МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
ИМ. СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

Л. Н. ЭРАСТОВ, С. Н. СОКОЛОВ

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

МОСКВА — 1963

МИНИСТЕРСТВО
ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
имени СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

Л. Н. ЭРАСТОВ, С. Н. СОКОЛОВ

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Утверждено
на заседании Редсовета
как учебное пособие
29 июня 1962 г.

МОСКВА — 1963

Замеченные опечатки

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
19	5-я сверху	заряд	заряда
26	22-я снизу	ворнулись	вернулись
45	2-я сверху	проекции	проекция
78	1-я сверху	$V_2 = V_{ш} + 50V$	$V_2 = V_{ш} + 50V_{т}$
82	10-я сверху	$p'' = \frac{V_2 p_2 (1 + \alpha_2 t_0)}{V (1 + \alpha_2 t_{20})}$	$p'' = \frac{V_2 p_2 (1 + \alpha_2 t_0)}{V (1 + \alpha_2 t_2)}$
96	3-я сверху	$= \frac{1}{2}\left[(1 + 3\alpha_1\Theta) \frac{1 + 3\alpha_2\Theta}{1 + 3\alpha_2 t_2}\right] \approx$	$= \frac{1}{2}\left[(1 + 3\alpha_1\Theta) + \frac{1 + 3\alpha_2\Theta}{1 + 3\alpha_2 t_2}\right] \approx$

Рецензенты кандидаты физ.-матем. наук

В. И. Шестаков, Г. Г. Федоров, А. А. Коробко-Стефанов

Зав. редакцией *Л. М. Банов*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемый сборник задач по физике рассчитан на лиц, поступающих в высшие учебные заведения. В нем приведены характерные для конкурсных экзаменов задачи по наиболее важным разделам курса физики. Ряд из них предлагался на вступительных экзаменах в вузах. Ко всем задачам даны подробные решения и необходимые пояснения, к которым следует обращаться лишь при затруднении их самостоятельного решения.

Прежде чем приступить к решению задач, необходимо проработать соответствующий материал по школьным учебникам и другим пособиям по физике, например по «Элементарному учебнику физики» под редакцией Г. С. Ландсберга.

Для проверки усвоения проработанного материала в настоящем пособии приведены примерные вопросы.

Перед решением задач необходимо повторить системы единиц и размерности физических величин. Краткие сведения о системах единиц даны в приложении. Задачи следует решать в общем виде, а затем в окончательный результат подставлять данные условия задач. Полезно научиться проверять правильность решения задачи по размерности величин. Для этого в окончательную формулу следует подставить размерность всех величин и произвести необходимые действия. Если полученная размерность совпадает с размерностью искомой величины, то следует считать решение задачи верным.

В приложении приведены также основные законы физики и численные значения некоторых физических величин, которые можно использовать при решении задач.

ЗАДАЧИ

I. МЕХАНИКА

1. Однородная балка весом $P = 15$ *кГ* и длиной $l = 4$ *м* находится в горизонтальном положении, опираясь на две опоры. Одна опора — под концом балки, а другая на расстоянии $l_1 = 3$ *м* от первой. Определить силы давления, оказываемые балкой на опоры.

2. С башни, высота которой $H = 40$ *м*, брошен камень в горизонтальном направлении со скоростью $v_0 = 20$ *м/сек*. На какой высоте направление вектора скорости движения камня образует с горизонтом угол $\alpha = 45°$? Найти величину этой скорости. Силами трения пренебречь.

3. С каким промежутком времени отрывались от водосточной трубы две капли, если спустя 2 сек. после начала падения второй капли расстояние между каплями было 25 *м*? Ускорение земного тяготения $q = 10$ *м/сек*^{2}.

4. Тело проходит последовательно два одинаковых отрезка пути $s = 10$ *м* с постоянным ускорением. Найти ускорение a и скорость v_0 тела в начале первого отрезка пути, если первый отрезок пройден телом за время $t_1 = 1{,}06$ сек., а второй за время $t_2 = 2{,}2$ сек.

5. По наклонной плоскости толкнули тело параллельно плоскости снизу вверх. На расстоянии $l = 30$ *см* от начала пути тело побывало дважды: через $t_1 = 1$ сек. (двигаясь вверх) и через $t_2 = 2$ сек. (возвращаясь обратно) после начала движения. Определить ускорение a и начальную скорость v_0 движения тела, считая ускорение постоянным.

6. Футболист ударяет мяч, который летит со скоростью $v = 16$ *м/сек* и попадает в штангу, находящуюся от футболиста на расстоянии $l = 5$ *м*. После отражения от штанги мяч летит в обратную сторону, причем максимальная высота подъема траектории мяча находится над футболистом. Определить угол начальной скорости мяча с горизонтом, полагая, что мяч отражается от штанги с той же скоростью, с которой ударяется, и что угол отражения мяча равен углу падения.

7. Тело бросают вертикально вверх со скоростью $v_0 = 4{,}9$ *м/сек*. Одновременно с предельной высоты, которой может достигнуть это тело, начинает падать вертикально вниз другое тело тоже с начальной скоростью v_0. Определить время t, по истечении которого тела

встретятся, расстояние H от земли и скорости v_1 и v_2 обоих тел в момент их встречи.

8. Пуля летит со скоростью $v = 500$ *м/сек*, попадает в земляной вал и, проникая на глубину $s = 2$ *м*, останавливается. Сколько времени пуля движется внутри вала? Какую скорость она имеет на глубине $l = 0{,}5$ *м*?

9. Шарик подвешен на длинной нити. Один раз его поднимают по вертикали до точки подвеса, другой раз отклоняют на небольшой угол. В каком из этих случаев шарик скорее возвратится к начальному положению?

10. Определить период колебания маятника (рис. 1). Длина нити $l = 150$ *см*, расстояние между точкой подвеса A и упором B $d = 54$ *см*.

11. С воздушного шара, опускающегося вниз с постоянной скоростью $v_0 = 2$ *м/сек*, бросили вертикально вверх камень со скоростью $v = 18$ *м/сек* относительно Земли. Какое расстояние будет между шаром и камнем, когда камень достигнет высшей точки своего полета? Через какое время камень пролетит мимо шара, падая вниз? Трением о воздух пренебречь.

12. По наклонной плоскости длиной $l = 3$ *м* движутся два тела. Одно поднимается с начальной скоростью $v_0 = 6$ *м/сек*, другое опускается с начальной скоростью $v = 0$. Определить время, через которое они встретятся, и относительную скорость в точке встречи. Полагать плоскость идеально гладкой и трение не учитывать.

13. Груз весом $P = 9{,}8$ *кГ* при помощи нити, перекинутой через невесомый блок, тянет по наклонной плоскости груз такого же веса (рис. 2). Определить натяжение нити T и ускорение a, с которым движутся грузы, если наклонная плоскость образует с горизонтом угол $\alpha = 30°$, а коэффициент трения $k = 0{,}1$.

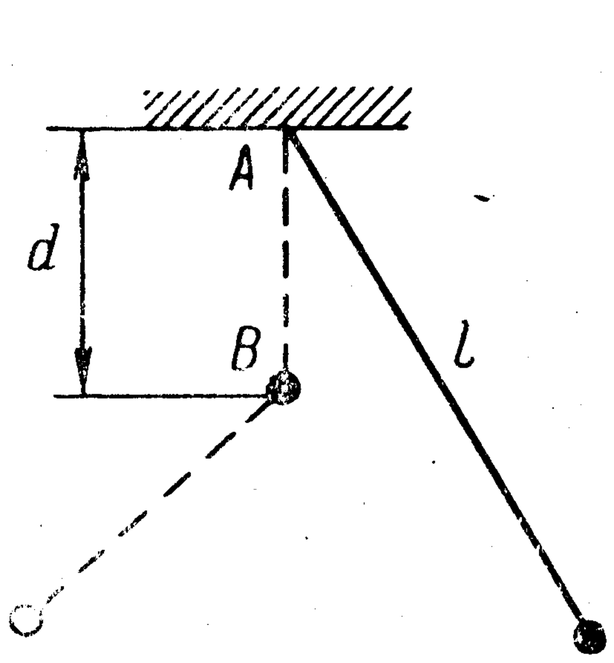


Рис. 1.

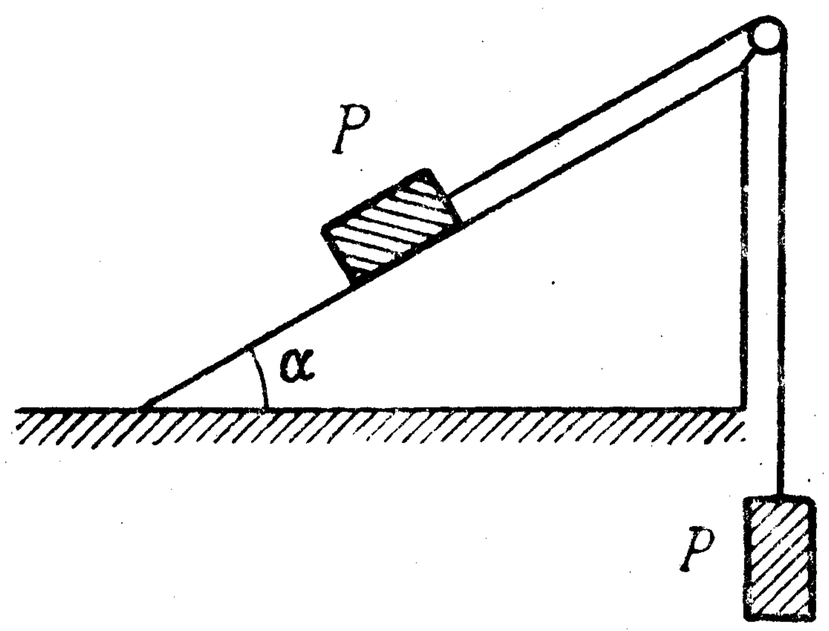


Рис. 2.

14. Тело скользит вниз по наклонной плоскости с ускорением $a = 0{,}5$ *м/сек*^{2}. Как следует изменить угол, образованный наклонной плоскостью с горизонтом, чтобы движение тела было равномерным? Сила трения составляет 0,005 веса тела.

15. Тело, удерживающееся на наклонной плоскости силой трения, приводят в равномерное движение сначала вверх по наклонной плоскости, а затем вниз. Найти отношение силы, приводящей тело в равномерное движение вверх, к силе, приводящей его в такое же движение вниз.

16. Два груза, связанные между собой нитью, движутся вниз с ускорением, вдвое большим ускорения свободного падения. Во сколько раз натяжение T нити, за которую тянут оба груза, больше натяжения T_1 нити, связывающей грузы? Масса нижнего груза в три раза больше массы верхнего груза.

17. Тележку массой $M = 100$ *г* приводят в движение вначале грузом $m = 50$ *г* (рис. 3), а затем грузом, в два раза большим, т. е. $2m = 100$ *г*. Будет ли ускорение во втором случае в два раза больше, чем в первом?

18. Два груза массой $m_1 = 50$ *г* и $m_2 = 100$ *г* связаны нитью и лежат на гладкой горизснтальной плоскости. С какой наибольшей силой можно тянуть первый груз, чтобы нить не оборвалась, если она выдерживает нагрузку $T = 500$ *Г*? Изменится ли результат, если силу приложить ко второму грузу?

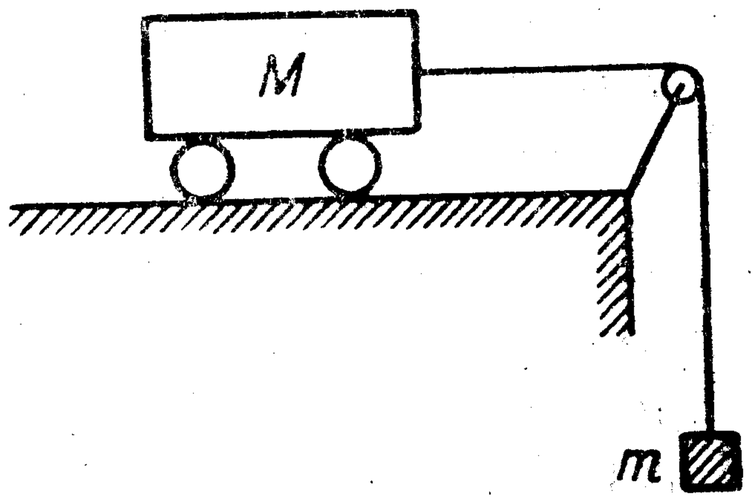


Рис. 3.

19. Два шара массой $M = 800$ *г* и $m = 200$ *г* подвешены на нитях. При касании шаров центры тяжести их находятся на расстоянии $l = 1$ *м* ниже точек подвеса, а нити вертикальны. Меньший шар массой m отводят в сторону так, что нить отклоняется на угол $\alpha = 90°$ от вертикали, и отпускают. Принимая шары за вполне упругие, определить, на какую высоту они поднимутся после удара.

20. Через блок ничтожной массы, вращающийся с малым трением, перекинута нить, на концах которой привязаны грузы массой m_1 и m_2, причем m_2 в $n = 2$ раза больше m_1. Груз m_2 поднимают настолько, чтобы груз m_1 коснулся пола, и отпускают. На какую высоту поднимется груз m_1 после того, как груз m_2 ударится о пол, если груз m_2 был поднят на высоту $H = 30$ *см* над полом?

21. Через легкий вращающийся без трения блок перекинут шнурок. На одном конце шнурка привязан груз массой M. По другому концу шнурка с постоянным относительно шнурка ускорением $a_2 = \frac{g}{2}$ скользит кольцо массой m. Найти ускорение a_1 груза массой M и силу трения $F_{тр}$ кольца о шнурок. Массой шнурка пренебречь. Масса груза $M = 1{,}5\,m$.

22. В сферической чашке радиусом $R = 110$ *см* и весом 1 *кГ* скользит без трения шарик радиусом $r = 10$ *см* и весом 10 *Г*

(рис. 4). К чашке приложена направленная вверх сила $F = 10$ *кГ*, под действием которой чашка ускоренно поднимается. Определить период T колебаний шарика.

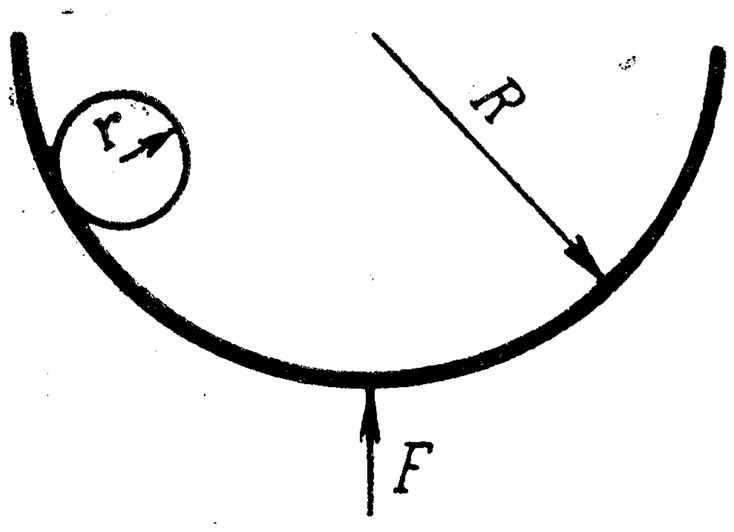


Рис. 4.

23. На наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол $\alpha = 30°$, лежит груз массой $m = 20$ *г*, к которому прикреплена невесомая нить, перекинутая через блок. На другом конце нити висит груз массой $M = 100$ *г*. Под действием силы тяжести система грузов приходит в движение. Найти изменение потенциальной энергии системы через $t = 4$ сек. Силами трения пренебречь.

24. Акробат весом $P = 70$ *кГ* прыгнул с трапеции на растянутую сетку, которая прогнулась на $s = 1$ *м*. С каким ускорением двигался акробат, прогибая сетку? С какой средней силой давила сетка на тело акробата? Высота трапеции над сеткой $h = 8$ *м*.

25. На одном плече коромысла весов подвешен груз массой m, который опущен в жидкость с удельным весом d. На другом плече коромысла имеется невесомый блок с намотанной нитью, на конце которой висит груз того же объема и той же массы. Под действием силы тяжести и силы трения в блоке груз равноускоренно опускается и нить разматывается, а весы остаются в равновесии. Найти ускорение движения груза. Удельный вес вещества грузов d_1.

26. Тело весом $P = 10$ *кГ* перемещается горизонтально с ускорением $a = 50$ *см/сек*^{2} под действием силы $F = 1$ *кГ*, направленной под углом $\alpha = 30°$ к горизонту. Определить коэффициент трения.

27. Камень, падая в воде без начальной скорости, прошел путь $h = 14$ *м* за $t = 2$ сек. Найти удельный вес вещества камня, полагая удельный вес воды $d_в = 1$ *Г/см*^{3}. Трение о воду не учитывать.

28. Тело свободно скользит с вершины неподвижной наклонной плоскости под углом $\alpha = 30°$ к горизонту. Определить время движения и скорость тела в конце наклонной плоскости, если высота наклонной плоскости $h = 10$ *м*, а коэффициент трения $k = 0{,}05$.

29. Тело весом $P = 0{,}5$ *кГ*, брошенное вертикально вверх с начальной скоростью $v = 40$ *м/сек*, поднялось на высоту $h = 50$ *м*. Определить силу сопротивления воздуха $F_{тр}$, считая ее во время движения тела постоянной.

30. Тело равноускоренно движется по окружности, радиус которой $R = 0{,}4$ *м*. За $t_1 = 10$ сек. оно прошло путь $s = 100$ *м*. Найти центростремительное ускорение, которое приобретает тело через $t_2 = 5$ сек. после начала движения.

31. Груз весом $P = 1$ *кГ*, прикрепленный к одному концу тонкого стержня, может вращаться в вертикальной плоскости без трения относительно второго конца. Груз отвели от положения равновесия на угол $\alpha = 120°$ и отпустили, в результате чего он совершает колебательное движение. Определить натяжение стержня в момент

прохождения грузом вертикального положения, полагая вес стержня ничтожно малым.

32. Два тела весом $P_1 = 5$ *кГ* и $P_2 = 8$ *кГ* связаны нитью, длина которой $l = 1$ *м*. Тела приводят во вращение в горизонтальной плоскости относительно общего центра тяжести с угловой скоростью $\omega = 20$ *рад/сек*. Определить натяжение нити.

33. Какое время обращения имеет искусственный спутник Земли, если он удален от Земли на расстояние, равное радиусу Земли?

34. Во сколько раз радиус орбиты спутника Земли больше радиуса Земли, если время обращения спутника T, а радиус Земли r?

35. Найти величину первой космической скорости тела, направленного с Земли. (Первой космической скоростью называется та скорость, которую необходимо сообщить телу на Земле, чтобы оно, поднявшись на некоторую высоту, превратилось в искусственный спутник Земли.)

36. Камень, скользящий по горизонтальной поверхности льда, останавливается, пройдя расстояние $s = 50$ *м*. Определить начальную скорость камня, если известно, что сила трения составляет 0,05 веса камня.

37. Кусок льда один раз бросают под углом $\alpha = 45°$ к горизонту, а другой раз пускают с такой же скоростью скользить по льду. Найти коэффициент трения, если во втором случае кусок льда переместился на расстояние, в 10 раз большее, чем в первом.

38. Тело массой $m = 500$ *г*, брошенное под углом $\alpha = 45°$ к горизонту, упало на горизонтальную поверхность на расстоянии $s = 16$ *м*. Найти работу, которая затрачена на бросание тела.

39. Груз весом $P = 100$ *кГ* привязан к концу веревки, прикрепленной к валу лебедки. Лебедка находится на некоторой высоте. Груз начинает падать и, когда он пролетел $h = 12$ *м*, веревка натянулась и начал с трением раскручиваться вал лебедки. Определить длину раскрученной веревки с момента, когда веревка натянулась, до полной остановки груза, если сила натяжения веревки $F = 180$ *кГ*.

40. Из винтовки выстрелили в горизонтальном направлении 2 раза в щит, находящийся на расстоянии $s = 50$ *м*. После первого выстрела перед дулом винтовки поставили доску. Вторая пуля, пробив доску, попала в щит на расстоянии $d = 0{,}5$ *м* ниже первой. Какая работа совершена пулей при пробивании доски, если масса пули $m = 5$ *г*, а начальная скорость $v_1 = 300$ *м/сек*?

41. Тело скользит без трения по наклонной плоскости с высоты $H = 5$ *м* и затем поднимается с трением по другой наклонной плоскости на высоту $h = 3$ *м*. Определить коэффициент трения при подъеме тела на высоту h, если при этом оно прошло путь $l = 5$ *м*, а также коэффициент трения после спуска с высоты H, если бы тело двигалось горизонтально и остановилось, пройдя путь $s = 20$ *м*.

42. Танк, вес которого $P = 15\ T$ и мощность $N = 500\ л.\ с.$, поднимается в гору с уклоном $\alpha = 30°$. Какую максимальную скорость может развить танк?

43. Поезд весом $P = 600\ T$ равномерно поднимается в гору. Подъем горы 5 *м* на километр пути. Сила трения $F_{тр} = 1000\ кГ$. Скорость поезда $v = 72\ км/час$. Определить мощность паровоза.

44. Определить мощность трамвайного мотора, если он движет состав весом $P = 50\ T$ со скоростью $v = 21{,}6\ км/час$. Коэффициент трения $k = 0{,}01$, коэффициент полезного действия мотора $\eta = 0{,}9$.

45. Какова средняя сила давления на плечо при стрельбе из автоматического ружья, если масса пули $m = 10\ г$, скорость при вылете $v = 300\ м/сек$ и ружье делает $n = 300$ выстрелов в минуту?

46. По телу весом $P = 9{,}8\ кГ$, находящемуся на высоте $h = 4{,}9\ м$ над горизонтальной поверхностью, производят горизонтальный удар с силой $F = 100\ кГ$, действующей очень малый промежуток времени $t = 0{,}01$ сек. На каком расстоянии s тело упадет на поверхность? Трением пренебречь.

47. Человек, стоящий на коньках на гладком льду, бросает другому человеку, находящемуся на расстоянии $s = 20\ м$, камень весом $P_2 = 0{,}5\ кГ$ и тот подхватывает его через $t = 2$ сек. С какой скоростью начинает скользить человек, бросивший камень, если вес его $P_1 = 60\ кГ$? Трением коньков о лед пренебречь.

48. К свободному неподвижному аэростату весом $P_1 = 500\ кГ$ привязана веревочная лестница, на которой находится человек весом $P_2 = 75\ кГ$. В каком направлении и с какой скоростью перемещается аэростат, если человек поднимается по лестнице с постоянной относительно лестницы скоростью $v_1 = 0{,}5\ м/сек$?

49. Метеорит и ракета движутся навстречу друг другу под углом 90°. Ракета попадает в метеорит и застревает в нем. Масса метеорита m, ракеты $1/2\,m$; скорость метеорита v, ракеты $2\,v$. Определить количество движения метеорита вместе с ракетой после соударения.

50. Ракета летит со скоростью v. После отделения головной части скорость ракеты уменьшилась вдвое, а направление движения ракеты и головной части осталось прежним. Во сколько раз возросла скорость головной части ракеты, если ее масса меньше массы ракеты в 6 раз?

51. В тело массой $M = 100\ г$, подвешенное на нити, попала пуля, масса которой $m = 10\ г$, и застряла в нем. Вследствие удара подвешенное тело отклонилось и центр тяжести тела и пули поднялся на высоту $h = 20\ см$. Определить скорость пули в момент соударения с телом.

52. Тележка с песком массой $M = 10\ кг$ катится без трения по горизонтальным рельсам со скоростью $v_0 = 2\ м/сек$. Пуля массой $m = 50\ г$, летящая со скоростью $v_1 = 400\ м/сек$, совпадающей по направлению с v_0, попадает в тележку и застревает в ней. Считая силу торможения пули постоянной, найти скорость тележки после

прекращения движения пули в песке. Какое количество энергии перешло при этом в тепло?

53. Два шара одинаковой массы и одинаковых размеров: один из абсолютно упругого материала, другой из абсолютно неупругого материала движутся навстречу друг другу с одной и той же скоростью $v = 4$ *м/сек*. Предполагая, что их деформации во время соударения одинаковы, найти скорости шаров после соударения.

54. Плот длиной $l = 10$ *м* покоится на неподвижной воде. Одновременно с концов плота идут навстречу друг другу взрослый человек весом $P_1 = 60$ *кГ* и ребенок весом $P_2 = 30$ *кГ*. Взрослый идет со скоростью, в два раза большей скорости ребенка. Определить смещение плота относительно Земли к тому моменту, когда взрослый дойдет до другого конца плота, если вес плота $P_3 = 600$ *кГ*. Трение плота о воду считать ничтожно малым.

55. Снаряд вылетел под углом α к горизонту. При достижении наибольшей высоты он разорвался на две части равной массы. Найти отношение расстояний, на которых эти части упали от места выстрела. Считать, что одна из частей после разрыва падала вертикально.

56. Кусок пробки весит в воздухе $P_п = 15$ *Г*, кусок свинца $P_с = 113$ *Г*. Если, связав вместе, подвесить оба куска к чашке весов и опустить в керосин, то показание весов будет $P = 60$ *Г*. Найти удельный вес пробки, полагая удельный вес керосина $d_к = 0{,}8$ *Г/см*^{3}, а свинца $d_с = 11{,}3$ *Г/см*^{3}.

57. Тело плотностью $D_т = 0{,}8$ *г/см*^{3} погрузили в воду на глубину $h = 1$ *м* и отпустили. На какую максимальную высоту над поверхностью воды оно поднимется? Трением тела о воздух и воду, а также удельным весом воздуха пренебречь.

58. Тело погрузили в воду на глубину $h = 1$ *м* и отпустили. Определить время движения тела от его начального положения в воде до наибольшего подъема над поверхностью воды. Плотность вещества тела $D_т = 0{,}8$ *г/см*^{3}, плотность воды $D_в = 1$ *г/см*^{3}. Силами трения при движении тела в воде и воздухе, а также удельным весом воздуха пренебречь.

59. На какую глубину x погрузится тело, падающее в воду без начальной скорости с высоты $h = 1$ *м*, если удельный вес тела $d_т = 0{,}8$ *Г/см*^{3}? Трением тела о воздух и воду пренебречь. Удельный вес воздуха полагать пренебрежимо малым по сравнению с удельным весом воды и тела.

60. Деревянный цилиндр плавает в воде так, что в воду погружено 90% его высоты. На сколько погрузится в воду этот цилиндр, если поверх воды налить слой масла, полностью закрывающий цилиндр? Удельный вес масла $d_м = 0{,}8$ *Г/см*^{3}.

II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

61. При какой температуре газ не будет производить давления?

62. В баллоне находится газ при атмосферном давлении p_0.

Открытый баллон нагрели, закрыли вентилем и охладили газ до 10°С; давление снизилось до 0,7 p_0. До какой температуры нагрели газ?

63. В закрытом цилиндрическом сосуде постоянного сечения находится газ при нормальных условиях. Сосуд расположен горизонтально и разделен подвижным поршнем в отношении 1 : 2. В каком отношении поршень будет делить сосуд, если его меньшую часть нагреть до $t_1 = 27°C$, а бóльшую охладить до $t_2 = -123°C$?

64. В сосуде находится воздух при нормальных условиях (p_0, T_0). Сосуд закрыт клапаном, площадь которого $S = 10$ *см*^{2}, а вес $Q = 13{,}6$ *кГ*. До какой температуры нужно нагреть воздух в сосуде, чтобы он поднял клапан? Расширением сосуда при нагревании пренебречь.

65. Два равных по объему сосуда содержат воздух: один — при температуре t_1 и давлении p_1, другой — при температуре t_2 и давлении p_2. Сосуды сообщают между собой и нагревают до температуры t. Какое установится давление воздуха внутри сосудов? Расширением сосудов при нагревании пренебречь.

66. Изменится ли показание весов, к которым подвешено тело, погруженное в жидкость, при нагревании жидкости и тела на одинаковую температуру?

67. Какое количество снега при температуре 0°С растает под колесами автомобиля, если он буксует в течение $t = 0{,}5$ мин.? Мощность автомобиля $N = 27$ *л. с.* и на буксировку уходит 50% всей мощности.

68. Квадратный сантиметр Земли при отвесно падающих лучах Солнца получает $q = 2$ *кал* тепла в минуту. Какой слой льда, покрывающий Землю, Солнце может растопить в течение года? Удельный вес льда $d = 0{,}9$ *Г/см*^{3}, температура льда $t = 0°C$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 80$ *кал/г*.

69. В баллоне находится некоторая масса сжатого газа. Часть газа выпустили, и манометр, присоединенный к баллону, показал давление, в три раза меньшее. Какое количество газа осталось в баллоне? Полагать, что температура газа в баллоне оставалась постоянной.

70. Полый шар емкостью $V_ш = 100$ *см*^{3} снабжен горизонтальной трубкой с делениями. Объем канала трубки между двумя делениями $V_т = 0{,}2$ *см*^{3}. В шаре и части трубки содержится воздух, отделенный от наружного воздуха каплей воды. При температуре $t_1 = 5°C$ капля воды стоит у 20-го деления. В помещении, в котором измеряют температуру, капля воды устанавливается на 50-м делении. Какова температура помещения? Изменением объема шара при нагревании пренебречь.

71. Имеются два сосуда с газом: один емкостью $V_1 = 3$ *л*, другой $V_2 = 4$ *л*. В первом сосуде газ находится под давлением $p_1 = 2$ *атм*, а во втором под давлением $p_2 = 1$ *атм*. Температура в обоих сосудах одинакова. Под каким давлением p будет нахо-

диться газ, если соединить эти сосуды между собой? Предполагать, что температура при этом постоянна.

72. На дне сосуда с водой, на глубине $h = 38$ *см*, находится пузырек воздуха объемом $V = 5$ *мм*^{3}. Пузырек поднимается вверх. Найти объем пузырька около поверхности воды. Барометрическое давление $p = 76$ *см рт. ст.* Вода в сосуде имеет постоянную температуру. Удельный вес ртути $d_{рт} = 13{,}6$ *Г/см*^{3}, воды $d_в = 1$ *Г/см*^{3}.

73. Открытая с обеих сторон цилиндрическая трубка небольшого сечения длиной $l = 100$ *см* наполовину погружена в ртуть. Верхний конец ее закрывают и вынимают трубку из ртути. Часть ртути вытекает. Определить длину столбика ртути, оставшейся в трубке. Атмосферное давление $p = 76$ *см рт. ст.*

74. При горизонтальном положении капилляра, откачанного и запаянного с обоих концов, столбик ртути длиной $l = 20$ *см* находится посередине. Если капилляр поставить вертикально, то столбик ртути переместится на расстояние $a = 10$ *см*. До какого давления p был откачан капилляр? Длина капилляра $L = 1$ *м*. Температуру во время опыта полагать неизменной.

75. В горизонтально расположенной стеклянной трубке, запаянной с одного конца, находится столбик воздуха длиной $l = 10$ *см*, отделенный от наружного воздуха столбиком ртути. Сечение трубки $S = 1$ *см*^{2}. Атмосферное давление $p_0 = 760$ *мм. рт. ст.* Воздух в трубке нагревают на один градус от 0°С. Вычислить: а) работу, которую совершает расширяющийся воздух, передвигая столбик ртути, при горизонтальном расположении трубки; б) работу расширяющегося воздуха при вертикальном расположении трубки, если столбик ртути имеет длину $h = 10$ *см*.

76. В резервуар, емкость которого $V = 600$ *см*^{3}, вводят $V_1 = 200$ *см*^{3} углекислого газа при температуре $t_1 = 0$°С и давлении $p_1 = 3$ *атм* и $V_2 = 300$ *см*^{3} кислорода при температуре $t_2 = 100$°С и давлении $p_2 = 2$ *атм*. Определить давление смеси газов при температуре $t_0 = 0$°С. Коэффициент температурного расширения углекислого газа $\alpha_1 = 0{,}00371$, а кислорода $\alpha_2 = 0{,}00366$.

77. Металлический шар содержит $Q_1 = 12{,}9$ *г* воздуха при нормальном давлении (76 *см рт. ст.*) и температуре $t_1 = -10$°С. Определить вес воздуха в этом шаре при давлении $p_2 = 95$ *см рт. ст.* и температуре $t_2 = 50$°С, учитывая расширение шара. Температурный коэффициент расширения металла $\beta = 0{,}000017$, воздуха $\alpha = 0{,}00367$.

78. Баллон, вмещающий $V_1 = 2$ *л* сухого воздуха, взвешивают при температуре $t_1 = 16$°С и давлении $p_1 = 728$ *мм рт. ст.;* вес оказывается равным 253,43 *Г*. После этого воздух из баллона откачивают до давления $p_2 = 16$ *мм рт. ст.* и баллон снова взвешивают; вес его оказывается равным 251,14 *Г*. Определить плотность воздуха при нормальных условиях.

79. Воздушный шар весом $P = 50$ *кГ* и объемом $V = 150$ *м*^{3} поднимается вверх. Температура окружающего его воздуха и водо-

рода, которым наполнен шар, $t = 20°C$, а давление нормальное. К шару на динамометре подвешена гиря весом $P_2 = 1$ *кГ*. Определить показание динамометра при подъеме шара. Удельный вес воздуха при 0°С $d_{возд} = 1{,}3$ *кГ/м*^{3}, водорода $d_{вод} = 0{,}9$ *кГ/м*^{3}. Трение о воздух не учитывать. Полагать, что атмосферное давление при небольшом подъеме шара постоянно.

80. В калориметре находятся два слоя воды: внизу холодная, наверху теплая. Изменится ли общий объем воды при выравнивании температур?

81. Тело находится в воздухе при нормальных условиях. При нагревании воздуха на 10°С без изменения барометрического давления вес тела увеличился на 2 *Г*. Как изменится вес тела при нагревании воздуха до 50°С и увеличении давления до 80 *см рт. ст.*? Изменением размеров тела при нагревании пренебречь.

82. Некоторый объем газа при температуре $t_1 = 7°C$ и давлении $p_1 = 70$ *см рт. ст.* весит $q_1 = 5$ *Г*. Каков вес того же объема газа при температуре $t_2 = 27°C$ и давлении $p_2 = 80$ *см рт. ст.*?

83. Воздух при $t_1 = -20°C$ и давлении $p_1 = 1{,}5$ *атм* весит $q_1 = 3$ *Г*. Сколько весит углекислота в том же объеме при нормальных условиях, если ее удельный вес $d_2 = 0{,}002$ *Г/см*^{3}, а удельный вес воздуха $d_0 = 0{,}0013$ *Г/см*^{3}?

84. В цилиндре под поршнем находится газ, объем которого $V_1 = 200$ *см*^{3}, а температура $t_1 = 50°C$. Вес поршня $Q = 600$ *Г*, площадь $S = 50$ *см*^{2}. Найти работу, которая затрачивается на поднятие поршня при нагревании газа до $t_2 = 150°C$. Внешнее давление $p = 1$ *кГ/см*^{2}. Трением поршня о стенки цилиндра пренебречь.

85. Вода переохлаждена до — 10°С. Какое количество льда можно получить из 1 *кГ* такой воды?

86. Из сосуда, в котором находится некоторое количество воды при 0°С, откачивают воздух. Вследствие интенсивного испарения вода постепенно превращается в лед. Какая часть первоначальной массы воды обратилась в лед, имеющий температуру 0°С?

87. Лед массой $m = 40$ *г* при температуре $t_1 = -10°C$ опущен в воду, масса которой $M = 200$ *г*, а температура $t_2 = 25°C$. Определить температуру смеси.

88. Лед массой $m = 20$ *кг* при температуре $t_1 = -20°C$ опущен в воду, масса которой $M = 20$ *кг*, а температура $t_2 = 70°C$. Теплоемкость льда $c_1 = 0{,}5$ *кал/г · град*, теплота плавления льда $\lambda = 80$ *кал/г*, теплоемкость воды $c = 1$ *кал/г · град*. Весь ли лед растаял?

89. Лед массой $m = 20$ *кг* при температуре $t_1 = -20°C$ опущен в воду, масса которой $M = 20$ *кг*, а температура $t_2 = 6°C$. Определить состояние и температуру смеси. Теплоемкость воды $c = 1$ *кал/г · град*, льда $c_1 = 0{,}5$ *кал/г · град*, теплота плавления (кристаллизации) льда $\lambda = 80$ *кал/г*.

90. Твердая ртуть массой $m = 15$ *г* при температуре $t_1 = -40°C$ (температура плавления) помещена в воду, масса которой $M = 6$ *г*,

а температура $t_2 = 7°C$. Определить температуру и состояние смеси. Теплоемкость ртути $c_1 = 0{,}03$ *кал/г·град*, теплота плавления ртути $\lambda_1 = 2{,}8$ *кал/г*, теплоемкость воды $c = 1$ *кал/г·град*, теплота кристаллизации льда $\lambda = 80$ *кал/г*.

91. При какой температуре t_1 нужно взять $m = 3$ *кг* льда, чтобы при воздействии на него $M = 1$ *кг* пара при температуре $t_2 = 100°C$ получить воду при температуре $\Theta = 90°C$? Теплоемкость льда $c_1 = 0{,}5$ *кал/г·град*, теплота плавления льда $\lambda = 80$ *кал/г*, теплоемкость воды $c = 1$ *кал/г·град*, теплота конденсации (парообразования воды) $r = 539$ *кал/г*.

92. Влажный воздух занимает объем $V_1 = 10$ *л* при температуре $t_1 = 30°C$ и давлении $p_1 = 774$ *мм рт. ст.* Каков объем сухого воздуха при температуре 0°C и давлении $p_2 = 760$ *мм рт. ст.*? Давление паров воды при 30°C $p_п = 32$ *мм рт. ст.*

93. В сосуд объемом $V = 10$ *л*, наполненный сухим воздухом при нормальных условиях ($p_0 = 1$ *атм*, $t_0 = 0°C$), вводят $m = 3$ *г* воды и нагревают его до $t_1 = 100°C$. Определить давление влажного воздуха в сосуде при этой температуре. Молекулярный вес воды $\mu = 18$ *г/моль*.

94. Давление паров воды над водой при 0°C $p_1 = 4$ *мм рт. ст.* Во сколько раз среднее расстояние между молекулами пара воды больше среднего расстояния между молекулами воды в жидком состоянии при той же температуре? Молекулярный вес воды $\mu = 18$ *г/моль*.

95. В узкой цилиндрической трубке, закрытой с одного конца, находится воздух, отделенный от наружного воздуха столбиком ртути. Когда трубка повернута вверх закрытым концом, длина столбика воздуха $l_1 = 39$ *см*, а когда трубка повернута вверх открытым концом, длина столбика воздуха $l_2 = 37$ *см*. Длина ртутного столбика $h = 2$ *см*. Определить атмосферное давление.

96. Стеклянную трубку длиной $L = 100$ *см*, закрытую с одного конца, другим, открытым концом опустили в воду на глубину $l = 50$ *см*. На какую высоту x вошла вода в трубку? Барометрическое давление $p_1 = 76$ *см рт. ст.*, удельный вес воды $d_1 = 1$ *Г/см*^{3}, ртути $d_2 = 13{,}6$ *Г/см*^{3}. Температура воздуха и воды одинакова.

97. При нормальном атмосферном давлении в пустоту барометрической трубки, высота которой над уровнем ртути в сосуде $L = 1{,}6$ *м*, а площадь поперечного сечения $S = 4$ *см*^{2}, вводят $m_1 = 0{,}1$ *г* жидкости. Вся жидкость превращается в пар, и ртуть в трубке опускается до $l_2 = 60$ *см*. Определить отношение плотности паров жидкости к плотности воздуха, находящегося в тех же условиях, если температура $t_1 = 20°C$. Плотность воздуха при нормальных условиях $D_0 = 0{,}0013$ *г/см*^{3}. Давлением паров ртути в барометрической трубке пренебречь.

98. Брусок меди, имеющий температуру $t_1 = 0°C$, и одинакового с ним объема брусок алюминия с температурой $t_2 = 100°C$ сложили вместе и их температуры выравнились без обмена теплотой с окружающим пространством. Каково относительное изменение

объема? Для меди: плотность $D_1 = 8{,}5$ *г/см*^{3}, удельная теплоемкость $c_1 = 0{,}094$ *кал/г · град*, коэффициент линейного расширения $\alpha_1 = 1{,}7 \cdot 10^{-5}$ *град*$^{-1}$. Для алюминия: плотность $D_2 = 2{,}6$ *г/см*^{3}, удельная теплоемкость $c_2 = 0{,}22$ *кал/г · град*, коэффициент линейного расширения $\alpha_2 = 2{,}3 \cdot 10^{-5}$ *град*$^{-1}$.

99. С какой скоростью свинцовая пуля должна удариться о преграду, чтобы она расплавилась, если до удара температура пули $t = 100°$C? Средняя удельная теплоемкость свинца $c = 0{,}03$ *кал/г · град*, удельная теплота плавления $\lambda = 6{,}2$ *кал/г*, температура плавления $\Theta = 327°$C. Считать, что 60% кинетической энергии пули при ударе превращается в теплоту. Механический эквивалент тепла $I = 427$ *кГм/ккал*.

100. Космическая частица, летящая со скоростью v, имела соударение, в результате чего нагрелась, расплавилась и испарилась. Начальная температура частицы t_1, температура плавления вещества частицы t_2, а температура парообразования t_3. Удельная теплоемкость вещества частицы в твердом состоянии c_1, а в жидком c_2. Коэффициент полезной работы η. Определить удельную теплоту плавления вещества частицы, если она в 10 раз меньше удельной теплоты парообразования.

III. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

101. Два точечных отрицательных заряда находятся в пустоте на расстоянии 1 *м* друг от друга и взаимодействуют с силой в 10 *н*. Сколько электронов содержится в каждом заряде? Заряд электрона $e = -4{,}8 \cdot 10^{-10}$ эл.-ст. ед.

102. Два шара массой по 1 *кг* каждый несут одинаковые заряды по $+1$ эл.-ст. ед. Что и во сколько раз больше — сила взаимного притяжения между шарами по закону тяготения Ньютона или сила взаимного отталкивания зарядов по закону Кулона? Расстояние между шарами во много раз больше их диаметра.

103. На шелковых нитях (рис. 5) подвешен заряженный шарик. Масса шарика $m = 1$ *г*, заряд $q = 10$ эл.-ст. ед. Снизу к подвешенному шарику вертикально на расстоянии $r = 1$ *см* подносят другой

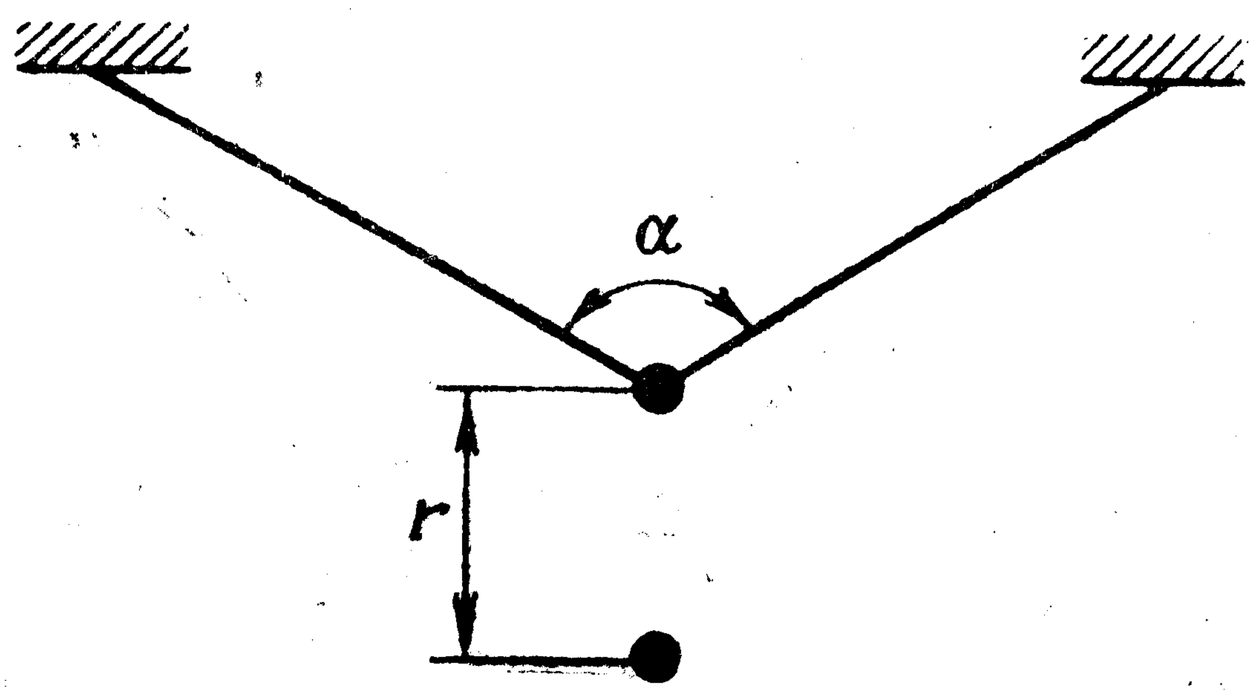


Рис. 5.

шарик, обладающий таким же одноименным зарядом. Определить натяжение нитей, если они между собой образуют угол $\alpha = 120°$.

104. Два маленьких шарика одинакового веса и радиуса подвешены на нитях так, что они соприкасаются. После сообщения шарикам заряд $q = 4 \cdot 10^{-7}$ *к* они оттолкнулись и разошлись на угол $\alpha = 60°$. Найти массы шариков, если расстояние от точки подвеса до центра каждого шарика $l = 20$ *см*.

105. Один металлический шарик содержит $q_1 = +27$ эл.-ст. ед. положительного заряда, другой такого же радиуса наэлектризован отрицательно. Шарики привели в соприкосновение, а затем поместили на расстоянии $r = 5$ *см* друг от друга, причем сила отталкивания между ними $F = 4$ *дн*. Определить первоначальный заряд второго шарика.

106. Металлическому шару, радиус которого $r = 20$ *см*, сообщили заряд $q = 600$ эл.-ст. ед., а затем к нему присоединили при помощи тонкой проволоки незаряженный металлический шар радиусом $R = 30$ *см*. Как распределится заряд между шарами? Электроемкостью проволоки пренебречь.

107. Два заряженных шарика одинакового радиуса и веса, подвешенных на нитях одинаковой длины, опускают в жидкий диэлектрик, диэлектрическая проницаемость которого $\varepsilon = 2$. Какова должна быть плотность D материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и диэлектрике был один и тот же? Плотность диэлектрика $D_1 = 0{,}8$ *г/см*^{3}.

108. В точке A помещен заряд $q_1 = 500$ эл.-ст. ед. Найти потенциалы и напряженность поля в точках B и C, находящихся на расстоянии $l_1 = 5$ *см* и $l_2 = 20$ *см* от точки A, и работу при перемещении заряда $q_2 = 10^{-9}$ *к* между точками B и C.

109. Какой путь в направлении электрического поля пройдет шарик массой $m = 1$ *г*, несущий заряд $q = 5$ эл.-ст. ед.? Время движения шарика $t = 5$ сек. Начальная скорость шарика $v = 0$. Напряженность электрического поля $E = 1200$ *в/см*.

110. Имеются три электрических лампочки, рассчитанные на напряжение $U = 110$ *в* каждая: две лампочки мощностью $N_1 = 60$ *вт* каждая и одна лампочка мощностью $N_2 = 120$ *вт*. Как включить лампочки, чтобы они давали нормальный накал при напряжении в сети $U_1 = 220$ *в*? Начертить схему включения и определить силу тока, текущего через лампочки.

111. Сопротивление обмотки электромотора при работе от сети с напряжением $U = 110$ *в* $R = 2$ *ом*. Сила тока в обмотке $I = 10$ *а*. Определить коэффициент полезного действия.

112. Металлический шар, радиус которого $R = 2$ *см*, подвесили на диэлектрической нити и сообщили ему заряд $q = 450$ эл.-ст. ед. Затем на нить нанизали другой шар радиусом $r = 1$ *см* и массой $m = 0{,}1$ *г*. Определить расстояние h между шарами после их соприкосновения. Электростатической индукцией пренебречь.

113. Маятник с периодом колебаний $T = 1$ сек. представляет собой шар массой $m = 16$ *г*, подвешенный на нити, не проводящей

электричество. Шар электризуют отрицательно и помещают в электрическое поле, направленное вверх. Время колебания маятника $T_1 = 0{,}8$ сек. Вычислить силу электрического действия поля на шар.

114. С какой скоростью будет двигаться электрон, пролетевший разность потенциалов $U = 100$ *в*, если его начальная скорость равна нулю? Заряд электрона $e = 4{,}8 \cdot 10^{-10}$ эл.-ст. ед. Масса электрона $m = 9 \cdot 10^{-28}$ *г*.

115. Электрон притягивается к иону водорода и летит к нему. Какова скорость v электрона в точке, отстоящей от иона на расстоянии $r = 10^{-6}$ *см*? Заряд электрона $e = 4{,}8 \cdot 10^{-10}$ эл.-ст. ед., масса $m = 9 \cdot 10^{-28}$ *г*, заряд иона водорода равен по абсолютной величине заряду электрона, но имеет противоположный знак.

116. Найти емкость системы конденсаторов C_x (рис. 6), если емкость конденсатора $C_1 = 1$ *мкф*, конденсатора $C_2 = 2$ *мкф*, а конденсатора $C_3 = 2$ *мкф*.

117. Два одинаковых конденсатора соединены последовательно и присоединены к источнику энергии с напряжением $U = 100$ *в*. Какая будет разность потенциалов на этих конденсаторах, если их отключить от источника и соединить параллельно?

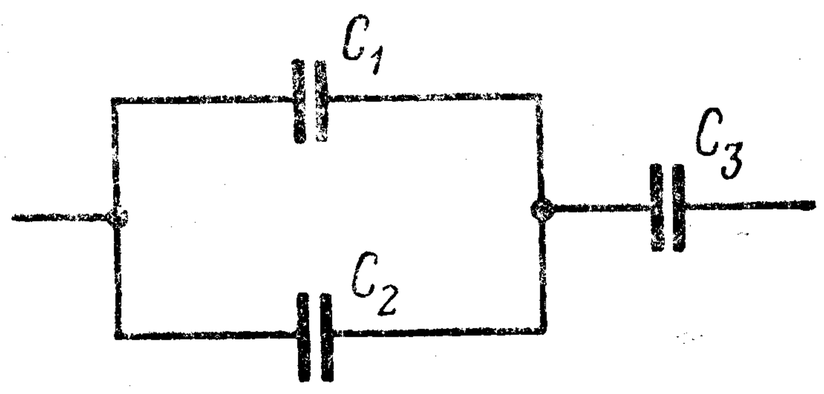


Рис. 6.

118. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено двумя параллельными слоями диэлектрика. Диэлектрическая проницаемость этих слоев ε_1 и ε_2, а их толщины d_1 и d_2. Расстояние между пластинами конденсатора $d = d_1 + d_2$. Чему равна емкость C такого конденсатора?

119. Между двумя пластинами, разность потенциалов между которыми $U = 700$ *в*, а расстояние $d = 4$ *мм*, висит масляная капля, радиус которой $r = 0{,}00015$ *см*. Какой заряд e имеет капля? Плотность масла $D = 0{,}8$ *г/см*^{3}.

120. Металлический шар радиусом $r = 1$ *см* заряжен до отрицательного потенциала в 1 *в*. Сколько электронов находится на поверхности такого шара? Заряд электрона $e = 4{,}8 \cdot 10^{-10}$ эл.-ст. ед.

121. Сколько свободных электронов содержится в 1 *см*^{3} металлического проводника сечением $S = 5$ *мм*^{2}, если по нему протекает ток силой $I = 9$ *а*, а скорость упорядоченного движения электронов $v = 0{,}282$ *мм/сек*?

122. Электрический ток направлен в конденсатор емкостью $C = 90$ *см*. За $t = 10$ сек. конденсатор зарядился на 0,1 *в*. Какова средняя сила электрического тока, зарядившего конденсатор?

123. Какое количество электричества пройдет по проводам, соединяющим пластины конденсатора с аккумулятором, при погружении конденсатора в керосин? Площадь пластины конденсатора $S = 150$ *см*^{2}, расстояние между пластинами $d = 5$ *мм*, диэлектрическая проницаемость керосина $\varepsilon_2 = 2$, электродвижущая сила

аккумулятора $E = 9{,}42$ *в*, диэлектрическая проницаемость воздуха $\varepsilon_1 = 1$.

124. Параллельно расположенные пластины присоединены к аккумулятору с напряжением $U = 600$ *в*. Определить силу тока I, проходящего через аккумулятор, если одна из пластин движется относительно другой со скоростью $v = 6$ *см/сек*. Пластины — квадратные со стороной $b = 10$ *см*, расстояние между ними $d = 0{,}1$ *мм*.

125. При включении однородного проволочного прямоугольного контура (рис. 7) в электрическую цепь в точках A и B его сопротивление R_1, а при включении в точках B и C его сопротивление $R_2 = 1{,}6\ R_1$. Найти отношение сопротивления большой стороны прямоугольного контура к сопротивлению его малой стороны.

126. Определить общее сопротивление R куба (рис. 8) по диагонали AB, если куб составлен из металлических стержней и сопротивление каждого стержня, представляющего собой ребро куба, r.

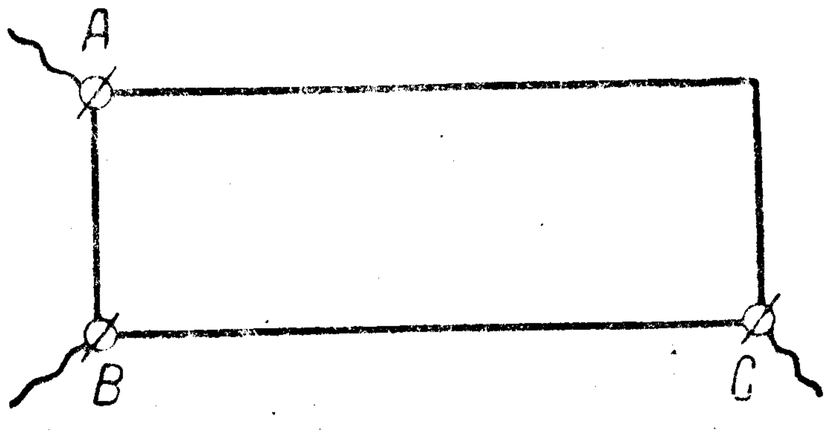


Рис. 7.

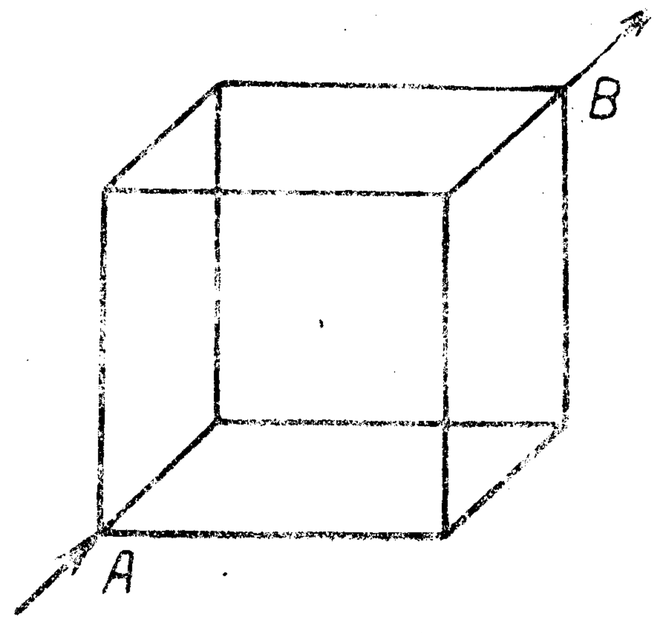


Рис. 8.

127. Найти сопротивление R проволочного разветвления между точками A и B (рис 9), если все части проволоки, входящие в разветвление, имеют одинаковые сопротивления r.

128. Из двух одинаковых полуколец, имеющих различные сопротивления, изготовлено кольцо. Найти отношение сопротивления кольца при включении его между точками A и B к сопротивлению кольца при включении между точками C и D (рис. 10).

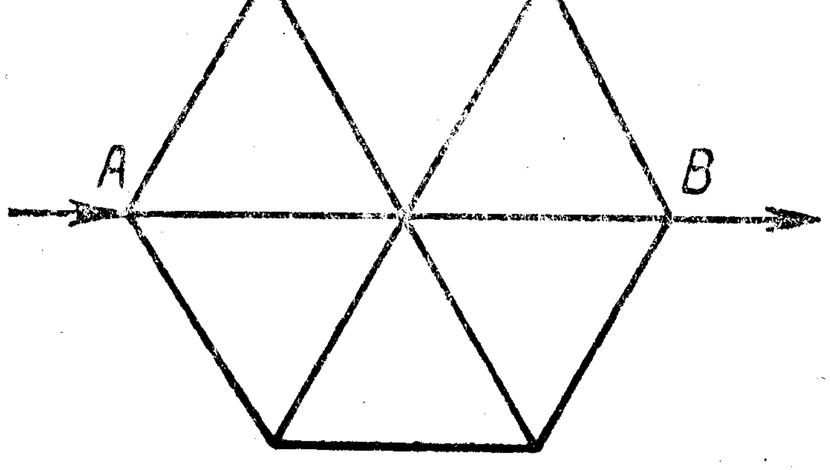


Рис. 9.

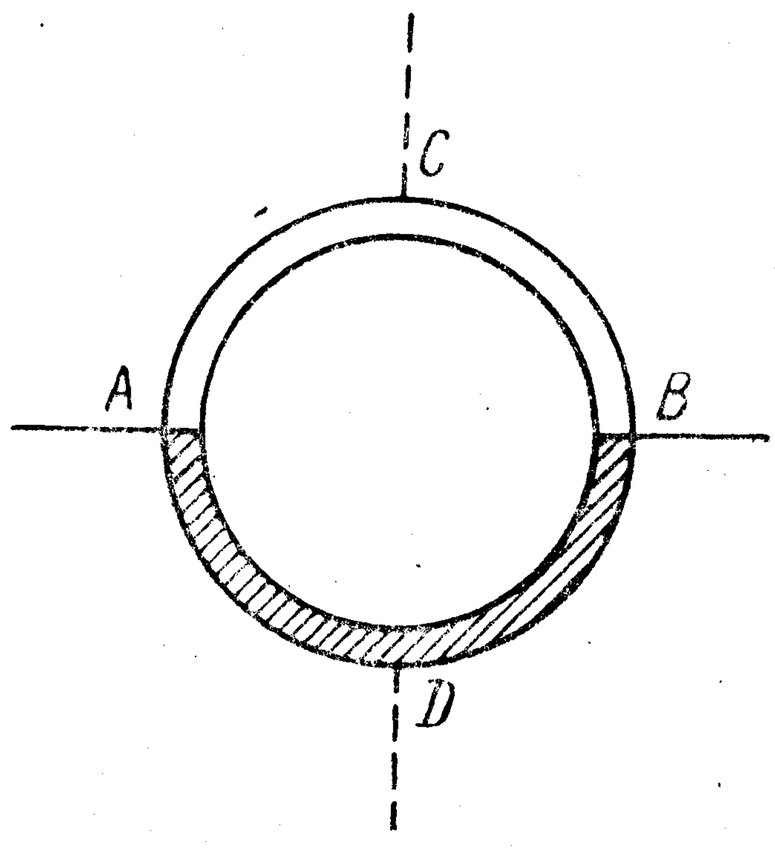


Рис. 10.

Сопротивление R_1 полукольца ACB вдвое меньше сопротивления R_2 полукольца ADB.

129. Дан проволочный квадрат (рис. 11). Сопротивление стороны квадрата $R = 1$ *ом*. Контакты M и N перемещаются одновременно по сторонам AB и CD. В каких пределах изменяется сопротивление квадрата?

130. В стеклянную трубку с ртутью вставляют медный стержень (рис. 12), при этом у ртутного столбика кольцевого сечения оказались одинаковыми со стержнем длина и площадь поперечного сечения. Найти отношение сопротивления системы стержень — ртуть, когда стержень соприкасается с поверхностью ртути, к сопротивлению системы, когда стержень находится в ртути. Удельное сопротивление меди $\rho = 0{,}02$ *ом* $\cdot$ *мм*^{2}/*м*, ртути $\rho_2 = 1$ *ом* $\cdot$ *мм*^{2}/*м*.

