
§ 33. Периодические токи . . .	156
§ 34. Электрические колебания	162

Глава IV. Волновые процессы

§ 35. Волны	165
§ 36. Звуковые явления	170

Глава V. Оптика.

Строение атома

§ 37. Законы освещения	174
§ 38. Зеркала, призмы и линзы	178
§ 39. Волновая природа света	190
§ 40. Квантовые явления в оптике	200
§ 41. Законы излучения	202
§ 42. Внутрядерные явления .	207
Ответы	210
Приложения	268

Дмитрий Иванович Сахаров

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Редактор *Т. В. Михалкевич*

Переплет художника *Г. С. Богачева*

Художественный редактор *В. С. Эрдено*

Технический редактор *В. И. Корнеева*

Корректор *Т. А. Кузнецова*

Сдано в набор 26/XI 1966 г. Подписано к печати 12/VI 1967 г. 60×90¹/₁₆. Бумага тип № 2. Печ. л. 18. Уч.-изд. л. 17,52. Тираж 100 тыс. экз. А04832.

Издательство «Просвещение» Комитета по печати при Совете Министров РСФСР.
Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41

Саратовский полиграфический комбинат
Росглавполиграфпрома Комитета по печати
при Совете Министров РСФСР. Саратов,
ул. Чернышевского, 59. Заказ № 636.

Цена без переплета 49 коп.

Переплет бум. ледерин 13 коп.