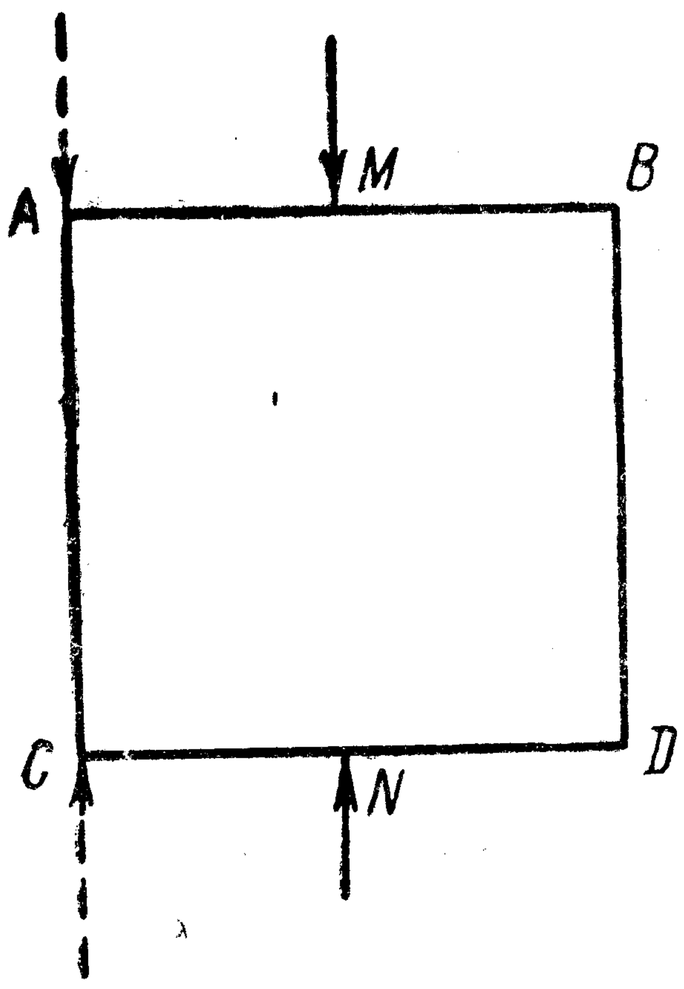


Рис. 11.

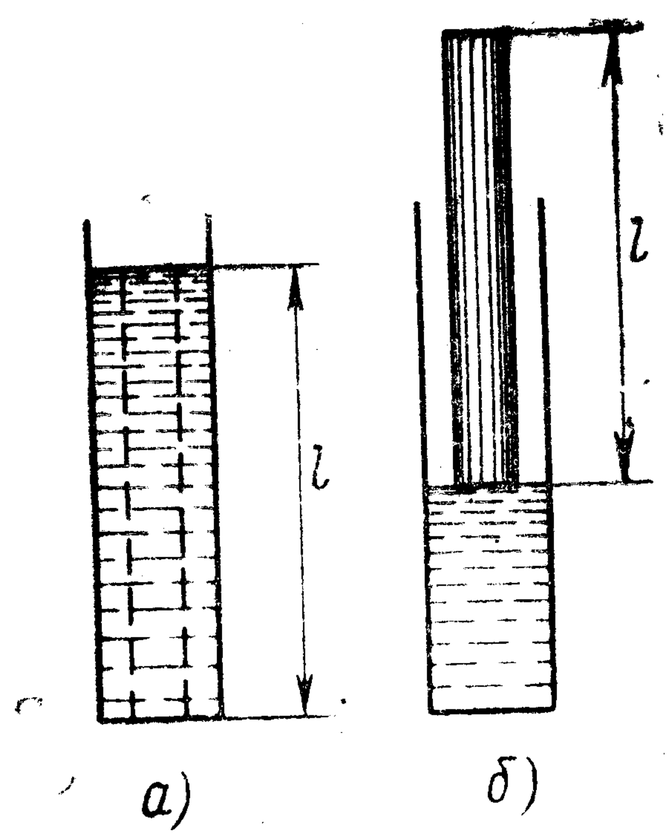


Рис. 12.

131. Каково сопротивление R_0 нити электрической лампочки при температуре $t_0 = 0°C$, если при включении в сеть с напряжением $U = 120$ *в* нить лампочки нагревается до температуры $t = 1800°C$ и лампочка потребляет мощность $N = 60$ *вт*? Температурный коэффициент сопротивления материала нити $\alpha = 0{,}005$.

132. Во сколько раз провод из алюминия легче медного провода той же длины, обладающего тем же сопротивлением? Удельный вес алюминия $d_1 = 2{,}7$ *Г*/*см*^{3}, меди $d_2 = 8{,}9$ *Г*/*см*^{3}. Удельное сопротивление алюминия $\rho_1 = 0{,}029$ *ом* $\cdot$ *мм*^{2}/*м*, меди $\rho_2 = 0{,}017$ *ом* $\cdot$ *мм*^{2}/*м*.

133. В цепь, состоящую из аккумулятора и сопротивления $R = 10$ *ом*, включают вольтметр сначала последовательно, а затем параллельно сопротивлению. Оба показания вольтметра одинаковы. Сопротивление вольтметра $R_V = 1000$ *ом*. Каково внутреннее сопротивление аккумулятора?

134. Аккумулятор, электродвижущая сила которого $E = 6$ *в*, замкнут на некоторое сопротивление R. В цепь включают параллельно друг другу два амперметра; они показывают соответственно $I_1 = 2$ *а* и $I_2 = 3$ *а*. Затем эти амперметры включают в цепь последовательно; они показывают $I' = 4$ *а*. Какой ток I течет в цепи в отсутствии амперметров?

135. При замыкании элемента на сопротивление $R_1 = 4{,}5$ *ом* сила тока в цепи $I_1 = 0{,}2$ *а*, а при замыкании того же элемента на сопротивление $R_2 = 10$ *ом* ток $I_2 = 0{,}1$ *а*. Найти электродвижущую силу E элемента, его внутреннее сопротивление r и коэффициент полезного действия в первом и во втором случаях.

136. Конденсатор, присоединенный к батарее с напряжением $U = 2000$ *в* проводами с сопротивлением $R = 10$ *ом*, имеет первоначальную емкость $C_1 = 2$ *мкф*. Затем его емкость равномерно увеличивают в течение $t = 10$ сек. до $C_2 = 10$ *мкф*. Определить количество тепла, которое выделится в подводящих проводах.

137. Элемент с внутренним сопротивлением $r = 4$ *ом* замкнут на сопротивление $R = 8$ *ом*. При каком другом внешнем сопротивлении R_x будет выделяться во внешней цепи такое же количество тепла за то же время, как и при сопротивлении, равном R?

138. Проволочное кольцо включено в цепь, в которой течет ток $I = 9$ *а*. Контакты делят длину кольца в отношении 1 : 2. В этом случае в кольце выделяется мощность $N_1 = 108$ *вт*. Какая мощность N_2 выделится при том же токе I во внешней цепи, если контакты расположить по диаметру кольца?

139. Две лампы с одинаковым сопротивлением R включают в сеть с напряжением U сначала последовательно, а потом параллельно. Вычислить отношение мощностей, потребляемых лампами.

140. При замыкании элемента на внешнее сопротивление $R_1 = 4$ *ом* течет ток $I_1 = 0{,}2$ *а*, а при замыкании на внешнее сопротивление $R_2 = 7$ *ом* ток $I_2 = 0{,}14$ *а*. Какую силу тока даст элемент, если его замкнуть накоротко?

141. От генератора с напряжением $U = 15$ *в* заряжаются пять последовательно включенных аккумуляторов с внутренним сопротивлением $r = 0{,}02$ *ом* каждый. К концу зарядки электродвижущая сила каждого аккумулятора $E = 2$ *в*, а ток, проходящий в цепи, $I = 1$ *а*. Найти дополнительное сопротивление R, включенное в цепь.

142. На ядро атома урана летит α-частица, масса которой $m = 6{,}6 \cdot 10^{-24}$ *г*, со скоростью $v = 2 \cdot 10^9$ *см/сек*. На какое расстояние α-частица может приблизиться к ядру? Электрический заряд атома урана положительный и по абсолютной величине равен 92 зарядам электрона; заряд α-частицы тоже положительный, но по абсолютной величине вдвое больше заряда электрона. Заряд электрона $e = 4{,}8 \cdot 10^{-10}$ эл.-ст. ед.

143. Электродвижущая сила $E = 10$ *в*, внутреннее сопротивление $r = 0{,}5$ *ом*. Каково сопротивление внешней цепи, если в ней выделяется мощность $N = 32$ *вт*?

144. Определить электродвижущую силу E и внутреннее сопротивление r аккумулятора, если при силе тока $I_1 = 2$ *а* мощность, потребляемая внешней цепью, $N_1 = 10$ *вт*, а при силе тока $I_2 = 3$ *а* потребляемая мощность $N_2 = 12$ *вт*.

145. Аккумулятор с внутренним сопротивлением $r = 0{,}08$ *ом* при токе $I_1 = 0{,}4$ *а* отдает во внешнюю цепь мощность $N_1 = 8$ *вт*. Какую мощность N_2 отдаст аккумулятор во внешнюю цепь при токе $I_2 = 6$ *а*?

146. Элемент замыкают один раз на сопротивление $R_1 = 4$ *ом*, а другой раз на сопротивление $R_2 = 9$ *ом*. В обоих случаях количество тепла Q, выделяющегося в сопротивлениях за одно и то же время, одинаково. Определить внутреннее сопротивление r элемента.

147. По металлической проволоке диаметром $d = 0{,}1$ *мм* течет ток $I = 3$ *а*. Через какой промежуток времени τ проволока перегорит (расплавится)? Температура плавления проволоки $t = 300°C$, средняя теплоемкость $c = 0{,}03$ *кал/г · град*, среднее удельное сопротивление $\rho = 0{,}03$ *ом · мм²/м*, теплота плавления $\lambda = 0{,}6$ *кал/г*, плотность вещества проволоки $D = 10$ *г/см³*, потери тепла $\eta = 50\%$. До пропускания тока температура проволоки 0°C.

148. Чему равно сопротивление подводящих проводов r, если вода в двух одинаковых чайниках при напряжении $U = 220$ *в* закипает за одно и то же время и при последовательном, и при параллельном включении? Мощность каждого чайника $N = 400$ *вт*.

149. Миллиамперметр, рассчитанный на ток $I_A = 20$ *ма* и имеющий внутреннее сопротивление $r = 8$ *ом*, используют как амперметр для измерения токов до $I = 5$ *а*. Определить сопротивление шунта R. Во сколько раз уменьшится чувствительность прибора?

150. Вольтметр, соединенный последовательно с сопротивлением $R = 10\,000$ *ом*, при включении в сеть с напряжением $U = 250$ *в* показывает $U_1 = 50$ *в*, а при соединении с сопротивлением R_x показывает $U_2 = 10$ *в*. Найти внутреннее сопротивление вольтметра r и сопротивление R_x.

151. Вычислить толщину покрытия серебром электрода, площадь которого $S = 1$ *дм²*. Сила тока в электролите $I = 1$ *а*, время пропускания тока $t = 1$ час, плотность серебра $D = 10{,}5$ *г/см³*, атомный вес серебра $A = 108$. Серебро одновалентно.

152. Какова площадь поверхности S никелируемой детали, если для получения слоя никеля толщиной $h = 0{,}01$ *мм* израсходовано $W = 0{,}5$ *квт-ч* электроэнергии? Напряжение на зажимах электролитической ванны $U = 4$ *в*, плотность никеля $D = 8{,}8$ *г/см³*, атомный вес $A = 59$. Никель двухвалентен.

153. Какое количество электричества q проходит через раствор соли меди за $t = 10$ сек., если сила тока за это время равномерно

возрастает от $I = 0$ до $I = 4$ *а*? Сколько меди при этом выделится? Атомный вес меди $A = 63{,}6$. Медь двухвалентна.

154. Самолет имеет скорость $v = 800$ *км/час*. Вертикальная составляющая земного магнитного поля $H = 0{,}5$ *э*. Найти электродвижущую силу индукции E, возникающую на концах крыльев. Размах крыльев $l = 11$ *м*.

155. Соленоид, состоящий из $n = 80$ витков и имеющий диаметр $d = 8$ *см*, находится в магнитном поле с напряженностью $H = 600$ *э*. Соленоид поворачивается на 180° в течение $t = 0{,}2$ сек. Найти среднее значение электродвижущей силы, возникающей в соленоиде.

156. Замкнутая катушка, состоящая из $n = 1000$ витков, помещена в магнитное поле, направленное вдоль оси катушки. Площадь поперечного сечения катушки $S = 4$ *см*^{2}, сопротивление $R = 160$ *ом*. Найти мощность джоулевых потерь, если магнитное поле равномерно изменяется на 0,1 *э/сек*.

157. В однородном магнитном поле с напряженностью $H = 1000$ *э* помещен проводник длиной $l = 20$ *см* и сопротивлением $R = 10$ *ом*. Проводник соединен с источником тока, электродвижущая сила которого $E_1 = 10$ *в*, а внутреннее сопротивление $r = 0{,}001$ *ом*. При взаимодействии магнитного поля тока и внешнего магнитного поля проводник перемещается перпендикулярно внешнему магнитному полю со скоростью $v = 10$ *м/сек*. Определить силу тока I, проходящего по проводнику.

158. Катушку с ничтожно малым сопротивлением R и индуктивностью $L = 3$ *гн* присоединяют к источнику тока с электродвижущей силой $E_1 = 1{,}5$ *в* и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением r. Через какой промежуток времени t ток в катушке достигнет значения $I = 50$ *а*?

159. С какой угловой скоростью ω необходимо вращать прямой проводник около одного из его концов в однородном магнитном поле в плоскости, перпендикулярной силовым линиям поля, чтобы между концами проводника возникла электродвижущая сила $E = 0{,}314$ *в*? Длина проводника $l = 20$ *см*, напряженность магнитного поля $H = 2000$ *э*.

160. Конденсатор какой емкости C необходимо присоединить к катушке с индуктивностью $L = 5000$ *см*, чтобы получить колебательный контур на частоту $f = 60$ *кгц*, если сопротивление катушки ничтожно мало?

IV. ОПТИКА

161. По обе стороны точечного источника света, на равных расстояниях $l = 1$ *м*, помещены экран и идеально отражающее зеркало. Плоскости зеркала и экрана параллельны. Какую освещенность создает источник в центре экрана, если его сила света $I = 2$ *св*?

162. На высоте $h = 4$ *м* подвешены две лампы по $I = 300$ *св* каждая. Определить освещенность поверхности земли под каждой лампой, если расстояние между ними 6 *м*.

163. Близорукий человек смотрит без очков на выпуклое сферическое зеркало радиусом $R = 16$ *см*. На каком максимальном расстоянии от зеркала он будет видеть резко отраженные в зеркале далекие предметы, если обычно он пользуется очками с оптической силой — 5 диоптрий? С какого расстояния он увидит резко свое отражение в зеркале?

164. Два человека с лампами в руках равномерно движутся навстречу друг другу. Между ними поставлен непрозрачный экран. Скорость движения одного человека в два раза больше скорости другого. Каково должно быть отношение сил света ламп, чтобы в процессе движения людей освещенность экрана от двух ламп оставалась одинаковой?

165. Точечный источник света, помещенный на расстоянии r от плоскости экрана, создает в центре экрана освещенность E. Как изменится освещенность в центре экрана, если по другую сторону источника света на расстоянии $\frac{r}{2}$ поместить вогнутое зеркало радиусом r?

166. На вогнутое зеркало радиусом r падают лучи от светящейся точки S, расположенной на главной оптической оси на расстоянии $d = 30$ *см*. На каком расстоянии перед вогнутым зеркалом нужно поставить плоское зеркало, чтобы лучи, отраженные вогнутым и плоским зеркалами, ворнулись в точку S?

167. Вогнутое и выпуклое зеркала, обращенные друг к другу, установлены так, что их главные оси совпадают. Радиус каждого зеркала r, расстояние между ними $2r$. На каком расстоянии от выпуклого зеркала на главной оси нужно поместить светящуюся точку S, чтобы лучи, отраженные сначала одним, а затем другим зеркалом, вернулись обратно в точку S?

168. Какова должна быть наименьшая высота вертикально расположенного плоского зеркала, чтобы человек мог видеть себя в нем во весь рост?

169. Где и как следует расположить в прямоугольной комнате два небольших плоских зеркала, чтобы человек, находясь в любом месте комнаты, мог видеть в зеркале свое отражение?

170. Как велика оптическая сила плоского зеркала?

171. Свеча находится на расстоянии $L = 80$ *см* от стены. Вогнутое зеркало с фокусным расстоянием $F = 30$ *см*, помещенное за свечой на некотором расстоянии l, дает увеличенное действительное изображение свечи на стене. Определить это расстояние.

172. По одну сторону собирающей линзы (на ее оси) на расстоянии $d = 25$ *см* расположен точечный источник света. По другую сторону линзы один раз на расстоянии $l_1 = 27$ *см*, а другой раз на расстоянии $l_2 = 48$ *см* ставят экран. Освещенность экрана в обоих

случаях оказывается одинаковой. Определить фокусное расстояние линзы.

173. С помощью вогнутого зеркала получено действительное изображение предмета на расстоянии $f = 50$ *см* от вершины зеркала. Высота изображения $H = 20$ *см*, радиус кривизны зеркала 20 *см*. Определить расстояние предмета от вершины зеркала и высоту предмета.

174. На плоско-параллельную стеклянную пластинку толщиной $d = 5$ *см* падает узкий параллельный пучок белого света под углом $\alpha = 30°$. Определить расстояние между крайними красными и фиолетовыми лучами светового пучка, выходящего из противоположной грани пластинки, если для этих лучей показатели преломления стекла соответственно $n_к = 1{,}51$ и $n_ф = 1{,}53$.

175. Если смотреть вертикально сверху на стеклянную плоско-параллельную пластинку, то ее толщина представляется равной 5 *см*. Какова действительная толщина пластинки? Показатель преломления стекла $n = 1{,}5$.

176. Показатель преломления алмаза $n_1 = 2{,}42$, а стекла $n_2 = 1{,}5$. Каково должно быть отношение толщин этих веществ, чтобы время распространения света в них было одинаковым?

177. В водоем на некоторую глубину помещают сначала источник фиолетового света, а затем на то же место источник красного света. Показатель преломления воды для красных лучей $n_1 = 1{,}328$, для фиолетовых $n_2 = 1{,}335$. Вычислить отношение радиусов кругов, в пределах которых возможен выход красных и фиолетовых лучей из воды.

178. На какой глубине h находится водолаз, если он, смотря на поверхность воды, хорошо видит предметы на дне водоема на расстоянии $l = 35$ *м* и больше? Показатель преломления воды $n = 1{,}3$. Рост водолаза не учитывать.

179. На стеклянную плоско-параллельную пластинку, находящуюся в воздухе, падает луч света под углом $\alpha = 30°$. Пластинку переносят из воздуха в среду с показателем преломления $n_3 = 2$. На пластинку падает луч света под тем же углом $\alpha = 30°$. Показатель преломления стекла $n_2 = 1{,}5$. Во сколько раз изменится смещение луча на нижней грани пластинки?

180. Построить ход произвольного луча, падающего на собирающую (а также рассеивающую) линзу, если положение фокусов на главной оптической оси задано.

181. Двояковыпуклая линза с оптической силой в 1 диоптрию собирает параллельный пучок лучей. На каком расстоянии за линзой надо поставить вогнутое зеркало, чтобы свет отразился от него параллельным пучком? Радиус кривизны зеркала 4 *м*.

182. Человек сначала рассматривал звезду на небосводе, а затем перевел глаза на книгу, расположенную на расстоянии наилучшего зрения (25 *см*). Вычислить изменение главного фокусного расстояния хрусталика глаза.

183. Лупа установлена для рассматривания светящегося предмета, высота которого $h = 2$ *мм*. Предмет находится на расстоянии $d = 12$ *мм* от центра лупы. За лупой на расстоянии $l = 20$ *мм* от ее центра помещают собирающую линзу, а на расстоянии $f_1 = 150$ *мм* экран, на котором получается действительное изображение предмета. Главное фокусное расстояние линзы $F_1 = 100$ *мм*. Определить высоту мнимого изображения предмета.

184. Точечный источник света находится на двойном фокусном расстоянии от собирающей линзы (на ее оптической оси). На каком расстоянии за линзой нужно поместить плоское зеркало перпендикулярно к оси, чтобы лучи, отразившись от него и вторично пройдя через линзу, стали параллельными оптической оси?

185. На рассеивающую линзу падает цилиндрический пучок света параллельно главной оптической оси. Диаметр пучка $d = 5$ *см*. За линзой на расстоянии $L = 20$ *см* установлен экран. Диаметр пучка на экране $D = 15$ *см*. Определить фокусное расстояние линзы.

186. Светящаяся точка находится от экрана на расстоянии $L = 1$ *м*. Помещая между экраном и светящейся точкой собирающую линзу и перемещая ее от светящейся точки к экрану, можно получить на экране два изображения точки, если $L > 4F$. Одно изображение будет увеличенное, другое уменьшенное. Расстояние перемещения линзы, при котором получаются изображения, $l = 20$ *см*. Определить фокусное расстояние линзы.

187. Близорукий человек может читать мелкий шрифт на расстоянии не более 18 *см*. Чему равны фокусное расстояние линз очков, восполняющих недостаток таких близоруких глаз, и их оптическая сила?

188. Объективом театрального бинокля служит собирающая линза с главным фокусным расстоянием $F_1 = 8$ *см*, а окуляром рассеивающая линза с главным фокусным расстоянием $F_2 = 4$ *см*. Чему равно расстояние между объективом и окуляром, если изображение рассматривают глазом с расстояния наилучшего зрения? На сколько нужно переместить окуляр для того, чтобы изображение можно было рассматривать глазом, аккомодированным на бесконечность?

189. Наблюдатель с нормальным зрением установил микроскоп так, чтобы ясно видеть предмет. Что должен сделать близорукий наблюдатель, чтобы ясно увидеть предмет?

190. По одну сторону рассеивающей линзы (на ее оптической оси) на расстоянии $d = 30$ *см* находится точечный источник света, по другую сторону линзы на расстоянии $l_1 = 18$ *см* расположен экран. Освещенность экрана E. Когда экран отодвигают на расстояние $l_2 = 33$ *см* от линзы, освещенность светового пятна становится $\frac{E}{2}$. Найти фокусное расстояние линзы.

191. Линзой с главным фокусным расстоянием F предмет проектируют на экран, отстоящий от линзы на расстоянии $3F$, а затем экран убирают и на расстоянии, равном $6F$, помещают вогнутое зеркало с радиусом кривизны $5F$. Вычислить увеличение, даваемое этой оптической системой.

192. Тонкие собирающая и рассеивающая линзы, сложенные вместе, дают на экране изображение предмета. Расстояние от линз до изображения в два раза больше, чем расстояние от линз до предмета. Не меняя расстояния от линз до предмета, удаляют рассеивающую линзу, а чтобы получить изображение предмета от одной собирающей линзы, экран смещают ближе к линзе. Расстояние от линзы до изображения и предмета становится одинаковым. Определить главные фокусные расстояния линз, если известно, что расстояние от линз до предмета $d = 2$ *м*.

193. С помощью объектива, состоящего из тонких, сложенных вплотную рассеивающей и собирающей линз, предмет проектируют на экран. Расстояние от объектива до предмета $d = 25$ *см*, а до изображения $f = 4$ *м*. Определить главное фокусное расстояние рассеивающей линзы, если ее оптическая сила в два раза больше (по абсолютной величине) оптической силы собирающей линзы.

194. Объектив, состоящий из собирающей и рассеивающей линз, сложенных вплотную, используется как лупа. Увеличение такой лупы $k = 4$. Определить оптическую силу и главное фокусное расстояние каждой линзы объектива, если известно, что оптическая сила собирающей линзы в четыре раза больше (по абсолютной величине) оптической силы рассеивающей линзы.

195. Два наблюдателя — близорукий и дальнозоркий видят текст книги: близорукий на расстоянии 15 *см*, дальнозоркий на расстоянии 50 *см*. В очках оба наблюдателя видят этот текст на расстоянии 25 *см*. Определить оптическую силу очков того и другого наблюдателя.

196. При наибольшем удалении объектива от пленки фотоаппарат дает резкие снимки предметов, расположенных на расстоянии 1,5 *м* от объектива. Какова должна быть оптическая сила линзы, которую необходимо насадить на объектив, чтобы можно было получить резкие снимки предметов, расположенных на расстоянии 50 *см* от объектива?

197. Плоско-выпуклая линза имеет оптическую силу $D = 1$ диоптрии. Плоскую сторону этой линзы посеребрили. Перед выпуклой стороной на главной оптической оси поместили электрическую лампу. Расстояние от лампы до линзы $d = 70$ *см*. Где надо поместить экран, чтобы получить резкое изображение лампы?

198. На рассеивающую линзу с главным фокусным расстоянием F_1 падает параллельный пучок лучей. На каком расстоянии от центра рассеивающей линзы надо поместить собирающую линзу, чтобы лучи из нее вышли параллельным пучком? Главное фокусное расстояние собирающей линзы $F_2 = 2F_1$.

199. Перед рассеивающей линзой (на главной оптической оси) на расстоянии d_1 от ее центра расположена светящаяся точка S. На каком расстоянии за рассеивающей линзой надо поместить собирающую линзу, чтобы лучи вышли параллельным пучком? Главные фокусные расстояния линз равны по абсолютной величине.

200. Перед рассеивающей линзой на главной оптической оси находится светящаяся точка S. Главное фокусное расстояние линзы F. Расстояние от точки S до центра линзы $d = \frac{F}{2}$. За линзой расположено вогнутое зеркало с фокусным расстоянием F. Расстояние между центрами линзы и зеркала $l = 2/3\ F$. Где находится изображение точки S? Решить эту задачу для случая, когда вместо рассеивающей линзы стоит собирающая, а вместо вогнутого зеркала — выпуклое.

201. Телескоп, установленный сначала на бесконечность, направляют затем на предмет, удаленный от объектива (представляющего собой собирающую линзу) на расстояние $d = 25$ *м*, при этом окуляр приходится сместить на $l = 4$ *см*. Определить фокусное расстояние объектива.

202. Перед собирающей линзой, фокусное расстояние которой $F = 50$ *см*, расположена светящаяся точка на расстоянии $\frac{F}{2} = 25$ *см*. Лучи от этой точки проходят через линзу и падают на плоское зеркало, поставленное перпендикулярно оси на расстоянии $\frac{F}{2} = 25$ *см* от линзы, и, отраженные им, снова проходят через линзу. На каком расстоянии от линзы соберутся лучи?

203. Две собирающие линзы с одинаковыми фокусными расстояниями $F = 10$ *см* расположены одна в фокусе другой. На расстоянии $a = 20$ *см* от одной из линз на оптической оси находится светящаяся точка. Где будет изображение точки?

204. Две одинаковые тонкие собирающие линзы, сложенные вплотную, дают на экране изображение лампочки, увеличенное в $k = 3$ раза. Расстояние между лампочкой и экраном $l = 80$ *см*. Определить оптическую силу каждой линзы.

205. С помощью объектива, состоящего из двух тонких двояковыпуклых линз, сложенных вплотную, фотографируют. Расстояние от предмета до объектива $d = 3$ *м*, а от объектива до изображения $f = 30$ *см*. Вычислить фокусное расстояние каждой линзы объектива, если фокусное расстояние одной линзы в два раза больше фокусного расстояния другой.

206. В вогнутое зеркало радиусом $R = 50$ *см* наливают воду. Оптическая сила полученной системы $D = 5{,}3$ диоптрии. Вычислить фокусное расстояние водяной линзы.

207. Две равнофокусные линзы: выпуклая и вогнутая (фокусное расстояние $F = 80$ *см*) находятся одна от другой на расстоянии $l = 100$ *см*. На каком расстоянии следует поместить светящуюся точку перед выпуклой линзой, чтобы лучи, пройдя через обе линзы, направились параллельным пучком?

208. Наблюдатель с нормальным зрением рассматривает Луну в телескоп, окуляр которого имеет фокусное расстояние $F = 5$ *см*. На сколько нужно выдвинуть окуляр, чтобы получить изображение Луны на экране, поставленном на расстоянии $f_2 = 25$ *см* от окуляра?

209. На систему, состоящую из двух тонких линз с равными по абсолютной величине фокусами (одна линза собирающая, другая рассеивающая), падает свет от бесконечно удаленного источника и собирается в точке на некотором расстоянии. Если линзы поменять местами, то изображение сместится на расстояние $a = 20$ *см*. Расстояние между линзами $L = 5$ *см*. Определить фокусное расстояние линз.

210. В микроскопе фокусное расстояние объектива $F_1 = 5{,}4$ *мм*, а окуляра $F_2 = 2$ *см*. Предмет находится от объектива на расстоянии $d_1 = 5{,}5$ *мм*. Определить увеличение микроскопа для нормального глаза.

РЕШЕНИЯ К ЗАДАЧАМ

I. МЕХАНИКА

1. На балку (рис. 13) действуют следующие силы: вес P и силы давления со стороны опор $-P_1$ и $-P_2$. Так как балка неподвижна, то геометрическая сумма действующих на нее сил равна нулю, т. е.

$$P - P_1 - P_2 = 0$$

или

$$P = P_1 + P_2.$$

Расстояния сил P_1 и P_2 до центра балки (точки приложения силы P) обратно пропорциональны этим силам:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{l_1 - \frac{l}{2}}{\frac{l}{2}}$$

или

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{2l_1 - l}{l}.$$

Решая полученные уравнения, имеем

$$P_2 = \frac{Pl}{2l_1} = \frac{15 \cdot 4}{2 \cdot 3} = 10 \text{ кГ},$$

$$P_1 = P - P_2 = 15 - 10 = 5 \text{ кГ}.$$

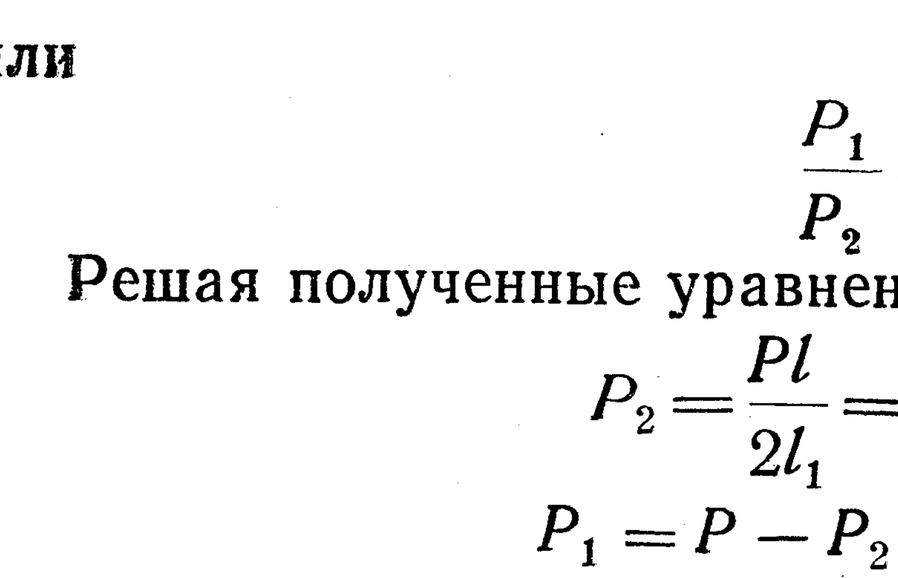


Рис. 13.

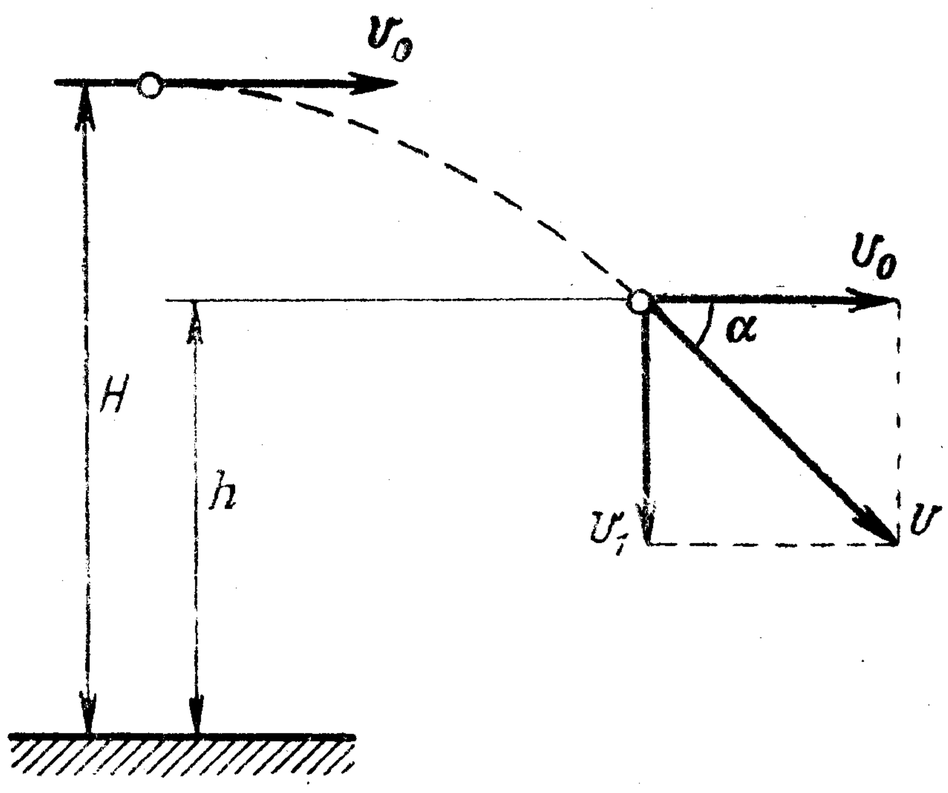


Рис. 14.

2. Если не учитывать силы трения, то во время движения камня горизонтальная составляющая скорости остается неизменной, а вертикальная составляющая скорости возрастает по закону свободного падения без начальной скорости. В тот момент, когда направление вектора скорости движения камня образует с горизонтом угол $\alpha = 45°$, вертикальная составляющая скорости v_1 равна горизонтальной составляющей скорости v_0 (рис. 14). Высоту h, на которой камень достигает величины вертикальной составляющей скорости $v_1 = v_0$, находим из кинематической зависимости $v_0 = \sqrt{2(H-h)g}$:

$$h = \frac{2gH - v_0^2}{2g} = \frac{2 \cdot 9{,}8 \cdot 40 - 20^2}{2 \cdot 9{,}8} = 20 \text{ м}.$$

Скорость камня на высоте h

$$v = \sqrt{2v_0^2} = v_0\sqrt{2} = 1{,}4v_0 = 28 \text{ м/сек}.$$

3. Обозначим через t_1 время падения первой капли при прохождении пути s_1, а через t_2 время падения второй капли при прохождении пути s_2 (рис. 15). Для первой капли получим

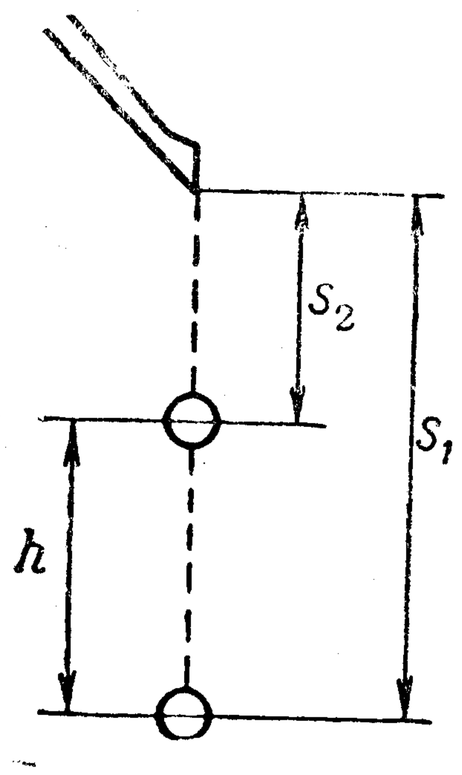


Рис. 15.

$$s_1 = \frac{gt_1^2}{2},$$

для второй капли

$$s_2 = \frac{gt_2^2}{2}.$$

Вычитая из первого равенства второе, имеем

$$h = s_1 - s_2 = \frac{gt_1^2}{2} - \frac{gt_2^2}{2} = \frac{g}{2}(t_1^2 - t_2^2).$$

Определим время падения первой капли:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2h}{g} + t_2^2} = \sqrt{\frac{2 \cdot 28}{10} + 2^2} = 3 \text{ сек}.$$

Промежуток времени, через который отрывались капли,

$$t = t_1 - t_2 = 3 - 2 = 1 \text{ сек}.$$

4. Путь, пройденный телом за время t_1,

$$s = v_0 t + \frac{at_1^2}{2}.$$

Скорость тела в конце первого отрезка пути

$$v_1 = v_0 + at_1.$$

Так как скорость тела v_1 является начальной скоростью для второго отрезка пути, то

$$s = v_1 t_2 + \frac{at_2^2}{2} = (v_0 + at_1)\, t_2 + \frac{at_2^2}{2}.$$

Найдем из зависимости $s = v_0 t_1 + \frac{at_1^2}{2}$ скорость в начале первого отрезка:

$$v_0 = \frac{s}{t_1} - \frac{at_1}{2}.$$

Подставив ее значение в формулу пути, для второго отрезка времени имеем

$$s = \left(\frac{s}{t_1} - \frac{at_1}{2} + at_1\right) t_2 + \frac{at_2^2}{2} = \left(\frac{s}{t_1} + \frac{at_1}{2}\right) t_2 + \frac{at_2^2}{2} =$$

$$= \frac{(2s + at_1^2)\, t_2 + at_1 t_2^2}{2t_1},$$

отсюда

$$2t_1 s = 2t_2 s + at_1 t_2 (t_1 + t_2).$$

Следовательно, ускорение движения тела

$$a = \frac{2s\,(t_1 - t_2)}{t_1 t_2 (t_1 + t_2)} = \frac{2 \cdot 10\,(1{,}06 - 2{,}2)}{1{,}06 \cdot 2{,}2 (1{,}06 + 2{,}2)} \approx -3 \text{ м/сек}^2.$$

Начальная скорость

$$v_0 = \frac{s}{t_1} - \frac{at_1}{2} = \frac{10}{1{,}06} + \frac{3 \cdot 1{,}06}{2} \approx 11{,}5 \text{ м/сек}.$$

5. При движении вверх по наклонной плоскости тело пройдет путь (рис. 16)

$$l = v_0 t_1 - \frac{at_1^2}{2}.$$

Скорость тела после прохождения этого пути

$$v_1 = v_0 - at_1.$$

При движении вниз тело пройдет точку, находящуюся на расстоянии l от начала движения, со скоростью

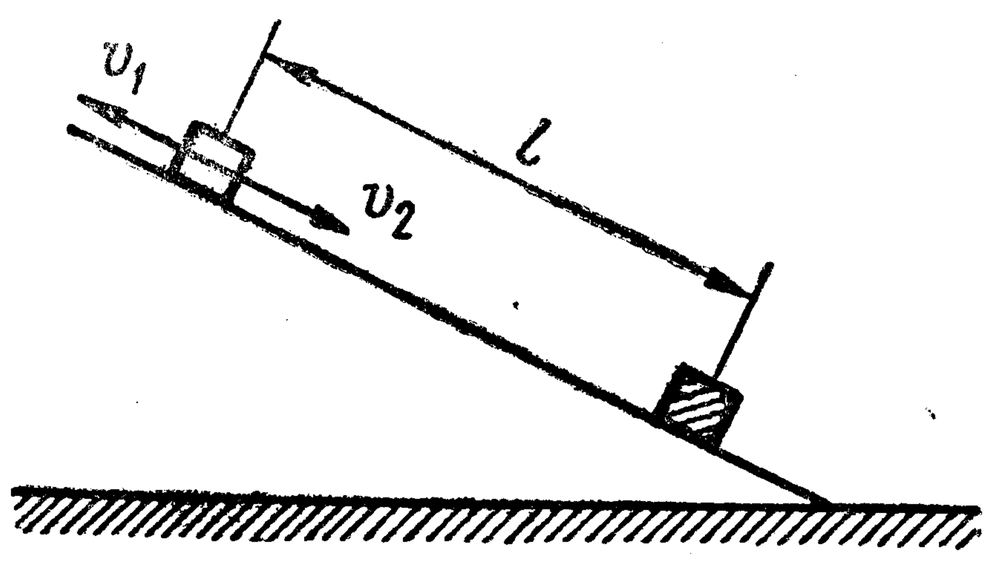


Рис. 16.

$$v_2 = v_0 - at_2.$$

Так как скорость v_1 и скорость v_2 имеют противоположные направления, то $v_1 = -v_2$. Заменяя скорости их значениями, имеем

$$v_0 - at_1 = -v_0 + at_2; \quad 2v_0 = a(t_1 + t_2); \quad v_0 = \frac{a(t_1 + t_2)}{2}.$$

Подставляя полученное значение v_0 в уравнение пройденного пути, получим

$$l = \frac{a(t_1 + t_2)}{2} t_1 - \frac{at_1^2}{2},$$

отсюда ускорение

$$a = \frac{2l}{(t_1 + t_2)t_1 - t_1^2} = \frac{2 \cdot 30}{(1+2)1 - 1^2} = 30 \text{ см/сек}^2.$$

Скорость в начале пути

$$v_0 = \frac{a(t_1 + t_2)}{2} = \frac{30(1+2)}{2} = 45 \text{ см/сек}.$$

6. Так как скорость, с которой отразился мяч, равна скорости, с которой он ударился, а угол отражения мяча равен углу падения, то траекторией мяча (рис. 17) после отражения будет BC, причем точка D является максимальной высотой подъема мяча от горизонтальной поверхности. Если бы мяч не имел соударения в точке B, то его траекторией была бы BM и максимальной высотой подъема мяча от горизонтальной поверхности явилась бы точка N, находящаяся на расстоянии l от штанги. Исходя из этого, можно утверждать, что траектории BC и BM симметричны относительно штанги. Из-за отсутствия сил трения траектории AN и NM симметричны относительно точки N, следовательно, $AK = KM$. Так как $AK = 2l$, то $AM = 4l$.

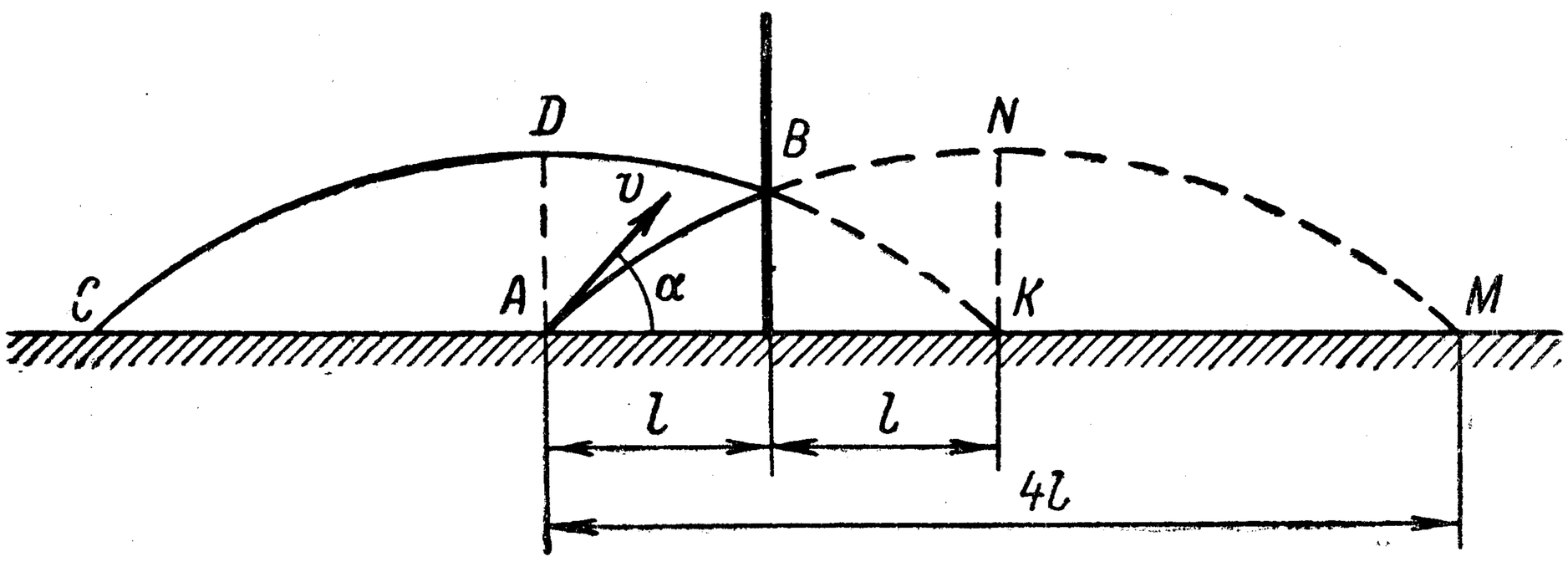


Рис. 17.

Горизонтальная составляющая скорости $v \cos \alpha$ во время движения мяча постоянна, поэтому

$$4l = v \cos \alpha \cdot t,$$

где t — время полета мяча.

Вертикальная составляющая скорости мяча $v \sin \alpha$ при подъеме мяча убывает и в верхней точке она равна нулю, т. е.

$$v \sin \alpha - g \frac{t}{2} = 0,$$

откуда

$$t = \frac{2v \sin \alpha}{g}.$$

Подставив значение времени t в формулу $4l = v \cos \alpha \cdot t$, получим

$$4l = v \cos \alpha \frac{2v \sin \alpha}{g} = \frac{v^2 \cdot 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{g} = \frac{v^2}{g} \sin 2\alpha.$$

Следовательно,

$$\sin 2\alpha = \frac{4lg}{v^2} = \frac{4 \cdot 5 \cdot 9{,}8}{16^2} \approx 0{,}766,$$

отсюда угол начальной скорости мяча

$$2\alpha = 50°, \quad \alpha = 25°.$$

7. Тело, брошенное вверх, движется замедленно. Расстояние его от земли (рис. 18) в момент встречи тел

$$H = v_0 t - \frac{gt^2}{2}.$$

Для тела, движущегося ускоренно вниз, имеем

$$h - H = v_0 t + \frac{gt^2}{2},$$

где h — наибольшая высота подъема тела, брошенного вверх.

Из этих уравнений найдем

$$h = 2v_0 t.$$

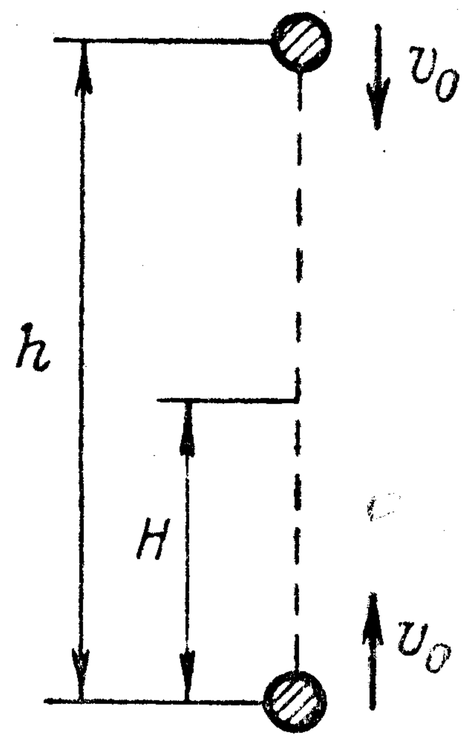


Рис. 18.

Следовательно, время с момента начала движения тел до их встречи

$$t = \frac{h}{2v_0}.$$

Зная начальную скорость тела, движущегося вверх, $v_0 = \sqrt{2gh}$, найдем наибольшую высоту подъема тела:

$$h = \frac{v_0^2}{2g}.$$

Подставляя полученное значение h, найдем время, по истечении которого тела встретятся:

$$t = \frac{v_0}{4g} = \frac{4{,}9}{4 \cdot 9{,}8} = 0{,}125 \text{ сек.}$$

Расстояние от земли в момент встречи тел

$$H = v_0 \frac{v_0}{4g} - \frac{g}{2}\left(\frac{v_0}{4g}\right)^2 = \frac{v_0^2}{4g}\left(1 - \frac{1}{8}\right) = \frac{7}{32}\frac{v_0^2}{g} = \frac{7}{32}\frac{4{,}9^2}{9{,}8} = 0{,}536 \text{ м.}$$

Скорость движущегося вверх тела в момент встречи

$$v_1 = v_0 - gt = v_0 - \frac{v_0}{4} = \frac{3}{4} v_0 = \frac{3}{4} 4{,}9 = 3{,}6 \text{ м/сек.}$$

Скорость падающего вниз тела в момент встречи

$$v_2 = v_0 + gt = v_0 + \frac{v_0}{4} = \frac{5}{4} v_0 = \frac{5}{4} 4{,}9 = 6{,}1 \text{ м/сек.}$$

8. Зависимость скорости равномерно-переменного движения от времени определяется кинематической формулой

$$v_t = v_0 \pm at.$$

Движение пули, попавшей в земляной вал, равномерно-замедленное, т. е. ускорение имеет отрицательное значение, и поэтому

$$v_t = v_0 - at.$$

Так как конечная скорость $v_t = 0$, то $v_0 = at$, откуда ускорение движения

$$a = \frac{v_0}{t}.$$

Подставляя значение ускорения в формулу пути, пройденного телом при равномерно-замедленном движении, имеем

$$s = v_0 t - \frac{at^2}{2} = v_0 t - \frac{v_0 t}{2} = \frac{v_0 t}{2},$$

откуда время движения пули внутри вала

$$t = \frac{2s}{v_0} = \frac{2 \cdot 2}{500} = 0{,}008 \text{ сек.}$$

Для вычисления скорости пули в различных точках внутри вала рассмотрим движение пули в обратном направлении от точки C к точке A (рис. 19). Это движение будет равномерно-ускоренным с начальной скоростью, равной нулю. При перемещении пули из

точки C в точку B на расстоянии s_1 скорость пули будет возрастать и в точке B достигнет величины

$$v_1 = \sqrt{2as_1}\,.$$

Скорость пули в точке A

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

откуда ускорение

$$a = \frac{v^2}{2s}\,.$$

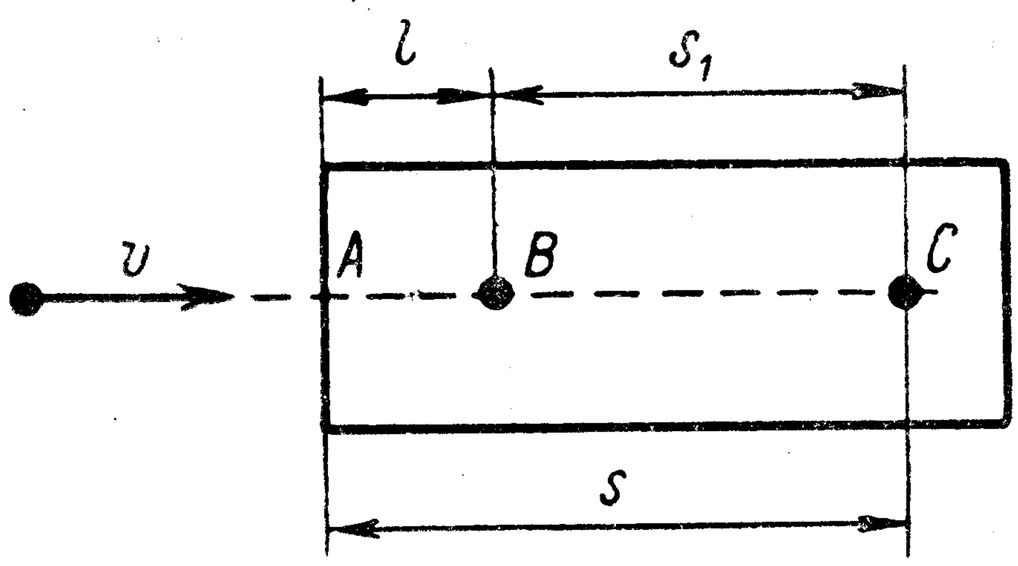


Рис. 19.

Подставляя значение ускорения в формулу скорости пули в точке B (находящейся на глубине l), имеем

$$v_1 = \sqrt{\frac{v^2}{s}\,s_1} = \sqrt{\frac{500^2 \cdot 1{,}5}{2}} = 250\sqrt{3}\ \ м/сек.$$

9. В первом случае, когда шарик подняли до точки подвеса и затем отпустили, движение шарика можно рассматривать как свободное падение без начальной скорости. Следовательно, время его движения определится из зависимости $l = \frac{gt_1^2}{2}$:

$$t_1 = \sqrt{2\,\frac{l}{g}}\,.$$

Во втором случае, когда шарик отклонили на небольшой угол, время, необходимое на возвращение шарика в положение равновесия, следует определять по формуле математического маятника. Время движения маятника равно четверти периода его колебания, следовательно,

$$t_2 = \frac{T}{4} = \frac{1}{4}\,2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}\,.$$

Искомое отношение времени движения шарика

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}}{\sqrt{\frac{2l}{g}}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1{,}11.$$

10. Период колебания маятника следует рассматривать как сумму двух полупериодов колебания маятника с различной длиной нити: один полупериод колебания с длиной нити маятника l, а другой полупериод с длиной нити маятника $l - d$:

$$T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}} + \pi\sqrt{\frac{l-d}{g}} = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left(1 + \sqrt{1 - \frac{d}{l}}\right) =$$

$$= 3{,}14\sqrt{\frac{150}{980}}\left(1 + \sqrt{1 - \frac{54}{150}}\right) = 2{,}2 \text{ сек.}$$

11. После сообщения камню скорости v, направленной вверх, он движется равномерно-замедленно и проходит путь

$$s_1 = vt - \frac{gt^2}{2}.$$

Так как в высшей точке подъема скорость камня равна нулю ($v_t = 0$), то можно найти время его полета до максимального подъема из кинематической формулы $v_t = v - gt$:

$$t = \frac{v}{g}.$$

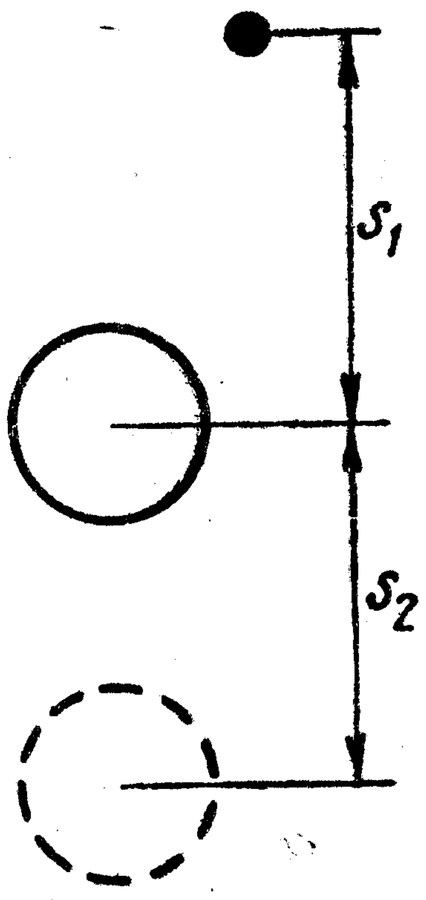


Рис. 20.

Путь, пройденный камнем до высшей точки подъема,

$$s_1 = \frac{v^2}{g} - \frac{v^2}{2g} = \frac{v^2}{2g}.$$

За время движения камня вверх шар опускался равномерно вниз (рис. 20) и прошел расстояние

$$s_2 = v_0 t = v_0 \frac{v}{g}.$$

При достижении камнем высшей точки подъема расстояние между камнем и шаром

$$s_1 + s_2 = \frac{v^2}{2g} + v_0\frac{v}{g} = \frac{v}{g}\left(\frac{v}{2} + v_0\right) = \frac{18}{9{,}8}\left(\frac{18}{2} + 2\right) \approx 20 \text{ м}.$$

При падении камень должен пролететь больший путь, так как за время его падения шар опустится еще на некоторое расстояние. Обозначим время падения камня из высшей точки до момента, когда он пролетит мимо шара через t_1, тогда

$$s_1 + s_2 + v_0 t_1 = \frac{g t_1^2}{2}.$$

Решая это уравнение, найдем время падения камня:

$$t_1 = \frac{2v_0 + v}{g}.$$

Следовательно, камень пролетит мимо шара через $t_2 = t + t_1$ секунд после того, как его бросили вверх:

$$t_2 = t + t_1 = \frac{v}{g} + \frac{2v_0 + v}{g} = \frac{2}{g}(v_0 + v) = \frac{2}{9{,}8}(2 + 18) \approx 4 \text{ сек}.$$

12. Тело, опускающееся по наклонной плоскости, движется с ускорением $g \sin \alpha$. Тело, поднимающееся по наклонной плоскости, движется замедленно с ускорением $-g \sin \alpha$.

Путь, пройденный опускающимся телом до встречи с поднимающимся телом,

$$s = \frac{g \sin \alpha \cdot t^2}{2},$$

где t — время движения тел с момента начала движения до их встречи.

Для поднимающегося по плоскости тела зависимость пройденного пути от времени и начальной скорости

$$l - s = vt - \frac{g \sin \alpha \cdot t^2}{2}.$$

Решая совместно уравнения движения тел

$$l - \frac{g \sin \alpha \cdot t^2}{2} = vt - \frac{g \sin \alpha \cdot t^2}{2},$$

определим время их движения до встречи:

$$t = \frac{l}{v} = \frac{3}{6} = 0{,}5 \text{ сек}.$$

Так как тела движутся навстречу друг другу, относительная скорость их движения равна сумме абсолютных значений скоростей.

Скорость движения опускающегося тела в момент встречи

$$v_1 = g \sin \alpha \cdot t,$$

а поднимающегося тела

$$v_2 = v - g \sin \alpha \cdot t.$$

Таким образом, относительная скорость

$$v_{отн} = v_1 + v_2 = g \sin \alpha \cdot t + v - g \sin \alpha \cdot t = v = 3 \ м/сек.$$

Следовательно, относительная скорость в момент встречи тел равна начальной скорости поднимающегося тела.

13. По второму закону Ньютона уравнение движения для вертикально движущегося груза (рис. 21)

$$P - T = \frac{P}{g} a;$$

для груза, движущегося по наклонной плоскости,

$$T - P \sin \alpha - F_{тр} = \frac{P}{g} a,$$

где $F_{тр}$ — сила трения, $F_{тр} = kP \cos \alpha$.

Решив полученную систему уравнений, получим:

$$T = \frac{P}{2}\left(1 + \sin \alpha + k \cos \alpha\right) = \frac{9{,}8}{2}\left(1 + \frac{1}{2} + 0{,}1 \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \approx 7{,}4 \ кГ,$$

$$a = \frac{g}{2}\left(1 - \sin \alpha - k \cos \alpha\right) = \frac{9{,}8}{2}\left(1 - \frac{1}{2} - 0{,}1 \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \approx 2{,}9 \ м/сек^2.$$

14. При движении вниз по наклонной плоскости с ускорением a на тело действуют следующие силы: составляющая силы тяжести, параллельная наклонной плоскости и направленная в сторону движения тела (рис. 22), $F = P \sin \alpha$ и сила трения $F_{тр}$, которая направлена в сторону, противоположную движению.

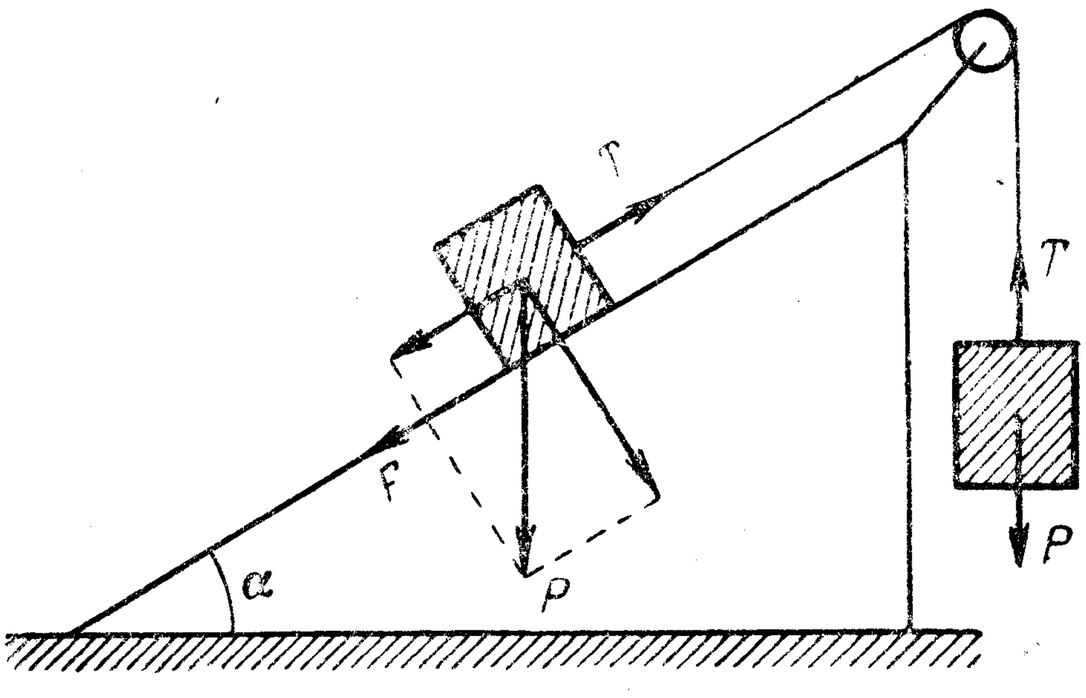


Рис. 21.

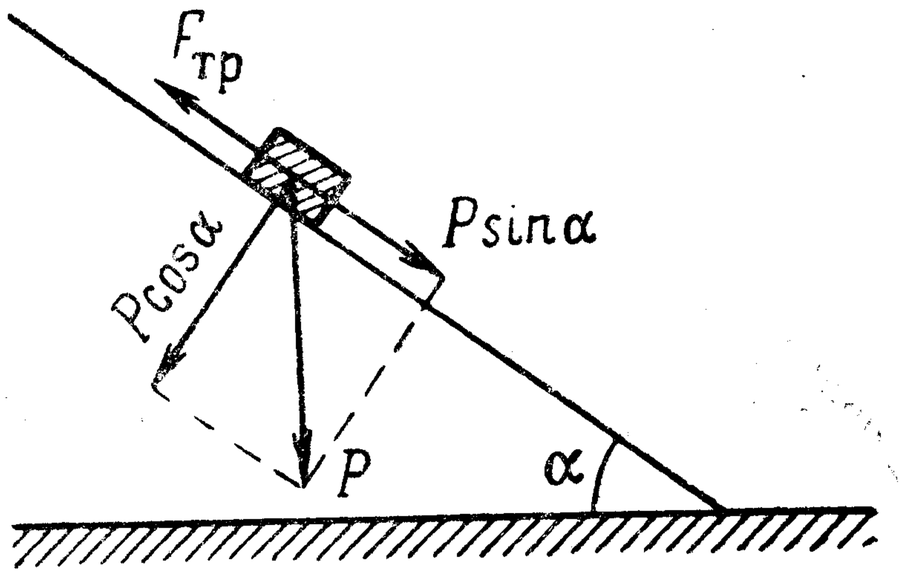


Рис. 22.

По второму закону Ньютона имеем

$$ma = F - F_{тр} = P \sin \alpha - F_{тр} = mg \sin \alpha - 0{,}005mg,$$

откуда

$$\sin \alpha = \frac{a + 0{,}005g}{g} \approx 0{,}05, \quad \alpha \approx 3^\circ.$$

При равномерном движении тела по наклонной плоскости ($a = 0$) проекции силы тяжести на наклонную плоскость $P \sin \alpha'$ по величине равна силе трения $F_{тр}$ и противоположна ей по направлению:

$$P \sin \alpha' = F_{тр}$$

или

$$mg \sin \alpha' = 0{,}005mg,$$

откуда

$$\sin \alpha' = 0{,}005, \quad \alpha' \approx 0{,}3°.$$

Следовательно, угол наклона плоскости необходимо изменить на

$$\alpha - \alpha' \approx 2{,}7°.$$

15. При равномерном движении вверх по наклонной плоскости на тело действуют следующие силы (рис. 22): сила трения $F_{тр} = kP \cos \alpha$, которая направлена в сторону, противоположную движению (где k — коэффициент трения, $P \cos \alpha$ — сила нормального давления), и составляющая силы тяжести $P \sin \alpha$, направленная также против движения. Поэтому для поддержания равномерного движения к телу надо приложить силу, направленную вверх по наклонной плоскости и равную по величине сумме двух сил, действующих против движения, т. е.

$$F_1 = P \sin \alpha + F_{тр} = P \sin \alpha + kP \cos \alpha = P (\sin \alpha + k \cos \alpha).$$

При равномерном движении тела вниз по наклонной плоскости сила трения $F_{тр}$ действует против движения, а составляющая силы тяжести $P \sin \alpha$ направлена в сторону движения тела. Для поддержания равномерного движения в этом случае к телу необходимо приложить силу

$$F_2 = F_{тр} - P \sin \alpha = kP \cos \alpha - P \sin \alpha = P (k \cos \alpha - \sin \alpha).$$

Отношение этих сил

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{k \cos \alpha + \sin \alpha}{k \cos \alpha - \sin \alpha}.$$

16. Уравнение движения для нижнего груза (рис. 23)

$$T - T_1 + 3mg = 3ma,$$

для верхнего груза

$$T_1 + mg = ma.$$

Так как по условию задачи $a = 2g$, то

$$T - T_1 + 3mg = 6mg,$$

$$T_1 + mg = 2mg.$$

Решив эту систему, найдем

$$\frac{T}{T_1} = 4.$$

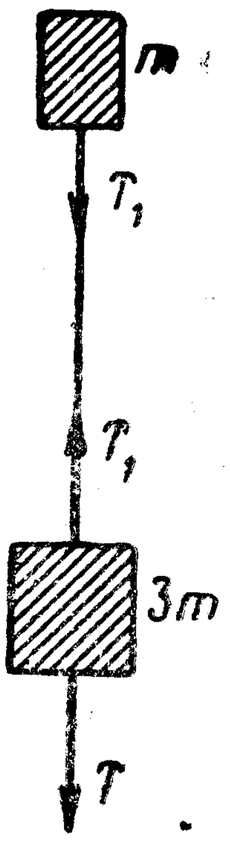


Рис. 23.

17. Обозначим через a_1 ускорение системы (см. рис. 3), приведенной в движение грузом массой m. Тогда по второму закону Ньютона

$$mg = (M + m)\, a_1$$

получим

$$a_1 = \frac{m}{M + m}\, g.$$

Если система приводится в движение грузом массой $2m$, то

$$2mg = (M + 2m)\, a_2,$$

откуда ускорение системы

$$a_2 = \frac{2m}{M + 2m}\, g.$$

Следовательно, $a_1 \neq a_2$. Подставляя данные условия задачи, получим:

$$a_1 = \frac{50}{100 + 50}\, g = \frac{1}{3}\, g.$$

$$a_2 = \frac{2 \cdot 50}{100 + 2 \cdot 50} = \frac{1}{2}\, g.$$

18. Определим по второму закону Ньютона $T = m_2 a_1$ максимальное ускорение, с которым можно тянуть два груза влево (рис. 24):

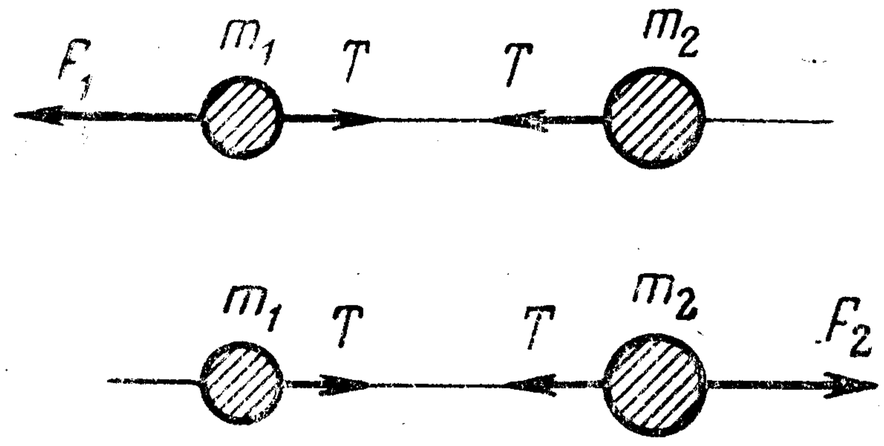


Рис. 24.

$$a_1 = \frac{T}{m_2}.$$

Максимальная величина силы, которую можно приложить к первому грузу, чтобы нить не оборвалась,

$$F_1 = a_1 (m_1 + m_2) = \frac{T}{m_2} (m_1 + m_2) = T\left(\frac{m_1}{m_2} + 1\right) =$$

$$= 500 \cdot 981 \left(\frac{50}{100} + 1\right) = 750\,000 \text{ дн}.$$

Максимальную величину силы, которую можно приложить ко второму грузу, находим из аналогичных рассуждений:

$$T = m_1 a_2,$$

$$a_2 = \frac{T}{m_1},$$

$$F_2 = a_2 (m_1 + m_2) = \frac{T}{m_1} (m_1 + m_2) = T \left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) =$$

$$= 500 \cdot 981 \left(1 + \frac{100}{50}\right) = 1\,500\,000 \text{ дн.}$$

19. Меньший шар массой m, отклоненный в сторону на угол $\alpha = 90°$ (рис. 25), приобретает потенциальную энергию по отношению к начальному положению, равную mgl. По возвращении шара в начальное положение потенциальная энергия переходит в кинетическую, т. е.

$$\frac{mv^2}{2} = mgl.$$

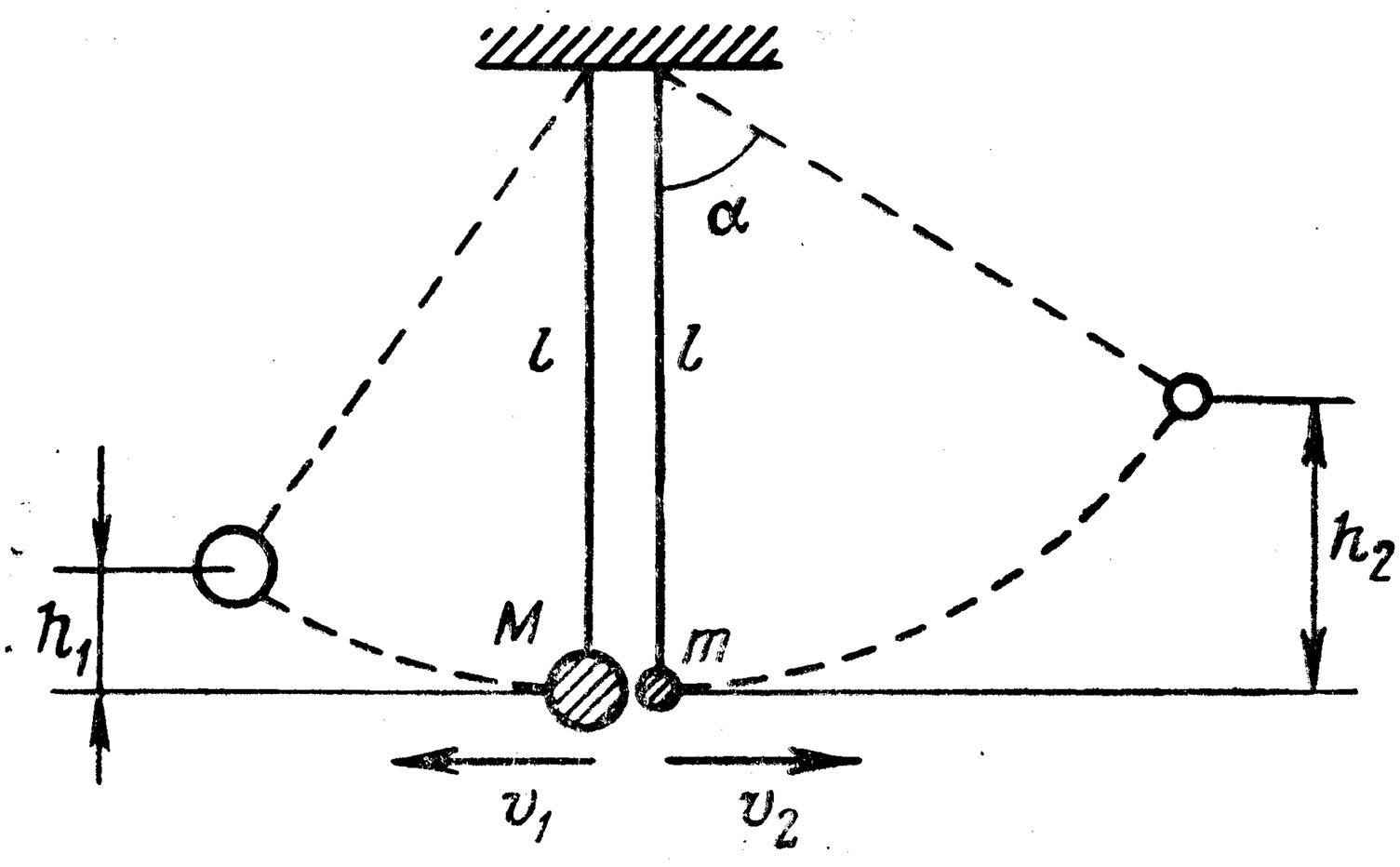


Рис. 25.

Следовательно, скорость шара массой m в момент соударения с шаром массой M

$$v = \sqrt{2gl}\ .$$

Непосредственно после соударения количество движения шаров равно количеству движения малого шара перед соударением, т. е.

$$Mv_1 - mv_2 = mv,$$

где v_1 и v_2 — скорости шаров массой M и m после соударения.

Так как шары абсолютно упругие, кинетическая энергия шара массой m, которой он обладал до соударения, равна сумме кинетических энергий шаров после соударения:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{Mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2}\ .$$

Обозначая через h_1 высоту поднятия шара массой M после соударения, а через h_2 — высоту поднятия шара массой m, получим:

$$v_1 = \sqrt{2gh_1}, \quad v_2 = \sqrt{2gh_2}.$$

Решая совместно уравнение сохранения количества движения и уравнение сохранения энергии

$$M\sqrt{2gh_1} - m\sqrt{2gh_2} = m\sqrt{2gl},$$

$$Mgh_1 + mgh_2 = mgl,$$

имеем

$$h_1 = l\frac{4m^2}{(M+m)^2} = 16 \text{ см},$$

$$h_2 = l\frac{(M-m)^2}{(M+m)^2} = 36 \text{ см}.$$

20. После приведения системы (рис. 26) в движение грузы движутся ускоренно. Определим ускорение a по второму закону Ньютона

$$(m_2 - m_1)g = (m_1 + m_2)a,$$

откуда

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}g.$$

Скорость v движения груза массой m_1 на высоте H над полом направлена вверх. Эту скорость можно найти по формуле

$$v = \sqrt{2aH}.$$

Подставляя в эту формулу полученное значение ускорения a, имеем

$$v = \sqrt{\frac{2(m_2 - m_1)gH}{m_1 + m_2}}.$$

После достижения грузом массой m_1 высоты H груз движется замедленно с ускорением $-g$ и поднимается на высоту h. Эту высоту найдем из кинематической зависимости

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

откуда

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{2(m_2 - m_1)gH}{2g(m_1 + m_2)} = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}H = \frac{nm_1 - m_1}{m_1 + nm_1}H =$$

$$= \frac{n-1}{n+1}H = \frac{2-1}{2+1}\cdot 30 = 10 \text{ см}.$$

21. Уравнение движения груза массой M (рис. 27)

$$Mg - F_{тр} = Ma_1.$$

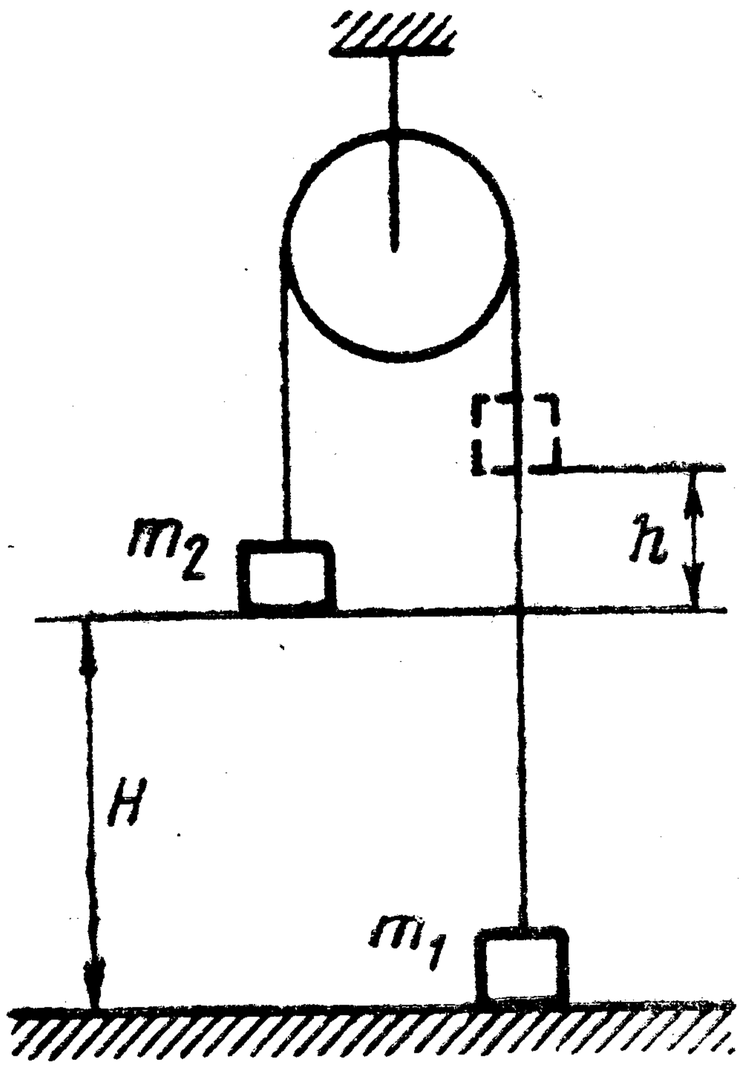


Рис. 26.

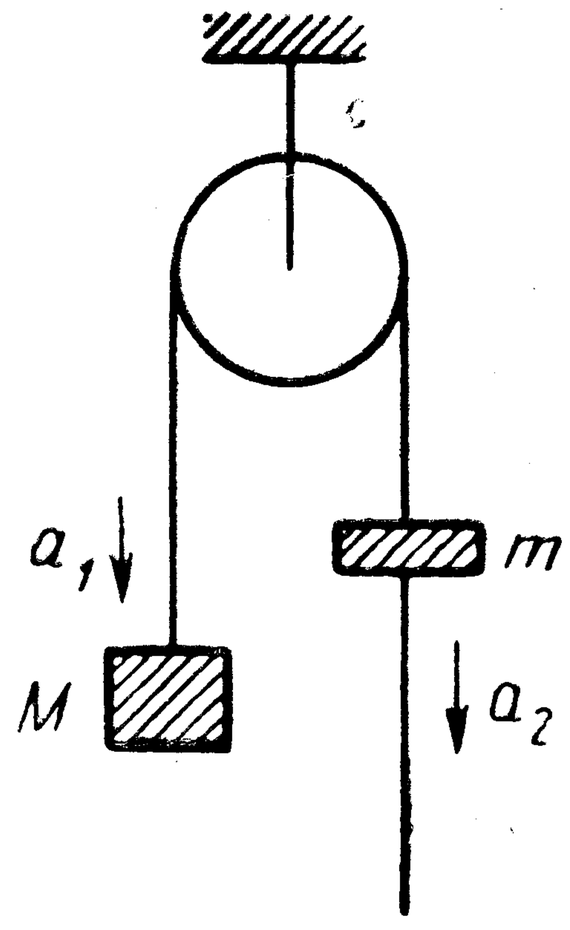


Рис. 27.

Уравнение движения кольца

$$mg - F_{тр} = m(a_2 - a_1).$$

Из этих уравнений имеем

$$(m - M)g = ma_2 - (M + m)a_1,$$

откуда ускорение груза массой M

$$a_1 = \frac{ma_2 - (m - M)g}{M + m}.$$

Сила трения кольца

$$F_{тр} = M(g - a_1) = M\left[g - \frac{ma_2 - (m - M)g}{M + m}\right] = \frac{Mm(2g - a_2)}{M + m}.$$

Подставляя условия задачи, имеем

$$a_1 = \frac{m\frac{g}{2} - (m - 1{,}5m)g}{1{,}5m + m} = 0{,}4g.$$

$$F_{тр} = \frac{1{,}5m \cdot m\left(2g - \frac{g}{2}\right)}{1{,}5m + m} = 0{,}9mg.$$

22. В ускоренном поступательном движении системы (см. рис 4) участвует как чашка, так и шарик. Следовательно, по закону Ньютона

$$F = (M + m)\, a,$$

где M — масса чашки, m — масса шарика, откуда

$$a = \frac{F}{M + m}.$$

Если бы чашка покоилась относительно Земли, то период колебаний шарика можно было бы определить по формуле математического маятника:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{R - r}{g}}.$$

Так как система движется относительно Земли ускоренно, то период колебаний

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R - r}{g + a}}.$$

Подставляя значение a, получим

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R - r}{g + \dfrac{F}{M + m}}} = \sqrt{\frac{(R - r)(M + m)}{F + (M + m)\, g}} =$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{(110 - 10)(1000 + 10)}{10^7 + (1000 + 10)\, 981}} \approx 0{,}6 \text{ сек.}$$

23. В процессе движения груз массой M опускается (следовательно, его потенциальная энергия убывает), а груз массой m поднимается (его потенциальная энергия возрастает).

Уравнение движения груза массой M

$$Mg - T = Ma,$$

а для груза массой m

$$T - mg \sin \alpha = ma.$$

Решая эти уравнения, найдем ускорение системы:

$$a = \frac{M - m \sin \alpha}{M + m}\, g.$$

Расстояние (рис. 28), на которое опустится груз массой M за время t,

$$h = \frac{at^2}{2} = \frac{M - m\sin\alpha}{2(M+m)} gt^2.$$

Груз массой m за то же время поднимется на высоту

$$s = h\sin\alpha = \frac{M - m\sin\alpha}{2(M+m)} gt^2 \cdot \sin\alpha.$$

Изменение потенциальной энергии системы за время t

$$smg - hMg = h\sin\alpha \cdot mg - hMg = hg(m\cdot\sin\alpha - M) =$$

$$= \frac{M - m\sin\alpha}{2(M+m)} g^2t^2(m\sin\alpha - M) =$$

$$= \frac{100 - 20\cdot\frac{1}{2}}{2(100+20)} \cdot 981^2 \cdot 4^2\left(20\cdot\frac{1}{2} - 100\right) \approx -54 \text{ дн.}$$

24. По закону сохранения энергии (рис. 29)

$$P(h+s) = Fs,$$

откуда

$$F = \frac{P(h+s)}{s}.$$

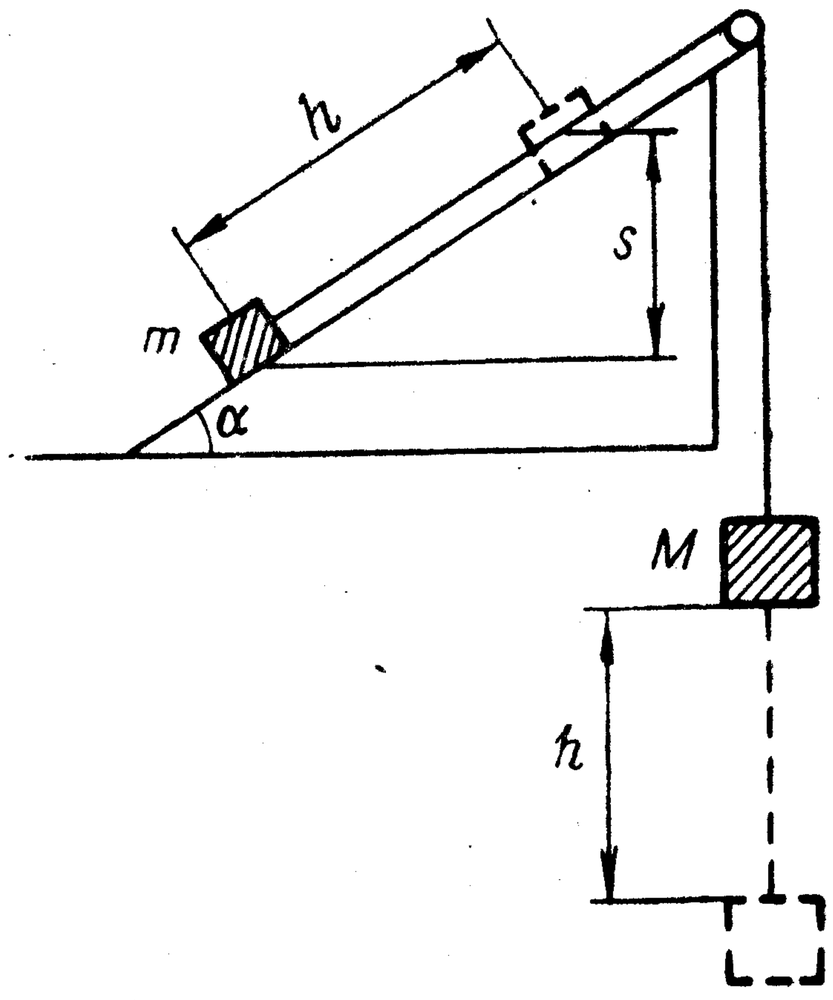


Рис. 28.

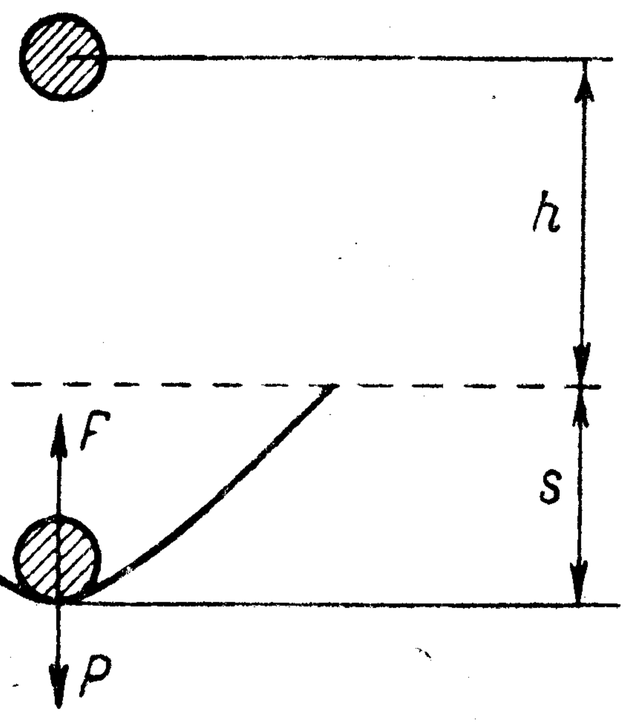


Рис. 29.

Из уравнения движения

$$F - P = \frac{P}{g} a.$$

получаем

$$a = \frac{F - P}{P} g.$$

Подставляя значение F в выражение для ускорения a, имеем

$$a = \frac{\frac{P(h+s)}{s} - P}{P} g = \frac{hg}{s}.$$

Заменяя данными условия задачи, получим:

$$a = \frac{8 \cdot 9{,}8}{1} = 78{,}4 \ \textit{м/сек.}^2,$$

$$F = \frac{70(8+1)}{1} = 630 \ \textit{кГ}.$$

25. Уравнение движения для груза, находящегося в воздухе (рис. 30),

$$mg - T = ma,$$

где T — натяжение нити. Для груза, опущенного в жидкость,

$$T + \frac{mg}{d_1} d - mg = 0,$$

здесь $\frac{mg}{d_1} d$ — архимедова сила, действующая на груз. Решив эти уравнения, найдем ускорение движения груза:

$$a = \frac{d}{d_1} g.$$

26. Проекция силы F (рис. 31) на направление движения тела $F_1 = F \cos \alpha$, вертикальная составляющая $F_2 = F \sin \alpha$. Применяя второй закон Ньютона, получим

$$ma = F_1 - F_{тр},$$

где сила трения $F_{тр} = kF_н$.

Сила нормального давления

$$F_н = P - F_2 = P - F\sin\alpha.$$

Таким образом, уравнение движения

$$ma = F\cos\alpha - k(P - F\sin\alpha),$$

откуда коэффициент трения

$$k = \frac{F\cos\alpha - ma}{P - F\sin\alpha} = \frac{1\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{10}{9{,}8}\cdot 0{,}5}{10 - 1\cdot 0{,}5} \approx 0{,}126.$$

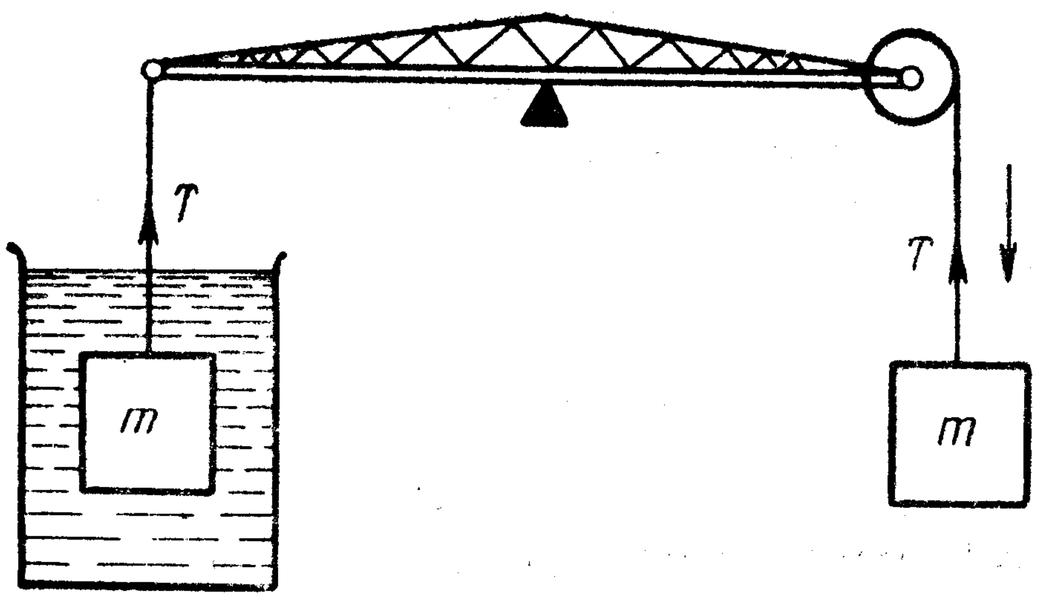


Рис. 30.

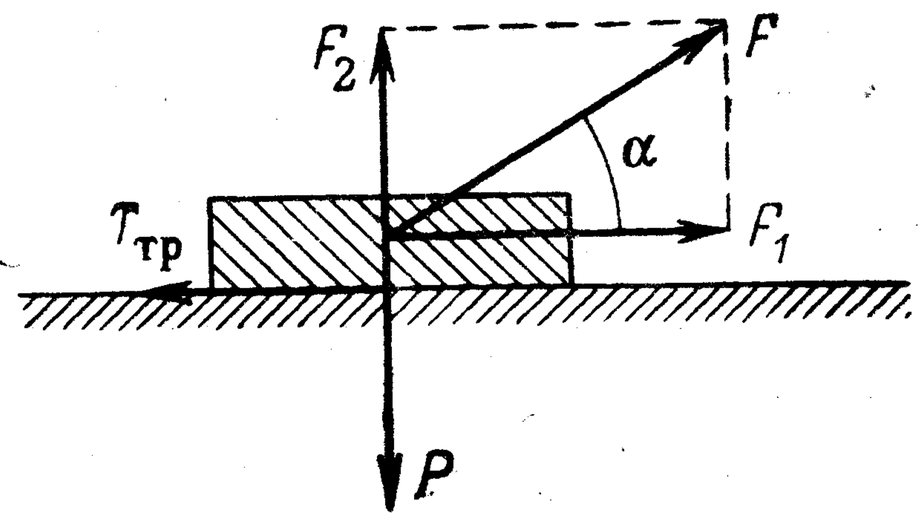


Рис. 31.

27. На камень, находящийся в воде, действуют две силы: mg — сила веса камня, направленная вниз, и $mg\frac{d_в}{d_к}$ — архимедова сила, действующая вверх, где $d_к$ — удельный вес вещества камня. Под действием этих сил камень движется вниз с ускорением

$$a = \frac{2h}{t^2}.$$

Пользуясь вторым законом Ньютона, получим

$$mg - mg\frac{d_в}{d_к} = ma$$

или

$$mg\left(1 - \frac{d_в}{d_к}\right) = m\frac{2h}{t^2},$$

отсюда удельный вес вещества камня

$$d_к = \frac{gt^2 d_в}{gt^2 - 2h} = \frac{9{,}8\cdot 2^2\cdot 1}{9{,}8\cdot 2^2 - 2\cdot 14} \approx 3{,}3\ Г/см^3.$$

28. Разложим силу тяжести тела (рис. 32) на две составляющие: одну параллельно наклонной плоскости $mg\sin\alpha$, а другую перпендикулярно к ней $mg\cos\alpha$.

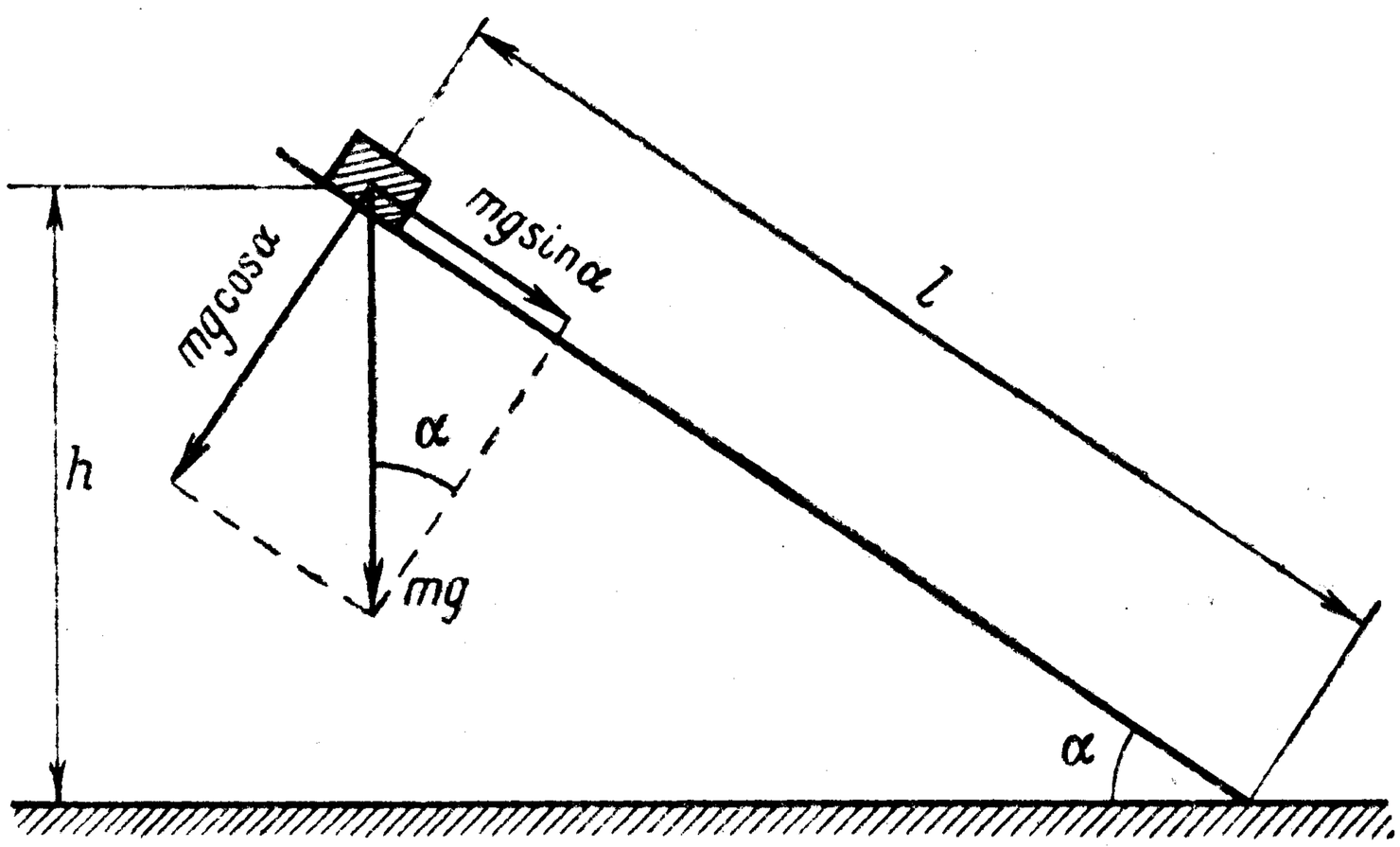


Рис. 32.

Уравнение движения имеет вид

$$mg\sin\alpha - kmg\cos\alpha = ma,$$

откуда ускорение

$$a = (\sin\alpha - k\cos\alpha)\,g.$$

Время движения тела по наклонной плоскости определяем (взяв только положительные корни) из соотношений $l = \frac{at^2}{2}$, $l = \frac{h}{\sin\alpha}$:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{a\sin\alpha}} = \sqrt{\frac{2h}{(\sin\alpha - k\cos\alpha)\,g\sin\alpha}}.$$

Скорость движения тела в конце пути найдем, подставив в уравнение скорости для равномерно-ускоренного движения $v = at$ полученные значения ускорения и времени движения тела:

$$v = (\sin\alpha - k\cos\alpha)\,g\sqrt{\frac{2h}{(\sin\alpha - k\cos\alpha)\,g\sin\alpha}} =$$

$$= \sqrt{2hg(1 - k\operatorname{ctg}\alpha)} = \sqrt{2\cdot 10\cdot 9{,}8\left(1 - 0{,}05\frac{1}{\sqrt{3}}\right)} \approx 14 \text{ м/сек}.$$

Может быть и другой путь решения.

Исходя из закона сохранения энергии, можно утверждать, что потенциальная энергия, которой обладало тело в верхней точке,

израсходована в процессе движения на преодоление сил трения и на приобретение кинетической энергии, т. е.

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + kmg\cos\alpha\,\frac{h}{\sin\alpha},$$

откуда

$$v^2 = 2hg - 2khg\operatorname{ctg}\alpha,$$

$$v = \sqrt{2hg(1 - k\operatorname{ctg}\alpha)} = \sqrt{2\cdot 10\cdot 9{,}8\left(1 - 0{,}05\cdot\frac{1}{\sqrt{3}}\right)} \approx 14 \text{ м/сек}.$$

29. На тело, движущееся вверх, действуют две силы: сила тяжести тела и сила сопротивления воздуха, которые замедляют движение тела. Вследствие этого скорость тела, постепенно уменьшаясь, в верхней точке становится равной нулю. Если указанные силы постоянны по величине, движение тела будет равномерно-замедленным с отрицательным ускорением, равным $\frac{v^2}{2h}$, где v — начальная скорость тела, h — максимальная высота подъема.

Обозначим силу трения воздуха через $F_{тр}$, а вес тела через mg, тогда сила, препятствующая движению,

$$F = F_{тр} + mg.$$

По закону Ньютона

$$F = ma = m\frac{v^2}{2h},$$

откуда сила трения воздуха

$$F_{тр} = F - mg = m\frac{v^2}{2h} - mg = m\left(\frac{v^2}{2h} - g\right).$$

Подставляя данные условия задачи, имеем

$$F_{тр} = 500\left(\frac{40^2\cdot 100^2}{2\cdot 50\cdot 100} - 981\right) =$$

$$= 359\,500 \text{ дн} \approx 368 \text{ Г}.$$

30. Найдем ускорение, с которым тело движется по окружности (рис. 33), из формулы пройденного пути $s = \frac{a_1 t_1^2}{2}$:

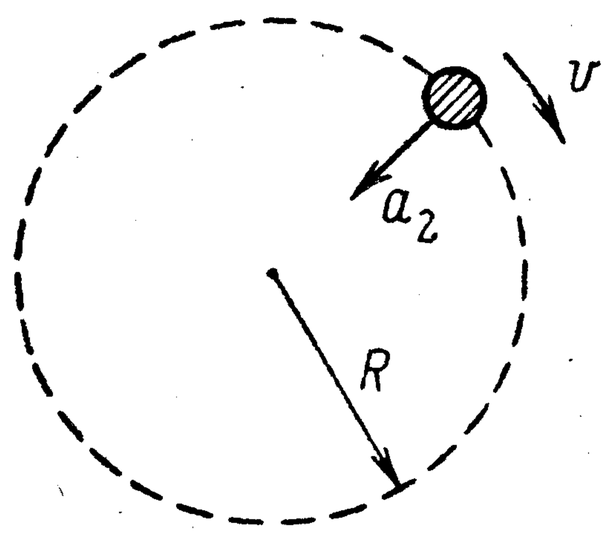


Рис. 33.

$$a_1 = \frac{2s}{t_1^2}.$$

Скорость, с которой тело будет двигаться через $t_2 = 5$ сек. после начала движения,

$$v = a_1 t_2 = \frac{2s}{t_1^2} t_2.$$

Центростремительное ускорение

$$a_2 = \frac{v^2}{R} = \frac{4s^2t_2^2}{t_1^4R} = \frac{4 \cdot 100^2 \cdot 5^2}{10^4 \cdot 0{,}4} \approx 250 \ м/сек^2.$$

31. При прохождении низшей точки траектории на груз действуют две силы: сила веса груза P, направленная вниз, и сила натяжения стержня F, направленная вверх, т. е. к центру вращения (рис. 34). Под действием этих сил тело массой $\frac{P}{g}$ движется по

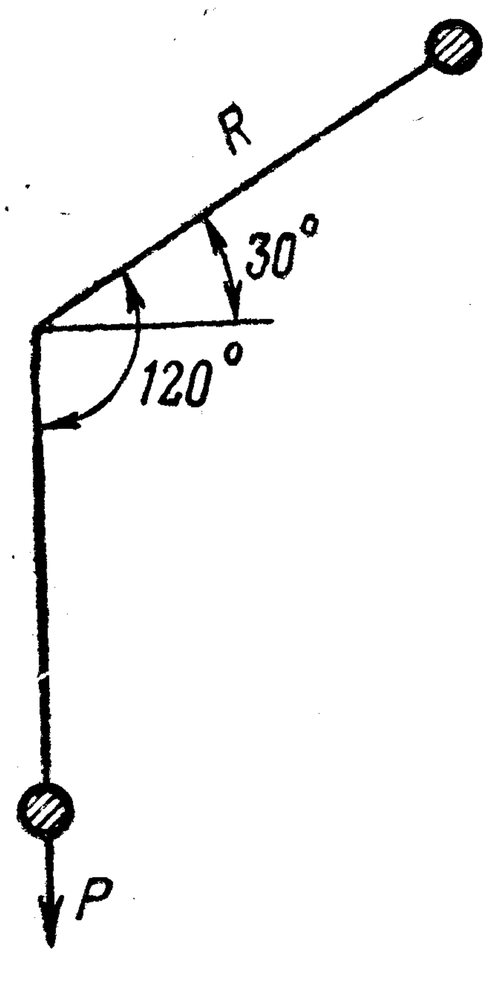


Рис. 34.

окружности радиусом R с ускорением $\frac{v^2}{R}$, направленным к центру вращения. Следовательно, на основании второго закона Ньютона получим

$$F - P = \frac{P}{g}\frac{v^2}{R},$$

где v — скорость движения груза в низшей точке траектории.

Пренебрегая трением и весом стержня, определим скорость груза в соответствии с законом сохранения энергии. Кинетическая энергия тела в низшей точке равна потенциальной энергии при наибольшем подъеме:

$$\frac{P}{g}\frac{v^2}{2} = P\left[(R + R\sin(\alpha - 90^\circ)\right] = \frac{3PR}{2},$$

откуда

$$v^2 = 3Rg.$$

Таким образом, сила натяжения стержня

$$F = P\left(1 + \frac{v^2}{Rg}\right) = P\left(1 + \frac{3Rg}{Rg}\right) = 4P = 4 \ кГ.$$

32. Так как моменты сил тяжести каждого тела относительно общего центра тяжести системы тел равны, получим (рис. 35)

$$P_1x = P_2(l - x),$$

откуда

$$x = \frac{P_2l}{P_1 + P_2},$$

где x — расстояние центра тяжести системы от тела P_1.

Натяжение нити T_1 первым телом определим по соотношению

$$T_1 = \frac{\frac{P_1}{g} v_1^2}{x} = \frac{\frac{P_1}{g} \omega^2 x^2}{x} = \frac{P_1}{g} \omega^2 x.$$

Подставляя значение x, имеем

$$T_1 = \frac{P_1}{g} \omega^2 \frac{P_2 l}{P_1 + P_2} = \frac{P_1 P_2 l}{(P_1 + P_2) g} \omega^2.$$

Аналогично найдем натяжение нити T_2 вторым телом:

$$T_2 = \frac{P_2 v_2^2}{g(l-x)} = \frac{P_2 \omega^2 (l-x)^2}{g(l-x)} = \frac{P_2}{g} \omega^2 \left(l - \frac{P_2 l}{P_1 + P_2} \right) =$$

$$= \frac{P_1 P_2 l}{(P_1 + P_2) g} \omega^2.$$

Следовательно,

$$T_1 = T_2 = \frac{P_1 P_2 l}{(P_1 + P_2) g} \omega^2 = \frac{5 \cdot 8 \cdot 1}{(5+8)\, 9{,}8} \cdot 20^2 = 125 \text{ кГ}.$$

33. Ускорение земного тяготения обратно пропорционально квадрату расстояния от центра Земли. На расстоянии, вдвое большем радиуса Земли (рис. 36),

$$a = \frac{g}{4}.$$

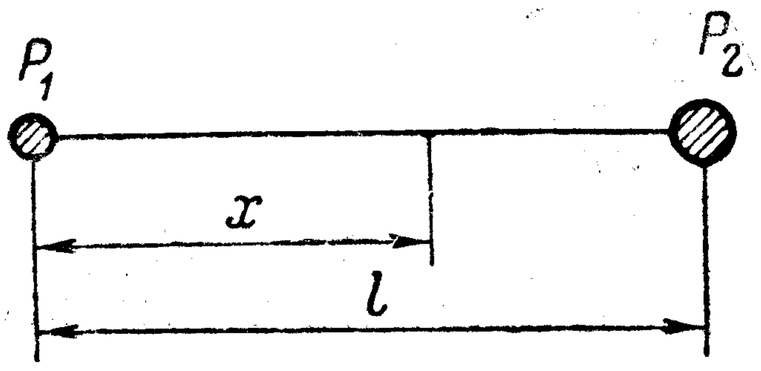


Рис. 35.

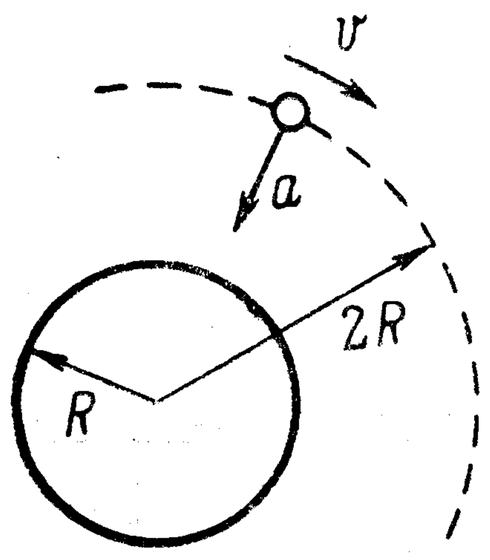


Рис. 36.

Из условия обращения спутника по окружности находим

$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{(2R\omega)^2}{2R} = \frac{4R^2 \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2}{2R} = \frac{2R \cdot 4\pi^2}{T^2},$$

откуда время обращения искусственного спутника

$$T = \sqrt{\frac{2R \cdot 4\pi^2}{a}} = \sqrt{\frac{2R \cdot 4\pi^2 \cdot 4}{g}} = 4\pi \sqrt{\frac{2R}{g}}.$$

Принимая радиус Земли $R = 6000$ *км*, а $g = 10$ *м/сек*^{2}, имеем

$$T = 4\pi\sqrt{\frac{2 \cdot 6 \cdot 10^6}{10}} = 4 \text{ часа}.$$

34. Ускорение земного тяготения на расстоянии n земных радиусов в n^2 раз меньше, чем на поверхности Земли, т. е. $\frac{g}{h^2}$. Следовательно, ускорение спутника (рис. 37), равномерно вращающегося на расстоянии R ($R = nr$, где r — радиус Земли), будет

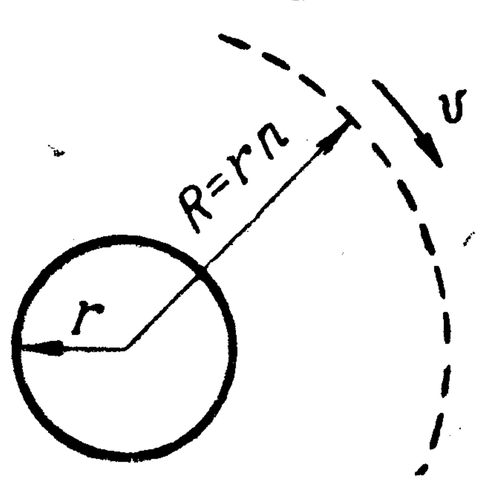


Рис. 37.

$$\frac{v^2}{R} = \frac{g}{n^2}$$

или

$$\frac{v^2}{rn} = \frac{g}{n^2},$$

откуда

$$\frac{v^2}{r} = \frac{g}{n}.$$

Скорость поступательного движения спутника на расстоянии rn от центра Земли

$$v = \frac{2\pi rn}{T}.$$

Подставляя значение v в зависимость $\frac{v^2}{r} = \frac{g}{n}$, получим

$$\frac{4\pi^2 r^2 n^2}{T^2 r} = \frac{g}{n},$$

откуда

$$n = \sqrt[3]{\frac{T^2 g}{4\pi^2 r}}.$$

35. Движение тела массой m со скоростью v вокруг Земли по круговой орбите радиусом R может происходить в том случае, если на тело действует сила

$$F = \frac{mv^2}{R},$$

Эта сила по закону всемирного тяготения является результатом гравитационного взаимодействия между телом и Землей:

$$F = \gamma \frac{mM}{R^2},$$

где M — масса Земли, γ — гравитационная постоянная. Следовательно,

$$\frac{mv^2}{R} = \gamma \frac{mM}{R^2},$$

откуда

$$v = \sqrt{\frac{\gamma M}{R}}.$$

Так как тело движется вблизи Земли, то, считая R равным радиусу Земли и принимая $R = 6{,}4 \cdot 10^8$ *см*, $M = 6 \cdot 10^{27}$ *г*, $\gamma = 6{,}67 \cdot 10^{-8}$ *см*$^3 \cdot$ *г* $\cdot$ *сек*^{2}, можно вычислить величину первой космической скорости:

$$v = 7{,}9 \cdot 10^5 \text{ см/сек} = 7900 \text{ м/сек}.$$

36. По закону сохранения энергии кинетическая энергия тела равна совершенной телом работе (рис. 38):

$$\frac{mv^2}{2} = kmgs,$$

где k — коэффициент трения.

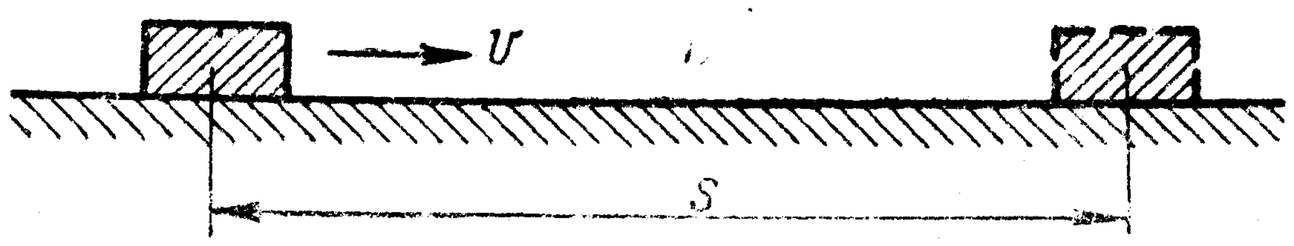


Рис. 38.

Взяв только положительное значение корня, получаем

$$v = \sqrt{2kgs} = \sqrt{2 \cdot 0{,}05 \cdot 9{,}8 \cdot 50} = 7 \text{ м/сек}.$$

37. Определим расстояние s_1 (рис. 39), пройденное куском льда при бросании его под углом α. Для этого из соотношения $v \sin \alpha - gt = 0$ найдем время максимального подъема льда:

$$t = \frac{v \sin \alpha}{g}.$$

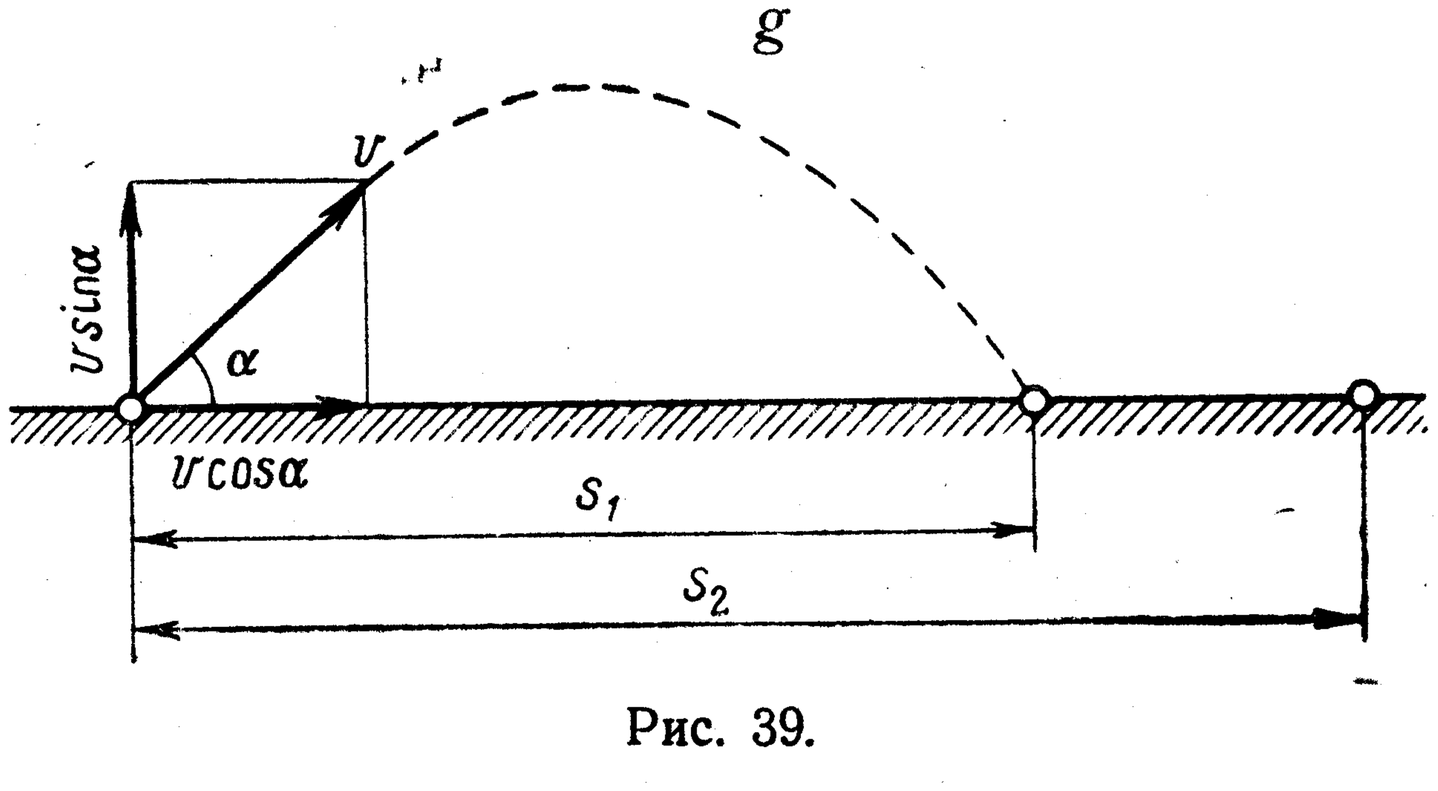


Рис. 39.

Время движения льда будет в два раза больше, т. е. $2t$. Таким образом,

$$s_1 = v \cos \alpha \cdot 2t = v \cos\alpha \frac{2v \sin \alpha}{g} = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

Путь s_2, пройденный куском льда при скольжении по льду,

$$s_2 = 10s_1 = 10\frac{v^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

Так как кинетическая энергия брошенного льда при движении израсходована на преодоление сил трения, то по закону сохранения энергии получим

$$\frac{mv^2}{2} = kmg \cdot 10\frac{v^2 \sin 2\alpha}{g},$$

откуда

$$k = \frac{1}{20 \sin 2\alpha} = \frac{1}{20 \sin 90^\circ} = \frac{1}{20}.$$

38. Тело, брошенное под углом α, прошло путь в горизонтальном направлении (рис. 40)

$$s = tv \cos \alpha.$$

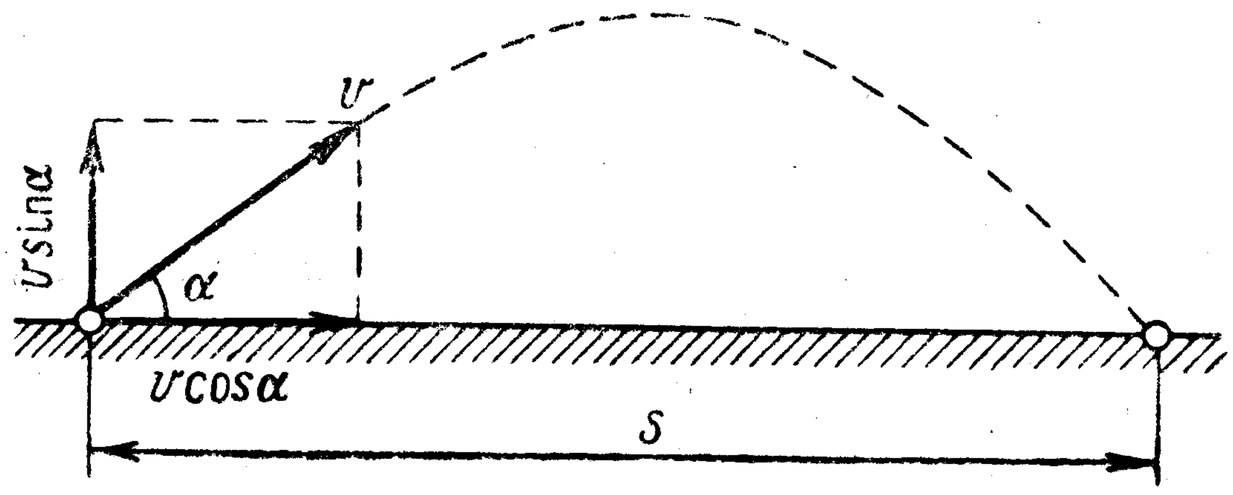


Рис. 40.

Время максимального подъема тела определяем из уравнения $v \sin \alpha = g\frac{t}{2}$. Решив эти два уравнения, найдем скорость движения тела при бросании:

$$v^2 = \frac{sg}{\sin 2\alpha}.$$

Работа, затраченная на бросание, равна кинетической энергии тела в начальный момент, т. е.

$$A = \frac{mv^2}{2} = \frac{msg}{2 \sin 2\alpha} = \frac{\frac{0{,}5}{9{,}8} \cdot 16 \cdot 9{,}8}{2 \cdot 1} = 4 \text{ кГм}.$$

39. По закону сохранения энергии разность потенциальных энергий груза в начальный и конечный моменты движения груза

равна работе, затраченной грузом на вытягивание веревки (рис. 41), т. е.

$$P(h + x) = xF,$$

откуда

$$x = \frac{Ph}{F - P} = \frac{100 \cdot 12}{180 - 100} = 15 \text{ м}.$$

40. Работа, совершенная пулей при пробивании доски (рис. 42), равна разности кинетических энергий пули до пробивания и после пробивания доски:

$$A = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2},$$

где m — масса пули, v_2 — скорость пули после пробивания доски.

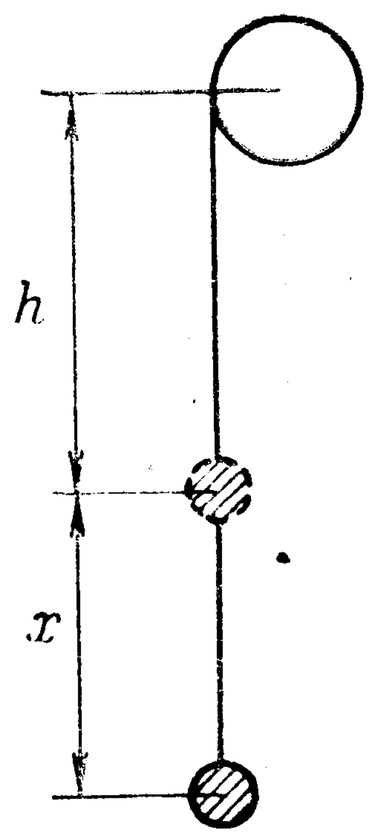


Рис. 41.

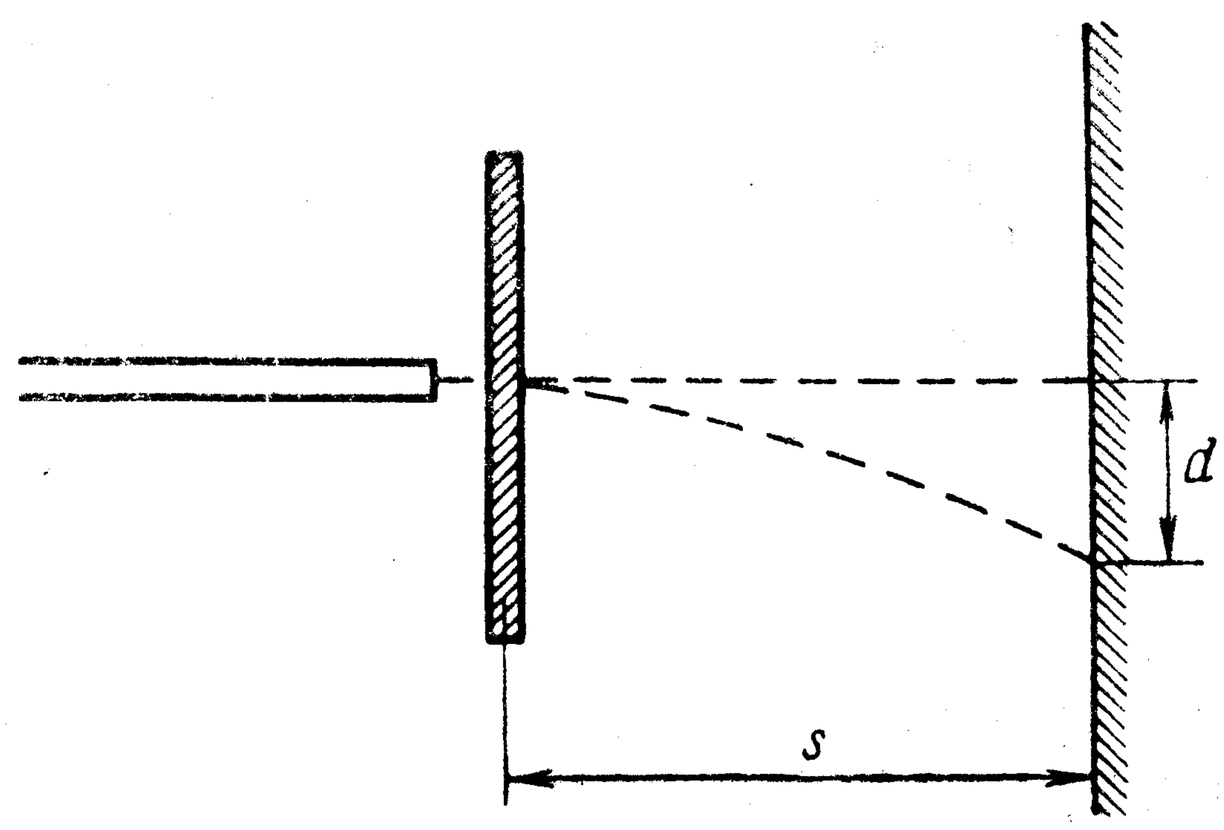


Рис. 42.

Используя формулу равноускоренного движения

$$d = \frac{gt^2}{2},$$

определим время полета пули между доской и щитом:

$$t = \sqrt{\frac{2d}{g}}.$$

Скорость пули

$$v_2 = \frac{s}{t} = \frac{s}{\sqrt{\frac{2d}{g}}}.$$

Подставив полученное значение v_2 в формулу для определения работы, получим

$$A = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{ms^2g}{2 \cdot 2d} = \frac{m}{2}\left(v_1^2 - \frac{s^2g}{2d}\right) =$$

$$= \frac{5}{2}\left(30\,000^2 - \frac{5000^2 \cdot 980}{2 \cdot 50}\right) \approx 65 \text{ дж}.$$

41. Исходя из закона сохранения энергии, можно утверждать, что потенциальная энергия тела PH (рис. 43), которой оно обладает на высоте H, расходуется на работу A по преодолению силы трения и на возрастание потенциальной энергии при подъеме на высоту h:

$$PH = A + Ph,$$

где $A = F_{тр}l$.

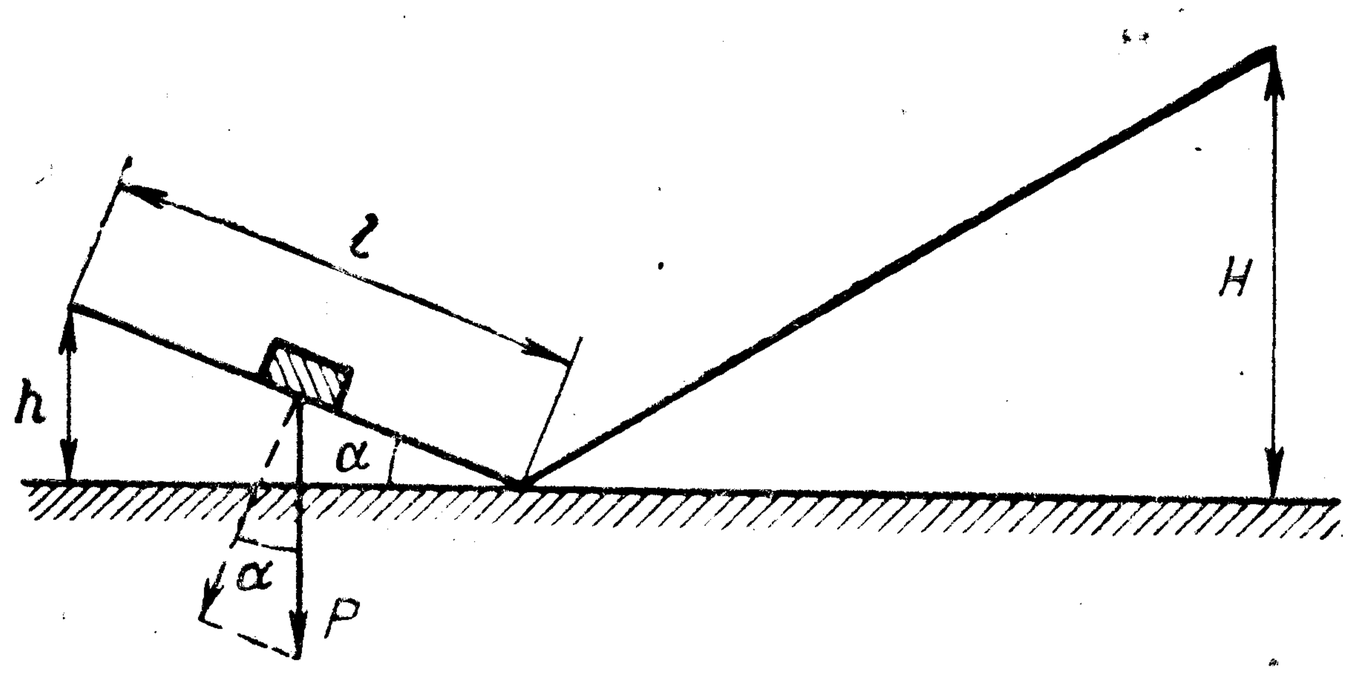


Рис. 43.

Сила трения прямо пропорциональна коэффициенту трения и силе нормального давления:

$$F_{тр} = kF_н.$$

Разложив силу веса тела на составляющие, получим силу нормального давления:

$$F_н = P\cos\alpha = P\frac{\sqrt{l^2 - h^2}}{l}.$$

Подставив полученные значения $F_{тр}$ и $F_н$ в формулу потенциальной энергии, имеем

$$PH = kPl\frac{\sqrt{l^2 - h^2}}{l} + Ph,$$

откуда коэффициент трения при подъеме тела на высоту h

$$k = \frac{H - h}{\sqrt{l^2 - h^2}} = \frac{5 - 3}{\sqrt{5^2 - 3^2}} = 0{,}5.$$

При горизонтальном движении тела после спуска с высоты H на основании закона сохранения энергии имеем

$$PH = k_1 Ps,$$

откуда коэффициент трения

$$k_1 = \frac{H}{s} = \frac{5}{20} = 0{,}25.$$

42. Составляющая силы веса (рис. 44), параллельная наклонной плоскости, $P \sin \alpha$. Мощность мотора танка

$$N = \frac{P \sin \alpha \cdot s}{t} = P \sin \alpha \cdot v,$$

где s — путь, пройденный танком за t сек., v — скорость равномерного движения танка.

Скорость, развиваемая танком,

$$v = \frac{N}{P \sin \alpha} = \frac{500 \cdot 75}{15000 \cdot \frac{1}{2}} = 5 \text{ м/сек},$$

где 75 кГм/сек = 1 л. с.

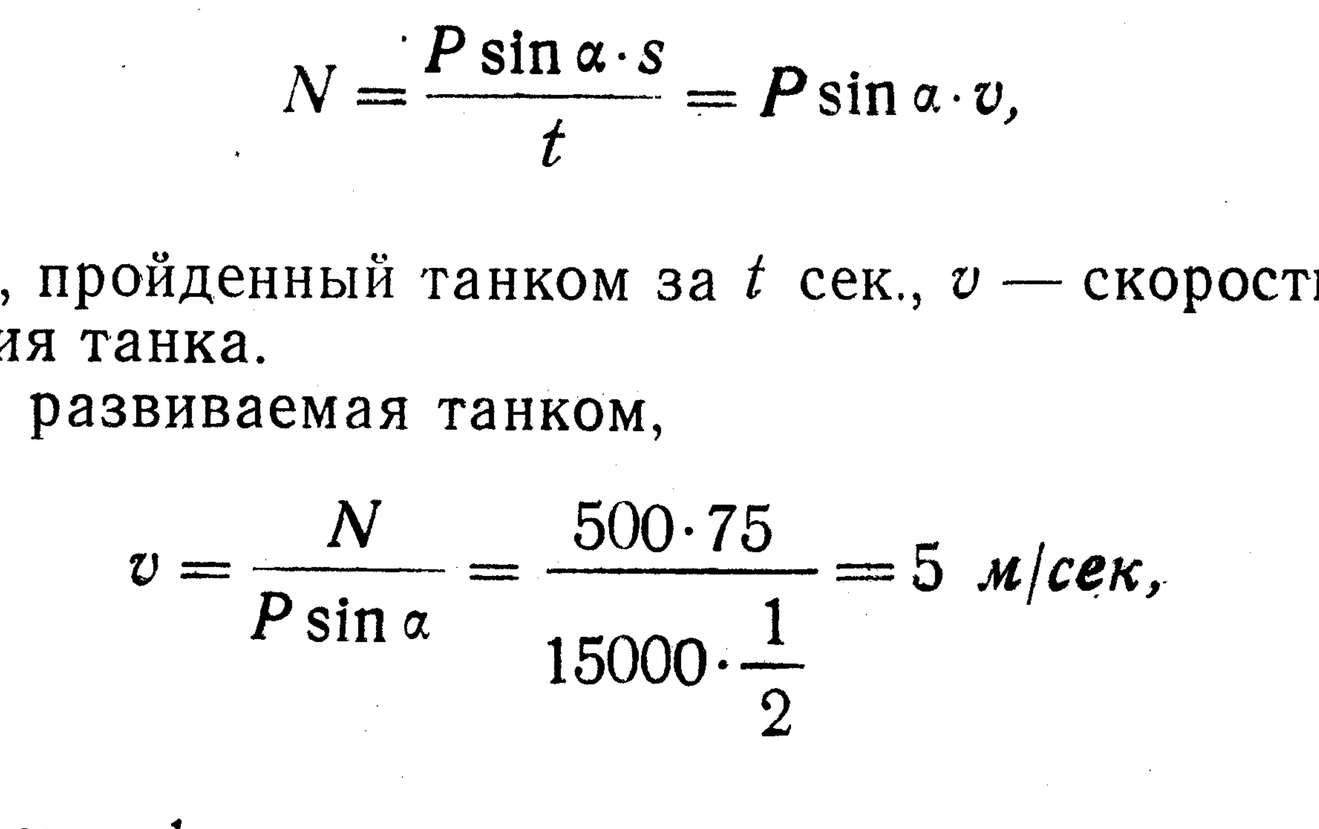


Рис. 44.

43. Учитывая составляющую веса поезда, параллельную пути, а также силу трения, определим работу A, производимую двигателем на пути s (рис. 44):

$$A = (P \sin \alpha + F_{тр})s .$$

Мощность паровоза

$$N = \frac{A}{t} = (P \sin \alpha + F_{тр}) \frac{s}{t} = (P \sin \alpha + F_{тр}) v =$$

$$= \left(6\,000\,000 \cdot \frac{5}{1000} + 1000\right) \frac{72 \cdot 1000}{3600} \text{ кГм/сек} = 80\,000 \text{ кГ/сек} =$$

$$= \frac{80\,000}{75} \text{ л. с.} = 1067 \text{ л. с.}$$

44. Работа, затрачиваемая мотором на движение состава,

$$A = kPs,$$

мощность мотора, необходимая для движения состава,

$$N = \frac{A}{t} = \frac{kPs}{t} = kPv.$$

Но эта мощность составляет только η-ую (0,9) часть мощности мотора N_1, т. е.

$$N = \eta N_1.$$

Следовательно, искомая мощность

$$N_1 = \frac{N}{\eta} = \frac{kPv}{\eta} = \frac{0{,}01 \cdot 50\,000 \cdot 21\,600}{3600 \cdot 0{,}9} = 3312 \text{ кГм/сек} = 44 \text{ л. с.}$$

45. Импульс силы равен количеству движения, приобретенному пулями:

$$Ft = nmv,$$

где F — средняя сила давления, t — время, за которое пули приобретают количество движения (в нашем случае $t = 60$ сек.).

Средняя сила давления на плечо

$$F = \frac{nmv}{t} = \frac{300 \cdot 10 \cdot 30\,000}{60} =$$

$$= 1\,500\,000 \text{ дн} \approx 1{,}5 \text{ кГ}.$$

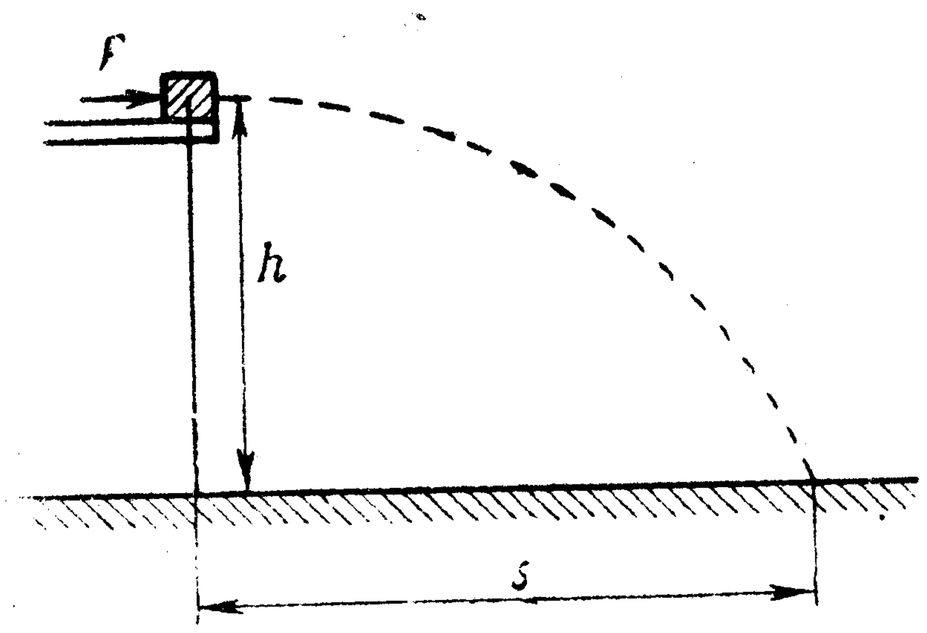


Рис. 45.

46. Из равенства импульса силы и приобретенного телом количества движения $Ft = mv$ определим составляющую вектора скорости тела, параллельную горизонту (рис. 45):

$$v = \frac{Ft}{m}.$$

Зная высоту тела над горизонтом $h = \frac{gt_1^2}{2}$, найдем время движения тела:

$$t_1 = \pm \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Расстояние, которое пройдет тело в горизонтальном направлении (учитывая положительное значение корня),

$$s = vt_1 = \frac{Ft}{m}\sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{Ft}{\frac{P}{g}}\sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{100 \cdot 0{,}01}{\frac{9{,}8}{9{,}8}}\sqrt{\frac{2 \quad 4{,}9}{9{,}8}} = 1 \quad м.$$

47. До бросания камня количество движения человека и камня равно нулю, поэтому и после бросания их суммарное количество движения равно нулю:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0,$$

где m_1 и v_1 — масса и скорость человека, m_2 и v_2 — масса и скорость камня.

Скорость камня

$$v_2 = \frac{s}{t}.$$

Следовательно,

$$-v_1 = \frac{m_2 s}{m_1 t} = \frac{\frac{P_2}{g} s}{\frac{P_1}{g} t} = \frac{\frac{0{,}5}{9{,}8} \cdot 20}{\frac{60}{9{,}8} \cdot 2} = \frac{1}{12} \; м/сек.$$

48. Обозначая скорость перемещения аэростата относительно Земли через v_2, на основании закона сохранения количества движения получим

$$\frac{P_2}{g}(v_1 - v_2) = \frac{P_1}{g} v_2$$

или

$$P_2 v_1 - P_2 v_2 = P_1 v_2,$$

откуда

$$v_2 = \frac{P_2}{P_1 + P_2} v_1 = \frac{75}{500 + 75} 0{,}5 = 0{,}065 \; м/сек.$$

Аэростат будет двигаться вниз со скоростью 6,5 *см/сек*.

49. Количество движения метеорита до соударения с ракетой mv. Количество движения ракеты до соударения с метеоритом $\frac{1}{2} m \cdot 2v = mv$. Общее количество движения после соударения равно геометрической сумме количеств движения, которыми обладали ракета и метеорит до соударения, т. е. $mv\sqrt{2}$.

50. Количество движения ракеты вместе с головной частью $7mv$. После отделения головной части количество движения ракеты

$6m\,\frac{v}{2}=3mv$, а головной части mv_1, где v_1 — скорость головной части ракеты.

По закону сохранения количества движения имеем

$$7mv=3mv+mv_1,$$

отсюда

$$v_1=4v.$$

51. Количество движения тела и пули после соударения равно количеству движения пули перед соударением, так как тело массой M до соударения было неподвижно:

$$mx=(M+m)\,v,$$

где x — скорость пули до соударения, v — скорость тела и пули непосредственно после соударения.

Скорость v находим из энергетических соотношений (рис. 46). При подъеме тела на высоту h потенциальная энергия системы увеличилась на $(M+m)gh$. Это произошло потому, что непосредственно после соударения тело и пуля, застрявшая в нем, имели кинетическую энергию $\frac{(M+m)v^2}{2}$. По закону сохранения энергии имеем

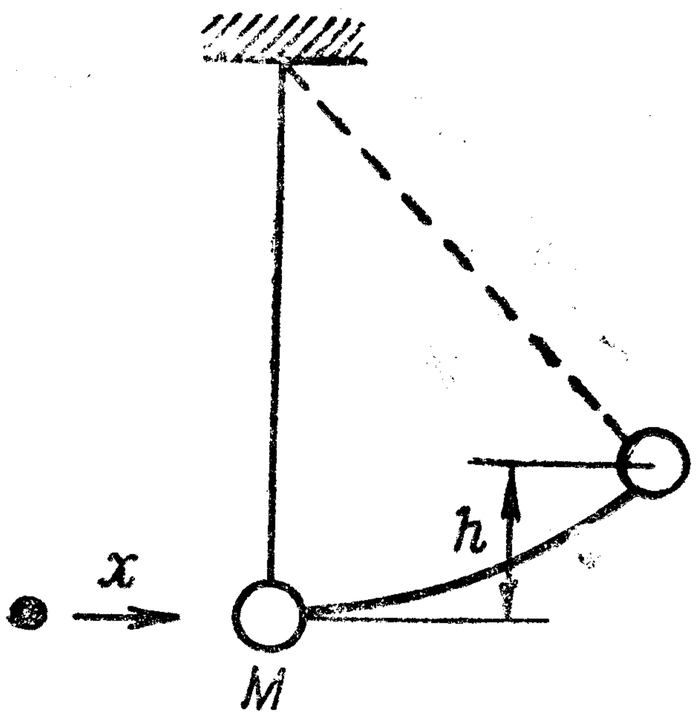


Рис. 46.

$$\frac{(M+m)v^2}{2}=(M+m)gh,$$

откуда

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

Подставляя значение скорости в уравнение количества движения, получим

$$mx=(M+m)\sqrt{2gh}\,,$$

отсюда скорость пули

$$x=\frac{(M+m)\sqrt{2gh}}{m}=\frac{(100+10)\sqrt{2\cdot 980\cdot 20}}{10}\approx$$

$$\approx 2200\ см/сек=22\ м/сек.$$

52. Количество движения пули до попадания в тележку mv_1, а количество движения тележки Mv_0. После попадания пули в тележку общее количество движения стало $(m+M)\,v_2$, где v_2 — скорость движения тележки (и пули) в момент прекращения движения

пули в песке. На основании закона сохранения количества движения имеем

$$mv_1 + Mv_0 = (m + M)\, v_2,$$

откуда искомая скорость

$$v_2 = \frac{mv_1 + Mv_0}{m + M}.$$

Кинетическая энергия тележки и пули до попадания ее в тележку

$$E_1 = \frac{Mv_0^2}{2} + \frac{mv_1^2}{2}.$$

После попадания пули общая кинетическая энергия пули и тележки

$$E_2 = \frac{(M + m)\, v_2^2}{2}.$$

Часть кинетической энергии

$$E_1 - E_2 = \frac{Mv_0^2}{2} + \frac{mv_1^2}{2} - \frac{(M + m)\, v_2^2}{2} = \frac{Mm\,(v_1 - v_0)^2}{2}$$

израсходована на преодоление сил трения пули при движении ее в песке и перешла в тепло.

Подставляя данные условия задачи, имеем

$$v_2 \approx 3 \text{ м/сек}, \quad E_1 - E_2 \approx 4 \cdot 10^5 \text{ дж}.$$

53. Кинетическая энергия шаров до соударения

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = mv.$$

Так как один шар абсолютно неупругий и шары имеют одинаковые массы, то половина их общей энергии расходуется на деформацию абсолютно неупругого шара, т. е. переходит в тепловую энергию и общая энергия шаров после соударения будет $\frac{mv^2}{2}$.

Обозначив через v_1 и v_2 скорости шаров после соударения, в соответствии с законом сохранения энергии имеем

$$mv_1 + mv_2 = 0,$$

откуда $v_1 = -v_2$, т. е. скорости шаров после соударения равны, но противоположно направлены.

Применяя закон сохранения энергии, получим

$$mv_1^2 = \frac{mv^2}{2}.$$

Следовательно, скорости после соударения

$$v_1 = -v_2 = \frac{v}{\sqrt{2}} = \frac{4}{\sqrt{2}} = 2\sqrt{2}\ м/сек.$$

54. Вследствие отсутствия внешних сил количество движения плота с находящимися на нем людьми остается в процессе перемещения людей постоянным, т. е.

$$\frac{P_1}{g}(v_1 - v) - \frac{P_2}{g}(v_2 + v) - \frac{P_3}{g}v = 0,$$

где v_1 и v_2 — скорости движения соответственно взрослого и ребенка относительно плота, v — скорость плота относительно Земли.

Так как скорость взрослого вдвое больше скорости ребенка, т. е. $v_2 = \frac{v_1}{2}$, то, исключая из уравнения v_2 и сокращая на g, получим

$$v = \frac{P_1 - \frac{P_2}{2}}{P_1 + P_2 + P_3} v_1.$$

Расстояние, на которое переместится плот,

$$x = vt.$$

Время движения плота равно времени, которое затратил взрослый на перемещение с одного конца плота на другой, т. е.

$$t = \frac{l}{v_1}.$$

Смещение плота относительно Земли

$$x = vt = \frac{P_1 - \frac{P_2}{2}}{P_1 + P_2 + P_3} l = \frac{60 - \frac{30}{2}}{60 + 30 + 600} \cdot 10 \approx 0{,}65\ м.$$

55. В точке максимального подъема снаряда (рис. 47) вертикальная составляющая скорости равна нулю:

$$v \sin \alpha - gt = 0.$$

Следовательно, время подъема снаряда

$$t = \frac{v \sin \alpha}{g}.$$

Путь s_1 по горизонтали, который пролетел снаряд до разрыва, равен расстоянию, которое пролетел осколок снаряда, упавший по вертикали после разрыва снаряда:

$$s_1 = v\cos\alpha \cdot t = \frac{v^2 \sin\alpha \cos\alpha}{g}.$$

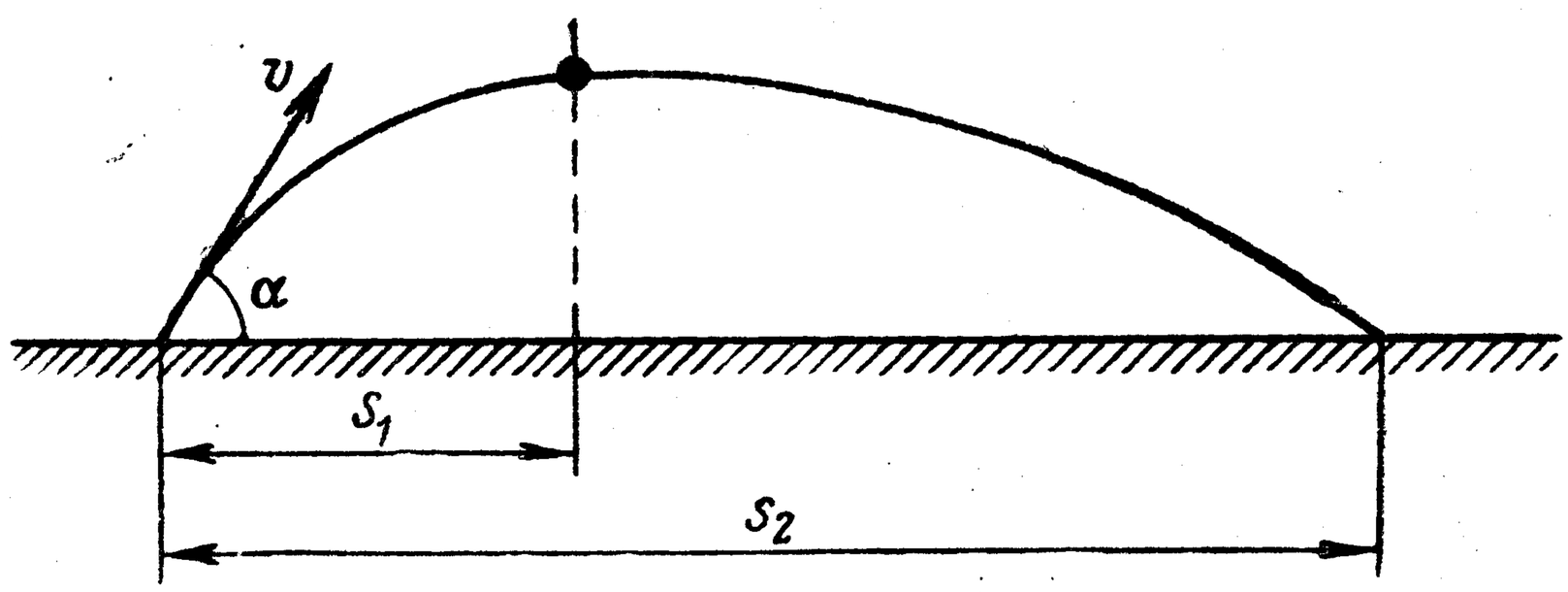


Рис. 47.

На основании закона сохранения количества движения горизонтальная составляющая количества движения второй части снаряда после его разрыва равна горизонтальной составляющей снаряда до разрыва, т. е.

$$mv\cos\alpha = \frac{m}{2}x,$$

отсюда

$$x = 2v\cos\alpha,$$

где x — горизонтальная составляющая скорости второй части снаряда.

Общий путь, который пролетит эта часть снаряда,

$$s_2 = \frac{v^2 \sin\alpha \cdot \cos\alpha}{g} + 2v\cos\alpha \frac{v\sin\alpha}{g} = \frac{3v^2 \sin\alpha \cdot \cos\alpha}{g}.$$

Отношение полученных расстояний

$$\frac{s_2}{s_1} = 3.$$

56. После погружения кусков пробки и свинца в керосин на них будут действовать три силы: сила веса, направленная вниз; архимедова сила, направленная вверх; и сила натяжения нити, тоже направленная вверх (рис. 48).

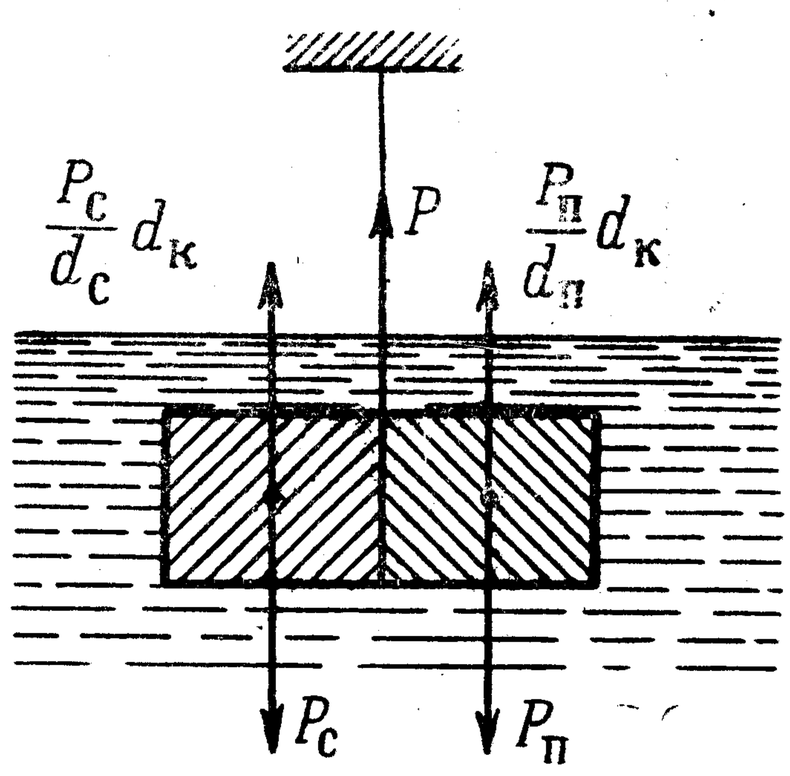


Рис. 48.

Архимедова сила равна произведению объема погруженного тела на удельный вес жидкости, в которую тело погружено. Обозна-

чая объем свинца через $V_с$, а пробки через $V_п$, имеем следующие значения архимедовой силы:

$$V_с d_к = \frac{P_с}{d_с} d_к,$$

$$V_п d_к = \frac{P_п}{d_п} d_к.$$

Так как под действием сил система находится в равновесии, то

$$P_с + P_п - \frac{P_с}{d_с} d_к - \frac{P_п}{d_п} d_к - P = 0,$$

отсюда

$$d_п = \frac{P_п d_к}{P_с + P_п - \frac{P_с}{d_с} d_к - P} = \frac{15 \cdot 0{,}8}{113 + 15 - \frac{113}{11{,}3} \cdot 0{,}8 - 60} = 0{,}2 \ г/см^3.$$

57. На тело, погруженное в воду, действуют две силы (рис. 49): сила веса тела P и архимедова сила f. Сила веса

$$P = VD_т g.$$

Архимедова сила

$$f = VD_в g,$$

где V — объем тела, $D_в$ — плотность воды. Так как эти силы направлены в противоположные стороны, равнодействующая их

$$F = f - P = VD_в g - VD_т g = Vg(D_в - D_т).$$

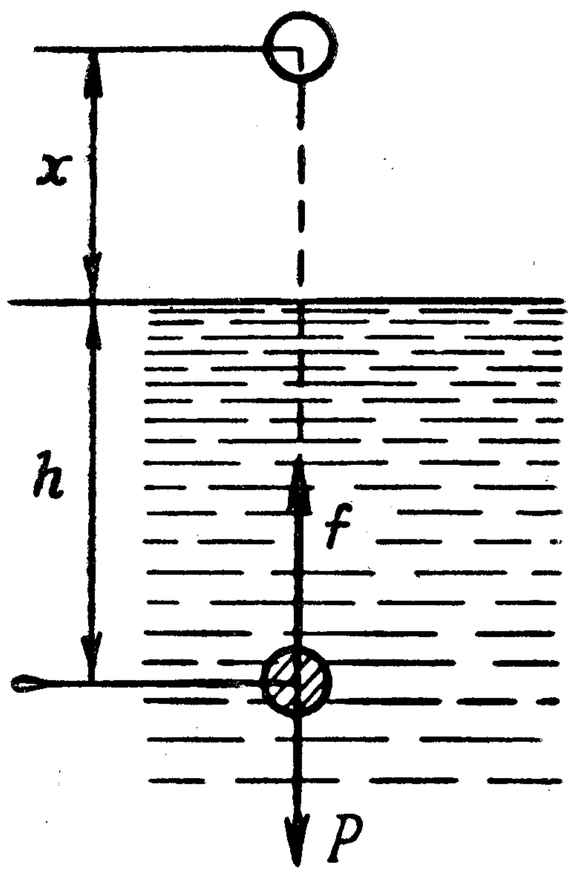


Рис. 49.

Работа, произведенная равнодействующей силой, при перемещении тела из начального положения до поверхности воды

$$A_1 = Fh = Vgh(D_в - D_т).$$

У поверхности воды тело будет обладать кинетической энергией, равной работе A_1.

Для подъема тела на высоту x над поверхностью воды необходимо совершить работу

$$A_2 = VgD_т x.$$

При отсутствии трения $A_1 = A_2$, т. е.

$$Vgh(D_в - D_т) = VgxD_т.$$

Следовательно, высота, на которую поднимется тело,

$$x = \frac{D_в - D_т}{D_т} h = \frac{1 - 0{,}8}{0{,}8} \cdot 100 \ см = 25 \ см.$$

58. При погружении в воду (рис. 49) на тело действует сила

$$F = Vg\,(D_в - D_т).$$

Так как масса тела $m = VD_т$, то по второму закону Ньютона

$$Vg\,(D_в - D_т) = VD_т a,$$

откуда ускорение движения тела в воде

$$a = \frac{Vg\,(D_в - D_т)}{VD_т} = \frac{D_в - D_т}{D_т} g.$$

Из кинематических условий

$$h = \frac{at_1^2}{2},$$

где t_1 — время движения тела от начального положения в воде до поверхности воды.

Следовательно,

$$t_1 = \sqrt{\frac{2h}{a}} = \sqrt{\frac{2hD_т}{(D_в - D_т)\,g}}.$$

Так как тело при погружении в воду на глубину h находилось в покое, а при наибольшем подъеме над водой скорость тела равна нулю, то работа сил, действующих на тело при его движении в воде, равна работе сил, приложенных к телу при его движении над водой, т. е.

$$Vgh\,(D_в - D_т) = Vgx D_т,$$

откуда высота тела над поверхностью воды

$$x = \frac{D_в - D_т}{D_т} h.$$

Время движения тела над поверхностью воды

$$t_2 = \sqrt{\frac{2x}{g}} = \sqrt{\frac{2h\,(D_в - D_т)}{D_т g}}.$$

Следовательно, время, необходимое для движения тела от начального положения в воде до наибольшего подъема над водой,

$$t = t_1 + t_2 = \sqrt{\frac{2hD_т}{(D_в - D_т)\,g}} + \sqrt{\frac{2h\,(D_в - D_т)}{D_т g}}.$$

Подставляя данные условия задачи, получим

$$t = \sqrt{\frac{2\ 100 \cdot 0{,}8}{(1 - 0{,}8)\,981}} + \sqrt{\frac{2 \cdot 100\,(1 - 0{,}8)}{0{,}8 \cdot 981}} \approx 1{,}1 \text{ сек.}$$

59. При падении тела с высоты h до соприкосновения с водой (рис. 50) тело приобретает кинетическую энергию

$$\frac{mv^2}{2} = mgh = Vd_т h.$$

Эта энергия расходуется на работу против сил сопротивления при движении тела в воде. В воде на тело действуют две силы: сила веса $mg = Vd_т$, направленная вниз, и архимедова сила $f = Vd_в$, направленная вверх. Работа этих сил против движения тела в воде

$$A = Vd_в x - Vd_т x = Vx(d_в - d_т).$$

На основании закона сохранения энергии имеем

$$Vd_т h = Vx(d_в - d_т),$$

откуда глубина погружения тела в воду

$$x = \frac{d_т}{d_в - d_т} h = \frac{0{,}8}{1 - 0{,}8} \cdot 100 = 400 \text{ } см.$$

60. Если деревянный цилиндр плавает в воде так, что 90% его высоты находится под водой (рис. 51), то архимедова сила равна $0{,}9\,Vd_в$ и, следовательно, условие равновесия

$$Vd_т = 0{,}9\,Vd_в,$$

где V — объем всего цилиндра, $d_т$ — удельный вес вещества цилиндра, $d_в$ — удельный вес воды. Отсюда

$$d_г = 0{,}9d_в.$$

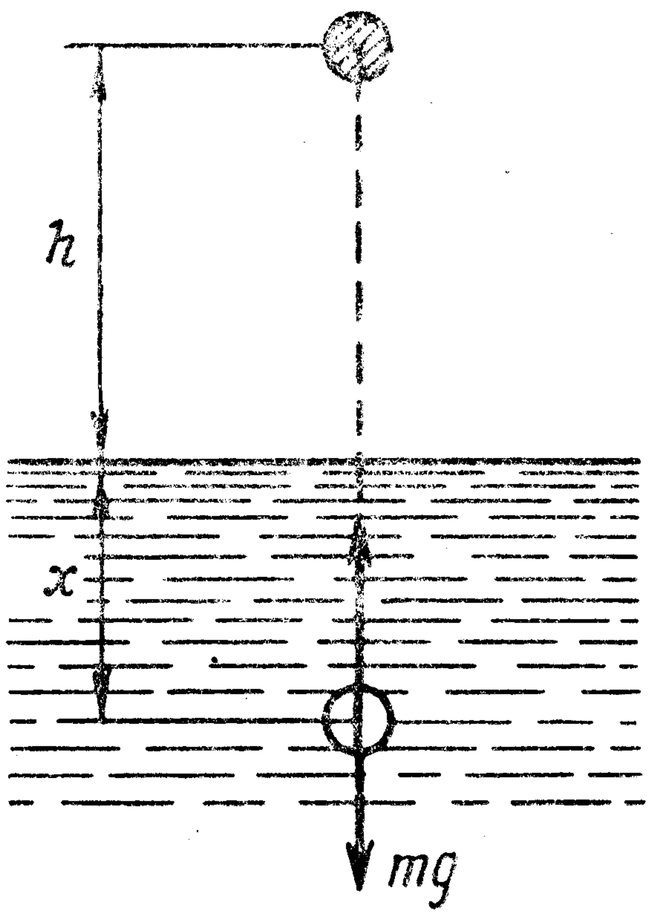


Рис. 50.

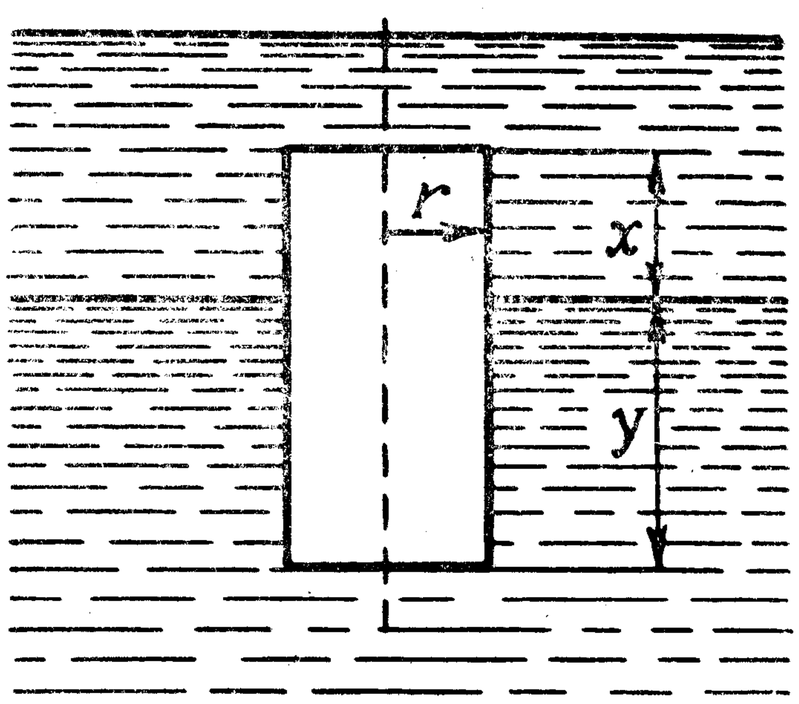


Рис. 51.

Если поверх воды налить слой масла, то условие равновесия цилиндра следующее:

$$Vd_т = V_1 d_в + V_2 d_м,$$

где V_1 — объем цилиндра, погруженный в воду, V_2 — объем ци-

линдра, находящийся в масле. Это уравнение можно представить в другом виде:

$$\pi r^2 (x + y) d_т = \pi r^2 y d_в + \pi r^2 x d_м,$$

где x — часть высоты цилиндра, находящаяся в масле, y — часть высоты цилиндра, находящаяся в воде. Решая это уравнение, найдем отношение части высоты цилиндра, находящейся в масле, к части высоты цилиндра, погруженной в воду:

$$(x + y) d_т = x d_м + y d_в,$$

$$\frac{x}{y} = \frac{d_в - d_т}{d_т - d_м} = \frac{1 - 0{,}9}{0{,}9 - 0{,}8} = 1,$$

т. е. половина цилиндра будет погружена в воду, а половина цилиндра будет находиться в масле.

II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

61. Для определенной массы газа зависимость изменения объема V и давления p от температуры выражается объединенным законом газового состояния

$$\frac{pV}{1 + \alpha t} = \frac{p_1 V_1}{1 + \alpha t_1},$$

где $\alpha = \frac{1}{273}$ — температурный коэффициент объемного расширения газа (приближенно).

Предположим, что p, V и t характеризуют состояние газа при обычных условиях, допустим, при нормальных условиях, а t_1 — искомая температура, при которой газ не производит давления. Тогда

$$pV(1 + \alpha t_1) = p_1 V_1 (1 + \alpha t),$$

а так как p_1 по условию должно быть равно нулю, то

$$pV(1 + \alpha t_1) = 0.$$

Но p и V не равны нулю, следовательно,

$$1 + \alpha t_1 = 0,$$

откуда

$$t_1 = -\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{\frac{1}{273}} = -273^\circ \text{ C}.$$

Эта температура называется абсолютным нулем.

62. Процесс происходит изохорически, поэтому по закону Шарля имеем

$$\frac{p_0}{T} = \frac{p_1}{T_1},$$

где p_0 — давление газа в открытом баллоне, T — температура, до которой нагрели газ, p_1 — давление в закрытом баллоне после охлаждения газа до температуры T_1. Откуда

$$T = \frac{p_0 T_1}{p_1} = \frac{p_0 T_1}{0{,}7 p_0} = \frac{T_1}{0{,}7} = \frac{283}{0{,}7} = 404{,}3\ ^\circ K = 131\ ^\circ C.$$

63. Объем, который будет занимать газ после нагревания при постоянном давлении, определяется по закону Гей — Люссака (рис. 52):

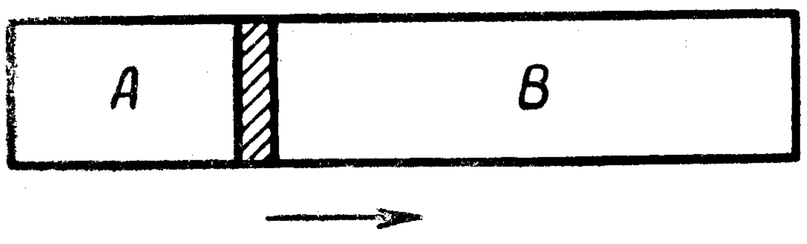


Рис. 52.

для A

$$V_A = \frac{V_0}{3}(1 + \beta t_1);$$

для B

$$V_B = \frac{2V_0}{3}(1 + \beta t_2).$$

Отношение объемов после изменения температур

$$\frac{V_A}{V_B} = \frac{\frac{V_0}{3}(1 + \beta t_1)}{\frac{2V_0}{3}(1 + \beta t_2)} = \frac{1 + \beta t_1}{2(1 + \beta t_2)} = \frac{1 + \frac{27}{273}}{2\left(1 - \frac{123}{273}\right)} = 1,$$

т. е. поршень будет делить цилиндр на две равные части.

64. По закону Шарля (изохорический процесс) имеем

$$\frac{p_0}{T_0} = \frac{p_1}{T_1},$$

откуда

$$T_1 = \frac{T_0 p_1}{p_0}.$$

Давление воздуха в сосуде (рис. 53) после нагревания равно сумме внешнего давления воздуха и давления, производимого поршнем. Поэтому температура воздуха в сосуде

$$T_1 = \frac{T_0\left(p_0 + \frac{Q}{Sd}\right)}{p_0} = \frac{273\left(76 + \frac{13600}{10 \cdot 13{,}6}\right)}{76} = 633\ ^\circ K = 360\ ^\circ C.$$

Примечание. Давление внешнего воздуха и давление, производимое поршнем в сосуде, должны быть выражены в одинаковых единицах измерения. Поэтому давление поршня $p = \frac{Q}{Sd}$, где d — удельный вес ртути.

65. Полагая, что в первом сосуде (рис. 54) имеется воздух при температуре t_1 и давлении p_1, а во втором сосуде воздуха нет, после соединения сосудов имеем по закону Бойля — Мариотта

$$Vp_1 = 2Vp_1',$$

откуда

$$p_1' = \frac{p_1}{2}.$$

где p_1' — давление, установившееся в сосудах.

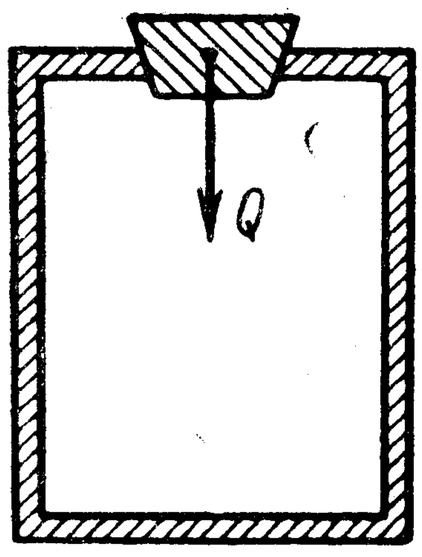


Рис. 53.

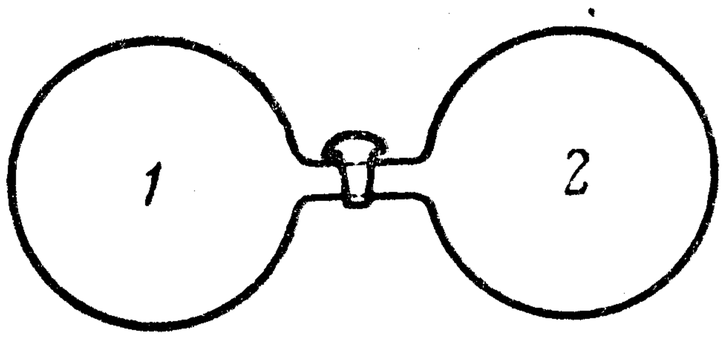


Рис. 54.

Проводя аналогичный расчет для второго сосуда, но предполагая, что воздуха нет в первом сосуде, получим

$$p_2' = \frac{p_2}{2}.$$

После нагревания газа до температуры t имеем по закону Гей — Люссака:

для первого случая

$$\frac{\frac{p_1}{2}}{T_1} = \frac{p'}{T},$$

откуда

$$p' = \frac{p_1 T}{2T_1};$$

для второго случая

$$\frac{\frac{p_2}{2}}{T_2} = \frac{p''}{T},$$

откуда

$$p'' = \frac{p_2 T}{2T_2},$$

где p' и p'' — парциальные давления газов после нагревания.

Установившееся давление в сосудах после нагревания равно сумме парциальных давлений:

$$p = p' + p'' = \frac{T}{2}\left(\frac{p_1}{T_1} + \frac{p_2}{T_2}\right).$$

66. Допустим, что температура тела и жидкости до нагревания 0°С, тогда вес жидкости в объеме тела до нагревания

$$Q = V_0 d_0,$$

где V_0 — объем тела, d_0 — удельный вес жидкости.

Объем тела после нагревания на t°С увеличится:

$$V = V_0(1 + \alpha t),$$

где α — коэффициент объемного расширения твердого тела.

Удельный вес жидкости после нагревания уменьшится:

$$d = \frac{d_0}{1 + \beta t},$$

здесь β — коэффициент объемного расширения жидкости.

Вес жидкости в объеме тела после нагревания

$$Q_1 = V_0 d_0 \frac{1 + \alpha t}{1 + \beta t}.$$

Следовательно, $Q_1 < Q$, когда $\alpha < \beta$, и $Q_1 > Q$, когда $\alpha > \beta$.

67. Вследствие трения колес о снег работа, совершаемая двигателем, переходит в тепловую энергию, которая расходуется на нагревание шин колес автомобиля и на плавление снега. Часть работы, идущая на плавление снега,

$$A = \eta N t,$$

где η — коэффициент полезной работы, t — время совершения работы. Так как масса расплавившегося снега прямо пропорциональна работе, то

$$\eta N t = m\lambda,$$

где λ — удельная теплота плавления. Отсюда

$$m = \frac{\eta N t}{\lambda}.$$

Подставляя данные условия задачи и зная, что $\lambda = 80$ *ккал/кг*, 1 *л. с.* $= 75$ *кГм* и 1 *ккал* $= 427$ *кГм*, получим

$$m = \frac{0{,}5 \cdot 27 \cdot 75 \cdot 30}{80 \cdot 427} \approx 0{,}9 \text{ кг}.$$

68. Получаемое Землей количество тепла равно площади большого круга Земли, умноженной на количество тепла, поглощаемое единицей поверхности при перпендикулярно падающих лучах, т. е.

$$Q = \pi r^2 qt,$$

где r — радиус Земли, t — время в *мин*. Слой же льда имеет основанием всю поверхность Земли, равную $4\pi r^2$. Обозначая через x толщину покрывающего Землю льда, найдем, что количество тепла, необходимое для плавления льда,

$$Q = 4\pi r^2 x D\lambda,$$

где λ — удельная теплота плавления льда, равная 80 *кал/г*, D — плотность льда, равная 0,9 *г/см*^{3}. Так как все тепло, получаемое от Солнца, идет без потерь на плавление льда, то

$$\pi r^2 qt = 4\pi r^2 x D\lambda,$$

откуда

$$x = \frac{qt}{4D\lambda} = \frac{2 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 360}{4 \cdot 0{,}9 \cdot 80} \approx 3600 \text{ см} = 36 \text{ м}.$$

69. При постоянной температуре давление в баллоне прямо пропорционально плотности газа. Следовательно,

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{D_1}{D_2},$$

где p_1 и p_2 — давления газа в баллоне до выпуска газа и после выпуска части газа, D_1 и D_2 — плотности газа. Так как объем V баллона оставался неизменным, то

$$D_1 = \frac{m_1}{V}, \quad D_2 = \frac{m_2}{V}.$$

Следовательно,

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{m_1}{m_2}.$$

По условию задачи $p_2 = \frac{1}{3} p_1$, поэтому имеем

$$\frac{p_1}{1} = \frac{m_1}{\frac{1}{3} p_1},$$

откуда

$$m_2 = \frac{m_1}{3},$$

т. е. масса оставшегося в баллоне газа составляет одну треть массы, находившейся в баллоне.

70. Обозначим через $V_1 = V_ш + 20\,V_т$ и $V_2 = V_ш + 50\,V$ объемы, занимаемые воздухом соответственно при температурах t_1 и t_2 Пользуясь законом Гей — Люссака (изобарический процесс, p — постоянно), получим:

$$V_1 = V_0(1 + \alpha t_1),$$
$$V_2 = V_0(1 + \alpha t_2),$$

где V_0 — объем, занимаемый воздухом при 0°С. Исключая из этих уравнений V_0 и решая их, найдем

$$t_2 = \frac{V_2}{V_1}\left(t_1 + \frac{1}{\alpha}\right) - \frac{1}{\alpha} \approx 22\ ^\circ\text{C}.$$

71. Предположим, что второй сосуд не содержит газа. После соединения с ним первого сосуда в обоих сосудах установится общее давление p_3, которое можно найти по закону Бойля — Мариотта:

$$p_1 V_1 = p_3 (V_1 + V_2),$$

откуда

$$p_3 = \frac{p_1 V_1}{V_1 + V_2}.$$

Аналогично находим давление p_4, которое будет в сосудах, если предположить, что первый сосуд не содержит газа и присоединить к нему второй сосуд, в котором газ находится под давлением p_2:

$$p_2 V_2 = p_4 (V_1 + V_2),$$

откуда

$$p_4 = \frac{p_2 V_2}{V_1 + V_2}.$$

Общее давление в сосудах после их соединения равно сумме отдельных давлений:

$$p = p_3 + p_4 = \frac{p_1 V_1}{V_1 + V_2} + \frac{p_2 V_2}{V_1 + V_2} =$$
$$= \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2} = \frac{2 \cdot 3 + 1\,4}{3 + 4} \approx 1{,}4\ атм.$$

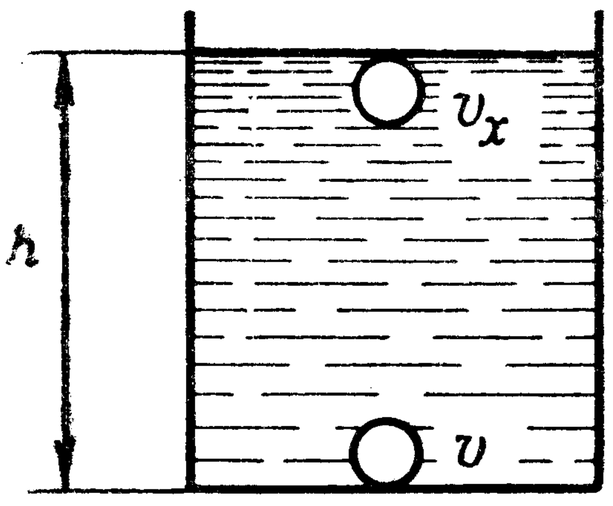


Рис. 55.

72. Так как температура воды на пути движения пузырька постоянна (рис. 55), то изменение объема пузырька происходит изотермически и поэтому

$$V p_1 = V_x p,$$

где p_1 — давление газа в пузырьке на глубине h, V_x — искомый объем пузырька около поверхности воды.

Давление, под которым находился пузырек на дне сосуда,

$$p_1 = p + h\frac{d_в}{d_{рт}}.$$

Следовательно,

$$V_x = \frac{Vp_1}{p} = \frac{V}{p}\left(p + h\frac{d_в}{d_{рт}}\right) = V + V\frac{h}{p}\frac{d_в}{d_{рт}} = 5 + 5\,\frac{38}{76}\frac{1}{13{,}6} \approx 5{,}2 \ \ мм^3.$$

73. Полагая температуру газа в трубке постоянной и массу газа неизменной (рис. 56), по закону Бойля — Мариотта получим

$$p\frac{l}{2}S = (p - x)(l - x)S,$$

где S — площадь поперечного сечения, $p - x$ — давление воздуха в трубке после того, как ее вынули из ртути.

Решая уравнение, найдем длину столбика ртути, оставшейся в трубке:

$$x = \frac{H + l - \sqrt{H^2 + l^2}}{2} = \frac{76 + 24 - \sqrt{76^2 + 24^2}}{2} = 10 \ см.$$

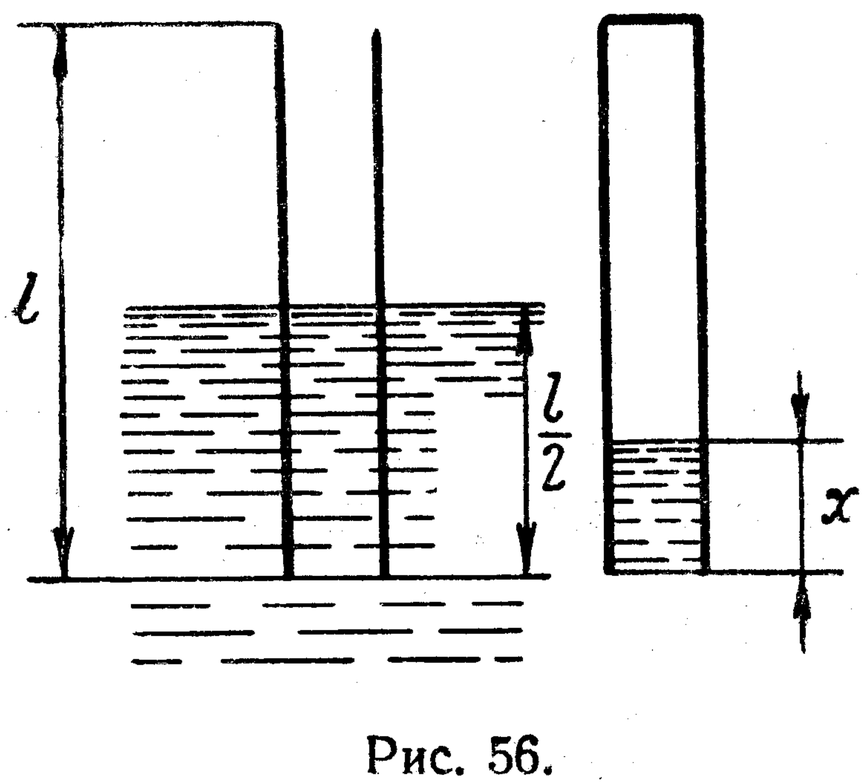


Рис. 56.

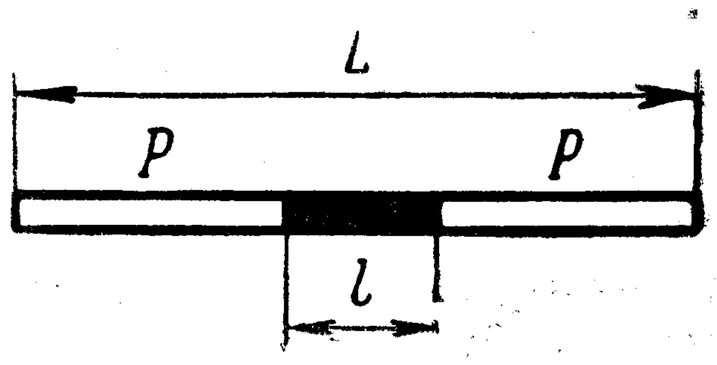


Рис. 57.

74. При горизонтальном положении капилляра (рис. 57) с обеих сторон ртутного столбика давление одинаково и равно p. При вертикальном положении давление в верхней части капилляра

меньше, чем в нижней. Так как температура предполагается неизменной, то на основании закона Бойля — Мариотта получим:

для верхней части капилляра

$$p\left(\frac{L-l}{2}\right)S = p_1\left(\frac{L-l}{2}+a\right)S,$$

где S — площадь поперечного сечения капилляра;

для нижней части капилляра

$$p\left(\frac{L-l}{2}\right)S = p_2\left(\frac{L-l}{2}-a\right)S.$$

Решая совместно эти уравнения и учитывая, что $p_2 = p_1 + l$, получим

$$p = \frac{l\left(\frac{L-l}{2}-a\right)\left(\frac{L-l}{2}+a\right)}{2\left(\frac{L-l}{2}\right)a} = \frac{20\left(\frac{100-20}{2}-10\right)\left(\frac{100-20}{2}+10\right)}{2\left(\frac{100-20}{2}\right)10} \approx$$

$$\approx 375 \text{ мм рт. ст.}$$

75. а) Работа, совершаемая воздухом при горизонтальном положении трубки,

$$A = F\ \Delta l,$$

где Δl — расстояние, на которое переместится столбик ртути при нагревании воздуха на 1°С.

Сила давления воздуха на столбик ртути в трубке в процессе нагревания сохраняет неизменное значение: $F = p_0 S$, так как p_0 и S не изменяются. Поэтому работа, производимая воздухом,

$$A = p_0 S \cdot \Delta l = p_0 \cdot \Delta V,$$

где ΔV — изменение объема расширяющегося воздуха.

Изменение объема воздуха в трубке можно вычислить по закону Гей — Люссака:

$$\Delta V = V - V_0 = V_0 \beta \cdot \Delta T,$$

где $\beta = \frac{1}{273}\ град^{-1}$ — коэффициент объемного расширения воздуха.

Следовательно, работа, производимая расширяющимся воздухом,

$$A = p_0 V_0 \beta \cdot \Delta T.$$

Подставляя данные условия задачи, получим

$$A = p_0 l S \beta\ \Delta T = 76\ см\ рт.\ ст. \cdot 10\ см \cdot 1\ см^2 \cdot \frac{1}{273} \cdot 1 =$$

$$= \frac{76 \cdot 13{,}6 \cdot 10^{-3}}{10^{-4}}\ кГ/м^2 \cdot 10^{-5}\ м^3 \cdot \frac{1}{273} = 0{,}0004\ кГм.$$

б) При вертикальном положении трубки расширяющийся при нагревании воздух совершает работу

$$A_1 = p_1 (V_2 - V_1),$$

где V_1 — начальный объем воздуха в трубке, давление $p_1 = p_0 + h$ (h — высота столбика ртути), V_2 — объем после расширения воздуха.

По закону Бойля — Мариотта

$$p_1 V_1 = p_0 V_0,$$

где p_0 и V_0 — давление и объем воздуха при горизонтальном положении трубки, имеем

$$(p_0 + h) V_1 = p_0 V_0,$$

откуда

$$V_1 = \frac{p_0 V_0}{p_0 + h}.$$

Объем воздуха в трубке после нагревания воздуха от 0 до $+1°C$ определяем по закону Гей — Люссака

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_0}{T_1},$$

откуда

$$V_2 = \frac{T_1}{T_0} V_1.$$

Так как $T_1 = T_0 + 1$, то

$$V_2 = \frac{T_0 + 1}{T_0} V_1 = \frac{T_0 + 1}{T_0} \frac{p_0 V_0}{p_0 + h}.$$

Изменение объема после нагревания

$$\Delta V_1 = V_2 - V_1 = \frac{(T_0 + 1) p_0 V_0}{T_0 (p_0 + h)} - \frac{p_0 V_0}{p_0 + h} = \frac{p_0 V_0}{p_0 + h} \left(\frac{T_0 + 1}{T_0} - 1 \right) =$$

$$= \frac{p_0 V_0}{(p_0 + h) T_0}.$$

Работа расширяющегося воздуха

$$A_1 = p_1 \cdot \Delta V_1 = (p + h) \frac{p_0 V_0}{(p + h) T_0} = \frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_0 S l}{T_0} =$$

$$= \frac{76 \cdot 13{,}6 \cdot 10^{-3}}{10^{-4}} \; кГ/м^2 \cdot 10^{-4} \; м^2 \cdot 10^{-1} \; м \cdot \frac{1}{273} \approx 0{,}0004 \; кГм.$$

76. Давление смеси газов есть сумма давлений, создаваемых каждым газом отдельно. Пользуясь объединенным газовым зако-

ном, найдем давление, производимое каждым газом при температуре $t_0 = 0°C$:

для углекислого газа

$$\frac{V_1 p_1}{1 + \alpha_1 t_1} = \frac{V p'}{1 + \alpha_1 t_0},$$

откуда

$$p' = \frac{V_1 p_1 (1 + \alpha_1 t_0)}{V (1 + \alpha_1 t_1)};$$

для кислорода, обозначив его парциальное давление через p'',

$$\frac{V_2 p_2}{1 + \alpha_2 t_2} = \frac{V p''}{1 + \alpha_2 t_0},$$

отсюда

$$p'' = \frac{V_2 p_2 (1 + \alpha_2 t_0)}{V (1 + \alpha_2 t_{20})}.$$

Общее давление смеси газов при температуре $t_0 = 0°C$

$$p = p' + p'' = \frac{V_1 p_1 (1 + \alpha_1 t_0)}{V (1 + \alpha_1 t_1)} + \frac{V_2 p_2 (1 + \alpha_2 t_0)}{V (1 + \alpha_2 t_2)} =$$

$$= \frac{200 \cdot 3 (1 + 0{,}00371 \cdot 0)}{600 (1 + 0{,}00371 \cdot 0)} + \frac{300 \cdot 2 (1 + 0{,}00366 \cdot 0)}{600 (1 + 0{,}00366 \cdot 100)} \approx 1{,}73 \text{ атм.}$$

77. Объем шара при температуре t_1

$$V_{t_1} = \frac{Q_1}{d_1} = \frac{Q_1 (1 + \alpha t_1)}{d_0},$$

где d_1 — удельный вес воздуха при нормальном давлении и температуре $t_1 = -10°C$:

$$d_1 = \frac{d_0}{1 + \alpha t_1},$$

d_0 — удельный вес воздуха при нормальных условиях.

Зная объем при температуре t_1, можно вычислить объем шара при температуре 0°C:

$$V_{t_1} = V_0 (1 + \beta t_1),$$

откуда

$$V_0 = \frac{V_{t_1}}{1 + \beta t_1} = \frac{Q_1 (1 + \alpha t_1)}{d_0 (1 + \beta t_1)}.$$

Определим объем шара при температуре t_2:

$$V_{t_2} = V_0 (1 + \beta t_2) = \frac{Q_1 (1 + \alpha t_1)(1 + \beta t_2)}{d_0 (1 + \beta t_1)}.$$

Так как удельный вес воздуха при температуре t_2 и давлении p_2

$$d_2 = \frac{p_2 d_0}{p_0 (1 + \alpha t_2)},$$

то вес воздуха в сосуде при температуре t_2 и давлении p_2

$$Q_2 = V_{t_2} d_2 = \frac{Q_1 (1 + \alpha t_1)(1 + \beta t_2) p_2 d_0}{d_0 (1 + \beta t_1) p_0 (1 + \alpha t_2)} = \frac{Q_1 p_2 (1 + \alpha t_1)(1 + \beta t_2)}{p_0 (1 + \alpha t_2)(1 + \beta t_1)} =$$

$$= \frac{12{,}9 \cdot 95 [1 + 0{,}00367 (-10)] (1 + 0{,}000017)}{76 (1 + 0{,}00367) [1 + 0{,}000017 (-10)]} \approx 16{,}1 \text{ г}.$$

78. Для массы воздуха, находящегося в баллоне до откачки, в соответствии с уравнением состояния имеем

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_0 V_0'}{T_0}.$$

Следовательно, объем воздуха при нормальных условиях

$$V_0' = \frac{p_1 V_1 T_0}{T_1 p_0}.$$

Найдем объем воздуха, оставшегося в баллоне после откачки, приведя его к нормальному состоянию:

$$V_0'' = \frac{p_2 V_1 T_0}{T_1 p_0}.$$

Изменение объема воздуха

$$\Delta V = V_0' - V_0'' = \frac{V_1 T_0}{T_1 p_0} (p_1 - p_2),$$

а изменение массы воздуха в баллоне

$$\Delta m = m_1 - m_2,$$

где m_1 — масса воздуха до откачки, m_2 — масса воздуха после откачки.

Плотность воздуха при нормальных условиях

$$D_0 = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{\Delta m T_1 p_0}{V_1 T_0 (p_1 - p_2)} = \frac{2{,}29 \cdot 289 \cdot 76}{2000 \cdot 273 (72{,}8 - 1{,}6)} = 0{,}00129 \text{ г/см}^3.$$

79. Подъем шара происходит при температуре $t = 20°\text{C}$, поэтому необходимо знать удельный вес воздуха, окружающего шар, и водорода, которым он наполнен, при этой температуре. Так как дав-

ление постоянно и нормальное, изменение удельного веса обратно пропорционально абсолютной температуре, т. е.

$$\frac{d_1}{d_0} = \frac{T_0}{T_1},$$

откуда

$$d_1 = \frac{T_0}{T_1} d_0,$$

где d_0 — удельный вес при нормальных условиях, d_1 — удельный вес при нормальном давлении и температуре T_1.

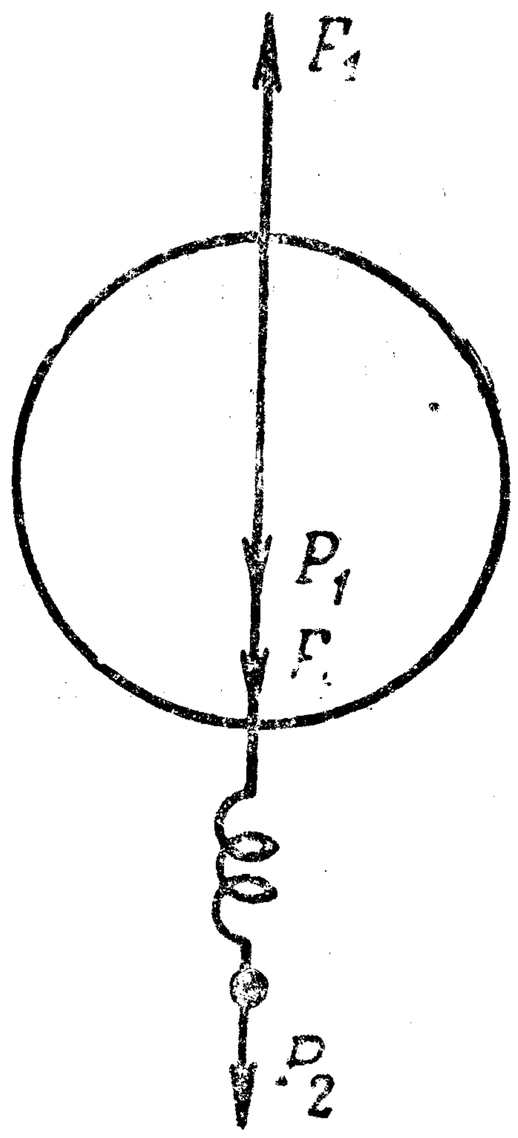


Рис. 58.

Архимедова сила, действующая на шар и направленная вверх, $F_1 = V\frac{T_0}{T_1} d_{\text{возд}}$. Вниз направлены следующие силы (рис. 58): вес водорода $F = V\frac{T_0}{T_1} d_{\text{вод}}$, вес шара P_1 и вес гири P_2.

Таким образом, уравнение движения имеет вид

$$V\frac{T_0}{T_1} d_{\text{возд}} - V\frac{T_0}{T_1} d_{\text{вод}} - P_1 - P_2 = \frac{P_1 + P_2}{g} a,$$

отсюда ускорение движения шара

$$a = \frac{V\frac{T_0}{T_1}(d_{\text{возд}} - d_{\text{вод}}) - (P_1 + P_2)}{\frac{P_1 + P_2}{g}}.$$

На гирю, поднимающуюся ускоренно вверх, действуют следующие силы: сила f пружины динамометра и сила P_2 веса гири. Под действием этих сил гиря поднимается с ускорением a. Следовательно, на основании второго закона Ньютона

$$f - P_2 = \frac{P_2}{g} a,$$

откуда

$$f = \frac{P_2}{g}(g + a) = \frac{P_2}{g}\left[g + \frac{V\frac{T_0}{T_1}(d_{\text{возд}} - d_{\text{вод}}) - (P_1 + P_2)}{\frac{P_1 + P_2}{g}}\right] =$$

$$= \frac{1}{9{,}8}\left[9{,}8 + \frac{150 \cdot \frac{273}{293}(1{,}3 - 0{,}9) - (50+1)}{\frac{50+1}{9{,}8}}\right] \approx 1{,}1 \ \kappa\Gamma,$$

т. е. динамометр покажет 1,1 $\kappa\Gamma$.

80. Обозначим через m_1, V_1 и t_1 массу, объем и температуру холодной воды, а через m_2, V_2 и t_2 массу, объем и температуру теплой воды. Так как количество тепла, отданное теплой водой, израсходовано на нагревание холодной воды, то

$$m_1 c\,(t - t_1) = m_2 c\,(t_2 - t)$$

или

$$m_1\,(t - t_1) = m_2\,(t_2 - t),$$

где t — установившаяся температура смеси.

Холодная вода до нагревания имеет плотность (при температуре t_1)

$$D_1 = \frac{D_0}{1 + \alpha t_1},$$

где D_0 — плотность воды при 0°С, α — коэффициент объемного расширения воды.

Объем холодной воды до смешивания

$$V_1 = \frac{m_1}{D_1} = \frac{m_1}{D_0}(1 + \alpha t_1),$$

после смешивания

$$V_1' = \frac{m_1}{D_0}(1 + \alpha t).$$

Увеличение объема холодной воды

$$V_1' - V_1 = \frac{m_1}{D_0}\alpha\,(t - t_1).$$

Аналогично получим уменьшение объема теплой воды:

$$V_2 - V_2' = \frac{m_2}{D_0}\alpha\,(t_2 - t).$$

Учитывая, что $m_2\,(t_2 - t) = m_1\,(t - t_1)$, получим

$$V_1' - V_1 = V_2 - V_2' \text{ или } V_2 + V_1 = V_2' + V_1',$$

т. е. после смешивания объем воды останется прежним.

81. Обозначим объем, давление и температуру воздуха в нормальных условиях соответственно через V_0, p_0 и T_0. При нагревании воздуха без изменения давления объем станет V_1, а темпе-

ратура T_1. Так как процесс нагревания воздуха происходит изобарически, то на основании закона Гей — Люссака получим

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{T_1}{T_0},$$

откуда

$$V_1 = \frac{T_1 V_0}{T_0}.$$

Если нагревать воздух, изменяя объем и давление. то следует пользоваться законом газового состояния в общем виде:

$$\frac{V_0 p_0}{T_0} = \frac{V_2 p_2}{T_2},$$

где V_2 и p_2 — объем и давление при температуре T_2, откуда

$$V_2 = \frac{p_0 T_2 V_0}{p_2 T_0}.$$

Рассматривая эти процессы для одной и той же массы воздуха, получим отношение объемов:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\frac{p_0 T_2 V_0}{p_2 T_0}}{\frac{T_1 V_0}{T_0}} = \frac{p_0 T_2}{p_2 T_1}.$$

На тело, находящееся в воздухе, действует архимедова сила, прямо пропорциональная удельному весу воздуха. Удельный вес воздуха обратно пропорционален занимаемому им объему, поэтому

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_0 T_2}{p_2 T_1},$$

где q_1 — изменение веса тела при нагревании воздуха без изменения барометрического давления, q_2 — изменение веса при изменении температуры воздуха и барометрического давления. Откуда

$$q_2 = \frac{p_2 T_1}{p_0 T_2} q_1 = \frac{80\,(273 + 10)}{76\,(273 + 50)} \cdot 2 \approx 1{,}8 \ \Gamma.$$

82. Уравнение газового состояния имеет вид

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2},$$

где V_1 — объем газа при t_1 и p_1, V_2 — объем газа при t_2 и p_2. Преобразуя это уравнение, имеем

$$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

Так как масса газа m неизменна, то последнее соотношение можно записать в виде

$$\frac{p_1 V_1 mg}{p_2 V_2 mg} = \frac{T_1}{T_2},$$

откуда

$$\frac{p_1 d_2}{p_2 d_1} = \frac{T_1}{T_2}.$$

Следовательно, отношение удельных весов

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{T_1 p_2}{T_2 p_1}.$$

При постоянном объеме вес газа пропорционален удельному весу. Обозначая через q_2 вес газа при температуре t_2 и давлении p_2, получим

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{d_2}{d_1},$$

отсюда

$$q_2 = \frac{d_2}{d_1} q_1 = \frac{T_1 p_2}{T_2 p_1} q_1 = \frac{280 \cdot 80}{300 \cdot 70} \cdot 5 = 5{,}34 \ \Gamma.$$

83. Воздух, вес которого $q_1 = 3$ Γ, при нормальных условиях занимает объем

$$V_0 = \frac{q_1}{d_0}.$$

Объем V_1, который будет занимать этот воздух при температуре t_1 и давлении p_1, определим из уравнения газового состояния

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_0 V_0}{T_0}.$$

Подставляя в это уравнение значение V_0, получим

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_0 q_1}{T_0 d_0},$$

откуда

$$V_1 = \frac{T_1 p_0 q_1}{T_0 p_1 d_0}.$$

Вес углекислоты в объеме V_1

$$q_2 = V_1 d_2 = \frac{T_1 p_0 q_1}{T_0 p_1 d_0} d_2 = \frac{(273 - 20)\, 1 \cdot 3}{273 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}0013} \cdot 0{,}002 = 2{,}8 \ \Gamma.$$

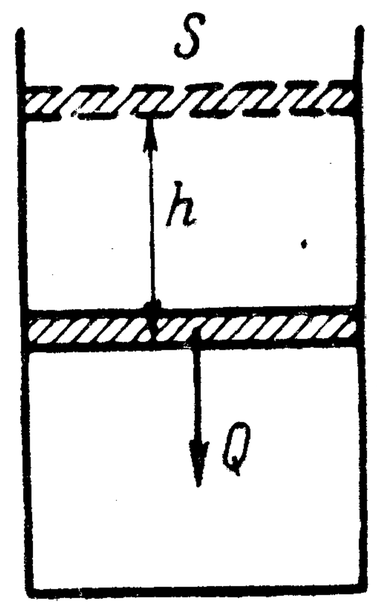


Рис. 59.

84. Давление на газ, находящийся под поршнем (рис. 59), равно сумме внешнего давления воздуха и давления поршня: $p + \frac{Q}{S}$.

Общая сила давления

$$F = \left(p + \frac{Q}{S}\right) S.$$

Определим перемещение поршня h при повышении температуры от t_1 до t_2. Так как процесс изобарический, то, пользуясь уравнением Гей — Люссака

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2},$$

получим

$$V_2 = \frac{T_2}{T_1} V_1.$$

Зная объемы V_1 и V_2, находим

$$h = \frac{V_2 - V_1}{S} = \frac{V_1}{S}\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right).$$

Работа, произведенная поршнем при нагревании газа,

$$A = \left(p + \frac{Q}{S}\right) Sh = \left(p + \frac{Q}{S}\right) V_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) =$$

$$= \left(1 + \frac{0{,}6}{50}\right) 200 \left(\frac{273 + 150}{273 + 50} - 1\right) = 0{,}6 \ кГм.$$

85. При кристаллизации жидкости выделяется теплота кристаллизации. Кристаллизация происходит до тех пор, пока вся вода нагреется до 0°С. После этого кристаллизация прекращается.

Обозначим: M — массу всей воды до кристаллизации, m — массу получившегося льда, c — теплоемкость воды (равна единице), λ — удельную теплоту кристаллизации (плавления), равную 80 *кал/г*. Получим

$$m\lambda = Mc\,(0 - t),$$

откуда

$$m = \frac{Mc\,(0 - t)}{\lambda} = \frac{1 \cdot 1\,[0 - (-10)]}{80} = 0{,}125 \ кг.$$

86. При интенсивном испарении без подвода тепла происходит охлаждение воды. Вода может быть охлаждена до температуры начала кристаллизации. При дальнейшем испарении вода будет замерзать.

Пусть при откачивании воздуха и паров воды испарилось x граммов воды. На испарение этого количества воды требуется теплоты

$$Q_1 = xr,$$

где r — удельная теплота испарения при температуре $t = 0°С$.

При кристаллизации оставшейся массы $m - x$ воды выделилась теплота

$$Q_2 = (m - x)\,\lambda,$$

где λ — удельная теплота кристаллизации, m — количество воды до откачивания воздуха и паров воды.

По закону сохранения энергии $Q_1 = Q_2$, следовательно,

$$xr = (m - x)\,\lambda,$$

откуда

$$\frac{x}{m} = \frac{\lambda}{r + \lambda}.$$

87. Количество тепла, необходимое для нагревания льда от $t_1 = -10°C$ до $0°C$,

$$q_1 = mc_1\,(0 - t_1) = -mc_1\,t_1.$$

Количество тепла, необходимое для плавления льда,

$$q_2 = m\lambda.$$

На нагревание воды, получившейся из льда, до температуры смеси Θ необходимо количество тепла

$$q_3 = mc\,(\Theta - 0).$$

Вода, масса которой M, охлаждаясь, выделяет количество тепла

$$q_4 = Mc\,(t_2 - \Theta).$$

На основании уравнения теплового равновесия получим

$$q_1 + q_2 + q_3 = q_4$$

или

$$-mc_1\,t_1 + m\lambda + mc\,(\Theta - 0) = Mc\,(t_2 - \Theta),$$

откуда

$$\Theta = \frac{-mc_1t_1 + m\lambda - Mct_2}{-c\,(M+m)} = \frac{-40 \cdot 0{,}5(-10) + 40 \cdot 80 - 200 \cdot 1 \cdot 25}{-1\,(200+40)} = 6{,}7\ °C.$$

88. Вода и лед могут находиться в смеси только при температуре 0°.

Для нагревания льда требуется количество тепла

$$q_1 = mc_1\,(0 - t_1).$$

Для плавления части льда массой x необходимо количество тепла

$$q_2 = x\lambda.$$

Вода, масса которой M, охлаждаясь, выделяет количество тепла

$$q_3 = Mc\,(t_2 - 0).$$

Следовательно,

$$q_1 + q_2 = q_3$$

или

$$mc_1 (0 - t_1) + x\lambda = Mc (t_2 - 0),$$

откуда

$$x = \frac{Mct_2 + mc_1t_1}{\lambda} = \frac{20 \cdot 1 \cdot 70 + 20 \cdot 0{,}5 (-20)}{80} = 15 \text{ кг}.$$

Таким образом, растает 15 *кг* льда и смесь будет состоять из 5 *кг* льда и 35 *кг* воды при температуре 0°.

89. Двухфазное состояние (наличие одновременно льда и воды) может быть только при 0°.

Из условия задачи видно, что на нагревание льда до 0° необходимо тепла больше, чем может отдать вода, охлаждаясь до 0°. Поэтому, чтобы могло существовать двухфазное состояние, часть воды (x) должна превратиться в лед при 0°, отдав при кристаллизации тепло.

Для нагревания льда до 0° необходимо количество тепла

$$q_1 = mc_1 (0 - t_1).$$

Вода, охлаждаясь, выделяет количество тепла

$$q_2 = Mc (t_2 - 0).$$

Часть воды, превращаясь в лед, выделяет количество тепла

$$q_3 = x\lambda.$$

Таким образом,

$$q_1 = q_2 + q_3$$

или

$$mc_1 (0 - t_1) = Mc (t_2 - 0) + x\lambda,$$

откуда

$$x = \frac{-mc_1t_1 - Mct_2}{\lambda} = \frac{-20 \cdot 0{,}5 (-20) - 20 \cdot 1 \cdot 6}{80} = 1 \text{ кг}.$$

Следовательно, вода охладится до 0°С и 1 *кг* ее превратится в лед при той же температуре.

90. Ртуть, вода и лед могут находиться одновременно только при температуре 0°. Количество тепла, необходимсе для плавления ртути,

$$q_1 = m\lambda_1.$$

Количество тепла, необходимое для нагревания ртути, имеющей температуру плавления, до 0°,

$$q_2 = mc_1 (0 - t_1).$$

Вода, охлаждаясь от t_2 до 0°, выделяет тепло в количестве

$$q_3 = Mc (t_2 - 0).$$

Образовавшийся лед массой x выделяет количество тепла

$$q_4 = x\lambda.$$

На основании уравнения теплового равновесия имеем

$$q_1 + q_2 = q_3 + q_4$$

или

$$m\lambda_1 + mc_1 (0 - t_1) = Mc (t_2 - 0) + x\lambda,$$

откуда

$$x = \frac{m\lambda_1 + mc_1 (0 - t_1) - Mc (t_2 - 0)}{\lambda} =$$

$$= \frac{15 \cdot 2{,}8 - 15 \cdot 0{,}03 (-40) - 6 \cdot 1 \cdot 7}{80} = 0{,}25 \text{ г}.$$

Состояние смеси следующее: 5,75 *г* воды; 0,25 *г* льда и 15 *г* жидкой ртути. Температура смеси 0°.

91. На нагревание льда до 0° необходимо количество тепла

$$q_1 = mc_1 (0 - t_1).$$

На плавление льда требуется тепло в ксличестве

$$q_2 = m\lambda.$$

На нагревание воды, получившейся из льда, нужно тепло в количестве

$$q_3 = mc (\Theta - 0).$$

При конденсации водяного пара выделяется количество тепла

$$q_4 = Mr.$$

Так как полученная вследствие конденсации пара вода имеет температуру $t_2 = 100°C$, то при охлаждении ее до температуры Θ выделяется тепло

$$q_5 = Mc (t_2 - \Theta).$$

Таким образом, из уравнения теплового равновесия имеем

$$q_1 + q_2 + q_3 = q_4 + q_5$$

или

$$mc_1 (0 - t_1) + m\lambda + mc (\Theta - 0) = Mr + Mc (t_2 - \Theta),$$

$$- mc_1 t_1 + m\lambda + mc\Theta = Mr + Mct_2 - Mc\Theta,$$

откуда

$$t_1 = \frac{- m\lambda - mc\Theta + Mr + Mct_2 - Mc\Theta}{- mc_1} =$$

$$= \frac{- 3 \cdot 80 - 3 \cdot 1 \cdot 90 + 1 \cdot 539 + 1 \cdot 1 \cdot 100 - 1 \cdot 1 \cdot 90}{- 3 \cdot 0{,}5} = -26 \text{ °C}.$$

92. Давление p_1 влажного воздуха представляет собой сумму двух давлений: давления сухого воздуха p при температуре t_1 и

давления паров воды $p_п$ при этой же температуре. Следовательно, давление сухого воздуха при температуре t_1 будет $p = p_1 - p_п$.

Используя уравнение газового состояния, получим

$$\frac{V_1(p_1 - p_п)}{T_1} = \frac{V_2 p_2}{T_2},$$

откуда

$$V_2 = \frac{V_1(p_1 - p_п)T_2}{p_2 T_1} = \frac{10(774 - 32)273}{760 \cdot 303} = 8{,}8 \ л.$$

93. Так как объем сосуда при нагревании изменяется незначительно, будем считать его равным V. Давление внутри сосуда есть сумма давления сухого воздуха при температуре $t_1 = 100°C$ и давления водяного пара при той же температуре.

Давление p_1 сухого воздуха определяем из соотношения

$$\frac{p_0}{T_0} = \frac{p_1}{T_1},$$

откуда

$$p_1 = \frac{p_0 T_1}{T_0}.$$

Найдем давление водяного пара в сосуде, считая пар идеальным газом. Одна грамм-молекула при нормальных условиях занимает объем $V_г = 22{,}4$ *л*, отсюда следует, что $m = 3$ *г* водяного пара при нормальных условиях будет занимать объем

$$V_0 = V_г \frac{m}{\mu}.$$

Из объединенного закона газового состояния определим давление p_2 пара при $t_1 = 100°C$:

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_2 V}{T_1},$$

отсюда

$$p_2 = \frac{p_0 V_0 T_1}{T_0 V} = \frac{p_0 V_г m T_1}{T_0 V \mu}.$$

Общее давление в сосуде

$$p = p_1 + p_2 = \frac{p_0 T_1}{T_0} + \frac{p_0 V_г m T_1}{T_0 V \mu} = \frac{p_0 T_1}{T_0}\left(1 + \frac{V_г m}{V \mu}\right) =$$

$$= \frac{1 \cdot 373}{273}\left(1 + \frac{22{,}4 \cdot 3}{10 \cdot 18}\right) = 1{,}88 \ атм.$$

94. Вследствие того, что пары воды имеют небольшое давление $p_1 = 4$ *мм рт. ст.*, можно применить газовые законы. Грамм-молекула газа при нормальных условиях ($p_0 = 760$ *мм рт. ст.* и $t_0 = 0°C$)

занимает постоянный объем $V_0 = 22\,400$ *см*^{3}. Учитывая, что пары воды имеют тоже температуру $t_0 = 0°C$, можно, воспользовавшись законом Бойля — Мариотта, найти объем $V_п$, который занимает грамм-молекула пара воды при $p_1 = 4$ *мм рт. ст.* и $t_0 = 0°C$:

$$p_0 V_0 = p_1 V_п,$$

откуда

$$V_п = \frac{p_0 V_0}{p_1}.$$

Так как молекулярный вес воды $\mu = 18$ *г/моль*, то одна грамм-молекула воды занимает объем $V_в = 18$ *см*^{3}.

Обозначая отношение средних расстояний между молекулами пара воды и молекулами воды в жидком состоянии через n, имеем

$$n = \sqrt[3]{\frac{V_п}{V_в}} = \sqrt[3]{\frac{p_0 V_0}{p_1 V_в}} = \sqrt[3]{\frac{760 \cdot 22\,400}{4 \cdot 18}} \approx 62,$$

т. е. среднее расстояние между молекулами пара воды больше в 62 раза среднего расстояния между молекулами воды в жидком состоянии.

95. Когда трубка повернута вверх закрытым концом (рис. 60), давление воздуха в трубке меньше атмосферного на длину ртутного столба h, если атмосферное давление выражено в единицах длины ртутного столба.

При повороте трубки вверх открытым концом, наоборот, давление воздуха в трубке больше атмосферного на длину ртутного столба h.

Считая процесс изотермическим и площадь сечения трубки равной S, имеем по закону Бойля — Мариотта

$$(p - h)\, l_1 S = (p + h)\, l_2 S,$$

откуда

$$p = \frac{h(l_1 + l_2)}{l_1 - l_2} = \frac{2(39 + 37)}{39 - 37} =$$

$$= 76\ см\ рт.\ ст.$$

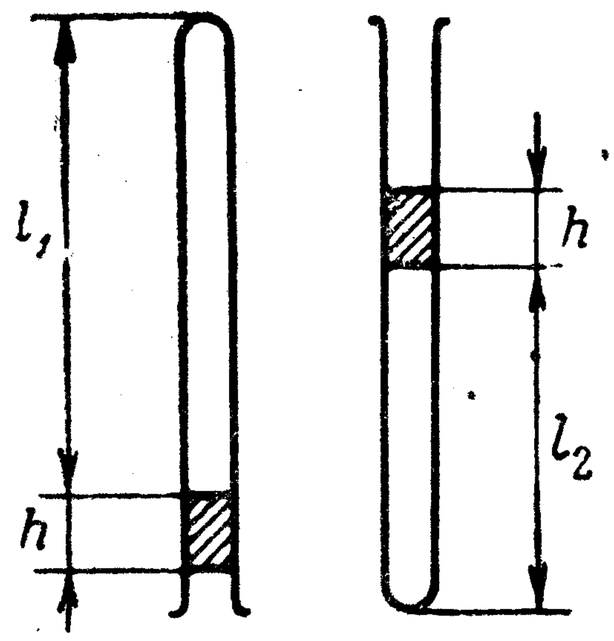


Рис. 60.

96. Полагая процесс изотермическим и применяя закон Бойля — Мариотта, имеем

$$p_1 V_1 = p_2 V_2,$$

где p_1 — барометрическое давление, V_1 — объем воздуха в трубке до погружения в воду, p_2 — давление воздуха в трубке после погружения в воду, V_2 — объем воздуха в трубке после погружения в воду.

Если учесть силу, действующую со стороны воды, то давление можно рассчитать по формуле (рис. 61)

$$p_2 = p_1 + (l - x)\frac{d_1}{d_2} \text{ см рт. ст.}$$

Объем воздуха в трубке

$$V_2 = (L - x)\,S,$$

где S — площадь поперечного сечения трубки.

Подставляя полученные значения p_2 и V_2 в формулу Бойля — Мариотта и учитывая, что $V_1 = LS$, имеем

$$p_1 LS = \left[p_1 + (l - x)\frac{d_1}{d_2}\right](L - x)\,S,$$

откуда легко определить высоту x, на которую вода вошла в трубку: $x \approx 3{,}5$ *см*.

97. Определим плотность воздуха D_1 при условиях, одинаковых с паром жидкости (рис. 62), т. е. при t_1 и p_1.

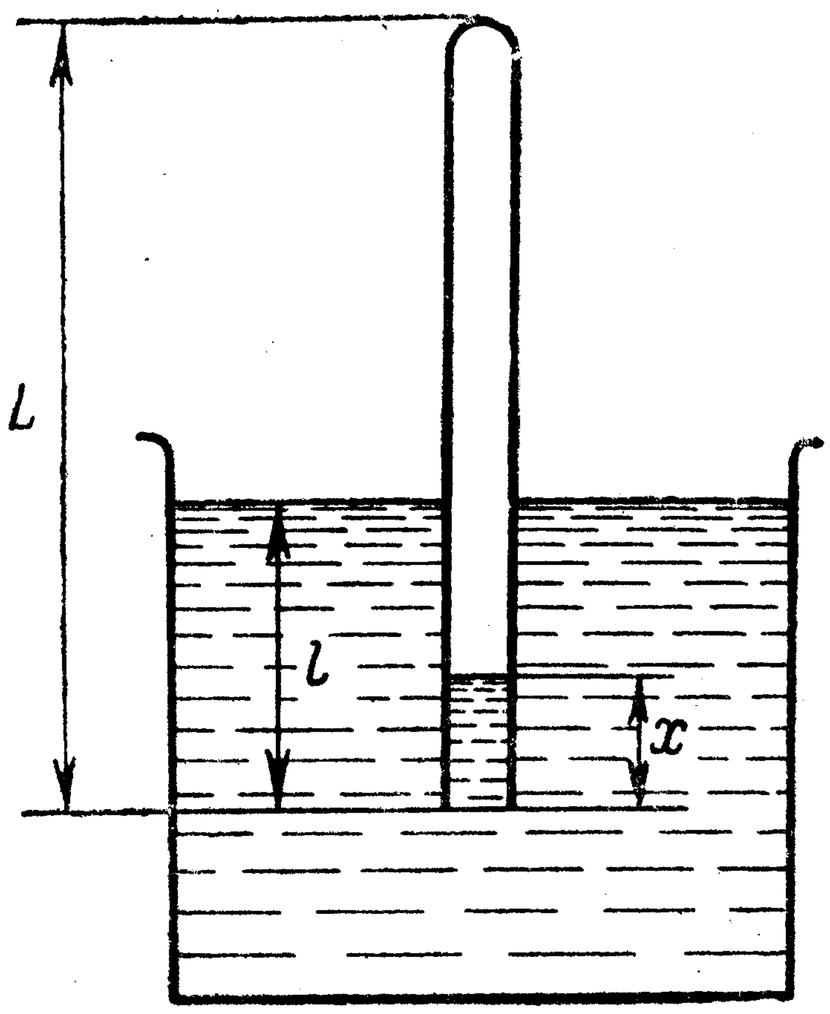


Рис. 61.

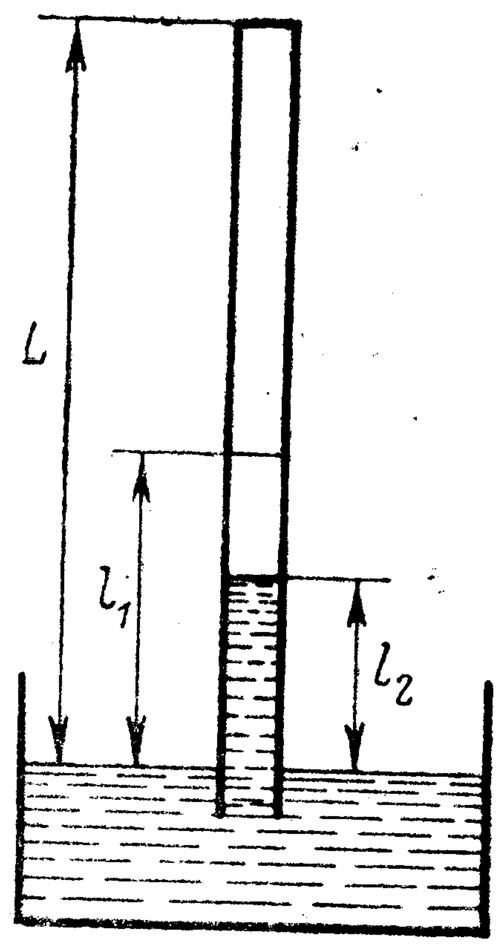


Рис. 62.

Используя закон газового состояния

$$\frac{V_0 p_0}{T_0} = \frac{V_1 p_1}{T_1},$$

получим

$$\frac{V_0 p_0}{V_1 p_1} = \frac{T_0}{T_1}.$$

Учитывая, что $V_0 = \frac{m}{D_0}$, а $V_1 = \frac{m}{D_1}$, где m — масса газа, и подставляя эти значения в уравнение газового состояния, имеем

$$\frac{\frac{m}{D_0} p_0}{\frac{m}{D_1} p_1} = \frac{T_0}{T_1},$$

откуда

$$D_1 = \frac{T_0 p_1}{T_1 p_0} D_0.$$

Так как давление в трубке после испарения жидкости $p_1 = l_1 - l_2$, получим

$$D_1 = \frac{T_0 (l_1 - l_2)}{T_1 p_0} D_0.$$

Плотность пара жидкости в трубке

$$D_п = \frac{m_1}{(L - l_2) S},$$

где m_1 — масса испарившейся жидкости, $(L - l_2) S$ — объем, занимаемый паром.

Отношение плотности паров жидкости к плотности воздуха

$$\frac{D_п}{D_1} = \frac{(L - l_2) S}{\frac{T_0 (l_1 - l_2)}{T_1 p_0} D_0} = \frac{m_1 T_1 p_0}{T_0 S (L - l_2)(l_1 - l_2) D_0} =$$

$$= \frac{0{,}1 \cdot 293 \cdot 76}{273 \cdot 4 (160 - 60)(76 - 60) 0{,}0013} = 0{,}98.$$

98. Из уравнения теплового равновесия найдем установившуюся в результате теплообмена температуру:

$$\Theta = \frac{m_1 c_1 t_1 + m_2 c_2 t_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2} = \frac{D_1 c_1 t_1 + D_2 c_2 t_2}{D_1 c_1 + D_2 c_2}.$$

Подставляя в это выражение данные условия задачи, получим $\Theta = 41{,}7°C$.

При нагревании бруска меди (имеющего объем V при температуре $t_1 = 0°C$) до температуры Θ объем его

$$V_м = V (1 + \beta_1 \Theta).$$

Алюминиевый брусок (имеющий объем V при температуре $t_2 = 100°C$) после охлаждения до температуры Θ имеет объем

$$V_а = \frac{V (1 + \beta_2 \Theta)}{1 + \beta_2 t_2},$$

где β_1 и β_2 — коэффициенты объемного расширения, приближенно равные $3\alpha_1$ и $3\alpha_2$ соответственно.

Отношение общего объема тел после теплообмена (при температуре Θ) к их общему объему при начальных условиях

$$\frac{V_м + V_а}{2V} = \frac{V(1+\beta_1\Theta) + \dfrac{V(1+\beta_2\Theta)}{1+\beta_2 t_2}}{2V} = \frac{1}{2}\left[(1+3\alpha_1\Theta)\frac{1+3\alpha_2\Theta}{1+3\alpha_2 t_2}\right] \approx 0{,}999.$$

99. Количество тепла, необходимое для нагревания пули до температуры плавления,

$$q_1 = mc\,(\Theta - t).$$

Для плавления пули требуется тепло в количестве.

$$q_2 = m\lambda.$$

Тепло, необходимое для нагревания и плавления пули, образуется за счет кинетической энергии летящей пули.

Учитывая коэффициент полезной работы η и принимая во внимание механический эквивалент тепла I, получим

$$\eta\frac{mv^2}{2} = [mc\,(\Theta - t) + m\lambda]\,I,$$

откуда скорость пули

$$v = \sqrt{\frac{2I[c\,(\Theta - t) + \lambda]}{\eta}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2\cdot 427\cdot 9{,}8\cdot 10^4\,[0{,}03\,(327 - 100) + 6{,}2]}{0{,}6}} = 450\ м/сек.$$

100. Количество тепла, необходимсе для нагревания частицы массой m от t_1 до t_2,

$$Q_1 = mc_1\,(t_2 - t_1).$$

На плавление частицы расходуется тепло в количестве

$$Q_2 = m\lambda,$$

где λ — удельная теплота плавления вещества частицы.

Для нагревания частицы в жидком состоянии от температуры t_2 до t_3 необходимое тепло

$$Q_3 = mc_2\,(t_3 - t_2).$$

Количество тепла, затраченное на испарение частицы,

$$Q_4 = mr,$$

где r — теплота испарения.

По условию задачи $r = 10\,\lambda$, следовательно,

$$Q_4 = 10\,\lambda m.$$

Тепло, необходимое на нагревание, плавление и испарение частицы, образуется вследствие перехода кинетической энергии в тепловую:

$$\eta \frac{mv^2}{2} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4.$$

Принимая во внимание механический эквивалент тепла I, получим

$$\eta \frac{mv^2}{2} = m\,[c_1(t_2 - t_1) + \lambda + c_2(t_3 - t_2) + 10\lambda]\,I,$$

отсюда удельная теплота плавления вещества частицы

$$\lambda = \frac{\eta v^2 - 2I\,[c_1(t_2 - t_1) + c_2(t_3 - t_2)]}{22I}.$$

III. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

101. В соответствии с законом Кулона сила взаимодействия двух одинаковых зарядов q, находящихся на расстоянии r в среде с диэлектрической проницаемостью ε,

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

Заряд $q = ne$, где n — число электронов, e — заряд электрона. Следовательно, число электронов

$$n = \frac{r\sqrt{\varepsilon F}}{e}.$$

Подставляя данные условия задачи, выразив их предварительно в электростатической системе, и учитывая, что для воздуха $\varepsilon = 1$, получим

$$n = \frac{100\sqrt{1 \cdot 10^6}}{4{,}8 \cdot 10^{-10}} = 21 \cdot 10^{13} \text{ электронов.}$$

102. Так как расстояние между шарами во много раз больше их диаметров, то силу F_1 электрического отталкивания можно вычислить по закону Кулона, справедливому для точечных зарядов. Учитывая, что заряды q одинаковы, имеем

$$F_1 = \frac{q^2}{\varepsilon r^2}.$$

Сила F_2 взаимного притяжения для двух одинаковых масс m по закону всемирного тяготения

$$F_2 = \gamma \frac{m^2}{r^2}.$$

Отношение сил взаимодействия

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{q^2}{\varepsilon\gamma m^2},$$

где $\gamma = 6{,}67 \cdot 10^{-8}$ $см^3/г \cdot сек^2$ — гравитационная постоянная, $\varepsilon = 1$ — диэлектрическая постоянная для воздуха. Подставляя условия задачи, получим

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{1^2}{1 \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 10^6} \approx 15.$$

103. На подвешенный шарик массой $m = 1$ $г$ действуют следующие силы (рис. 63): $P = mg$ — вес тела, $F = \frac{q^2}{\varepsilon r^2}$ — сила электрического взаимодействия между заряженными шариками, T — сила натяжения нити. Под действием этих сил шарик находится в равновесии, следовательнс,

$$F + 2T\cos\frac{\alpha}{2} - P = 0,$$

откуда

$$T = \frac{P - F}{2\cos\frac{\alpha}{2}} = \frac{mg - \frac{q^2}{\varepsilon r^2}}{2\cos\frac{\alpha}{2}}.$$

Полагая диэлектрическую проницаемость $\varepsilon = 1$ и подставляя данные условия задачи, получим

$$T = \frac{1 \cdot 981 - \frac{10^2}{1 \cdot 1^2}}{2 \cdot \frac{1}{2}} = 881 \text{ } дн.$$

104. Из геометрических данных можно заключить, что $AB = 2F$ (рис. 64). По теореме Пифагора

$$4F^2 = F^2 + (mg)^2,$$

откуда

$$3F^2 = (mg)^2.$$

Извлекая квадратный корень, получим

$$\sqrt{3} \cdot F = mg,$$

следовательно,

$$m = \frac{\sqrt{3} \cdot F}{g}.$$

Вследствие равенства радиусов шариков сообщенный им электрический заряд разделился на две равные части, т. е. каждый шар получил заряд

$$\frac{q}{2} = 2 \cdot 10^{-7}\, к = 6 \cdot 10^2 \text{ эл.-ст. ед.}$$

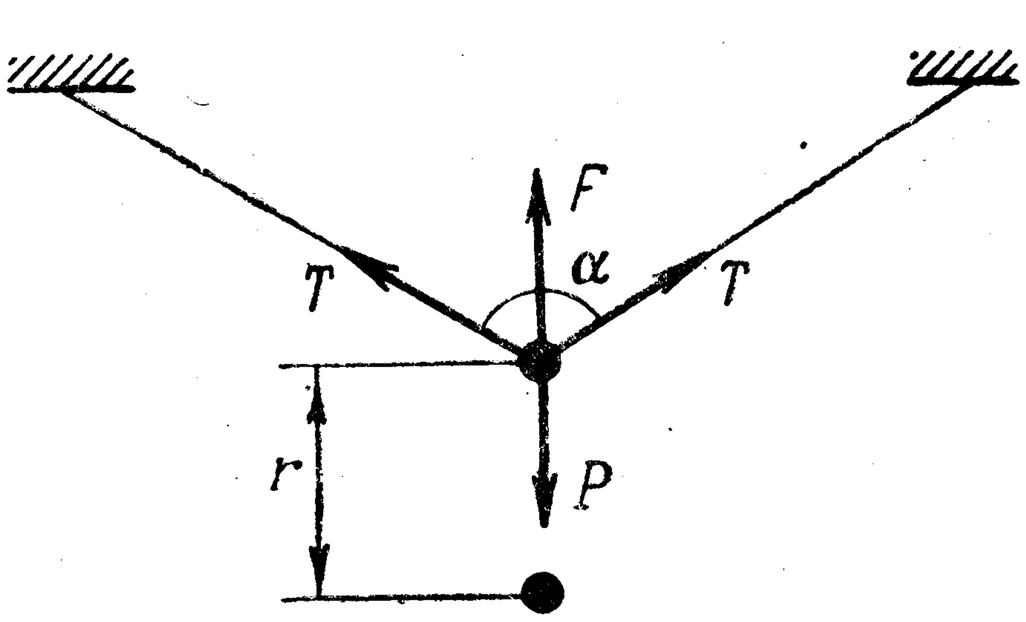


Рис. 63.

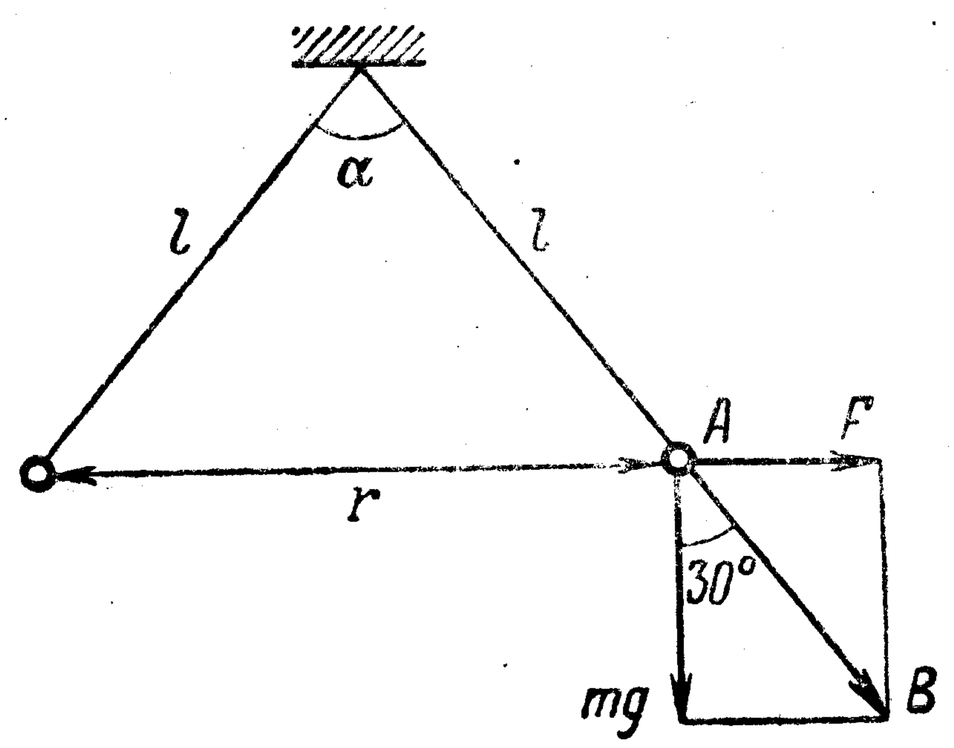


Рис. 64.

Силу электрического взаимодействия шариков определим по закону Кулона:

$$F = \frac{\left(\frac{q}{2}\right)^2}{r^2},$$

где $r = l$.

Подставляя значение F в формулу для определения массы, имеем

$$m = \frac{\sqrt{3}\left(\frac{g}{2}\right)^2}{r^2 g} = \frac{\sqrt{3} \cdot 36 \cdot 10^4}{400 \cdot 980} = 1{,}6 \text{ г}.$$

105 Так как радиусы шариков одинаковы, то после соприкосновения они будут иметь одинаковые заряды q, следовательно, сила взаимодействия между ними по закону Кулона

$$F = \frac{q^2}{r^2},$$

откуда величина заряда

$$q = \pm r\sqrt{F} = \pm 5\sqrt{4} = \pm 10 \text{ эл.-ст. ед.}$$

Общий заряд шариков

$$2q = \pm 20 \text{ эл.-ст. ед.}$$

Учитывая, что по условию задачи один шарик до соприкосновения имел заряд $q_1 = +27$ эл.-ст. ед., второй шарик может иметь заряд либо $q_2 = -7$, либо $q_2 = -47$ эл.-ст. ед.

106. После соединения шаров проволской потенциалы их одинаковы. Часть заряда с шара радиусом r перетекает на шар радиусом R. Так как емкость шара, выраженная в сантиметрах, численно равна радиусу шара, тоже выраженному в сантиметрах, то, обозначая через q_1 заряд, оставшийся на шаре радиусом r, а через q_2 заряд, приобретенный шаром, радиус которого R, имеем

$$q_1 = Ur, \quad q_2 = UR,$$

откуда

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{r}{R}.$$

Составляя производную пропорцию, получим

$$\frac{q_1}{q_1 + q_2} = \frac{r}{r + R},$$

отсюда

$$q_1 = \frac{r(q_1 + q_2)}{r + R} = \frac{20 \cdot 600}{20 + 30} = 240 \text{ эл.-ст. ед.}$$

Так как $q_1 + q_2 = q$, то

$$q_2 = q - q_1 = 600 - 240 = 360 \text{ эл.-ст. ед.}$$

107. На шарик, находящийся в воздухе в отклоненном состоянии, действуют три силы (рис. 65): VDg — сила тяжести шарика, где V — его объем, $F = \frac{q^2}{\varepsilon r^2}$ — сила электрического взаимодействия между шарами, находящимися в воздухе на расстоянии r при диэлектрической проницаемости воздуха ε, и T — сила натяжения нити. Под действием этих сил шарик находится в равновесии, следовательно,

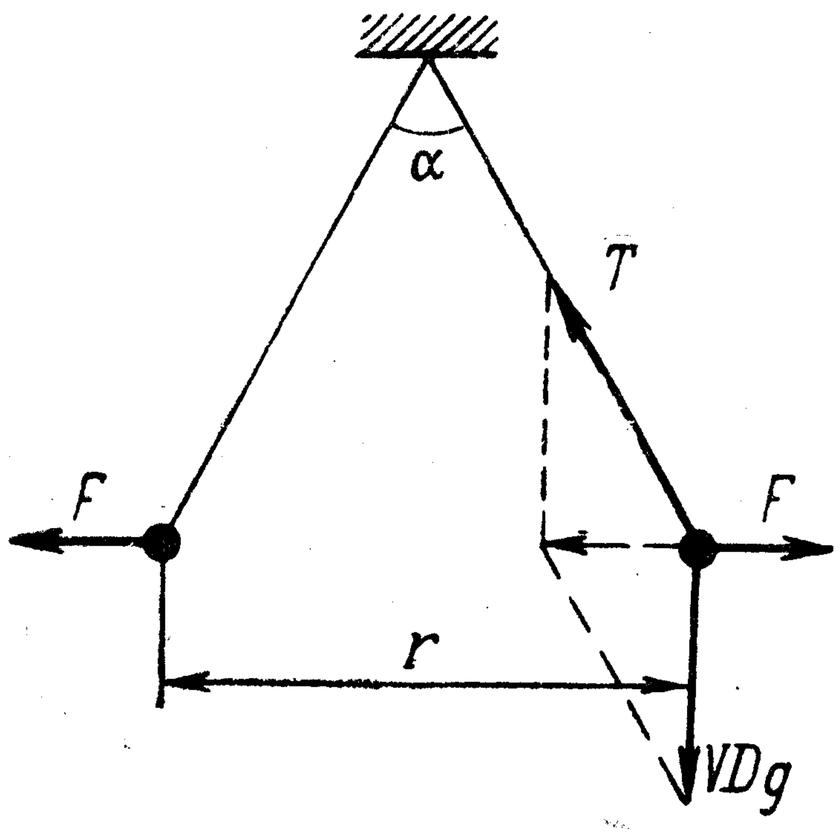


Рис. 65.

$$VDg \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{q^2}{\varepsilon r^2}.$$

При погружении в диэлектрик с плотностью D_1, кроме указанных сил, на шарик действует еще архимедова сила, равная $VD_1 g$. В этом случае имеем

$$Vg(D - D_1) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{q^2}{\varepsilon_1 r^2}.$$

Так как угол расхождения нитей в обоих случаях один и тот же, то

$$\frac{q^2}{\varepsilon r^2 VDg} = \frac{q^2}{\varepsilon_1 r^2 V(D - D_1) g},$$

отсюда, полагая диэлектрическую проницаемость воздуха $\varepsilon = 1$, плотность материала шариков

$$D = \frac{\varepsilon_1 D_1}{\varepsilon_1 - \varepsilon} = \frac{2 \cdot 0{,}8}{2 - 1} = 1{,}6 \ \text{г/см}^3.$$

108. Потенциалы в точках B и C следующие:

$$U_B = \frac{q_1}{l_1} = \frac{500}{5} = 100 \text{ эл.-ст. ед.},$$

$$U_C = \frac{q_2}{l_2} = \frac{500}{20} = 25 \text{ эл.-ст. ед.}$$

Напряженность поля в точках B и C:

$$E_B = \frac{q_1}{l_1^2} = \frac{500}{25} = 20 \text{ эл.-ст. ед.},$$

$$E_C = \frac{q_2}{l_2^2} = \frac{500}{400} = \frac{5}{4} \text{ эл.-ст. ед.}$$

Работа на участке BC определяется произведением перемещаемого заряда q_2 на разность потенциалов, созданную зарядом q_1, в точках B и C:

$$A_{BC} = q_2 (U_B - U_C) = 10^{-9} \cdot 3 \cdot 10^9 (100 - 25) = 255 \ \text{эрг}.$$

109. На заряд q шарика, находящегося в электрическом поле E, действует сила $F = Eq$. Эта сила приводит шарик массой m в движение с ускорением $a = \frac{F}{m} = \frac{Eq}{m}$. Следовательно, путь, пройденный шариком за время t,

$$s = \frac{at^2}{2} = \frac{Eqt^2}{2m}.$$

Выразим напряженность поля в электростатической системе, так как другие величины даны в этой системе:

$$E = 1200 \ \text{в/см} = 1200 \cdot \frac{1}{300} \text{ эл.-ст. ед.} = 4 \text{ эл.-ст. ед.}$$

Подставляя данные условия задачи в формулу для пройденного пути, найдем

$$s = \frac{4 \cdot 5 \cdot 5^2}{2 \cdot 1} = 250 \ \text{см} = 2{,}5 \ \text{м}.$$

110. Так как известно напряжение $U = 110$ в, при котором лампочки потребляют соответствующие мощности, то можно найти сопротивления нитей ламп:

$$R_1 = \frac{U^2}{N_1},$$

$$R_2 = \frac{U^2}{N_2} = \frac{U^2}{2N_1}.$$

Следовательно, сопротивление нити лампы, имеющей большую мощность, вдвое меньше сопротивления нити менее мощной лампочки:

$$R_1 = 2\,R_2.$$

При включении в сеть нужно две лампочки с бóльшими сопротивлениями поместить параллельно, а лампу с меньшим сопротивлением включить последсвательно с ними. Тогда падение напряжения на каждой лампе будет равно половине напряжения в сети (рис. 66).

Сила тока в каждой лампе, обладающей мощностью N_1,

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{N_1}{U} = \frac{60}{110} \approx 0{,}55\ a,$$

в лампе, обладающей мощностью N_2,

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{N_2}{U} = \frac{120}{110} \approx 1{,}1\ a.$$

111. Общая мощность, которую получает электромотор из внешней цепи, $N = IU$. Часть получаемой электромотором энергии расходуется на нагревание обмотки электромотора; эта мощность $N_1 = I^2 R$.

Коэффициент полезной рабсты равен отношению полезной мощности к мощности, получаемой мотором из внешней цепи, т. е.

$$\eta = \frac{N - N_1}{N} = \frac{IU - I^2R}{IU} = \frac{U - IR}{U}.$$

Подставляя данные условия задачи, получим

$$\eta = \frac{110 - 10 \cdot 2}{110} = 0{,}82 = 82\%.$$

112. Так как после соприкосновения потенциалы шаров (рис. 67) одинаковы, то, обозначая через U общий потенциал, а через q_1 и q_2 соответственно заряды на шарах радиусами r и R, получим

$$U = \frac{q_1}{r} = \frac{q_2}{R},$$

откуда

$$q_1 = \frac{r}{R}\,q_2.$$

Общий заряд шаров

$$q = q_1 + q_2.$$

Подставляя значение q_1, получим

$$q = \frac{r}{R} q_2 + q_2 = q_2 \left(\frac{r}{R} + 1 \right),$$

откуда

$$q_2 = \frac{q}{\frac{r}{R} + 1} = \frac{450}{\frac{1}{2} + 1} = 300 \text{ эл.-ст. ед.}$$

Следовательно,

$$q_1 = q - q_2 = 450 - 300 = 150 \text{ эл.-ст. ед.}$$

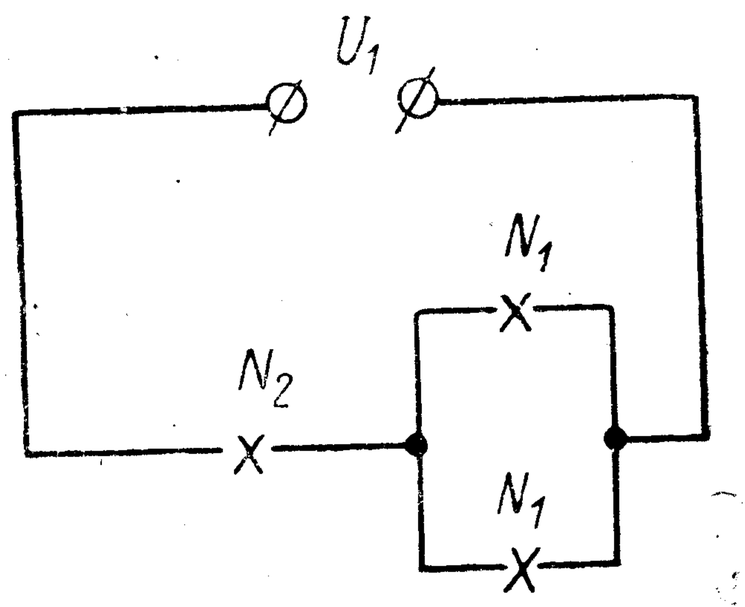


Рис. 66.

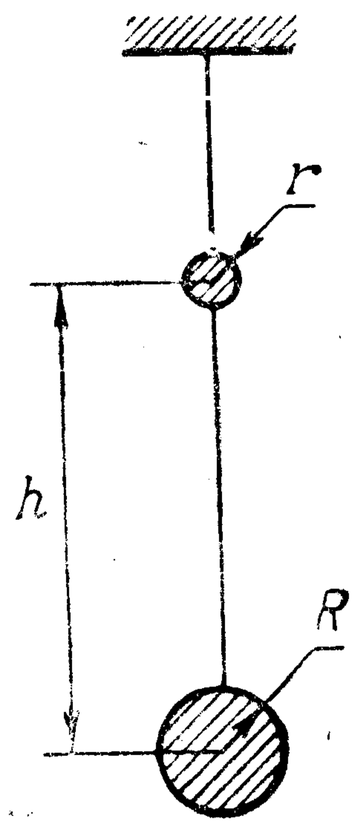


Рис. 67.

Определим высоту, на которой находится верхний шар. Для этого приравняем вес этого шара силе Кулона:

$$mg = \frac{q_1 q_2}{h^2},$$

отсюда

$$h = \sqrt{\frac{q_1 q_2}{mg}} = \sqrt{\frac{150 \cdot 300}{0{,}1 \cdot 981}} = 26 \text{ см}.$$

113. Из формулы периода колебаний маятника

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

получим ускорение:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}.$$

При помещении шара в электрическое поле период колебаний и ускорение изменились:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_1}},$$

$$g_1 = \frac{4\pi^2 l}{T_1^2}.$$

Из полученных значений g и g_1 находим

$$g_1 = \frac{T^2}{T_1^2} g.$$

Изменение ускорения

$$\Delta g = g_1 - g = g\left(\frac{T^2}{T_1^2} - 1\right).$$

Сила электрического действия поля на шар

$$F = m\Delta g = mg\left(\frac{T^2}{T_1^2} - 1\right) = 16 \cdot 981\left(\frac{1}{0{,}8^2} - 1\right) \approx 8800 \text{ дн} \approx 9 \text{ Г}.$$

114. Внешнее электрическое поле совершает работу по перемещению электрона

$$A = eU,$$

где $e = 4{,}8 \cdot 10^{-10}$ эл.-ст. ед. — заряд электрона, U — пройденная электроном разность потенциалов. Вследствие этой рабсты возрастает кинетическая энергия электрона, т. е.

$$eU = \frac{mv^2}{2},$$

отсюда, скорость электрона

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4{,}8 \cdot 10^{-10} \cdot 100}{9 \cdot 10^{-28} \cdot 300}} = 6 \cdot 10^8 \text{ см/сек}.$$

115. Потенциал на расстоянии r от иона водорода

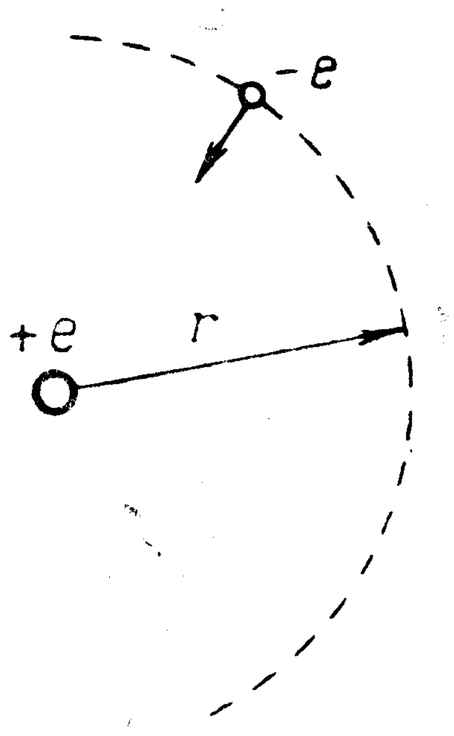


Рис. 68.

$$U = \frac{e}{r}.$$

Кинетическая энергия, приобретенная электроном (рис. 68), равна работе по перемещению электрона в электрическом поле иона:

$$eU = \frac{mv^2}{2}.$$

Подставляя значение U, получим

$$\frac{e^2}{r} = \frac{mv^2}{2},$$

откуда скорость электрона

$$v = \sqrt{\frac{2e^2}{mr}} = e\sqrt{\frac{2}{mr}} = 4{,}8 \cdot 10^{-10}\sqrt{\frac{2}{9 \cdot 10^{-28} \cdot 10^{-6}}} =$$

$$= 22{,}4 \cdot 10^6 \text{ см/сек} = 224 \text{ км/сек}.$$

116. Емкость параллельно соединенных конденсаторов равна сумме емкостей:

$$C = C_1 + C_2.$$

Так как конденсатор C_3 включен последовательно с системой конденсаторов C_1 и C_2, то из соотношения

$$\frac{1}{C_x} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{C_1 + C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{(C_1 + C_2)\,C_3}$$

получаем

$$C_x = \frac{(C_1 + C_2)\,C_3}{C_1 + C_2 + C_3} = \frac{(1 + 2)\,2}{1 + 2 + 2} = \frac{6}{5} \text{ мкф}.$$

117. Если емкость одного конденсатора C, то при последовательном соединении двух одинаковых конденсаторов их общую емкость можно спределить из соотношения

$$\frac{1}{C_1} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C},$$

откуда

$$C_1 = \frac{C}{2}.$$

Заряд q, находящийся на двух последовательно соединенных конденсаторах, после присоединения их к источнику энергии с напряжением U

$$q = C_1 U = \frac{C}{2} U.$$

При параллельном соединении конденсаторов емкостью C их общая емкость равна сумме, т. е. $C_2 = 2C$.

Вследствие того, что заряд на параллельно соединенных конденсаторах остается без изменения, т. е. равен заряду на последовательно соединенных конденсаторах, получим

$$q = 2CU_1,$$

отсюда разность потенциалов на конденсаторах

$$U_1 = \frac{q}{2C} = \frac{\frac{C}{2}U}{2C} = \frac{U}{4} = \frac{100}{4} = 25 \text{ в}.$$

118. Конденсатор, заполненный двумя слоями различных диэлектриков (рис. 69), можно рассматривать как два последовательно соединенных конденсатора; следовательно, из соотношения

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{\frac{\varepsilon_1 S}{4\pi d_1}} + \frac{1}{\frac{\varepsilon_2 S}{4\pi d_2}} = \frac{4\pi}{S}\left(\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2}\right)$$

имеем

$$C = \frac{S}{4\pi}\left(\frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{d_1\varepsilon_2 + d_2\varepsilon_1}\right).$$

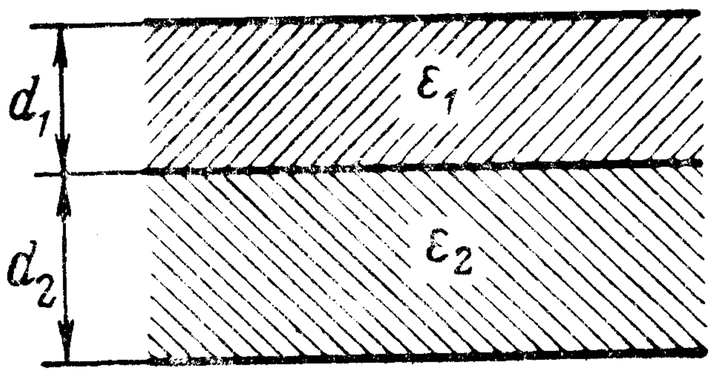


Рис. 69.

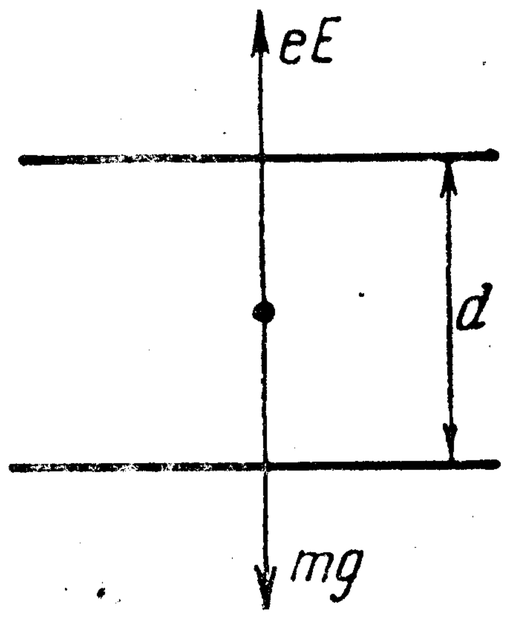


Рис. 70.

119. При равновесии капли (рис. 70) сумма сил, действующих на нее, равна нулю, следовательно,

$$mg = eE.$$

Масса капли

$$m = VD.$$

Объем капли

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3.$$

Подставляя значение V, найдем массу:

$$m = \frac{4}{3}\pi r^3 D.$$

Напряженность поля

$$E = \frac{U}{d}.$$

Используя полученные зависимости, имеем

$$\frac{4}{3}\pi r^3 Dg = e\frac{U}{d},$$

откуда

$$e = \frac{4\pi r^3 Dgd}{3U} = \frac{4\cdot 3{,}14\,(0{,}00015)^3\,0{,}8\cdot 981\cdot 0{,}4}{3\cdot\dfrac{700}{300}} =$$

$$= 1{,}9\cdot 10^{-9}\ \text{эл.-ст. ед.}$$

120. Металлический уединенный шар радиусом r обладает емкостью C, численно равной радиусу шара, выраженному в сантиметрах, следовательно,

$$q = rU,$$

где q — заряд шара, U — потенциал шара. Так как заряд, сообщенный шару,

$$q = en,$$

где n — число электронов, входящих в заряд, то

$$n = \frac{q}{e} = \frac{rU}{e} = \frac{1\cdot\dfrac{1}{300}}{4{,}8\cdot 10^{-10}} = 7\cdot 10^{10}\ \text{электронов}.$$

121. Сила тока характеризуется электрическим зарядом, проходящим через поперечное сечение проводника в секунду:

$$I = \frac{q}{t} = neSv,$$

где q — электрический заряд, n — число электронов в 1 $см^3$ проводника, e — заряд электрона, равный $1{,}6\cdot 10^{-19}$ $к$. Следовательно,

$$n = \frac{I}{eSv} = \frac{9}{1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 0{,}05\cdot 0{,}0282} = 4\cdot 10^{22}\ \textit{электронов/см}^3.$$

122. Используя зависимость между зарядом q конденсатора, емкостью конденсатора C и его потенциалом U: $q = UC$, а также определение силы тока I: $I = \dfrac{q}{t}$, получим

$$I = \frac{UC}{t}.$$

Выразим емкость конденсатора в фарадах:

$$C = 90\ см = \frac{90}{9\cdot 10^{11}} = 10^{-10}\ ф.$$

Средняя сила тока

$$I = \frac{0{,}1\cdot 10^{-10}}{10} = 10^{-12}\ а.$$

123. В том случае, когда конденсатор находится в воздухе ($\varepsilon = 1$), заряд его

$$q_1 = EC = E\frac{\varepsilon_1 S}{4\pi d} = \frac{\varepsilon_1 ES}{4\pi d}.$$

При помещении конденсатора в керосин заряд его изменится:

$$q_2 = \frac{\varepsilon_2 ES}{4\pi d}.$$

Изменение заряда

$$q_2 - q_1 = \frac{ES}{4\pi d}(\varepsilon_2 - \varepsilon_1).$$

Подставляя данные условия задачи, имеем

$$q_2 - q_1 = \frac{9{,}42 \cdot 150}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}5 \cdot 300}(2-1) \text{ эл.-ст. ед.} = 0{,}75 \text{ эл.-ст. ед.}$$

Таким образом, по проводам пройдет количество электричества, равное 0,75 эл.-ст. ед.

124. Сила тока зависит от изменения во времени электрического заряда пластин (рис. 71):

$$I = \frac{\Delta q}{t},$$

где Δq — изменение заряда за время t.

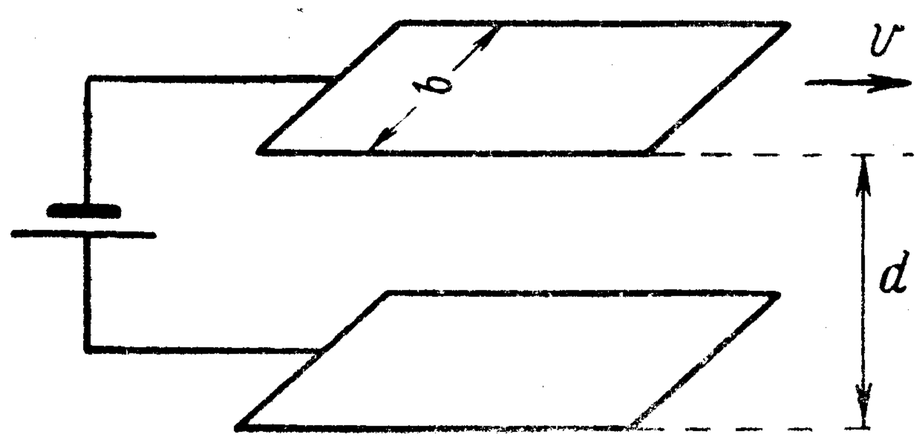


Рис. 71.

При перемещении одной пластины относительно другой меняется емкость конденсатора, а изменение заряда при постоянной разности потенциалов пропорционально изменению емкости, т. е.

$$\Delta q = U\Delta C = U\frac{\Delta S}{4\pi d}.$$

Таким образом,

$$I = \frac{U\Delta S}{4\pi dt},$$

где $\frac{\Delta S}{t}$ — изменение во времени площади пластин, находящихся друг над другом.

Так как сторона пластин b, а скорость равномерного движения v, то изменение площади в секунду

$$\frac{\Delta S}{t} = bv.$$

Подставляя полученное значение $\frac{\Delta S}{t}$ в формулу для определения силы тока I, получим

$$I = \frac{Ubv}{4\pi d} = \frac{\frac{600}{300} \cdot 10 \cdot 6}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}01} = \frac{3000}{3{,}14} \text{ эл.-ст. ед.} =$$

$$= \frac{3000}{3{,}14 \cdot 3 \cdot 10^9} a = 0{,}32 \cdot 10^{-6} \ a.$$

125. Обозначим отношение сопротивления большой стороны контура r_2 к сопротивлению его малой стороны r_1 через x: $x = \frac{r_2}{r_1}$.

При включении прямоугольного контура в точках A и B имеем

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_1 + 2xr_1} = \frac{2r_1(x+1)}{r_1^2(2x+1)},$$

где R_1 — сопротивление контура.

При включении прямоугольного контура в точках B и C получим

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{xr_1} + \frac{1}{2r_1 + xr_1} = \frac{2r_1(x+1)}{xr_1^2(x+2)},$$

здесь R_2 — сопротивление контура.

Отношение сопротивлений

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{(x+2)x}{2x+1} = 1{,}6,$$

откуда

$$x^2 - 1{,}2x - 1{,}6 = 0.$$

Решая это уравнение и отбрасывая отрицательный корень, не имеющий физического смысла, находим, что $x = 2$.

126. Угол куба A образован тремя стержнями, которые можно рассматривать как три параллельно соединенных проводника. Аналогично можно рассматривать и угол куба B. Каждый стержень, образующий угол A, соединен двумя аналогичными стержнями со стержнями, образующими угол B, что равносильно параллельному соединению шести проводников. Поэтому сопротивление куба по диагонали можно заменить эквивалентной схемой (рис. 72). Из схемы видно, что общее сопротивление куба

$$R = 2\frac{r}{3} + \frac{r}{6} = \frac{5}{6}r.$$

127. Все проволочное разветвление можно представить в виде трех отдельных ветвей (рис. 73). Сопротивление центральной части верхней ветви R_1 находим как сопротивление параллельно соединенных проводов по формуле

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{r} + \frac{1}{2r} = \frac{3}{2r},$$

откуда

$$R_1 = \frac{2}{3} r.$$

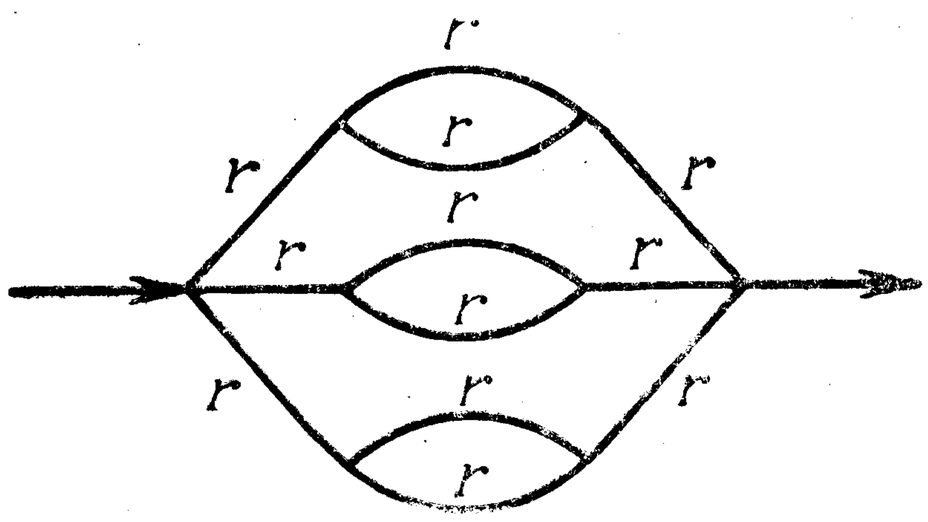


Рис. 72.

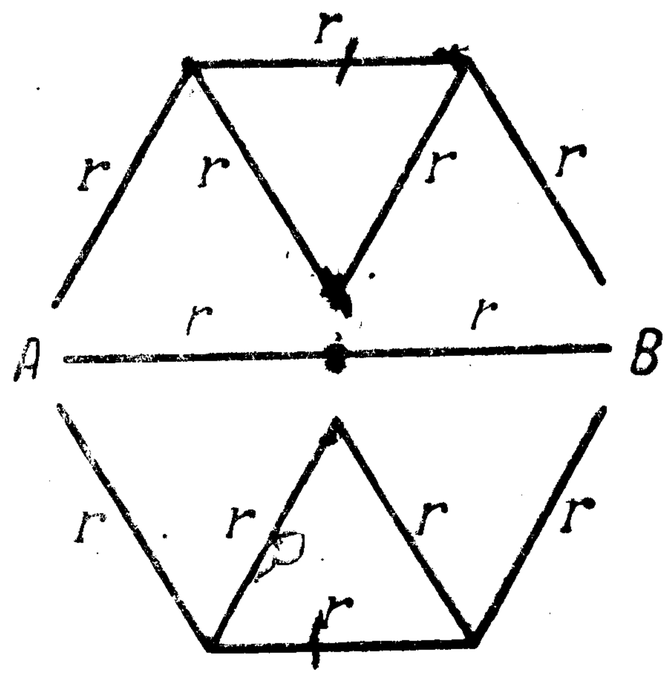


Рис. 73.

Полное сопротивление верхней ветви

$$2r + \frac{2}{3} r = \frac{8}{3} r.$$

Такое же вследствие симметрии и сопротивление нижней ветви. Сопротивление же центральной ветви $2r$. Все рассмотренные ветви соединены параллельно, поэтому общее сопротивление R находим по формуле

$$\frac{1}{R} = 2\frac{1}{\frac{8}{3} r} + \frac{1}{2r} = \frac{10}{8r},$$

откуда

$$R = \frac{8}{10} r.$$

128. При включении кольца между точками A и B (см. рис. 10) имеем параллельное сопротивление полуколец. Общее сопротивление R' в этом случае находим из соотношения

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2},$$

откуда

$$R' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

При включении кольца между точками C и D общее сопротивление

$$R'' = \frac{R_1}{2} + \frac{R_2}{2} = \frac{R_1 + R_2}{2}.$$

Отношение сопротивлений

$$\frac{R'}{R''} = \frac{2R_1R_2}{(R_1 + R_2)^2}.$$

Учитывая, что по условию задачи сопротивление $R_2 = 2R_1$, получим

$$\frac{R'}{R''} = \frac{4R_1^2}{9R_1^2} = \frac{4}{9}.$$

129. Определим сопротивление R' квадрата, когда контакты M и N находятся посередине сторон AB и CD (см. рис. 11). В этом случае имеем две одинаковые ветви: $MACN$ и $MBDN$, соединенные последовательно. Следовательно,

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{2R} = \frac{1}{R},$$

откуда

$$R' = R,$$

т. е. общее сопротивление квадрата при присоединении контактов в середине сторон AB и CD равно R.

Найдем сопротивление R'' квадрата, когда контакты находятся в точках A и C (или в точках B и D). Аналогично предыдущему имеем две параллельных ветви: AC и $ABDC$; их сопротивления соответственно R и $3R$. Общее сопротивление R'' контура в этом случае находим из соотношения

$$\frac{1}{R''} = \frac{1}{R} + \frac{1}{3R} = \frac{4}{3R},$$

откуда

$$R'' = \frac{3}{4}R.$$

Таким образом, общее сопротивление при одновременном перемещении контактов по сторонам AB и CD будет меняться от R до $\frac{3}{4}R$, где $R = 1$ *ом* — сопротивление стороны квадрата.

130. При погружении медного стержня в ртуть столбик ртути имеет длину и сечение, равные длине и сечению стержня. Обозначая через r_1 сопротивление стержня, а через r_2 сопротивление ртутного столбика, получим:

$$r_1 = \rho_1 \frac{l}{S},$$

$$r_2 = \rho_2 \frac{l}{S}.$$

Рассматривая стержень и ртутный столбик как параллельно соединенные проводники (см. рис. 12, *а*), определим их общее сопротивление по формуле

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \frac{S}{\rho_1 l} + \frac{S}{\rho_2 l},$$

откуда

$$R_1 = \frac{l\rho_1\rho_2}{S(\rho_1 + \rho_2)}.$$

Когда стержень соприкасается с поверхностью ртути, соединение проводников последовательное (см. рис. 12, *б*), сопротивление стержня остается прежним (r_1), а сопротивление ртутного столбика изменяется за счет уменьшения его высоты вдвое и увеличения сечения в два раза, следовательно,

$$r_3 = \rho_2 \frac{\frac{l}{2}}{2S} = \rho_2 \frac{l}{4S} = \frac{r_2}{4}.$$

Общее сопротивление

$$R_2 = r_1 + r_2 = \rho_1 \frac{l}{S} + \rho_2 \frac{l}{4S} = \frac{l}{S}\left(\rho_1 + \frac{\rho_2}{4}\right).$$

Отношение сопротивлений

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\left(\rho_1 + \frac{\rho_2}{4}\right)(\rho_1 + \rho_2)}{\rho_1 + \rho_2} = \frac{(\rho_1 + \rho_2)(4\rho_1 + \rho_2)}{4\rho_1\rho_2} =$$

$$= \frac{(0{,}02 + 1)(4 \cdot 0{,}02 + 1)}{4 \cdot 0{,}02 \cdot 1} = 14 \text{ раз}.$$

131. Сопротивление R_t проводника при нагревании увеличивается в соответствии с соотношением

$$R_t = R_0(1 + \alpha t).$$

Следовательно, искомое сопротивление нити

$$R_0 = \frac{R_t}{1 + \alpha t}.$$

Так как мощность

$$N = IU = \frac{U^2}{R_t},$$

то

$$R_t = \frac{U^2}{N}.$$

Подставляя значение R_t, получим

$$R_0 = \frac{U^2}{N(1+\alpha t)} = \frac{120^2}{60(1+0{,}005\cdot 1800)} = 126 \text{ ом}.$$

132. Сопротивление провода зависит от удельного сопротивления ρ вещества провода, длины l и его площади поперечного сечения S, т. е.

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

По условию задачи сопротивления проводов одинаковы, поэтому

$$\rho_1 \frac{l}{S_1} = \rho_2 \frac{l}{S_2}.$$

Следовательно,

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}.$$

Отношение веса P_1 алюминиевого провода к весу P_2 медного провода

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{lS_1d_1}{lS_2d_2} = \frac{S_1d_1}{S_2d_2} = \frac{\rho_1d_1}{\rho_2d_2} = \frac{0{,}029\cdot 2{,}7}{0{,}017\cdot 8{,}9} \approx 0{,}5.$$

133. Так как показания вольтметра одинаковы, значит падение напряжения на вольтметре в первом случае (последовательное включение) равно падению напряжения на вольтметре во втором случае (при параллельно включенном сопротивлении).

Подсчитаем силу тока и падение напряжения на вольтметре в обоих случаях. Пусть E — электродвижущая сила аккумулятора, r — его внутреннее сопротивление.

Ток в цепи при последовательном включении вольтметра

$$I = \frac{E}{R + R_V + r},$$

падение напряжения на вольтметре

$$U_1 = R_V \frac{E}{R + R_V + r}.$$

Ток в цепи при последовательном включении вольтметра

$$I = \frac{E}{\frac{RR_V}{R+R_V} + r},$$

падение напряжения на вольтметре

$$U_2 = \frac{E(R+R_V)}{RR_V + Rr + R_Vr} \frac{RR_V}{R+R_V}.$$

Так как $U_1 = U_2$, то

$$\frac{R_V}{R + R_V + r} = \frac{RR_V}{RR_V + Rr + R_V r},$$

откуда

$$R^2 + RR_V + Rr = RR_V + Rr + R_V r.$$

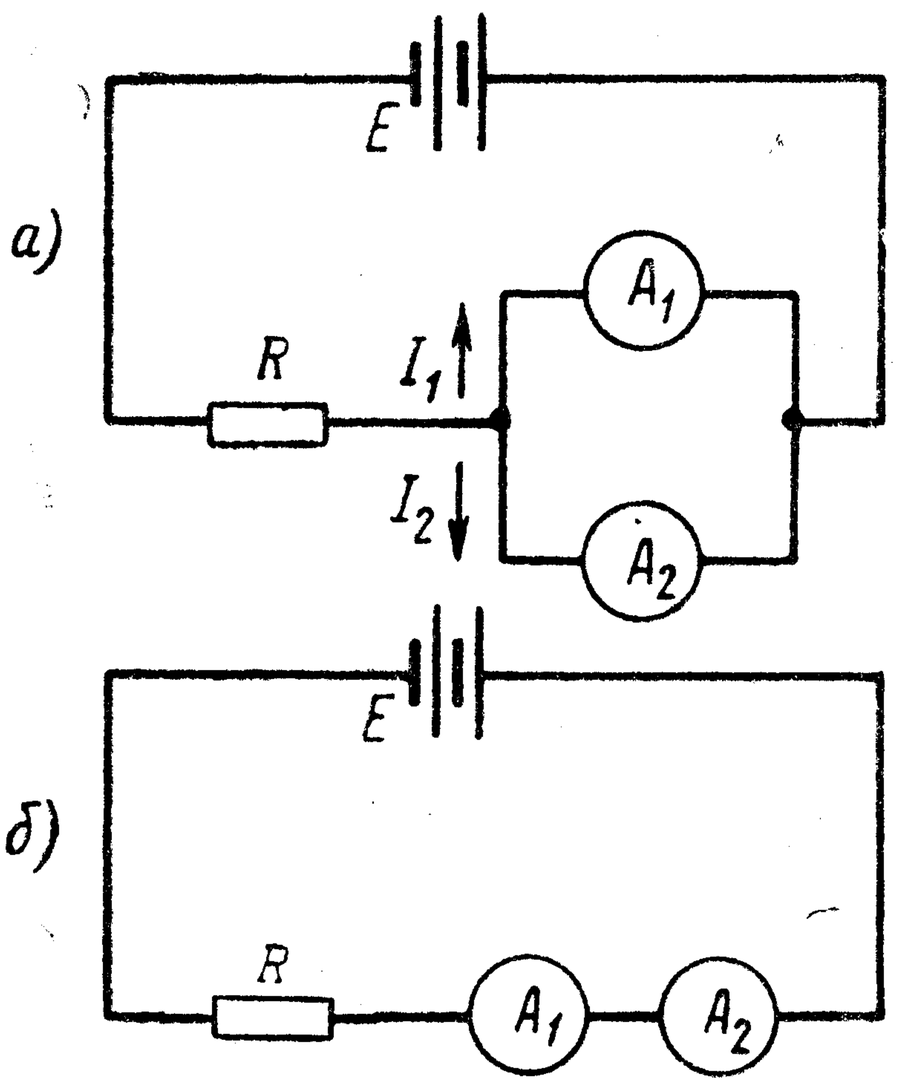
Следовательно, внутреннее сопротивление аккумулятора

$$r = \frac{R^2}{R_V} = \frac{100}{1000} = 0{,}1 \text{ ом}.$$

134. При параллельном включении амперметров (рис. 74, *а*), применяя закон Ома для всей цепи, имеем

$$I_1 + I_2 = \frac{E}{R + r + \dfrac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}},$$

где R — неизвестное внешнее сопротивление, r — внутреннее сопротивление батареи, r_1 и r_2 — сопротивления амперметров.



а)

б)

Рис. 74.

При последовательном включении амперметров (рис. 74, *б*)

$$I' = \frac{E}{R + r + r_1 + r_2}.$$

Так как при параллельном соединении отношение сопротивлений обратно пропорционально токам, то

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{I_2}{I_1}.$$

Решая совместно полученные уравнения, находим

$$R + r = \frac{E\,[I'\,(I_1 + I_2) - I_1 I_2]}{I'\,(I_1^2 + I_1 I_2 + I_2^2)}.$$

Ток, который течет в цепи, находим по закону Ома

$$I = \frac{E}{R + r}.$$

Подставив значение $R + r$, получаем

$$I = \frac{I'\,(I_1^2 + I_1 I_2 + I_2^2)}{I'\,(I_1 + I_2) - I_1 I_2} = 5{,}43 \text{ а}.$$

135. Пользуясь законом Ома, имеем:
для первого случая

$$E = I_1 (R_1 + r),$$

для второго случая

$$E = I_2 (R_2 + r).$$

Решая эту систему уравнений, найдем значения электродвижущей силы и внутреннего сопротивления элемента:

$$E = \frac{I_1 I_2 (R_1 - R_2)}{I_2 - I_1} = \frac{0{,}2 \cdot 0{,}1 (4{,}5 - 10)}{0{,}1 - 0{,}2} = 1{,}1 \ в,$$

$$r = \frac{E - I_1 R_1}{I_2} = \frac{1{,}1 - 0{,}2 \cdot 4{,}5}{0{,}1} \approx 2 \ ом.$$

Коэффициент полезного действия в первом случае

$$\eta_1 = \frac{I_1 U_1}{I_1 E_1} = \frac{U_1}{E} = \frac{I_1 R_1}{E} \approx 0{,}82,$$

во втором случае

$$\eta_2 = \frac{I_2 R_2}{E} \approx 0{,}9.$$

136. Количество электричества, которое прстекает по проводам за время t изменения емкости конденсатора,

$$q_2 - q_1 = UC_2 - UC_1 = U (C_2 - C_1).$$

Ток, протекающий по проводам,

$$I = \frac{q_2 - q_1}{t} = \frac{U (C_2 - C_1)}{t}.$$

Количество тепла, выделившееся в проводах за время t,

$$Q = 0{,}24 I^2 R t = 0{,}24 \frac{U^2 (C_2 - C_1)^2}{t^2} R t.$$

Таким образом,

$$Q = 0{,}24 \frac{U^2 (C_2 - C_1)^2}{t} R.$$

Подставляя условия задачи, получим

$$Q = \frac{0{,}24 (2000)^2 (10 - 2) \, 10^{-6}}{10} \cdot 10 \ кал = 7{,}68 \ кал.$$

137. На основании закона Джоуля — Ленца имеем

$$0{,}24 \, I_1^2 \, R t = 0{,}24 \, I_2^2 \, R_x \, t,$$

откуда

$$I_1^2 R = I_2^2 R_x,$$

где I_1 — сила тока, проходящего в цепи при сопротивлении R, I_2 — то же при сопротивлении R_x.

Вследствие постоянства электродвижущей силы E элемента получим

$$I_1 = \frac{E}{R+r}, \quad I_2 = \frac{E}{R_x + r}.$$

Подставляя эти значения силы тока в уравнение $I_1^2 R = I_2^2 R_x$, найдем второе значение внешнего сопротивления, при котором во внешней цепи будет выделяться такое же количество тепла за то же время, что и при сопротивлении R:

$$R_x = \frac{r^2}{R} = \frac{4^2}{8} = 2 \text{ ом}.$$

138. Пусть R — полное сопротивление проволоки, образующей кольцо. Из закона параллельного соединения проводников следует, что токи в ветвях $I_1 = 6$ *а*, $I_2 = 3$ *а*.

Мощность, выделившаяся в кольце,

$$N_1 = \frac{R}{3} I_1^2 + \frac{2R}{3} I_2^2 = 108 \text{ вт},$$

откуда $R = 6$ *ом*.

Если бы контакты были расположены по диаметру, то мощность, выделившаяся в кольце, была бы

$$N_2 = \frac{R}{4} I^2 = 1{,}5 \cdot 9^2 = 121{,}5 \text{ вт}.$$

139. Мощность электрической энергии, потребляемой лампами, согласно закону Джоуля — Ленца пропорциональна квадрату падения разности потенциалов на сопротивлении, отнесенному к величине сопротивления. При последовательном соединении ламп

$$N_1 = \frac{U^2}{2R}.$$

При параллельном соединении

$$N_2 = \frac{U^2}{\frac{R}{2}} = \frac{2U^2}{R}.$$

Таким образом, отношение мощностей

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{2U^2 \cdot 2R}{RU^2} = 4,$$

т. е. при параллельном соединении ламп за одно и то же время потребляется энергии больше в 4 раза, чем при последовательном соединении.

140. При коротком замыкании элемента внешнее сопротивление близко к нулю и сила проходящего тока I зависит только от

электродвижущей силы элемента E и его внутреннего сопротивления r, т. е.

$$I = \frac{E}{r}.$$

Из условия задачи известна сила токов I_1 и I_2, которые протекали в цепи при внешних сопротивлениях R_1 и R_2. Следовательно,

$$E = I_1(R_1 + r), \quad E = I_2(R_2 + r).$$

Решив эти уравнения и подставив данные условия задачи, получим

$$r = 3 \text{ ом}, \quad E = 1{,}4 \text{ в}.$$

Сила тока при коротком замыкании

$$I = \frac{E}{r} = \frac{1{,}4}{3} \approx 0{,}47 \text{ а}.$$

141. Сила тока I, проходящего в цепи, зависит от внешнего напряжения U генератора, электродвижущих сил E аккумуляторов, внутреннего сопротивления r аккумуляторов и дополнительного внешнего сопротивления R цепи. Так как электродвижущая сила аккумуляторов имеет обратное направление по отношению к напряжению генератора, то сила проходящего тока

$$I = \frac{U - nE}{R + nr},$$

где n — число последовательно включенных аккумуляторов.

Следовательно, дополнительное сопротивление

$$R = \frac{U - nE - Inr}{I} = \frac{15 - 5 \cdot 2 - 1 \cdot 5 \cdot 0{,}02}{1} = 4{,}9 \text{ ом}.$$

142. Вокруг ядра атома урана существует электрическое поле. Кинетическая энергия, которой обладает α-частица, расходуется на работу против сил взаимодействия электрического поля и заряда α-частицы, т. е.

$$\frac{mv^2}{2} = 2eU,$$

где $U = \frac{92e}{r}$ — потенциал поля атома урана на расстоянии r от атома, $2e$ — заряд α-частицы. Подставляя значение потенциала U, получим

$$\frac{mv^2}{2} = 2e\frac{92e}{r},$$

отсюда искомое расстояние

$$r = \frac{4 \cdot 92e^2}{mv^2} = \frac{4 \cdot 92(4{,}8 \cdot 10^{-10})^2}{6{,}6 \cdot 10^{-24}(2 \cdot 10^9)^2} \approx 3 \cdot 10^{-12} \text{ см}.$$

143. Значение внешнего сопротивления R цепи получим, пользуясь законом Ома

$$I = \frac{E}{R + r}$$

и уравнением мощности

$$N = I^2 R,$$

откуда

$$I = \sqrt{\frac{N}{R}}.$$

Приравнивая правые части равенств, получим

$$\frac{E}{R + r} = \sqrt{\frac{N}{R}}.$$

Из этого уравнения найдем значение внешнего сопротивления R, в котором выделяется мощность N. Подставив данные условия задачи, получим два значения внешнего сопротивления: $R_1 = 2$ *ом*; $R_2 = 0{,}125$ *ом*. Это значит, что при любом из этих внешних сопротивлений на них будет выделяться мощность $N = 32$ *в*.

144. Обозначая сопротивления внешней цепи при потребляемых мощностях N_1 и N_2 соответственно через R_1 и R_2, получим:

$$E = I_1 (R_1 + r),$$
$$E = I_2 (R_2 + r),$$

откуда

$$I_1 (R_1 + r) = I_2 (R_2 + r).$$

Выразим сопротивления R_1 и R_2 через известные значения мощностей и сил токов:

$$R_1 = \frac{N_1}{I_1^2}, \quad R_2 = \frac{N_2}{I_2^2}.$$

Подставляя полученные значения внешних сопротивлений, имеем

$$I_1 \left(\frac{N_1}{I_1^2} + r \right) = I_2 \left(\frac{N_2}{I_2^2} + r \right).$$

Решая это уравнение, найдем значение внутреннего сопротивления аккумулятора:

$$r = \frac{\frac{N_1}{I_1} - \frac{N_2}{I_2}}{I_2 - I_1} = \frac{\frac{10}{2} - \frac{12}{3}}{3 - 2} = 1 \text{ ом}.$$

145. При прохождении в контуре тока I_1 электродвижущая сила E аккумулятора расходуется на преодоление внешнего R и внутреннего r сопротивлений, т. е.

$$E = I_1 (R + r).$$

Так как потребляемая внешней цепью мощность N_1 и сила тока I_1, проходящего по цепи, известны, то можно найти внешнее сопротивление:

$$R = \frac{N_1}{I_1}.$$

Подставляя значение R в формулу электродвижущей силы, имеем

$$E = I_1 \left(\frac{N_1}{I_1} + r \right).$$

Аналогично для второго случая получим

$$E = I_2 \left(\frac{N_2}{I_2} + r \right).$$

Приравнивая правые части полученных уравнений, найдем значение мощности, отдаваемой во внешнюю цепь при силе тока I_2:

$$N_2 = I_2 \left(\frac{N_1}{I_1} + I_1 r - I_2 r \right) = 6 \left(\frac{8}{4} + 4 \cdot 0{,}08 - 6 \cdot 0{,}08 \right) \approx 11{,}04 \text{ } вт.$$

146. По закону Джоуля — Ленца количество выделившегося тепла $Q = 0{,}24\, I^2 Rt$. Так как по условию задачи количество тепла, выделенного в равные промежутки времени при замыкании на сопротивления R_1 и R_2, одинаково, то

$$I_1^2 R_1 = I_2^2 R_2,$$

где

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + r}, \quad I_2 = \frac{E}{R_2 + r}.$$

Подставляя значения I_1 и I_2, имеем

$$\frac{E^2}{(R_1 + r)^2} R_1 = \frac{E^2}{(R_2 + r)^2} R_2.$$

Решив это уравнение, найдем

$$r = \sqrt{R_1 R_2} = \sqrt{4 \cdot 9} = 6 \text{ } ом.$$

147. Полагая длину проволоки равной l, определим массу:

$$m = \frac{\pi d^2}{4} lD.$$

Количество тепла, необходимое для нагревания и плавления проволоки,

$$Q = mc\,(t - 0) + m\lambda = \frac{\pi d^2}{4}\,lD\,(ct + \lambda).$$

Тепло, выделяющееся в проволоке при прохождении тока, по закону Джоуля — Ленца

$$Q_1 = 0{,}24\ I^2 R\tau.$$

Сопротивление проволоки

$$R = \rho\frac{l}{S},$$

где $S = \frac{\pi d^2}{4}$ — площадь сечения проволоки.

Подставляя значения R и S в выражение для Q_1, получим

$$Q_1 = \frac{4 \cdot 0{,}24 I^2 \rho l \tau}{\pi d^2}.$$

Так как по условию задачи только 50% тепла идет на нагревание и плавление, имеем

$$Q = \eta\, Q_1$$

или

$$\frac{\pi d^2}{4}\,lD\,(ct + \lambda) = \eta\,\frac{4 \cdot 0{,}24 I^2 \rho l \tau}{\pi d^2}.$$

Промежуток времени, через который проволока перегорит,

$$\tau = \frac{\pi^2 d^4 lD\,(ct + \lambda)}{4 \cdot 4 \cdot 0{,}24 \eta l^2 \rho l} = \frac{3{,}14^2 \cdot 0{,}01^4 \cdot 10\,(0{,}03 \cdot 300 + 6)}{4 \cdot 4 \cdot 0{,}24 \cdot 0{,}5 \cdot 3^2 \cdot 3 \cdot 10^{-6}} = 0{,}57 \text{ сек.}$$

148. При последовательном включении (рис. 75) сила тока в нагревателях чайников

$$I_1 = \frac{U}{2R + r},$$

где R — сопротивление нагревателей, r — сопротивление подводящих проводов.

Потребляемая в этом случае мощность

$$N_1 = I_1^2 R = \frac{U^2 R}{(2R + r)^2}.$$

При параллельном включении (рис. 76) общее сопротивление нагревателей чайников и подводящих проводов

$$R_0 = \frac{R}{2} + r.$$

Общая сила тока, проходящего через цепь,

$$I_0 = \frac{U}{\frac{R}{2} + r} = \frac{2U}{R + 2r}.$$

Следовательно, через нагреватель каждого чайника пойдет ток

$$I_2 = \frac{I_0}{2} = \frac{U}{R + 2r},$$

а мощность, потребляемая каждым чайником,

$$N_2 = I_2^2 R = \frac{U^2 R}{(R + 2r)^2}.$$

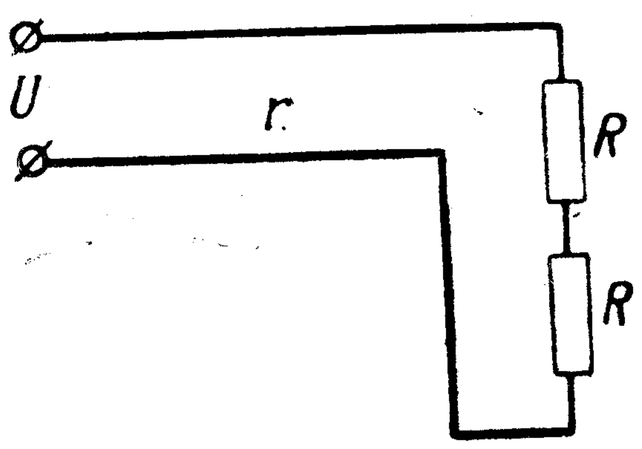


Рис. 75.

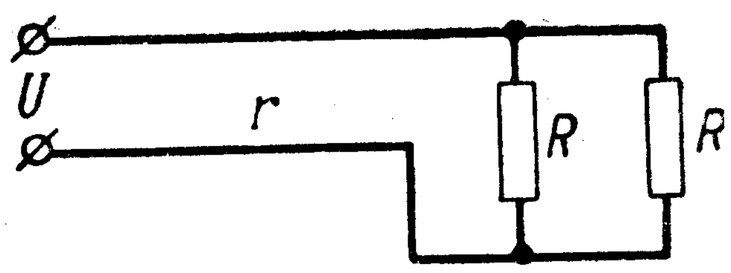


Рис. 76.

Так как чайники закипают за одно и то же время, то потребляемые ими мощности должны быть равны:

$$N_1 = N_2$$

или

$$\frac{U^2 R}{(2R + r)^2} = \frac{U^2 R}{(R + 2r)^2},$$

откуда

$$2R + r = R + 2r.$$

Следовательно, сопротивление подводящих проводов равно сопротивлению нагревателя чайника, т. е. $R = r$.

Сопротивление подводящих проводов найдем из формулы

$$N = \frac{U^2 R}{(2R + r)^2} = \frac{U^2 R}{(3R)^2} = \frac{U^2}{9R},$$

откуда

$$R = \frac{U^2}{9N}$$

или

$$r = R = \frac{U^2}{9N} = \frac{220^2}{9 \cdot 400} = 14 \text{ ом}.$$

149. При включении шунта ток I разветвляется: часть его I_A пройдет через прибор, а другая часть $I_ш$ — через шунт (рис. 77):

$$I = I_A + I_ш,$$

откуда

$$I_ш = I - I_A.$$

Так как падение напряжения на шунте и приборе одинаково, можно записать

$$RI_ш = rI_A,$$

отсюда

$$R = \frac{rI_A}{I_ш} = \frac{rI_A}{I - I_A} = \frac{8 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{5 - 20 \cdot 10^{-3}} = 0{,}031 \ ом.$$

Чувствительность прибора уменьшится в $\frac{5}{20 \cdot 10^{-3}} = 250$ раз.

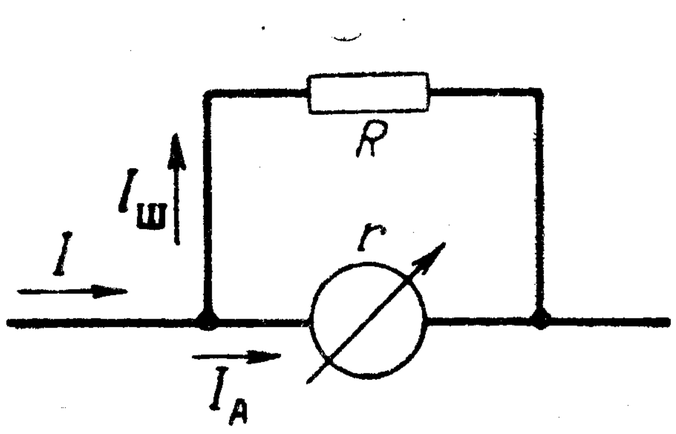


Рис. 77.

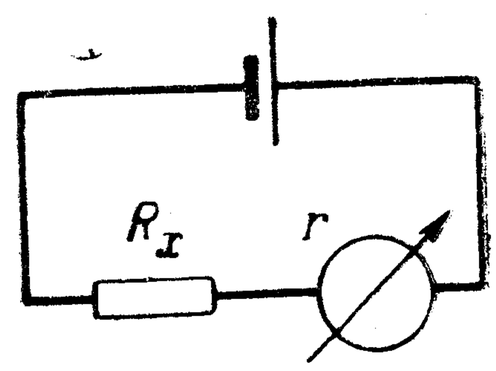


Рис. 78.

150. При соединении вольтметра с источником тока через сопротивление R по закону Ома имеем

$$U = I\,(R + r).$$

Так как в этом случае вольтметр показывает U_1, то сила тока, проходящего через него,

$$I = \frac{U_1}{r}.$$

Подставляя значение I в первую формулу, получим

$$U = \frac{U_1}{r}(R + r)$$

или

$$Ur = U_1(R + r).$$

Если вольтметр соединить с сопротивлением R_x (рис. 78), то, проведя аналогичный расчет, имеем

$$Ur = U_2(R_x + r).$$

Решив уравнения

$$Ur = U_1R + U_1r,$$
$$Ur = U_2R_x + U_2r,$$

получим

$$r = \frac{U_1R}{U - U_1} = \frac{50 \cdot 10^4}{250 - 50} = 2500 \text{ ом},$$

$$R_x = \frac{(U - U_2)\,U_1R}{U_2\,(U - U_1)} = \frac{(250 \quad 10)\,50 \cdot 10^4}{10\,(250 - 50)} = 120\,000 \text{ ом}.$$

151. Обозначая через h толщину слоя серебра и зная площадь S электрода и плотность D серебра, определим массу выделившегося на электроде серебра:

$$m = hSD.$$

Эта масса выделена электрической энергией, проходящей через электролит. На основании закона Фарадея получим

$$hSD = \frac{AIt}{Fn},$$

отсюда толщина покрытия

$$h = \frac{AIt}{FnSD} = \frac{108 \cdot 1 \cdot 3600}{96\,500 \cdot 1 \cdot 100 \cdot 10{,}5} = 0{,}35 \text{ см}.$$

152. По закону Фарадея масса выделившегося никеля

$$m = hSD = \frac{1}{F}\,\frac{A}{n}\,q.$$

По формуле энергии электрического тока определим количество электричества, прошедшего через электролит:

$$q = \frac{W}{U}.$$

Подставляя значение q в формулу Фарадея, после преобразования получим

$$S = \frac{AW}{FUDhn}.$$

Переводя данные условия задачи в практическую систему единиц (МКСА):

энергия тока $W = 0{,}5$ *квт-ч* $= 500 \cdot 3600$ *вт-с*,

плотность $D = 8{,}8$ *г/см*^{3} $= 8{,}8 \cdot 10^3$ *кг/м*^{3},

толщина слоя $h = 0{,}01$ *мм* $= 10^{-5}$ *м*,

и подставляя их в полученную формулу, имеем

$$S = \frac{59 \cdot 500 \cdot 3600}{96\,500 \cdot 4 \cdot 8{,}8 \cdot 10^3 \cdot 10^{-5} \cdot 2} = 1500 \text{ м}^2.$$

153. Количество электричества (заряд), прошедшего через раствор соли меди, численно равно площади треугольника (рис. 79), где по одной оси отложено время, по другой сила тока:

$$q = \frac{It}{2}.$$

По закону Фарадея имеем

$$m = \frac{A}{Fn} q = \frac{AIt}{2Fn},$$

где m — количество выделившегося вещества, F — число Фарадея. Подставляя данные условия задачи, получим

$$m = \frac{63{,}6 \cdot 4 \cdot 10}{96\,500 \cdot 2 \cdot 2} = 6{,}58 \ г.$$

154. Электродвижущая сила индукции E зависит от скорости изменения магнитного потока Ф:

$$E = -10^{-8} \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \ в.$$

Изменение магнитного потока зависит от напряженности магнитного поля, размаха крыльев и пути, пройденного самолетом за единицу времени (рис. 80). Путь, пройденный самолетом за единицу времени, численно равен скорости равномерного движения самолета. Таким образом, электродвижущая сила

$$E = -10^{-8} Hlv \ в.$$

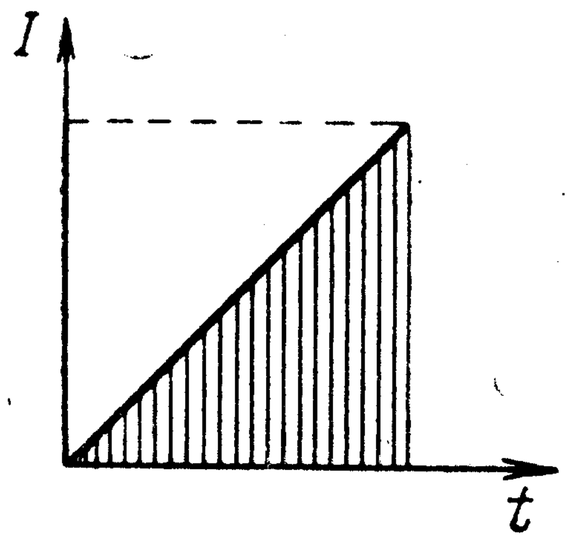


Рис. 79.

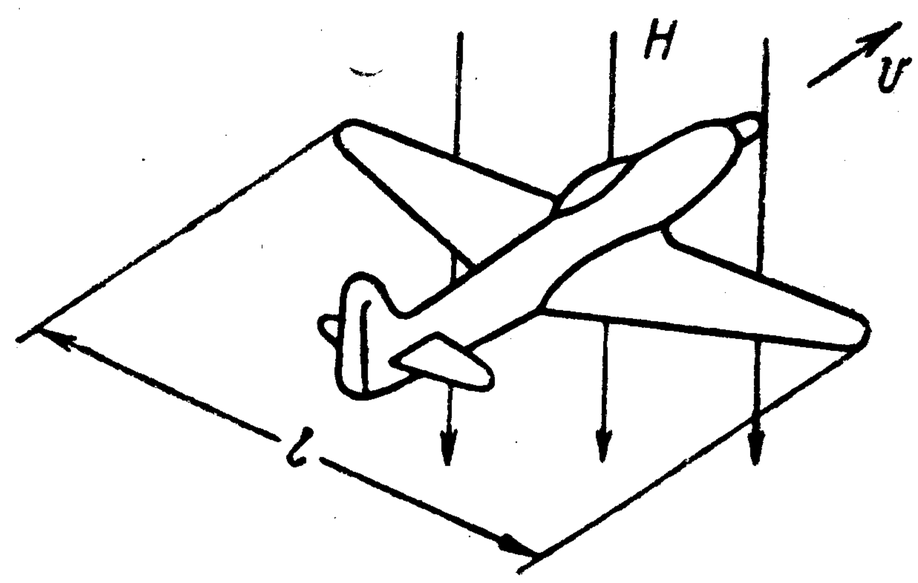


Рис. 80.

Если данные условия задачи выразить в соответствующих единицах, а именно: напряженность магнитного поля H в эрстедах, размах крыльев в сантиметрах, а скорость в сантиметрах в секунду, то получим величину электродвижущей силы индукции в вольтах.

$$E = -10^{-8} \cdot 0{,}5 \cdot 1100 \cdot \frac{800 \cdot 1000 \cdot 100}{3600} = -0{,}12 \ в.$$

155. Определим электродвижущую силу из соотношения

$$E = -10^{-8}\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Площадь сечения соленоида (рис. 81)

$$S = \pi\frac{d^2}{4}.$$

Изменение магнитного потока при повороте соленоида на 180°

$$\Delta\Phi = 2HSn.$$

Подставляя значения S, $\Delta\Phi$ и n в формулу для определения электродвижущей силы, получим

$$E = -10^{-8}\frac{2HSn}{t} = -10^{-8}\frac{2H\frac{\pi d^2}{4}n}{t} = -10^{-8}\frac{H\pi d^2 n}{2t} =$$

$$= -10^{-8}\cdot\frac{600\cdot 3{,}14\cdot 8^2\cdot 80}{2\cdot 0{,}2} = -0{,}24\ в.$$

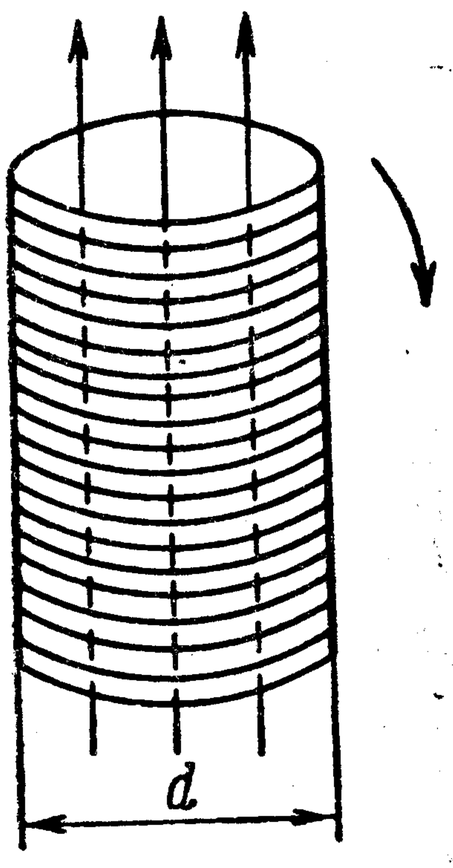


Рис. 81.

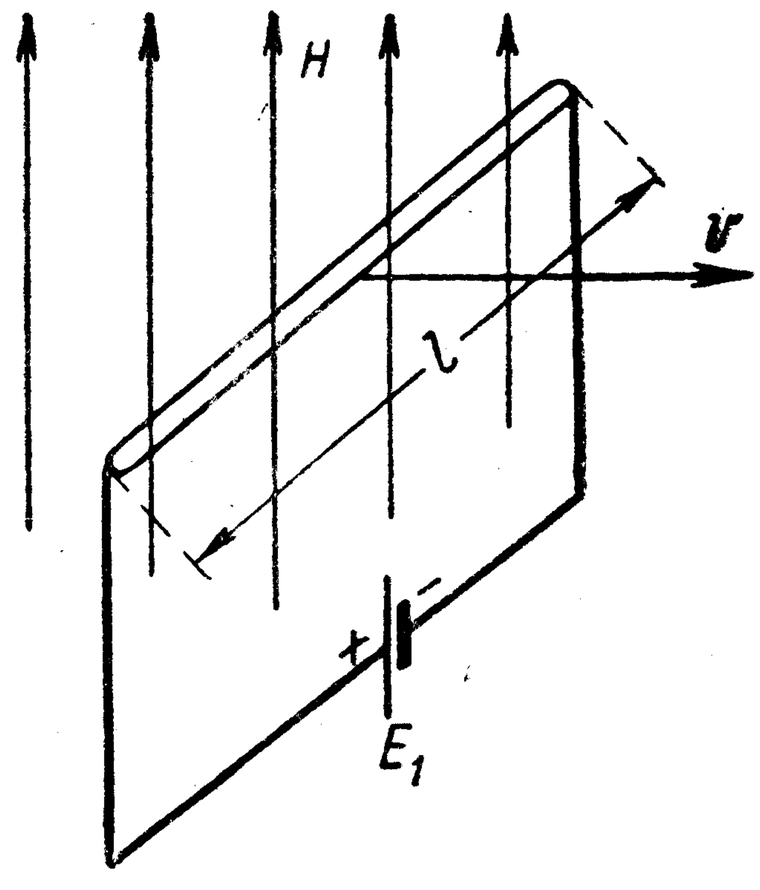


Рис. 82.

156. Определим электродвижущую силу индукции:

$$E = -10^{-8}\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -10^{-8}\frac{HSn}{t}.$$

Мощность, расходуемая на нагревание проводов катушки,

$$N = \frac{E^2}{R} = \frac{(-10^{-8}HSn)^2}{Rt^2} = \frac{(-10^{-8}\cdot 0{,}1\cdot 4\cdot 1000)^2}{160\cdot 1^2} = 10^{-13}\ вт.$$

157. При перемещении проводника (рис. 82) возникает электродвижущая сила, обратная электродвижущей силе, создаваемой источником тока, величину которой определяем по закону Фарадея:

$$E_2 = -10^{-8}\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -10^{-8}\,Hlv.$$

Напряжение на концах проводника

$$U = E_1 + E_2 = E_1 - 10^{-8}\,Hlv.$$

Силу тока в проводнике определяем по закону Ома:

$$I = \frac{U}{R+r} = \frac{E_1+E_2}{R+r} = \frac{E_1 - 10^{-8}Hlv}{R+r} =$$

$$= \frac{10 - 10^{-8}\cdot 1000\cdot 20\cdot 1000}{10+0{,}001} = 1\ a.$$

158. При возрастании тока после присоединения катушки к источнику энергии (рис. 83) возникает электродвижущая сила самоиндукции

$$E = -L\frac{\Delta I}{\Delta t},$$

которую должна преодолевать приложенная внешняя электродвижущая сила источника E_1.

Сила проходящего тока зависит от электродвижущей силы источника, электродвижущей силы индукции, создаваемой в катушке, и сопротивлений катушки и источника тока, т. е.

$$E_1 + E = I\,(R+r)$$

или

$$E_1 - L\frac{\Delta I}{\Delta t} = I\,(R+r).$$

Так как сопротивления R и r ничтожно малы, то

$$I\,(R+r) = 0,$$

тогда

$$E_1 = L\frac{\Delta I}{\Delta t},$$

откуда

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{E_1}{L} = \frac{15}{3} = 5\ a/сек.$$

Таким образом,

$$t = \frac{I}{\frac{E_1}{L}} = \frac{50}{5} = 10\ \text{сек}.$$

159. Электродвижущая сила индукции, возникающая между концами проводника, пропорциональна площади, проходимой проводником за единицу времени, т. е.

$$E = -\frac{H \cdot \Delta S}{\Delta t} \cdot 10^{-8},$$

отсюда изменение площади

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = -\frac{E}{H \cdot 10^{-8}}.$$

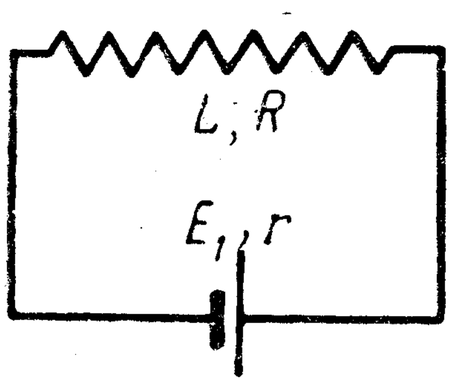


Рис. 83.

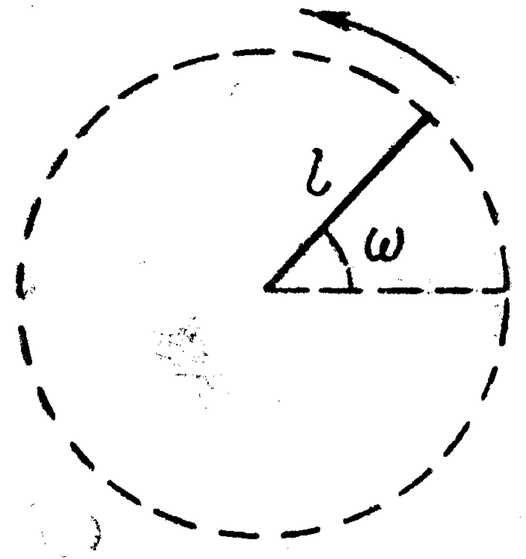


Рис. 84.

Отношение изменения площади в зависимости от времени можно найти из геометрических представлений (рис. 84), а именно: если проводник пройдет площадь полного круга πl^2, то это будет соответствовать центральному углу 2π; если же изменение площади во времени $\frac{\Delta S}{\Delta t}$, то это будет соответствовать центральному углу ω. Следовательно,

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{l^2 \omega}{2}.$$

Сопоставляя полученные значения для $\frac{\Delta S}{\Delta t}$, имеем

$$\frac{l^2 \omega}{2} = -\frac{E}{10^{-8} H},$$

откуда угловая скорость

$$\omega = -\frac{10^8 \cdot 2E}{Hl^2} = -\frac{2 \cdot 0{,}314 \cdot 10^3}{2000\,(20)^2} \approx$$

$$\approx 80 \ рад/сек.$$

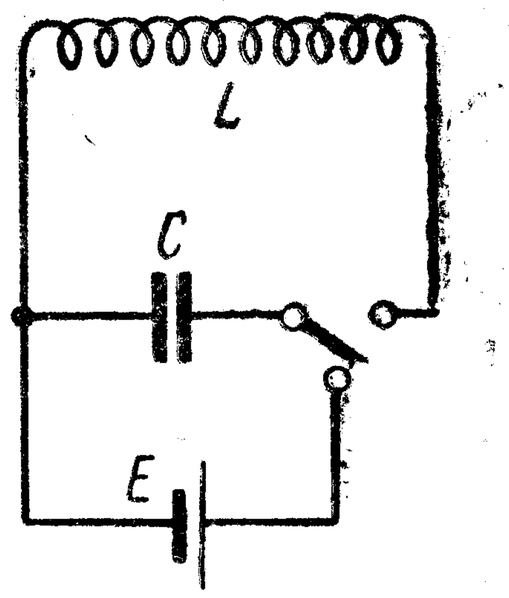


Рис. 85.

160. Период колебаний в замкнутом контуре (рис. 85) при наличии индуктивности и емкости определяется формулой Томсона

$$T = 2\pi \sqrt{LC}.$$

Частота колебаний обратно пропорциональна периоду колебаний, следовательно,

$$\frac{1}{f} = 2\pi\sqrt{LC},$$

отсюда емкость конденсатора

$$C = \frac{1}{4\pi^2 L f^2} = \frac{1}{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 5000 \cdot 60 \cdot 10^3} = 14 \text{ мкмкф}$$

IV. ОПТИКА

161. Освещенность экрана (рис. 86), создаваемая непосредственно источником света,

$$E_1 = \frac{I}{l^2}\cos\alpha,$$

где I — сила света источника, l — расстояние от источника до центра экрана, α — угол между поверхностью экрана и направлением лучей. Так как в центр экрана лучи падают под прямым углом $\alpha = 90°$, то $\cos\alpha = 1$ и

$$E_1 = \frac{I}{l^2}.$$

Лучи, падающие от источника на зеркало, после отражения тоже падают на экран и создают дополнительную освещенность

$$E_2 = \frac{I}{(3l)^2}.$$

Общая освещенность в центре экрана равна сумме указанных выше освещенностей:

$$E = E_1 + E_2 = \frac{I}{l^2} + \frac{I}{(3l)^2} = \frac{I}{l^2}\left(1 + \frac{1}{9}\right) = \frac{10 \cdot 2}{9 \cdot 1^2} \approx 2{,}2 \text{ лк}.$$

162. Освещенность E поверхности земли (рис. 87) есть сумма освещенностей от обеих ламп.

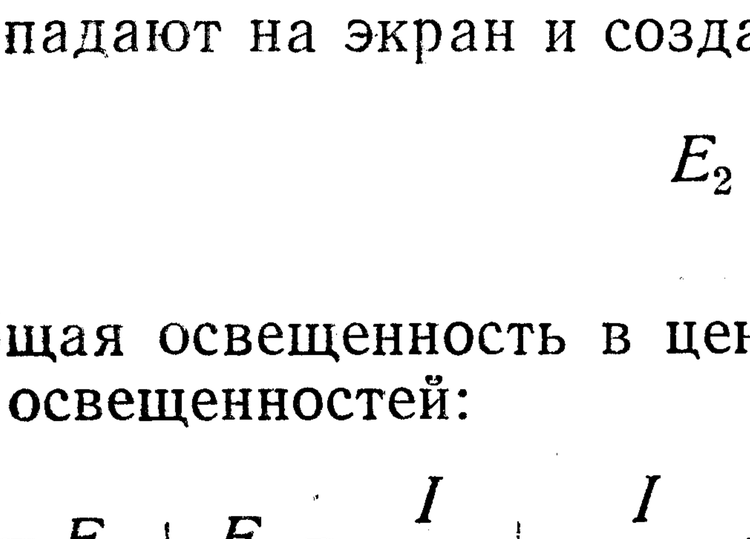


Рис. 86.

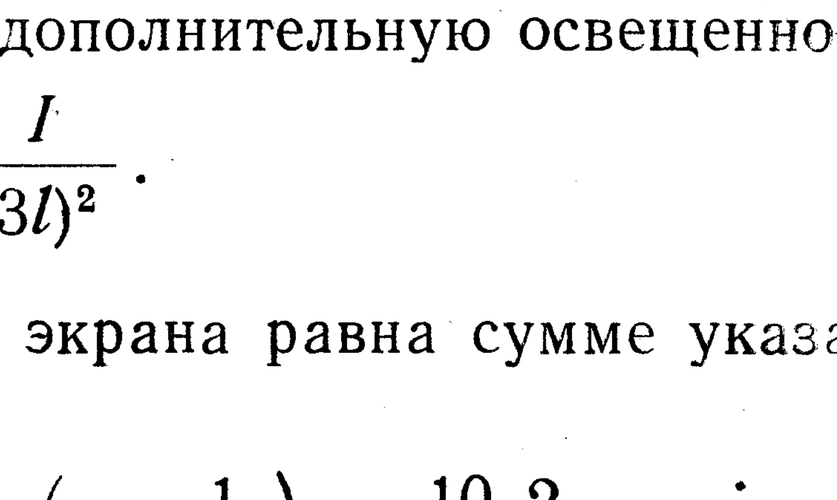


Рис. 87.

Освещенность первой лампой точки поверхности, находящейся под этой лампой,

$$E_1 = \frac{I}{h^2}.$$

Освещенность той же точки поверхности второй лампой

$$E_2 = \frac{I}{r^2}\cos\alpha,$$

где $r = \sqrt{h^2 + l^2}$ — расстояние от второй лампы до рассматриваемой точки поверхности, α — угол падения лучей.

Общая освещенность рассматриваемой точки

$$E = E_1 + E_2 = \frac{I}{h^2} + \frac{I}{r^2}\cos\alpha = \frac{I}{h^2} + \frac{I}{h^2 + l^2}\frac{h}{\sqrt{h^2 + l^2}} =$$

$$= \frac{300}{4^2} + \frac{300}{4^2 + 6^2}\cdot\frac{4}{\sqrt{4^2 + 6^2}} \approx 21{,}5\ лк.$$

163. Линзы очков близоруких глаз рассеивающие. Очки с оптической силой в —5 диоптрий имеют фокусное расстояние

$$F_{очк} = \frac{1}{-D} = \frac{1}{-5} = -0{,}2\ м = -20\ см.$$

Это значит, что глаз близорукого человека без очков может резко видеть предметы на расстоянии не более 20 *см*.

Параллельные лучи, падающие на сферическое зеркало от удаленных предметов, после отражения представляют пучок лучей, расходящихся из фокуса сферического зеркала.

Фокус выпуклого сферического зеркала находится на расстоянии половины радиуса зеркала от его поверхности:

$$F = -\frac{R}{2} = -\frac{16}{2} = -8\ см.$$

Следовательно, близорукий человек при рассматривании удаленных предметов должен находиться от зеркала на расстоянии

$$d = -F_{очк} - \frac{R}{2} = 20 - 8 = 12\ см.$$

Расстояние, на котором близорукий человек увидит отражение своего лица в зеркале, определим по формуле выпуклого зеркала (рис. 88)

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d'} - \frac{1}{f}.$$

Сумма двух расстояний: d' — лица человека до сферического зеркала и f — зеркала до мнимого изображения лица равна фокусному расстоянию очков (с обратным знаком), т. е.

$$f + d' = -F_{\text{очк}}.$$

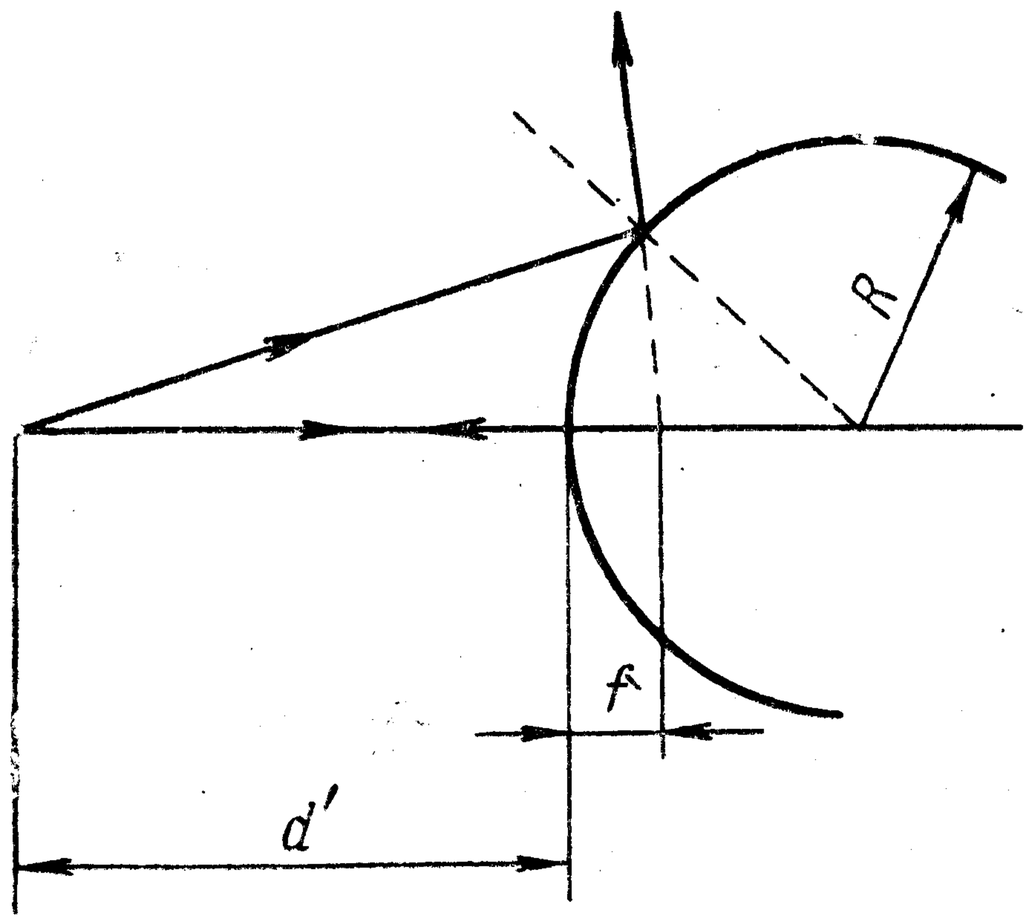


Рис. 88.

Решая совместно эти уравнения, найдем

$$d'^2 + d'(F_{\text{очк}} - 2F) - FF_{\text{очк}} = 0.$$

Заменяя данными условия задачи, имеем

$$d'^2 - 4d' - 160 = 0,$$

$$d' = 2 \pm \sqrt{4 + 160}.$$

Корень квадратного уравнения со знаком минус перед радикалом не имеет физического смысла, следовательно,

$$d' = 2 + \sqrt{164} \approx 15 \text{ см}.$$

164. Освещенность экрана лампами

$$E_1 = \frac{I_1}{r_1^2},$$

$$E_2 = \frac{I_2}{r_2^2}.$$

По условию задачи $E_1 = E_2$, поэтому

$$\frac{I_1}{r_1^2} = \frac{I_2}{r_2^2}.$$

При равномерном движении людей отношение пройденных ими расстояний

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{v_1 t_1}{v_2 t_2},$$

где $v_1 = 2\,v_2$.

Так как освещение экрана рассматривают в одно и то же время, то $t_1 = t_2$. Следовательно,

$$\frac{r_1}{r_2} = 2.$$

Отношение силы света источников

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = 4.$$

165. Освещенность поверхности точечным источником света обратно пропорциональна квадрату расстояния этой поверхности от источника света. Так как экран находится от источника света на расстоянии r, а зеркало на расстоянии $\frac{r}{2}$ (рис. 89), то отношение освещенности экрана к освещенности зеркала

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\left(\frac{r}{2}\right)^2}{r^2} = \frac{1}{4},$$

т. е. центр зеркала освещен в 4 раза больше, чем центр экрана: $E_2 = 4\,E_1$.

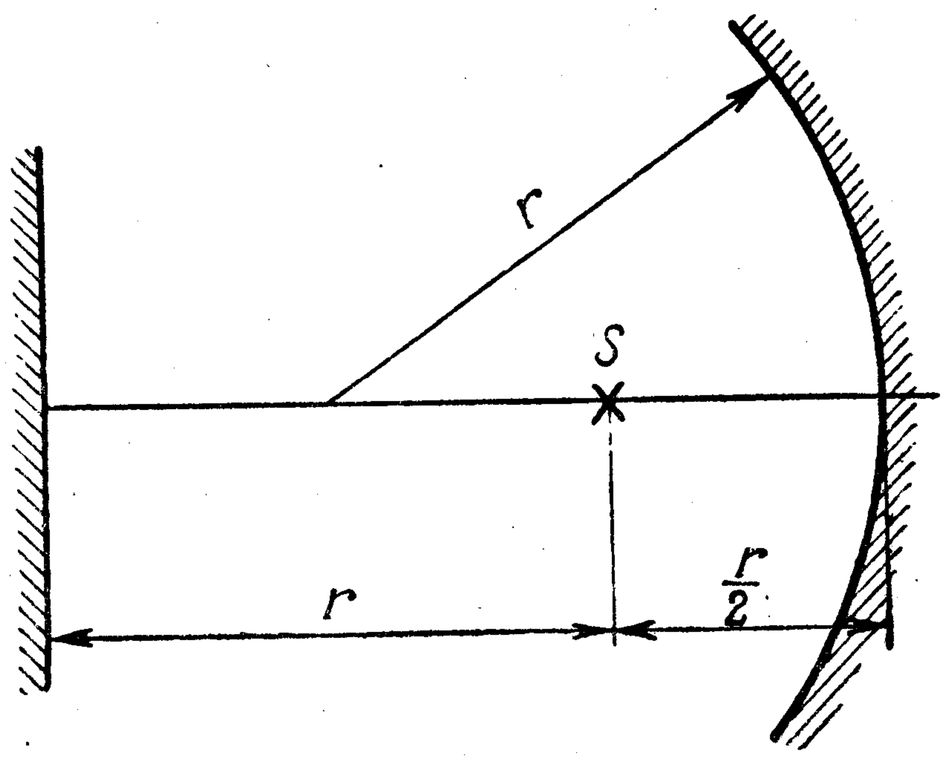


Рис. 89

Источник света находится в фокусе вогнутого зеркала, поэтому лучи после отражения от зеркала пойдут параллельным пучком и упадут на экран, увеличив его освещенность на $4\,E_1$. Таким образом, общая освещенность центра экрана будет $5\,E_1$, т. е. увеличится в 5 раз по сравнению с освещенностью, которую создает источник света в отсутствие вогнутого зеркала.

166. Из рис. 90 видно, что плоское зеркало нужно поставить на равных расстояниях между светящейся точкой S и ее изображением S'.

Найдем расстояние от вогнутого зеркала до изображения светящейся точки по формуле

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{r},$$

откуда

$$f = \frac{rd}{2d - r}.$$

Расстояние плоского зеркала от вогнутого

$$x = d + \frac{f - d}{2}.$$

Подставив полученное значение f и данные условия задачи, найдем

$$x = \frac{d^2}{2d - r} = \frac{30^2}{2 \cdot 30 - 40} = 45\ см.$$

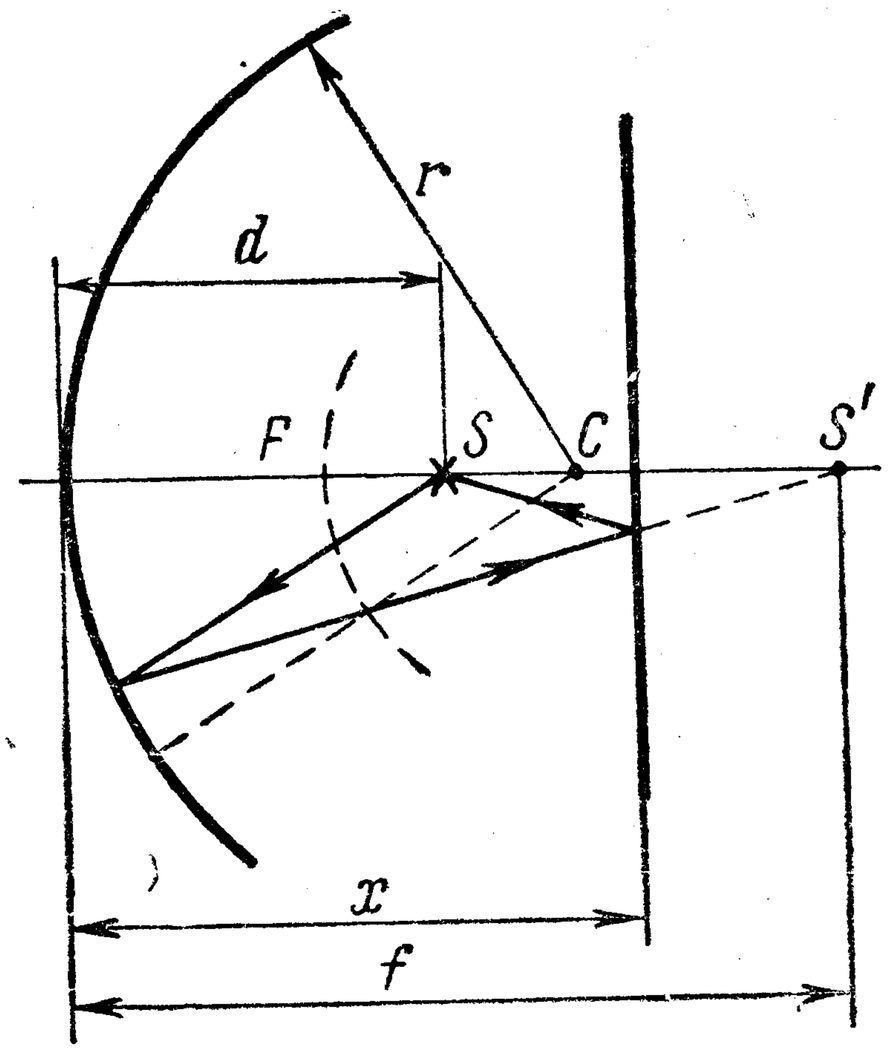


Рис. 90.

167. Обозначим через d расстояние от светящейся точки до выпуклого зеркала (рис. 91), тогда:

для выпуклого зеркала

$$-\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{r},$$

для вогнутого зеркала

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{2}{r}.$$

Учитывая условия задачи, имеем:

$$d = 2r - f_1, \quad d_1 = 2r + f.$$

Решив эту систему четырех уравнений, получим

$$d = \frac{r\sqrt{3} + 1}{2}.$$

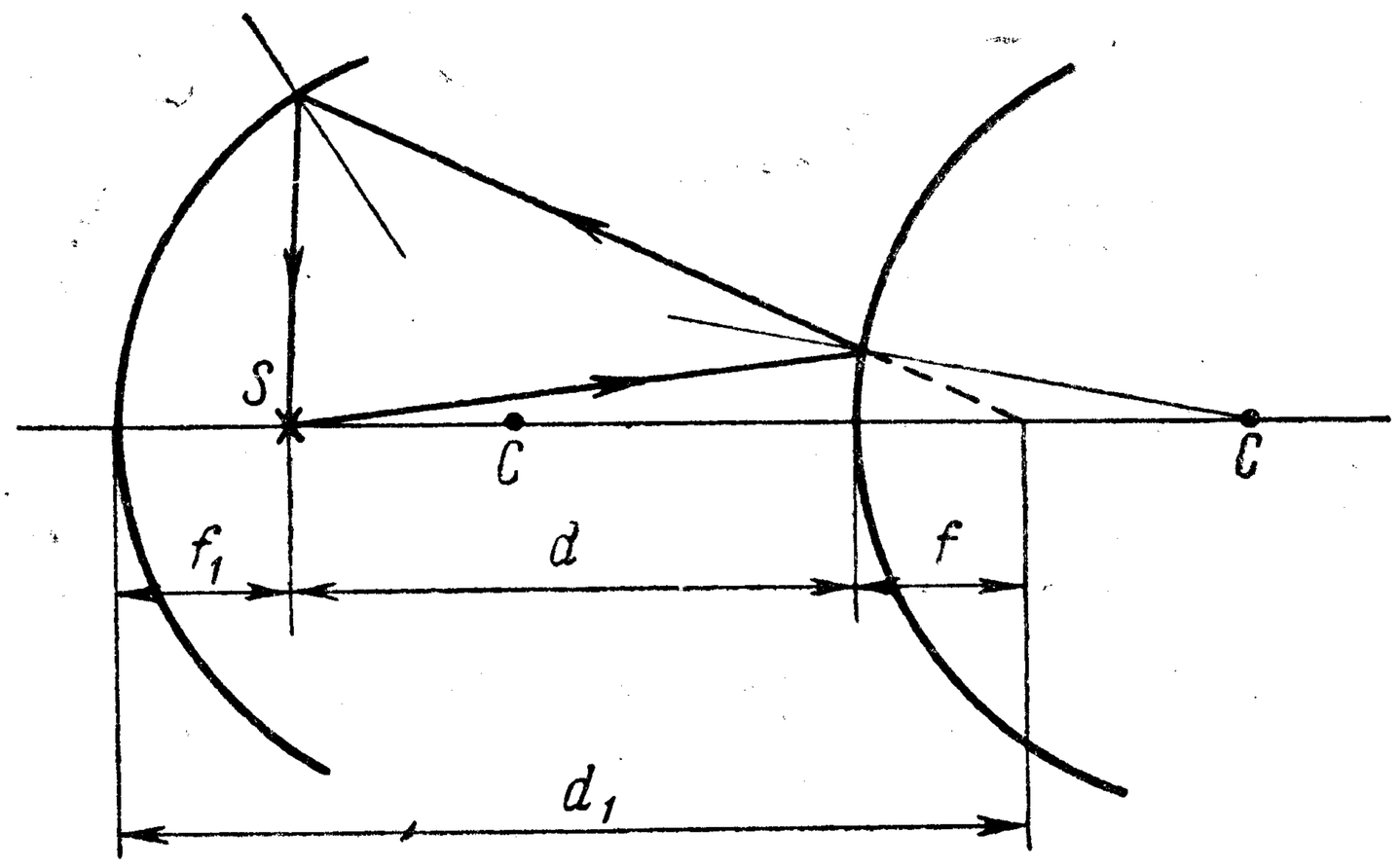


Рис. 91.

168. Лучи, падающие от освещенного человека на плоское зеркало, отражаются от него, причем угол падения лучей равен углу отражения. Из равных треугольников ACD и BCD (рис. 92) следует, что для того, чтобы человек увидел в зеркале самую нижнюю часть своих ног, нижняя часть зеркала должна находиться на высоте, равной половине роста человека. Увидеть отражение в зеркале собственной головы можно в том случае, когда верхняя часть зеркала находится на уровне головы.

Итак, чтобы человек увидел себя в зеркале в полный рост, вертикально расположенное плоское зеркало должно быть не менее половины роста человека. Расстояние, на котором человек будет **находиться от зеркала, безразлично.**

169. Человек может видеть свое отражение в зеркале в том случае, когда лучи, идущие от освещенного человека и падающие на одно из зеркал и отраженные им или последовательно обоими зеркалами, возвращаются обратно к человеку, т. е. когда луч падающий и отраженный параллельны. Это может быть в том случае (рис. 93), когда сумма углов падения и отражения в точках A и C составляет 180°, т. е.

$$2\alpha + 2\beta = 180°,$$

$$\alpha + \beta = 90°.$$

Треугольник BMC должен быть прямоугольным, т. е. $\gamma = 90°$.

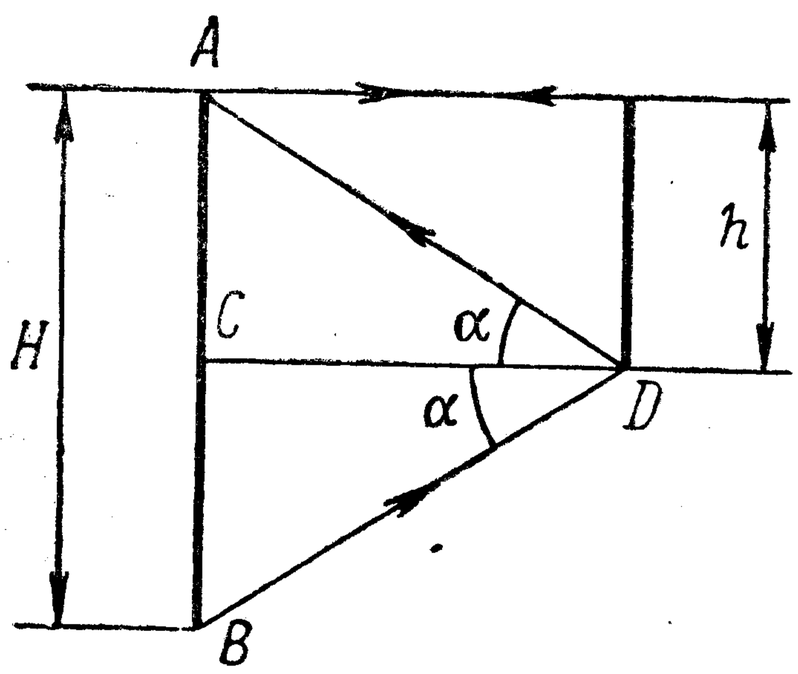


Рис. 92.

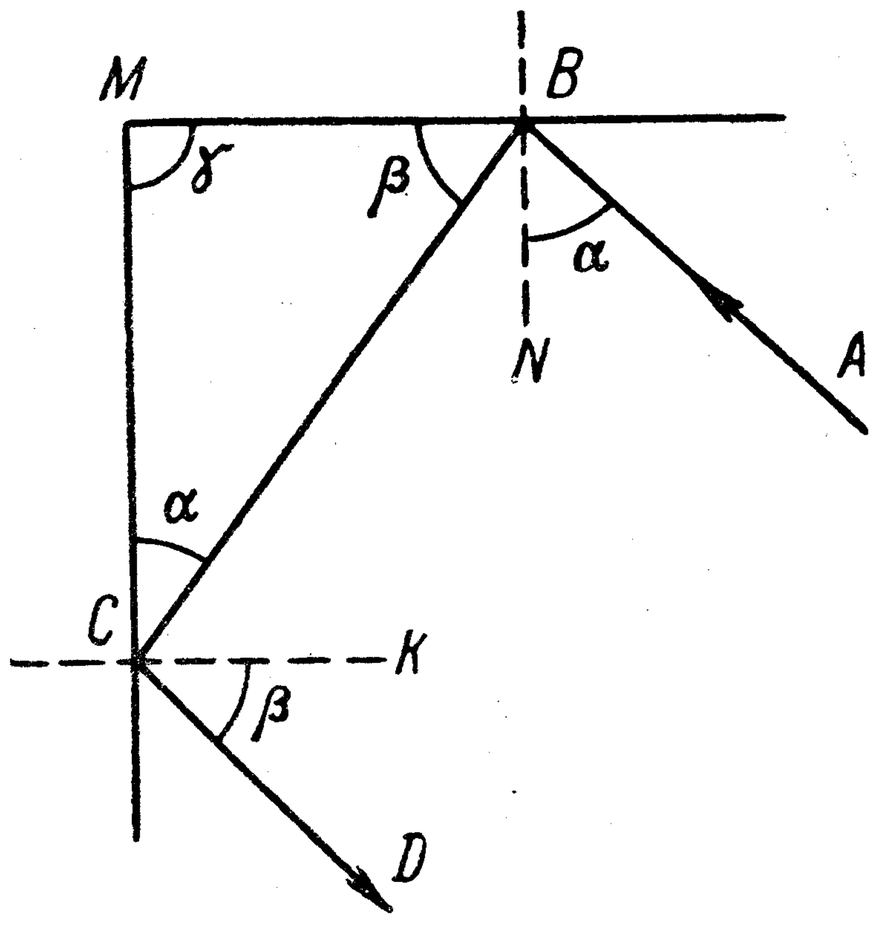


Рис. 93.

Следовательно, зеркала нужно поместить в угол комнаты на уровне глаз человека так, чтобы они соприкасались и составляли между собой угол, равный 90°.

170. Главное фокусное расстояние

$$F = \frac{r}{2},$$

где r — радиус кривизны зеркала. Так как для плоского зеркала $r = \infty$, то и $F = \infty$, а поэтому оптическая сила

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{\infty} = 0.$$

171. Используя зависимость между главным фокусным расстоянием F и сопряженными фокусными расстояниями для вогнутого зеркала, получим

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{l} + \frac{1}{L+l},$$

где L — расстояние от зеркала до изображения свечи, l — искомое расстояние от зеркала до свечи. Решив это уравнение относительно l и подставив данные условия задачи, найдем расстояние между свечой и зеркалом: $l = 40$ *см*.

172. По условию освещенность светового пятна на экране при первом и втором положениях экрана одинакова. Так как в обоих случаях на экран падает один и тот же световой поток, то и площадь освещенных пятен одинакова:

$$E_1 = \frac{\Phi}{S_1}, \quad E_2 = \frac{\Phi}{S_2},$$

т. е. $E_1 = E_2$, следовательно, $S_1 = S_2$. Значит, расстояние от линзы до изображения светящейся точки

$$f = \frac{l_1 + l_2}{2} = \frac{27 + 48}{2} = \frac{75}{2} = 37{,}5 \text{ } см.$$

По формуле линзы фокусное расстояние

$$F = \frac{df}{d+f} = \frac{25 \cdot 37{,}5}{62.5} = 15 \text{ } см.$$

173. Расстояние d предмета (рис. 94) от вершины вогнутого зеркала найдем, воспользовавшись формулой вогнутого зеркала

$$\frac{1}{F} = \frac{2}{R} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

где f — расстояние изображения предмета от вершины зеркала, R — радиус зеркала, откуда

$$d = \frac{fR}{2f - R} = \frac{50 \cdot 20}{2 \cdot 50 - 20} = 12{,}5 \text{ } см.$$

Высоту предмета легко получить из рассмотрения подобных треугольников OAB и $OA'B'$:

$$\frac{h}{H} = \frac{d}{f},$$

откуда

$$h = \frac{d}{f} H = \frac{12{,}5}{50} \cdot 20 = 5 \text{ см}.$$

174. Если на границу раздела двух сред под некоторым углом падает пучок белого света, то, кроме преломления лучей, наблюдается дисперсия света. Так как скорость распространения фиолетовых лучей в стекле меньше скорости распространения красных лучей (а показатели преломления наоборот), то фиолетовые лучи сильнее преломляются, чем красные (рис. 95). По условию задачи показатель преломления фиолетовых лучей ($n_ф = 1{,}53$) больше, чем красных ($n_к = 1{,}51$), следовательно, при одном и том же угле падения α лучей углы преломления $\beta_ф$ и $\beta_к$ для фиолетовых и красных лучей различны, а именно $\beta_ф < \beta_к$.

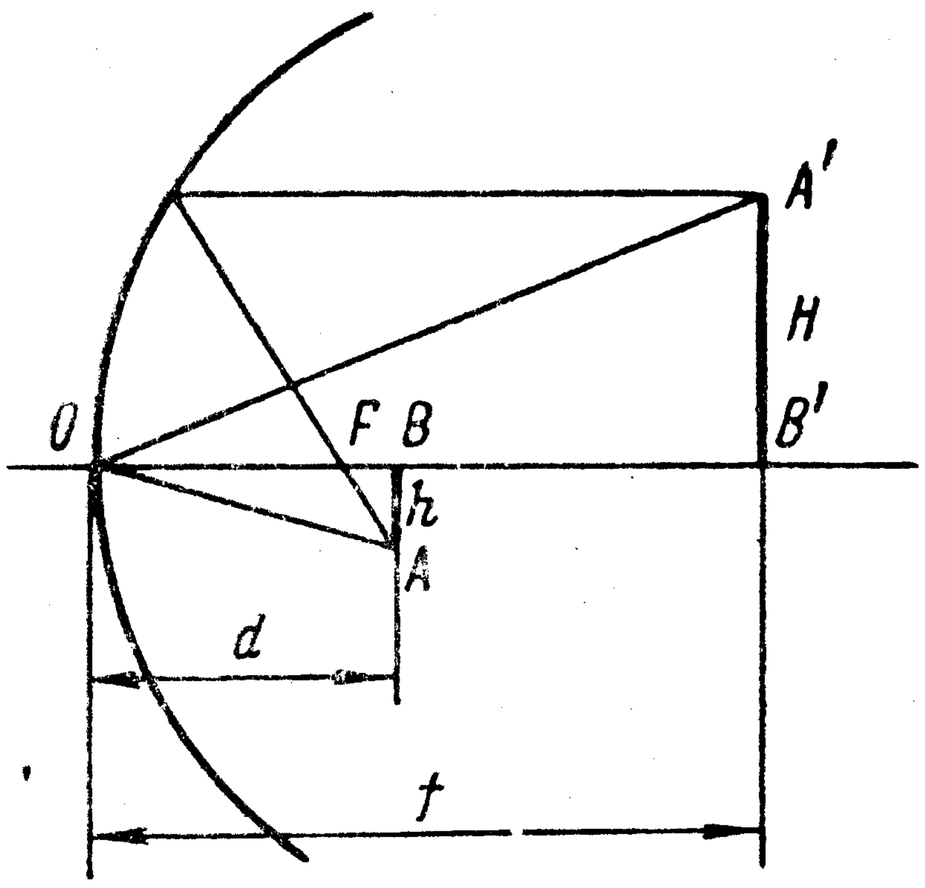


Рис. 94.

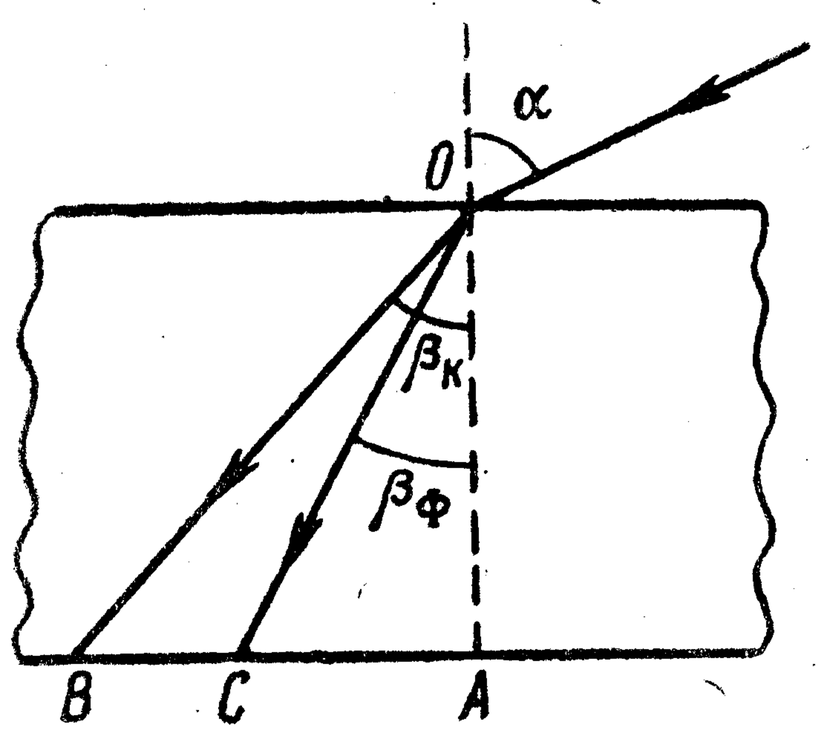


Рис. 95.

Опустим перпендикуляр из точки падения луча O на нижнюю грань стеклянной пластинки, он пересечет нижнюю грань пластинки в точке A. Красный луч выходит из стекла в точке B, а фиолетовый в точке C.

Расстояние между крайними красным и фиолетовым лучами при выходе их из пластинки

$$BC = AB - AC = d \operatorname{tg} \beta_к - d \operatorname{tg} \beta_ф = d (\operatorname{tg} \beta_к - \operatorname{tg} \beta_ф),$$

где d — толщина пластинки.

Определим угол преломления для красных лучей:

$$n_к = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta_к},$$

$$\sin\beta_к = \frac{\sin\alpha}{n_к} = \frac{0{,}5}{1{,}51} = 0{,}331,$$

$$\beta_к = 19°20'.$$

Угол преломления для фиолетовых лучей:

$$n_ф = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta_ф},$$

$$\sin\beta_ф = \frac{\sin\alpha}{n_ф} = \frac{0{,}5}{1{,}53} = 0{,}327,$$

$$\beta_ф = 19°3'.$$

Подставляя значения $\beta_к$ и $\beta_ф$ в формулу для определения расстояния, получим

$$BC = 5\,(\operatorname{tg} 19°20' - \operatorname{tg} 19°3') = 0{,}3\ мм.$$

175. Для наблюдателя, смотревшего на стеклянную пластинку вертикально сверху (рис. 96), лучи представляются исходящими не из точки C, а из точки их пересечения D. Следовательно, действительная толщина пластинки AC представляется равной AD, т. е. кажется уменьшенной.

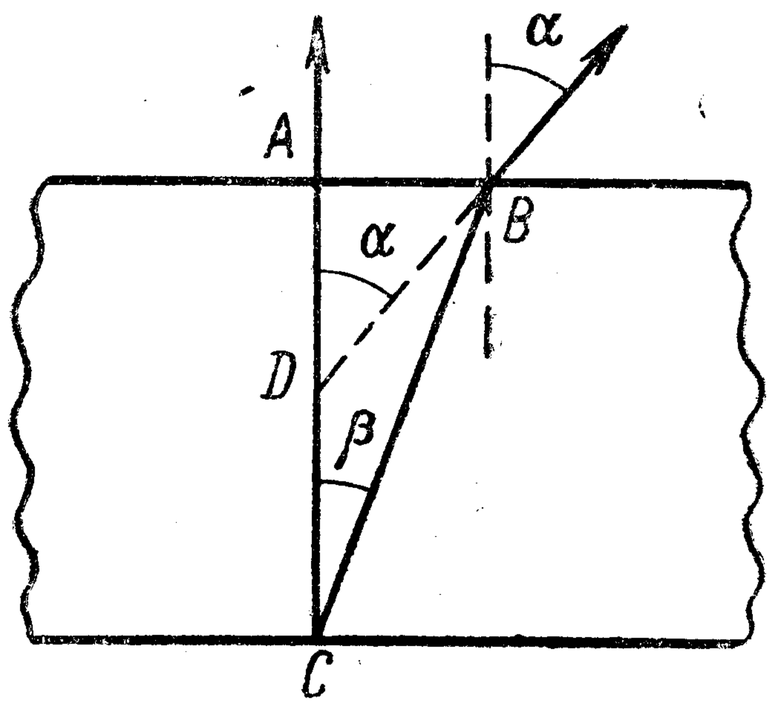


Рис. 96.

Из треугольников ABC и ABD имеем

$$AC = AB\operatorname{ctg}\beta,\quad AD = AB\operatorname{ctg}\alpha,$$

отсюда отношение

$$\frac{AC}{AD} = \frac{\operatorname{ctg}\beta}{\operatorname{ctg}\alpha} = \frac{\cos\beta\sin\alpha}{\sin\beta\cos\alpha}.$$

Так как $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n$ — показатель преломления стекла и

$$\cos\beta = \sqrt{1-\sin^2\beta},$$

$$\cos\alpha = \sqrt{1-\sin^2\alpha},$$

то

$$\frac{AC}{AD} = n\frac{\sqrt{1-\sin^2\beta}}{\sqrt{1-\sin^2\alpha}} = n\frac{\sqrt{1-\dfrac{\sin^2\alpha}{n^2}}}{\sqrt{1-\sin^2\alpha}} = \frac{\sqrt{n^2-\sin^2\alpha}}{\sqrt{1-\sin^2\alpha}}.$$

По условию задачи пластинку рассматривают вертикально, поэтому угол падения лучей α близок к нулю и $\sin\alpha$ можно принять равным нулю, тогда

$$\frac{AC}{AD} = \sqrt{n^2} = n,$$

откуда действительная толщина пластинки

$$AC = AD\cdot n = 5\cdot 1{,}5 = 7{,}5\ см.$$

176. Показатели преломления веществ обратно пропорциональны скоростям распространения света в них:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\frac{l_2}{t}}{\frac{l_1}{t}} = \frac{l_2}{l_1},$$

где l_1 и l_2 — толщины соответственно алмаза и стекла, отсюда

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{2{,}42}{1{,}5} = 1{,}62.$$

177. Границы выхода лучей из воды (рис. 97) определяются значениями предельных углов r_1 и r_2 полного внутреннего отражения:

$$\sin r_1 = \frac{1}{n_1},$$

$$\sin r_2 = \frac{1}{n_2}.$$

Из рис. 97 видно, что

$$R_1 = h \operatorname{tg} r_1,$$

$$R_2 = h \operatorname{tg} r_2,$$

где R_1 и R_2 — радиусы кругов, в пределах которых возможен выход лучей из воды.

Следовательно,

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\operatorname{tg} r_1}{\operatorname{tg} r_2} = \frac{\sin r_1 \cos r_2}{\cos r_1 \sin r_2} = \frac{\sin r_1 \sqrt{1 - \sin^2 r_2}}{\sin r_2 \sqrt{1 - \sin^2 r_1}}.$$

Подставляя данные условия задачи, имеем

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt{n_2^2 - 1}}{\sqrt{n_1^2 - 1}} = \sqrt{\frac{1{,}335^2 - 1}{1{,}328^2 - 1}} = 1{,}02.$$

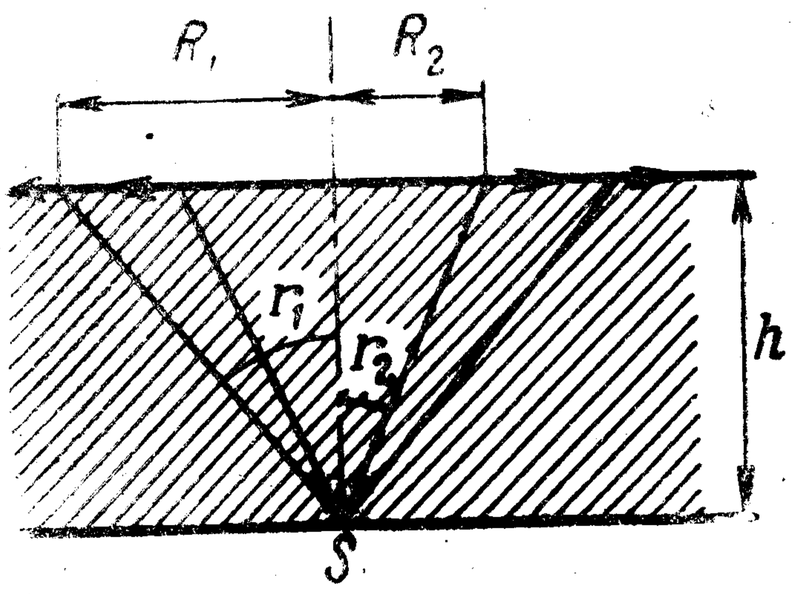


Рис. 97.

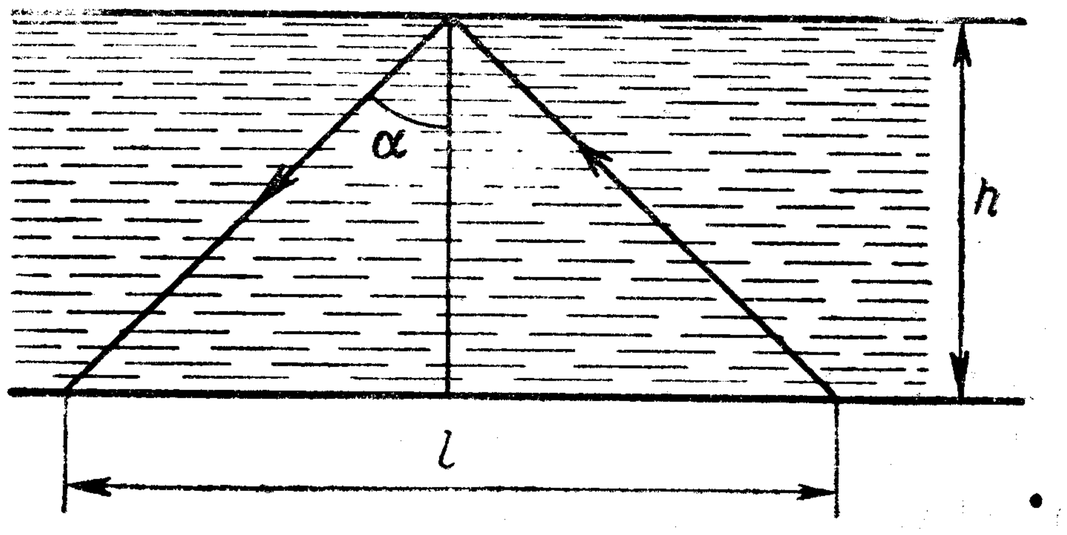


Рис. 98.

178. Лучи, идущие от освещенных предметов, находящихся на дне, попадая на поверхность воды (рис. 98), полностью отражаются и попадают в глаз водолаза, если угол падения α равен углу полного внутреннего отражения или больше его:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin 90^\circ} = \frac{1}{n}.$$

Из рис. 98 видно, что

$$\sin\alpha = \frac{l}{2\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h^2}}$$

или

$$\frac{\frac{l}{2}}{\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h^2}} = \frac{1}{n}.$$

Следовательно,

$$\frac{l}{2}n = \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h^2};$$

отсюда

$$h = \frac{l}{2}\sqrt{n^2 - 1} = \frac{35}{2}\sqrt{1{,}3^2 - 1} \approx 14 \text{ м}.$$

179. Относительный показатель преломления n' двух сред есть отношение абсолютного показателя n_2 среды, в которую луч входит, к абсолютному показателю преломления n_1 среды, из которой луч выходит (рис. 99):

$$n' = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta_1},$$

где α и β_1 — угол падения и угол преломления соответственно.

При падении луча из воздуха с показателем преломления $n_1 = 1$ на стекло с показателем преломления $n_2 = 1{,}5$ имеем

$$\sin\alpha > \sin\beta_1, \quad \alpha > \beta_1,$$

т. е. луч, проходя в стекле, приблизится к перпендикуляру, проведенному через точку падения луча (точка A).

Если поместить ту же стеклянную пластинку в среду с бо́льшим показателем преломления $n_3 = 2$, чем показатель преломления

пластинки $n_2 = 1{,}5$ (рис. 100), то относительный показатель преломления

$$n'' = \frac{n_2}{n_3} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta_2},$$

где β_2 — угол преломления. В этом случае

$$\sin\alpha < \sin\beta_2, \quad \alpha < \beta_2$$

и луч, проходя в стекле, отклонится от перпендикуляра, проведенного через точку падения луча.

Найдем смещение луча на нижней грани стеклянной пластинки, полагая толщину пластинки равной d. В первом случае (рис. 99) имеем

$$B_1 C_1 = d \operatorname{tg}\beta_1,$$

во втором случае (рис. 100)

$$B_2 C_2 = d \operatorname{tg}\beta_2.$$

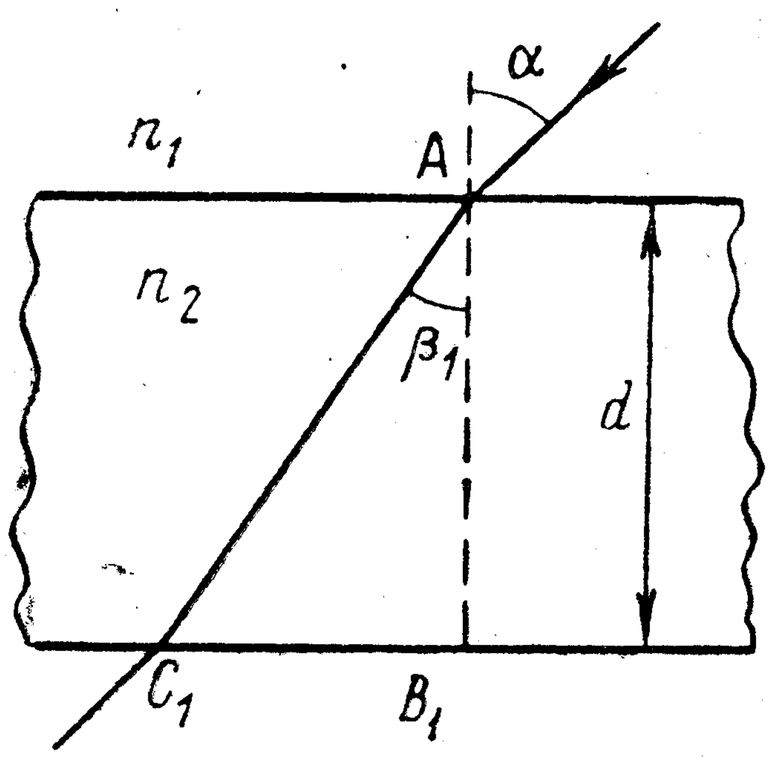


Рис. 99.

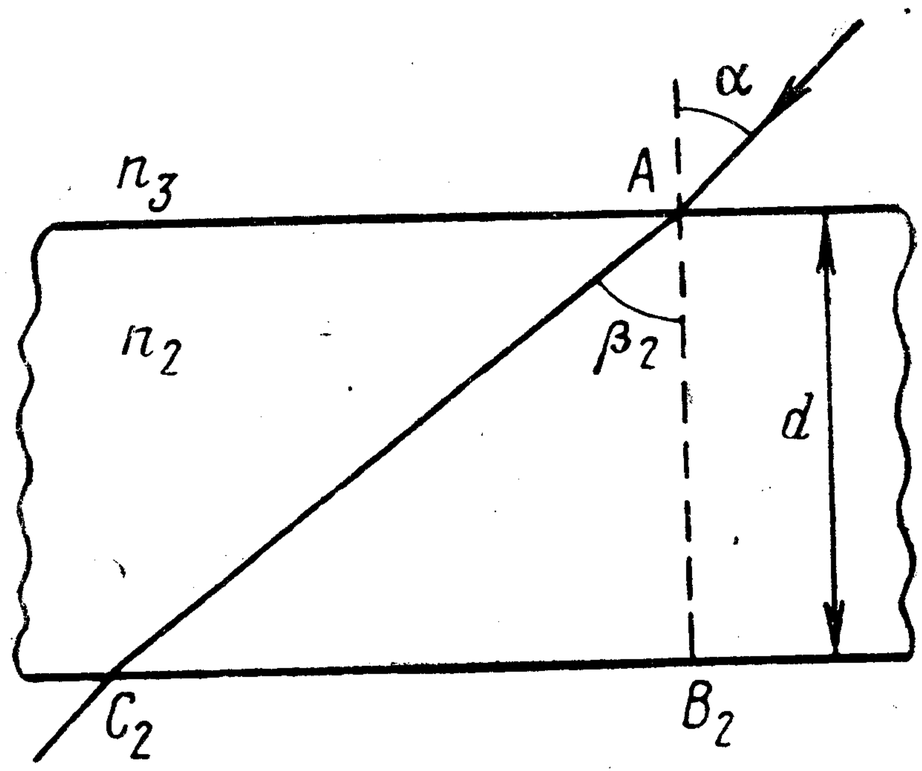


Рис. 100.

Следовательно, отношение смещений луча

$$\frac{B_2 C_2}{B_1 C_1} = \frac{\operatorname{tg}\beta_2}{\operatorname{tg}\beta_1}.$$

Используя полученные соотношения между углами падения и преломления в зависимости от показателей преломления сред, найдем углы β_1 и β_2;

$$\sin\beta_1 = \frac{n_1}{n_2}\sin\alpha = \frac{1}{1{,}5}\cdot 0{,}5 = 0{,}33,$$

откуда

$$\beta_1 = 19°18';$$

$$\sin\beta_2 = \frac{n_3}{n_2}\sin\alpha = \frac{2}{1{,}5}\cdot 0{,}5 = 0{,}66,$$

отсюда

$$\beta_2 = 41°18'.$$

Подставляя значения углов преломления в отношение смещений луча, найдем

$$\frac{B_2C_2}{B_1C_1} = \frac{\operatorname{tg}\beta_2}{\operatorname{tg}\beta_1} = \frac{\operatorname{tg}41°18'}{\operatorname{tg}19°18'} = \frac{0{,}8785}{0{,}3502} \approx 2{,}5.$$

180. Определим направление луча AB после прохождения им собирающей линзы. Для этого проведем фокальную плоскость OO' (рис. 101, *а*), а через центр линзы побочную оптическую ось $A'B'$, параллельную лучу AB. Побочная оптическая ось пересечет фокальную плоскость в точке C.

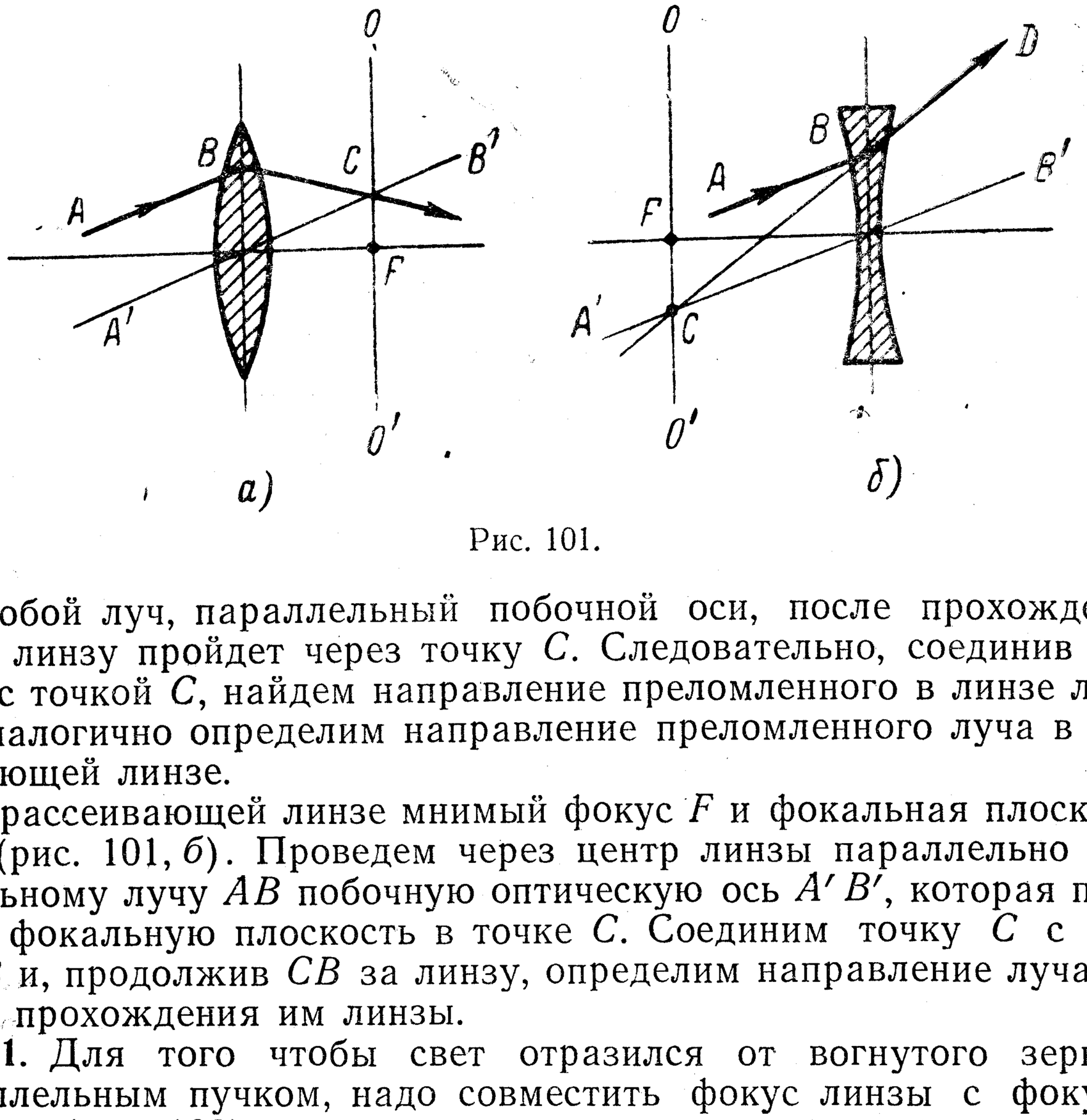


Рис. 101.

Любой луч, параллельный побочной оси, после прохождения через линзу пройдет через точку C. Следовательно, соединив точку B с точкой C, найдем направление преломленного в линзе луча.

Аналогично определим направление преломленного луча в рассеивающей линзе.

В рассеивающей линзе мнимый фокус F и фокальная плоскость OO' (рис. 101, *б*). Проведем через центр линзы параллельно произвольному лучу AB побочную оптическую ось $A'B'$, которая пересечет фокальную плоскость в точке C. Соединим точку C с точкой B и, продолжив CB за линзу, определим направление луча BD после прохождения им линзы.

181. Для того чтобы свет отразился от вогнутого зеркала параллельным пучком, надо совместить фокус линзы с фокусом зеркала (рис. 102).

Фокус вогнутого зеркала лежит на половине его радиуса кривизны:

$$F_з = \frac{R}{2} = \frac{4}{2} = 2\ м.$$

Фокус линзы лежит от ее центра на расстоянии

$$F_л = \frac{1}{D} = \frac{1}{1} = 1\ м.$$

Расстояние от центра линзы до поверхности вогнутого зеркала

$$s = F_з + F_л = 2 + 1 = 3 \text{ м}.$$

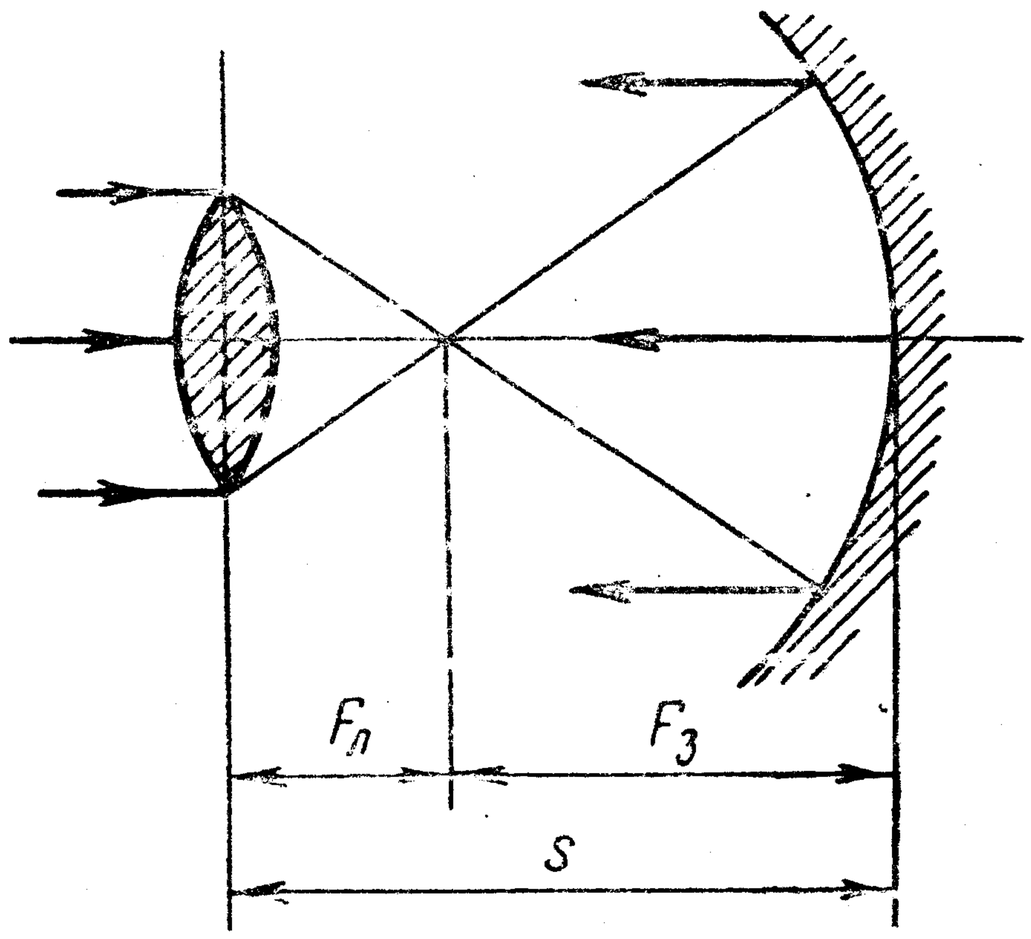


Рис. 102.

182. В отличие от обычной линзы хрусталик глаза может деформироваться. При деформации изменяется кривизна поверхностей хрусталика глаза, что приводит к изменению его оптической силы, т. е. главного фокусного расстояния.

Оптическая сила хрусталика глаза при рассматривании звезды

$$D_1 = \frac{1}{F_1} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f},$$

где d_1 — расстояние от хрусталика глаза до звезды ($d_1 = \infty$), f — неизменное расстояние от центра хрусталика до сетчатки глаза, на которой возникает изображение предмета, F_1 — главное фокусное расстояние хрусталика.

Оптическая сила хрусталика глаза при рассматривании книги

$$D_2 = \frac{1}{F_2} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f},$$

здесь d_2 — расстояние от хрусталика глаза до книги ($d_2 = 25$ *см*), F_2 — новое, измененное главное фокусное расстояние хрусталика глаза.

При рассматривании бесконечно удаленного предмета имеем

$$F_1 = f,$$

а предмета, находящегося на расстоянии наилучшего зрения,

$$F_2 = \frac{25 \cdot f}{f + 25},$$

отсюда изменение главного фокусного расстояния

$$F_1 - F_2 = f - \frac{25 \cdot f}{f + 25} = \frac{f^2}{f + 25}.$$

183. Из подобных треугольников ABC и abC (рис. 103) следует

$$\frac{H}{h}=\frac{f}{d},$$

где h и H — высота предмета и его изображения, d и f — расстояния от центра лупы до предмета и его изображения, откуда

$$H=\frac{hf}{d}.$$

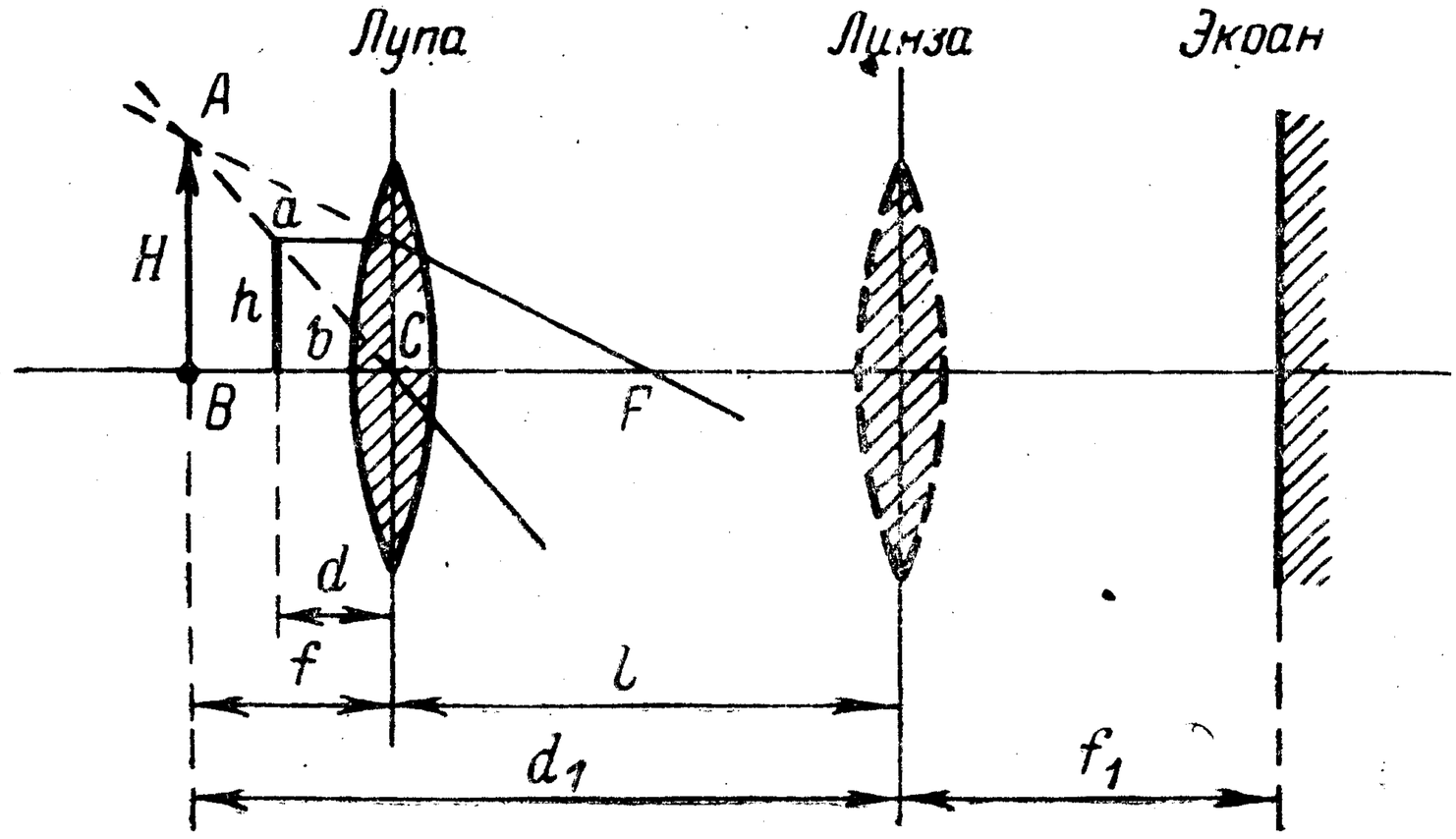


Рис. 103.

Для определения f воспользуемся формулой собирающей линзы

$$\frac{1}{F_1}=\frac{1}{d_1}+\frac{1}{f_1},$$

где d_1 и f_1 — расстояния от линзы до предмета и его изображения.

Мнимое изображение предмета (H), полученное с помощью лупы, является как бы источником (предметом) для собирающей линзы, находящейся по другую сторону лупы. Поэтому

$$d_1=\frac{F_1f_1}{f_1-F_1}.$$

Из рис. 103 видно, что $d_1=f+l$. Следовательно,

$$f=d_1-l=\frac{F_1f_1}{f_1-F_1}-l.$$

Подставляя значение f в формулу для определения высоты мнимого изображения предмета, получим

$$H=\frac{hf}{d}=h\,\frac{\left(\frac{F_1f_1}{f_1-F_1}-l\right)}{d}=\frac{F_1f_1-l(f_1-F_1)}{d(f_1-F_1)}h=$$

$$=\frac{100\cdot150-20(150-100)}{12(150-100)}\cdot2\approx4{,}67\ мм.$$

184. Так как источник света находится на двойном фокусном расстоянии от собирающей линзы, лучи, идущие от источника через линзу, собираются по другую сторону линзы также на двойном фокусном расстоянии (рис. 104).

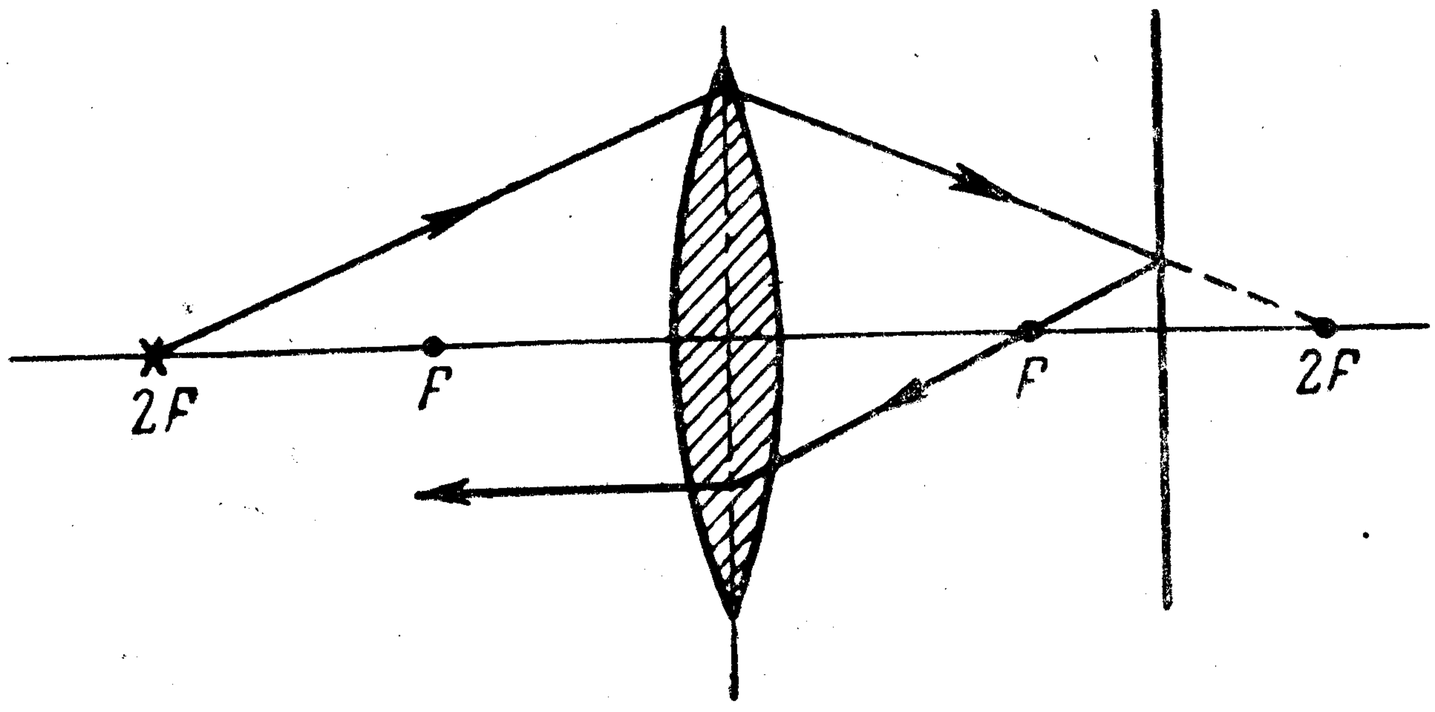


Рис. 104.

Лучи после отражения от зеркала и вторичного прохождения через линзу будут параллельными оптической оси в том случае, если, отразившись, они пройдут через главный фокус линзы.

Исходя из этих соображений, плоское зеркало нужно поставить на равных расстояниях между фокусом и двойным фокусом линзы.

185. Рассматривая подобные треугольники (рис. 105), можно записать

$$\frac{D}{d} = \frac{L+F}{F}.$$

После преобразования имеем

$$DF = Ld + Fd,$$

откуда

$$F = \frac{Ld}{D-d} = \frac{20 \cdot 5}{15-5} = 10 \text{ см}.$$

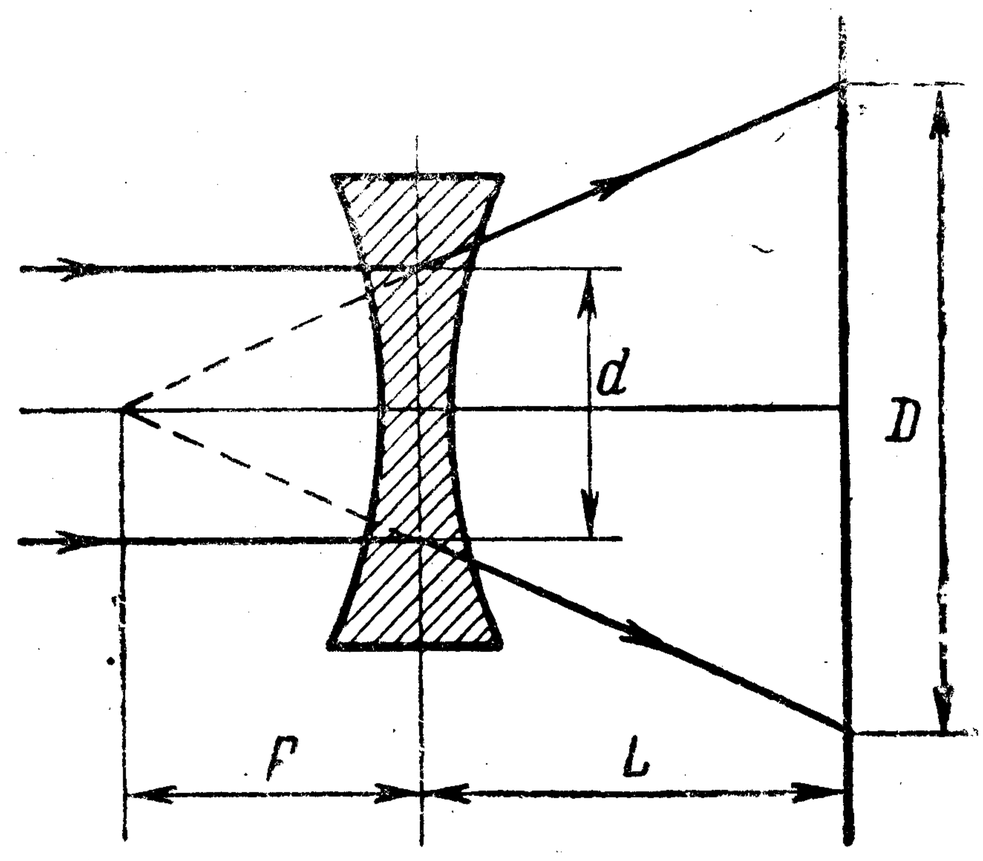


Рис. 105.

186. Пользуясь основной формулой для собирающей линзы (рис. 106)

$$\frac{1}{\frac{L}{2}-\frac{l}{2}} + \frac{1}{\frac{L}{2}+\frac{l}{2}} = \frac{1}{F},$$

получим

$$F = \frac{L^2 - l}{4L} = \frac{10\,000 - 400}{4 \cdot 100} = 24 \text{ см}.$$

187. Дальняя точка аккомодации глаза близорукого человека находится на расстоянии 18 *см*. У нормального глаза соответствующая точка находится в бесконечности (нормальный глаз видит без напряжения удаленные предметы). Чтобы восполнить недостаток близорукого глаза, нужно поставить перед глазами рассеивающие линзы с таким фокусным расстоянием, чтобы лучи, падающие от удаленных предметов (практически параллельные), казались выходящими из точек, лежащих на расстоянии $f = 18$ *см* от линзы (рис. 107). Как видно из рисунка, это расстояние должно равняться фокусному расстоянию рассеивающей линзы $F = -18$ *см*.

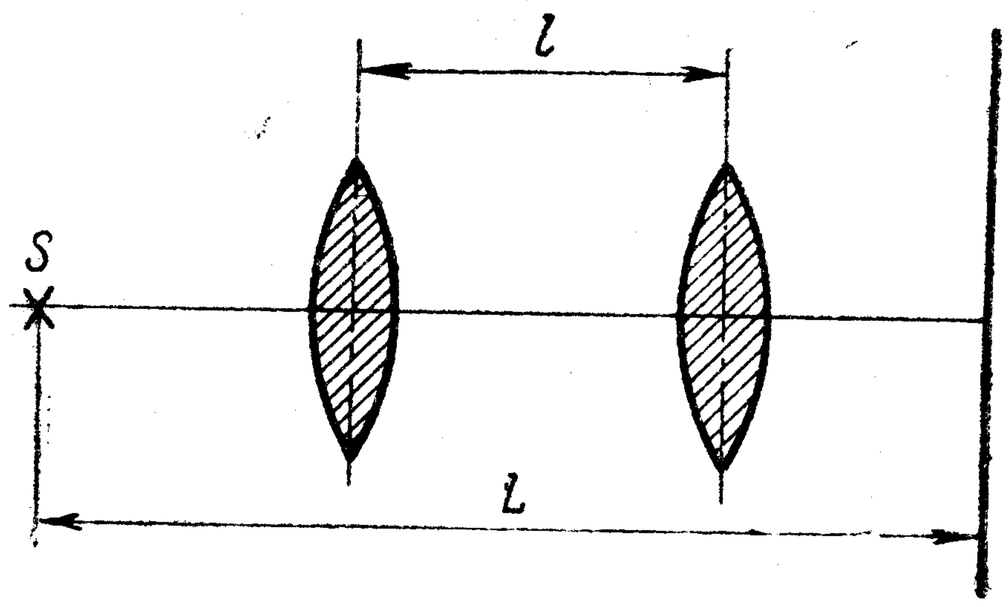


Рис. 106.

Оптическая сила линзы определяется из соотношения

$$D = -\frac{1}{F},$$

где F — выражено в метрах, или

$$D = -\frac{1}{0{,}18} \approx -5{,}6 \text{ диоптрий}.$$

188. Театральный бинокль представляет собой систему, состоящую из двух труб Галилея (рис. 108). С помощью бинокля рассматривают удаленные предметы, находящиеся на расстоянии, много большем F_1, поэтому можно считать, что изображение предмета в объективе находится в его фокальной плоскости.

Для изображения, даваемого окуляром, имеем

$$\frac{1}{F_2} = -\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d},$$

отсюда

$$d_1 = -\frac{F_2 d}{F_2 + d} \approx 4{,}46 \text{ см},$$

где d — расстояние наилучшего зрения.

Расстояние между объективом и окуляром

$$\delta = F_1 - d_1 = 3{,}24 \text{ см}.$$

В том случае, когда глаз аккомодирован на бесконечность, фокусы объектива и окуляра должны быть совмещены:

$$\delta' = F_1 - F_2 = 4 \text{ см}.$$

Следовательно, перемещение окуляра

$$\delta' - \delta = 0{,}76 \text{ см}.$$

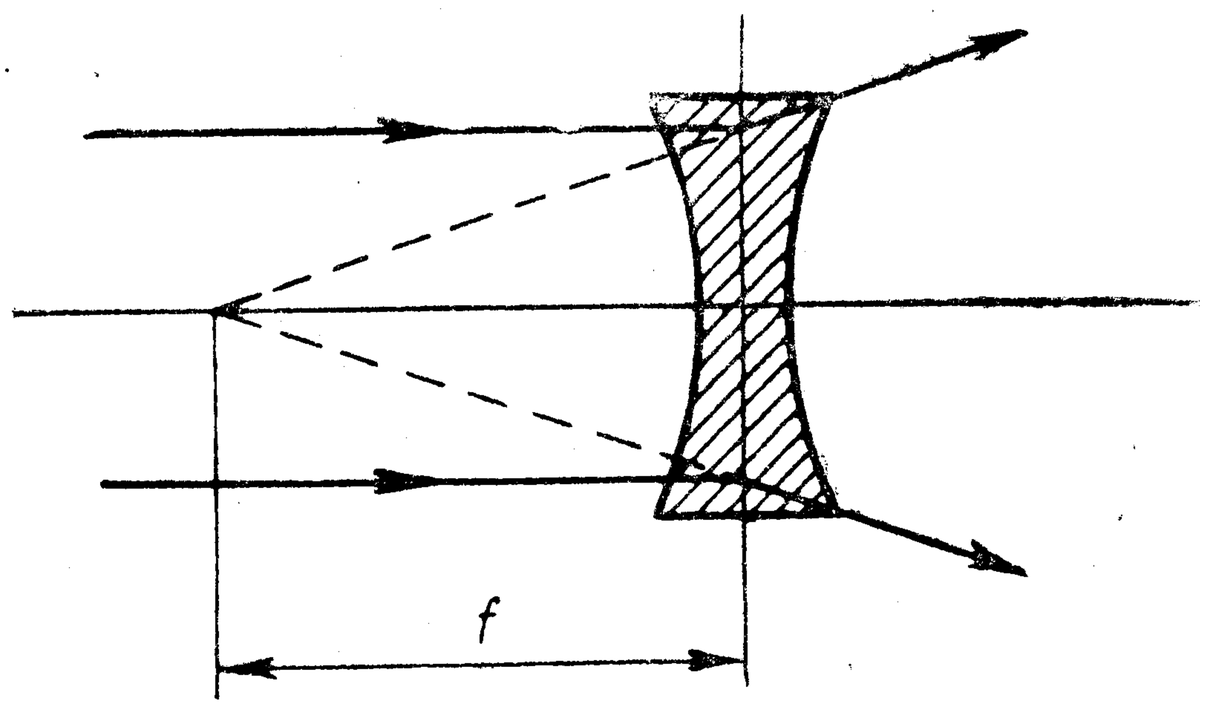


Рис. 107.

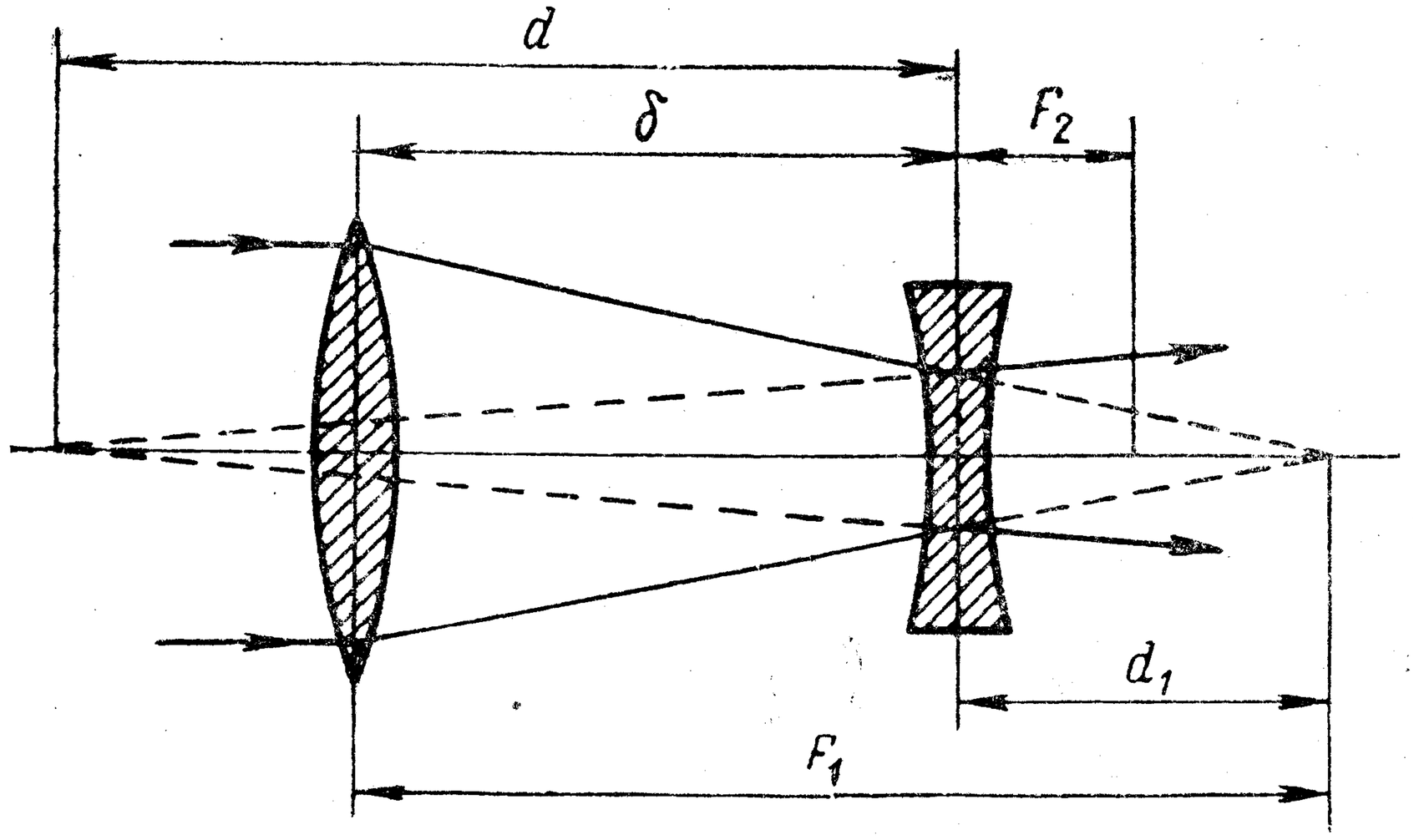


Рис. 108.

189. Из окуляра микроскопа в глаз наблюдателя идут расходящиеся лучи (рис. 109). Мнимая точка схождения этих лучей должна находиться на расстоянии наилучшего зрения.

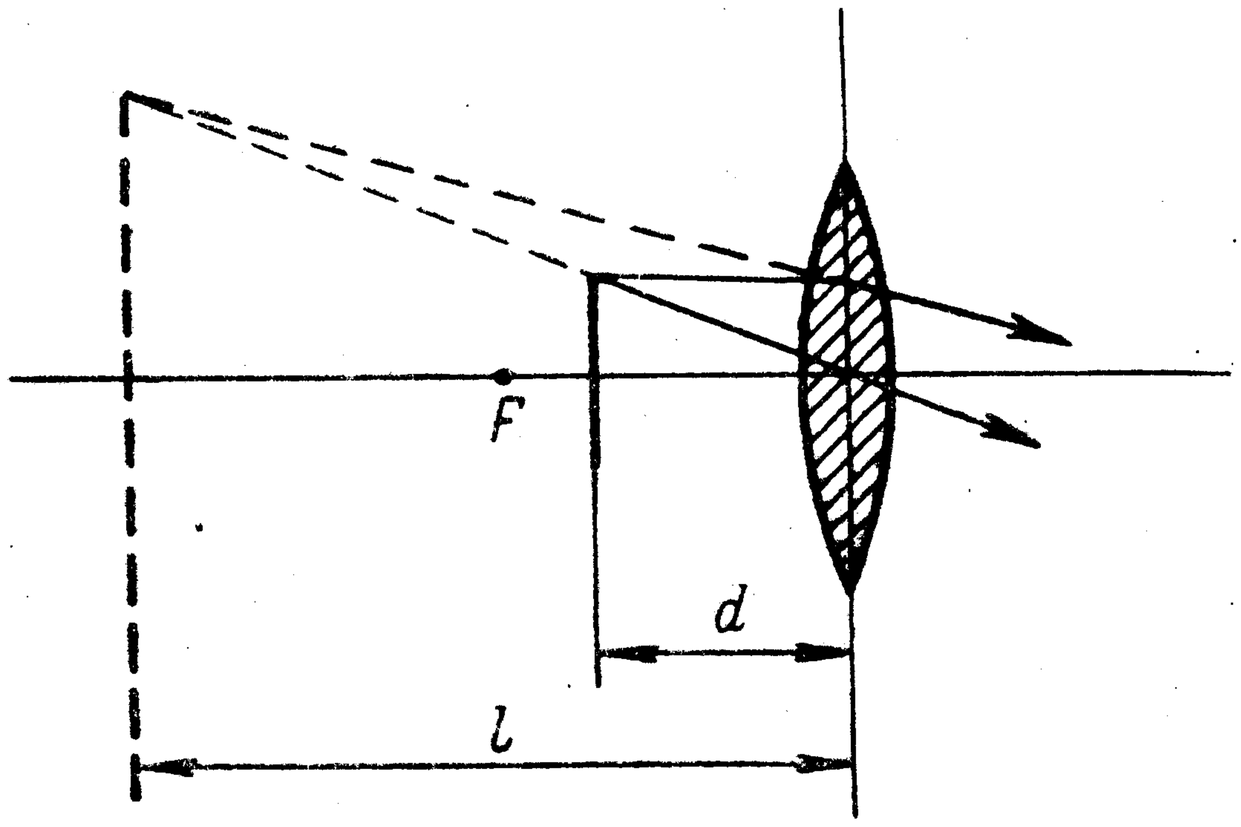


Рис. 109.

Обозначим расстояние наилучшего зрения близорукого человека через l, а человека с нормальным зрением через l_1, расстояние от окуляра до изображения предмета для близорукого человека через d, а то же расстояние для человека с нормальным зрением через d_1.

Главное фокусное расстояние окуляра для близорукого глаза

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{l},$$

для нормального глаза

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} - \frac{1}{l_1}.$$

Из этих уравнений имеем

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{d_1} = \frac{1}{l} - \frac{1}{l_1}.$$

У близорукого человека $l_1 < l$, поэтому и $d < d_1$; следовательно, близорукий человек должен придвинуть окуляр к изображению, образованному объективом, т. е. вдвинуть окуляр.

190. Так как оба раза на экран падал весь световой поток, прошедший через линзу (рис. 110), а освещенность обратно пропорциональна квадрату расстояния, то

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2} = 52,$$

где R_1 и R_2 — расстояния от мнимого источника S' до экрана

в первом и втором его положении. Из рисунка видно, что

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{f + l_2}{f + l_1}.$$

Следовательно,

$$\frac{18 + f}{33 + f} = \frac{1}{\sqrt{2}},$$

отсюда $f = 19$ *см*.

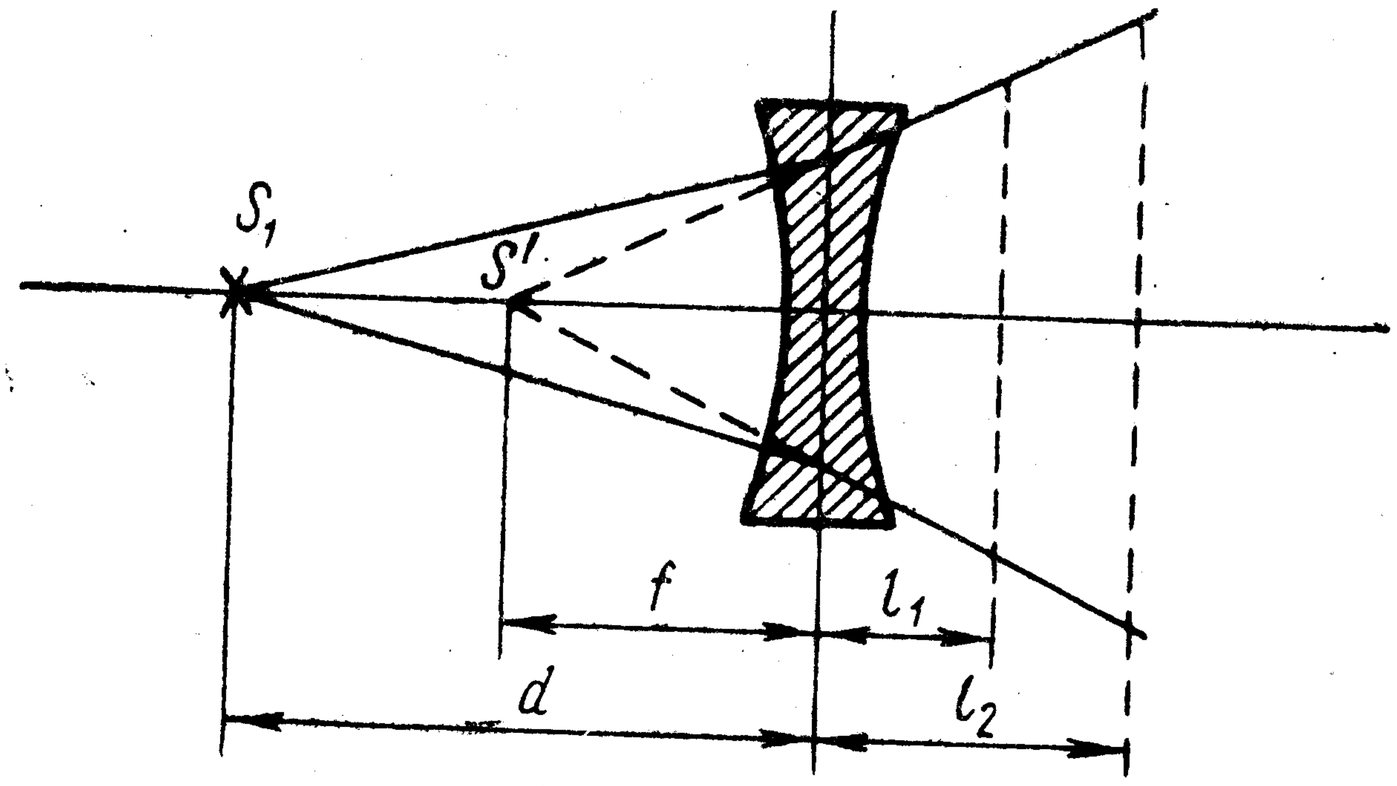


Рис. 110.

По формуле линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$$

находим

$$F = \frac{df}{f - d} \approx -52 \text{ см}.$$

191. Связь между главным фокусом и сопряженными фокусами для линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}.$$

По условию задачи расстояние от линзы до изображения предмета $f_1 = 3F$. Расстояние от линзы до предмета находим из формулы линзы:

$$d_1 = \frac{3}{2} F.$$

Увеличение, даваемое линзой,

$$k_1 = \frac{f_1}{d_1} = \frac{3F}{\frac{3}{2}F} = 2.$$

Формула оптической силы вогнутого зеркала

$$\frac{1}{F_1} = \frac{1}{\frac{R}{2}} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}.$$

По условию задачи радиус кривизны вогнутого зеркала $R = 5F$. Расстояние от зеркала до изображения, полученного с помощью линзы,

$$d_2 = 6F - f_1 = 6F - 3F = 3F.$$

Следовательно, расстояние ст зеркала до изображения, полученного с помощью вогнутого зеркала,

$$f_2 = 15F.$$

Увеличение, полученное от зеркала,

$$k_2 = \frac{f_2}{d_2} = \frac{15F}{3F} = 5.$$

Общее увеличение оптической системы

$$k = k_1 k_2 = 2 \cdot 5 = 10.$$

192. Оптическая сила системы тонких линз равна алгебраической сумме оптических сил отдельных линз, входящих в систему. Оптическая сила собирающей линзы D_1 — величина положительная, а рассеивающей D_2 — величина отрицательная. Поэтому оптическая сила системы двух линз

$$D = D_1 - D_2 \quad \text{или} \quad \frac{1}{F} = \frac{1}{F_1} - \frac{1}{F_2},$$

где F, F_1 и F_2 — главные фокусные расстояния системы линз, собирающей линзы и рассеивающей линзы соответственно.

Связь между оптической силой системы тонких линз и ее сопряженными фокусами

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

здесь d и f — расстояния ст центра системы линз до предмета и его изображения соответственно. Так как по условию задачи $f = 2d$, то оптическая сила системы двух линз

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{2d} = \frac{3}{2d},$$

а оптическая сила собирающей линзы

$$D_1 = \frac{1}{F_1} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1},$$

где d_1 и f_1 — расстояния от центра собирающей линзы до предмета и его изображения.

По условию задачи расстояние от собирающей линзы до предмета не изменилось ($d_1 = d$), а расстояние от линзы до изображения стало равно расстоянию ее до предмета, т. е. $f_1 = d$. Таким образом, формулу оптической силы собирающей линзы можно записать в виде

$$\frac{1}{F_1} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d} = \frac{2}{d}.$$

Так как для системы линз

$$D = \frac{3}{2d} = \frac{1}{F_1} - \frac{1}{F_2},$$

то

$$\frac{1}{F_2} = \frac{1}{F_1} - \frac{3}{2d} = \frac{2}{d} - \frac{3}{2d} = \frac{1}{2d}.$$

Следовательно,

$$F_2 = 2d = 2 \cdot 2 \text{ м} = 4 \text{ м}.$$

193. Оптическая сила объектива равна сумме оптических сил собирающей и рассеивающей линз:

$$D_о = D_с - D_р.$$

Кроме того, оптическая сила объектива

$$D_о = \frac{1}{F_о} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{f + d}{df},$$

где $F_о$ — главное фокусное расстояние объектива, d — расстояние от объектива до предмета, f — расстояние от объектива до изображения.

Так как по условию задачи абсолютная величина оптической силы рассеивающей линзы в два раза больше абсолютной величины оптической силы собирающей линзы, то

$$D_о = \frac{D_р}{2} - D_р = -\frac{D_р}{2},$$

откуда

$$D_р = -2D_о,$$

и главное фокусное расстояние рассеивающей линзы

$$F_р = \frac{1}{D_р} = -\frac{1}{2D_о} = -\frac{df}{2(f + d)} = -\frac{25 \cdot 400}{2(400 + 25)} \approx -12 \text{ см}.$$

194. Увеличение k лупы равно отношению величины мнимого изображения предмета H к величине предмета h, рассматриваемого через лупу (рис. 111):

$$k = \frac{H}{h}.$$

Из рисунка видно, что это отношение можно заменить отношением сопряженных фокусов, т. е.

$$\frac{H}{h} = \frac{f}{d}.$$

При рассматривании предмет находится вблизи фокуса лупы, поэтому можно полагать расстояние предмета от центра лупы приблизительно равным фокусному расстоянию лупы: $d \approx F$.

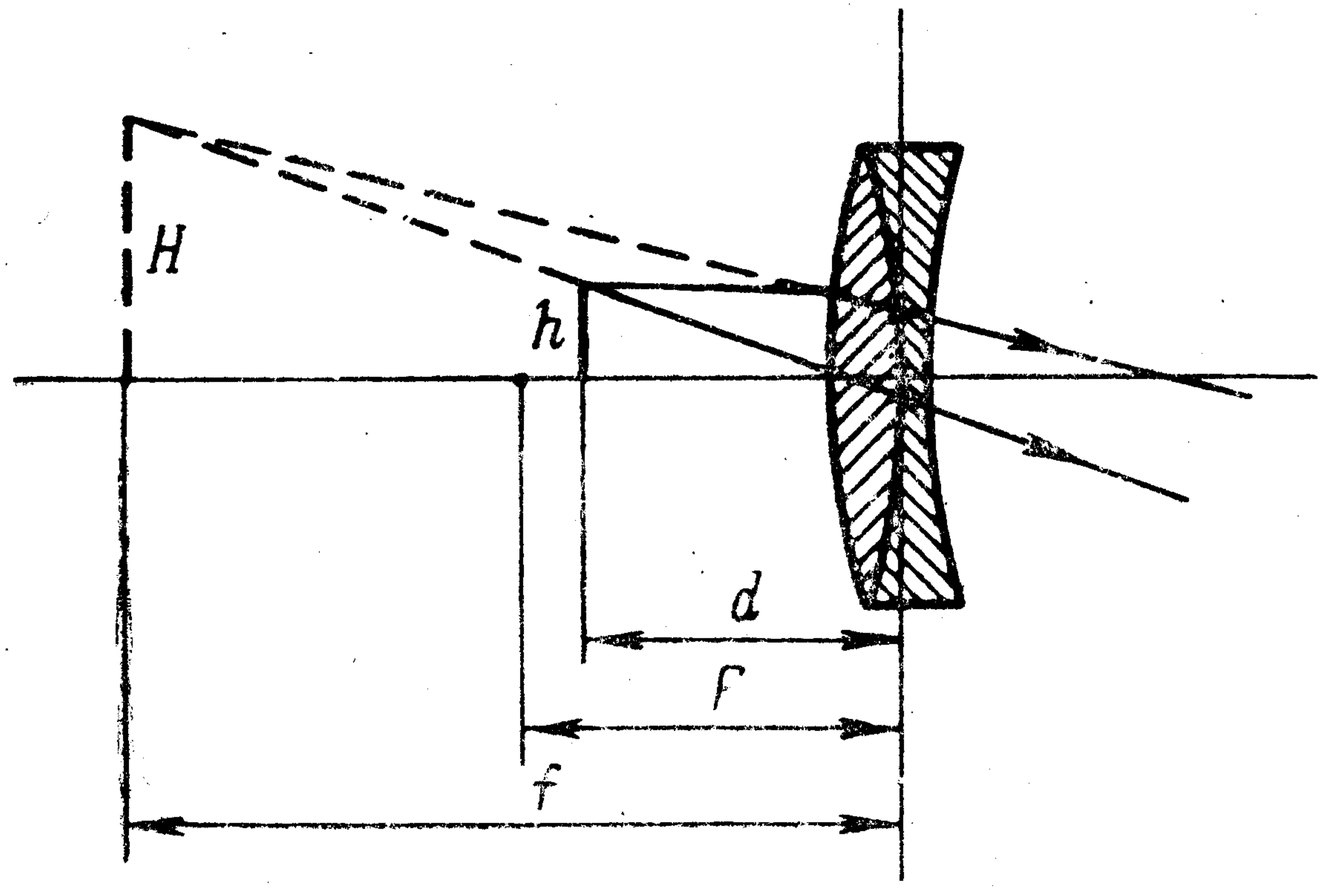


Рис. 111.

Расстояние от глаза до мнимого изображения предмета, рассматриваемого через любую оптическую систему, равно расстоянию наилучшего зрения, которое для нормального глаза равно 25 *см*. Поэтому

$$k = \frac{H}{h} = \frac{f}{d} \approx \frac{f}{F} = \frac{25}{F}.$$

Следовательно, фокусное расстояние лупы

$$F = \frac{25}{k} = \frac{25}{4} \approx 6{,}25 \text{ см},$$

а оптическая сила лупы

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{0{,}0625} = 16 \text{ диоптрий}.$$

Так как лупа состоит из двух линз, то оптическая сила лупы равна сумме оптических сил составляющих ее линз:

$$D = D_с + D_р,$$

где $D_с$ и $D_р$ — оптическая сила собирающей и рассеивающей линз.

По условию задачи оптическая сила собирающей линзы $D_с$ по абсолютной величине в четыре раза больше оптической силы рассеивающей линзы $D_р$:

$$D_с = -4D_р.$$

Найдем оптическую силу $D_р$ и главное фокусное расстояние F рассеивающей линзы:

$$D = -4D_р + D_р = -3D_р,$$

$$D_р = -\frac{D}{3} = -\frac{16}{3} \approx -5{,}3 \text{ диоптрии},$$

$$F_р = \frac{1}{D_р} = \frac{1}{-5{,}3} \approx -0{,}19 \text{ м} = -19 \text{ см}.$$

Оптическая сила и главное фокусное расстояние собирающей линзы:

$$D = D_с - \frac{D_с}{4} = \frac{3}{4} D_с,$$

$$D_с = \frac{4}{3} D = \frac{4}{3} \cdot 16 \approx 21{,}3 \text{ диоптрии},$$

$$F_с = \frac{1}{D_с} = \frac{1}{21{,}3} \approx 0{,}047 \text{ м} = 4{,}7 \text{ см}.$$

195. Нормальный глаз видит текст книги на расстоянии 25 *см* (расстояние наилучшего зрения). Изображение текста книги в этом случае находится на поверхности сетчатки глаза. Близорукий и дальнозоркий наблюдатели на таком расстоянии текста не увидят, так как у первого изображение будет перед сетчаткой (рис. 112, *а*), а у второго за сетчаткой (рис. 112, *б*). Чтобы изображение текста книги получилось на сетчатке, необходимо:

а) оптическую силу хрусталика глаза близорукого наблюдателя уменьшить (главное фокусное расстояние увеличить), для чего перед глазом поместить рассеивающую линзу (очки) с отрицательной оптической силой (рис. 112, *в*);

б) оптическую силу хрусталика глаза дальнозоркого наблюдателя увеличить (главное фокусное расстояние уменьшить), поместив перед глазом собирающую линзу (рис. 112, *г*).

Оптическая сила хрусталика глаза близорукого наблюдателя

$$D_1 = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{0{,}15},$$

где f_1 — расстояние от центра хрусталика до сетчатки.

Оптическая сила системы, состоящей из хрусталика глаза и очков (рассеивающей линзы),

$$D_1 + D_0' = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{0{,}25},$$

откуда оптическая сила очков близорукого наблюдателя

$$D_0' = \frac{1}{0{,}25} - \frac{1}{0{,}15} \approx -2{,}7 \text{ диоптрии.}$$

Оптическая сила хрусталика глаза дальнозоркого наблюдателя

$$D_2 = \frac{1}{f_2} + \frac{1}{0{,}5}.$$

Оптическая сила системы, состоящей из хрусталика глаза и очков (собирающей линзы),

$$D_2 + D_0'' = \frac{1}{f_2} + \frac{1}{0{,}25},$$

откуда оптическая сила очков дальнозоркого наблюдателя

$$D_0'' = \frac{1}{0{,}25} - \frac{1}{0{,}50} \approx 2 \text{ диоптрии.}$$

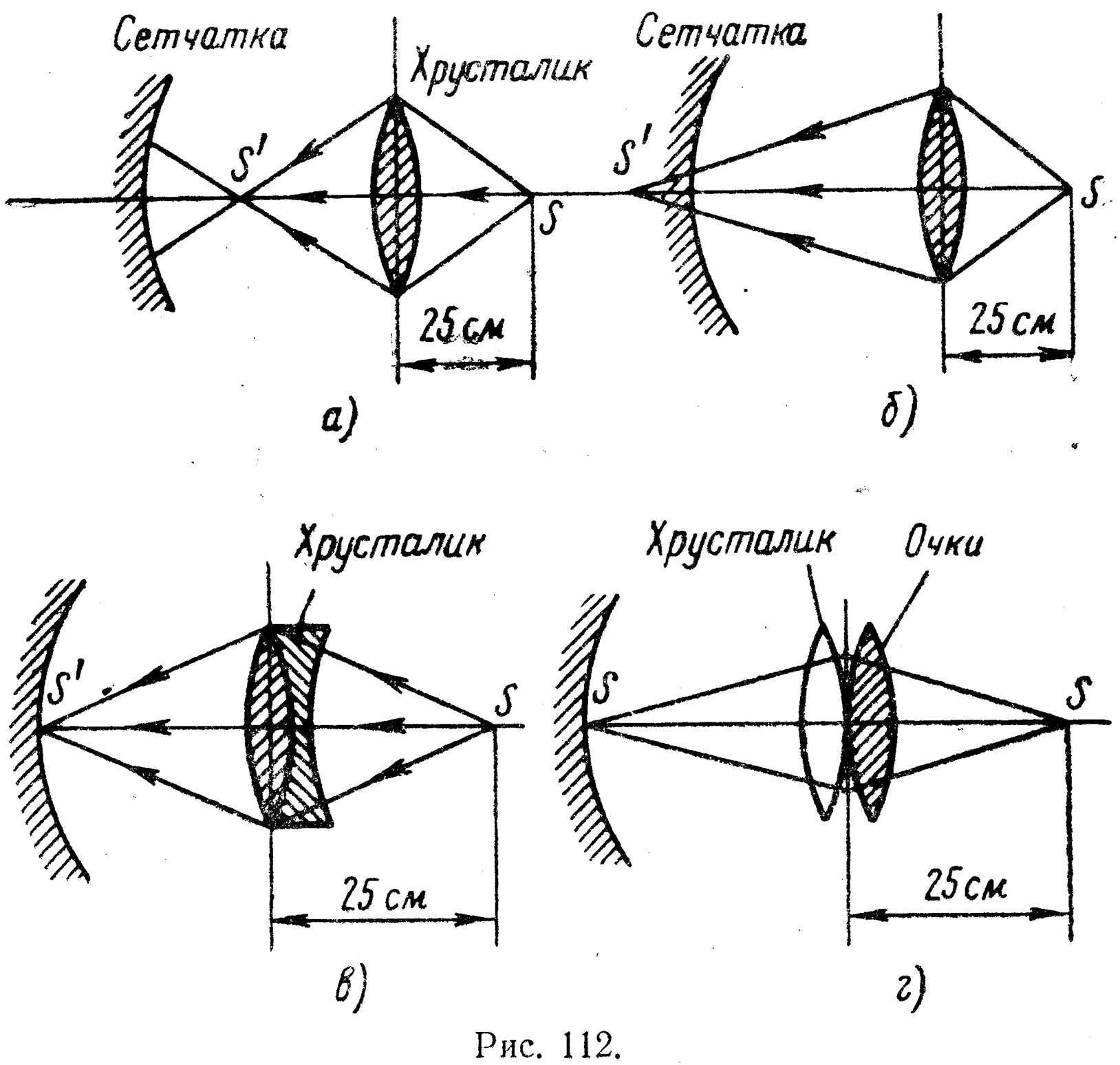


Рис. 112.

196. Оптическая сила системы, состоящей из объектива и дополнительнсй линзы (насадки),

$$D = D_0 + D_н,$$

где D_0 — оптическая сила объектива, $D_н$ — оптическая сила насадки.

По формуле линзы оптическая сила системы

$$D = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{d},$$

здесь f_1 — расстояние от объектива с насадкой до изображения, d — неизменное расстояние от объектива с насадкой до предмета, а оптическая сила объектива

$$D_0 = \frac{1}{f_0} + \frac{1}{d},$$

f_0 — расстояние от объектива без насадки до изображения.

Следовательно, оптическая сила насадки

$$D_н = D - D_0 = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{d} - \left(\frac{1}{f_0} + \frac{1}{d}\right) =$$

$$= \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_0} = \frac{1}{0{,}5} - \frac{1}{1{,}5} = 0{,}133 \text{ диоптрии}.$$

197. Луч света, падая на выпуклую сторону линзы, после преломления на границе воздух — стекло проходит через линзу и, достигнув плоской зеркальной псверхности линзы, отражается. После отражения вторично проходит линзу и вновь преломляется при выходе из стекла в воздух. Вследствие этого главное фокусное расстояние посеребренной линзы в два раза меньше фокусного расстояния непосеребренной линзы.

Оптическая сила линзы до серебрения

$$D = \frac{1}{F}.$$

Следовательно, при уменьшении фокусного расстояния в два раза оптическая сила линзы увеличится во столько же раз.

Оптическая сила пссеребренной линзы

$$D_1 = 2D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

где d — расстояние от линзы до лампы, f — расстояние от линзы до изображения лампы на экране, откуда

$$f = \frac{d}{2Dd - 1} = \frac{0{,}7}{2 \cdot 1 \cdot 0{,}7 - 1} = 1{,}75 \text{ м}.$$

198. Оптическая сила рассеивающей линзы

$$D_1 = \frac{1}{F_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{d_1},$$

где d_1 и f_1 — расстояния от центра линзы до предмета и изображения соответственно, F_1 — главное фокусное расстояние рассеивающей линзы.

По условию задачи на рассеивающую линзу падает параллельный пучок лучей (источник света находится в бесконечности) поэтому

$$\frac{1}{F_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{f_1},$$

откуда $F_1 = f_1$. Таким образом, изображение, полученное рассеивающей линзой, находится в ее мнимом фокусе (рис. 113). Это изображение (точка F_1) является как бы источником света для собирающей линзы, находящейся на расстоянии l от центра рассеивающей линзы.

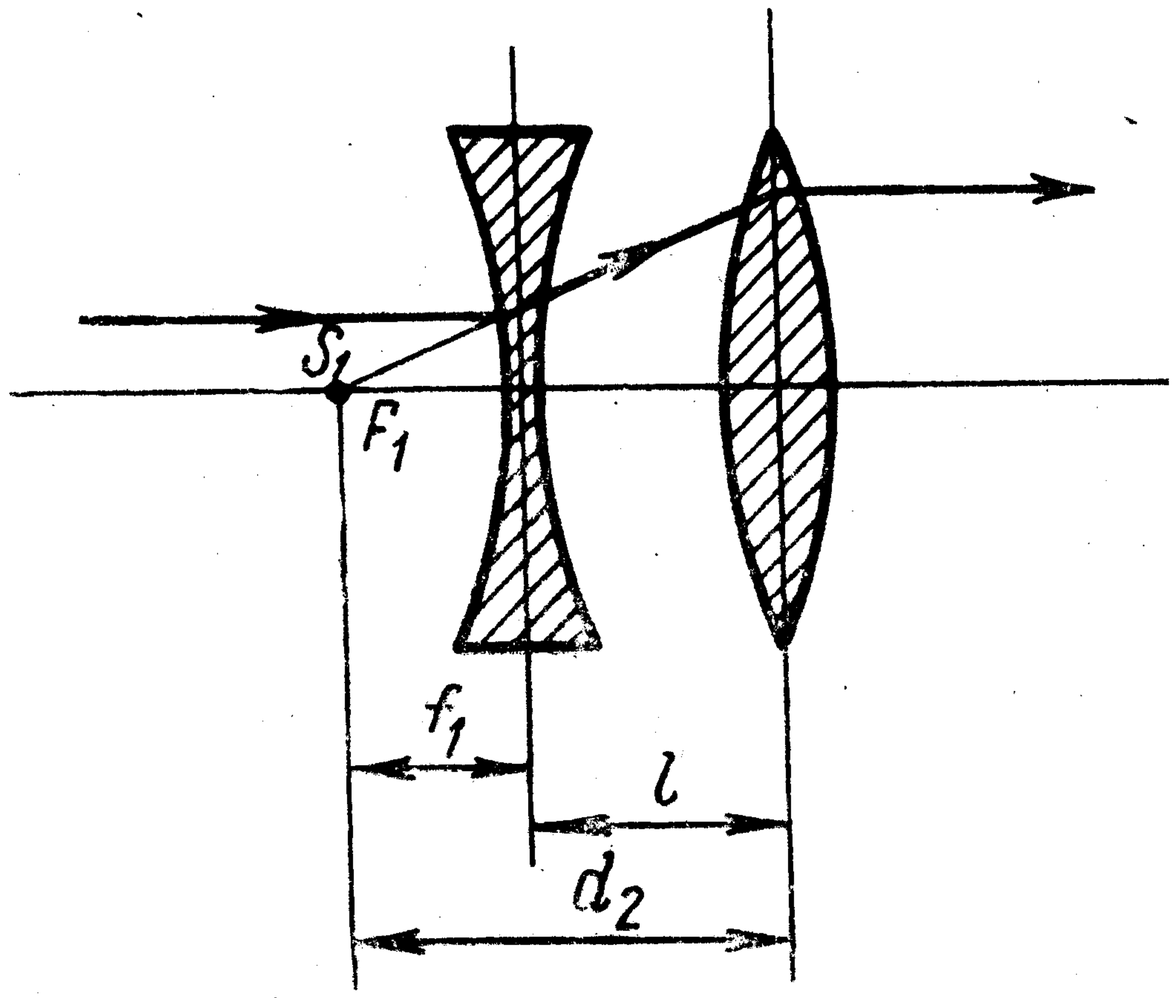


Рис. 113.

Оптическая сила собирающей линзы

$$D_2 = \frac{1}{F_2} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2},$$

где d_2 и f_2 — расстояния от центра собирающей линзы до точки F_1 и ее изображения.

Из рис. 113 видно, что

$$d_2 = F_1 + l.$$

По условию задачи лучи, прошедшие через собирающую линзу, должны идти параллельным пучком, т. е. $f_2 = \infty$. Кроме того, $F_2 = 2F_1$. Следовательно, для собирающей линзы имеем

$$\frac{1}{2F_1} = \frac{1}{F_1 + l} + \frac{1}{\infty}$$

или

$$F_1 + l = 2F_1,$$

откуда

$$l = F_1.$$

Таким образом, чтобы лучи вышли из собирающей линзы параллельным пучком, расстояние между центрами собирающей и рассеивающей линз должно быть равно главному фокусному расстоянию рассеивающей линзы.

199. Оптическая сила рассеивающей линзы

$$D_1 = \frac{1}{F_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{d_1},$$

где F_1 — главное фокусное расстояние линзы, d_1 и f_1 — расстояния от центра линзы до светящейся точки — точки S и изображения — точки S' (рис. 114).

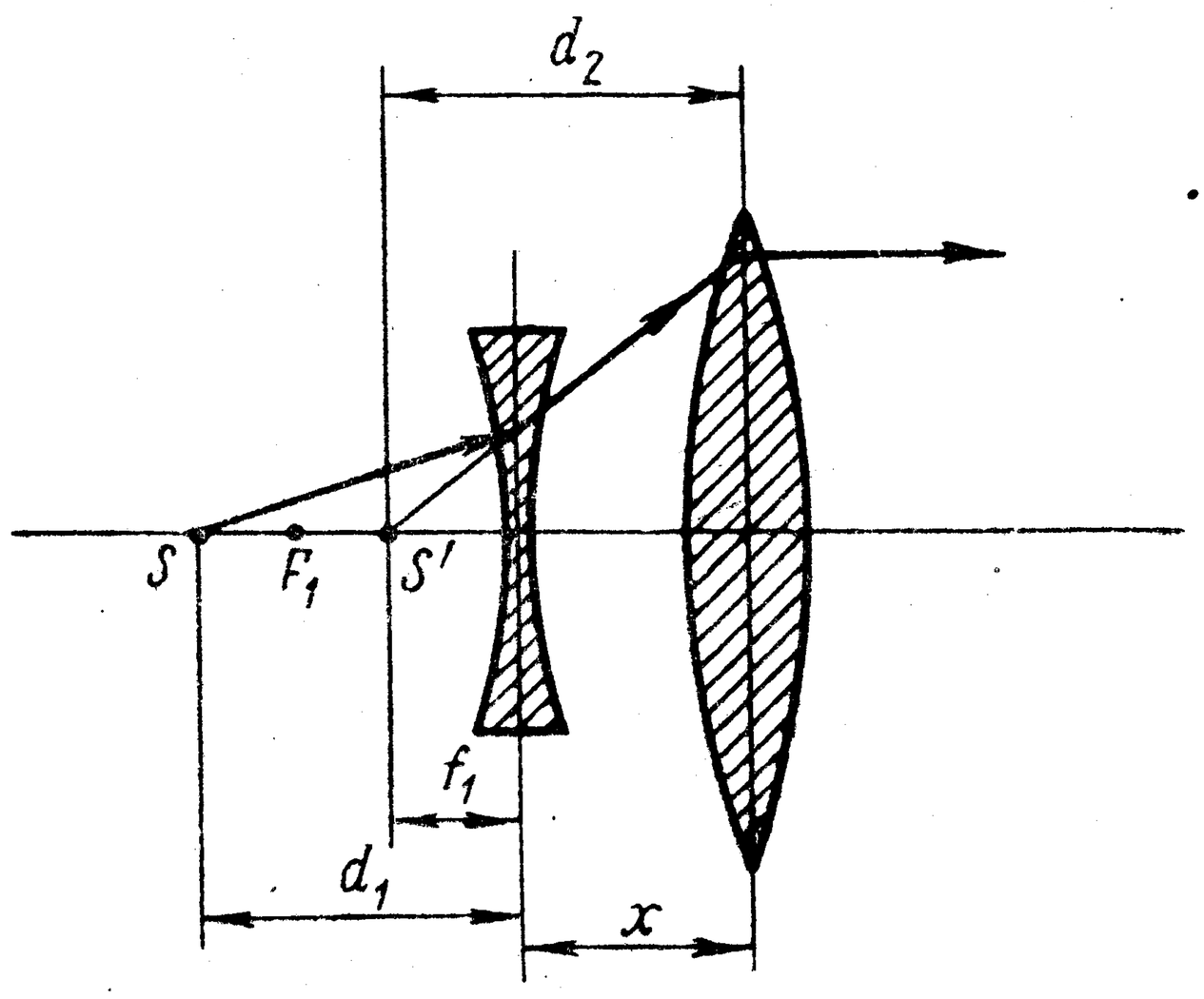


Рис. 114.

Оптическая сила собирающей линзы

$$D_2 = \frac{1}{F_2} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2},$$

здесь F_2 — главное фокусное расстояние линзы, d_2 и f_2 — расстояния от центра линзы до светящейся точки и ее изображения.

Если смотреть на точку S через рассеивающую линзу со стороны собирающей линзы, то она представляется в точке S'. Следовательно, изображение точки S, полученное рассеивающей линзой (точка S'), является источником света (предметом) для собирающей линзы, поэтому

$$d_2 = f_1 + x,$$

где x — искомое расстояние между центрами линз. Так как после собирающей линзы лучи должны идти параллельным пучком, то $f_2 = \infty$.

Оптическую силу собирающей линзы можно записать в виде

$$D_2 = \frac{1}{F_2} = \frac{1}{f_1 + x} + \frac{1}{\infty},$$

откуда

$$f_1 = F_2 - x.$$

Подставляя выражение для f_1 в формулу оптической силы рассеивающей линзы, после преобразования получим

$$x = \frac{d_1 (F_2 - F_1) + F_1 F_2}{F_1 + d_1}.$$

Так как по условию задачи фокусные расстояния линз по абсолютной величине одинаковы: $F_1 = F_2 = F$, то

$$x = \frac{F^2}{F + d_1}.$$

200. Оптическая сила рассеивающей линзы

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d},$$

где d и f — расстояния от центра линзы до светящейся точки — точки S и изображения — точки S' (рис. 115).

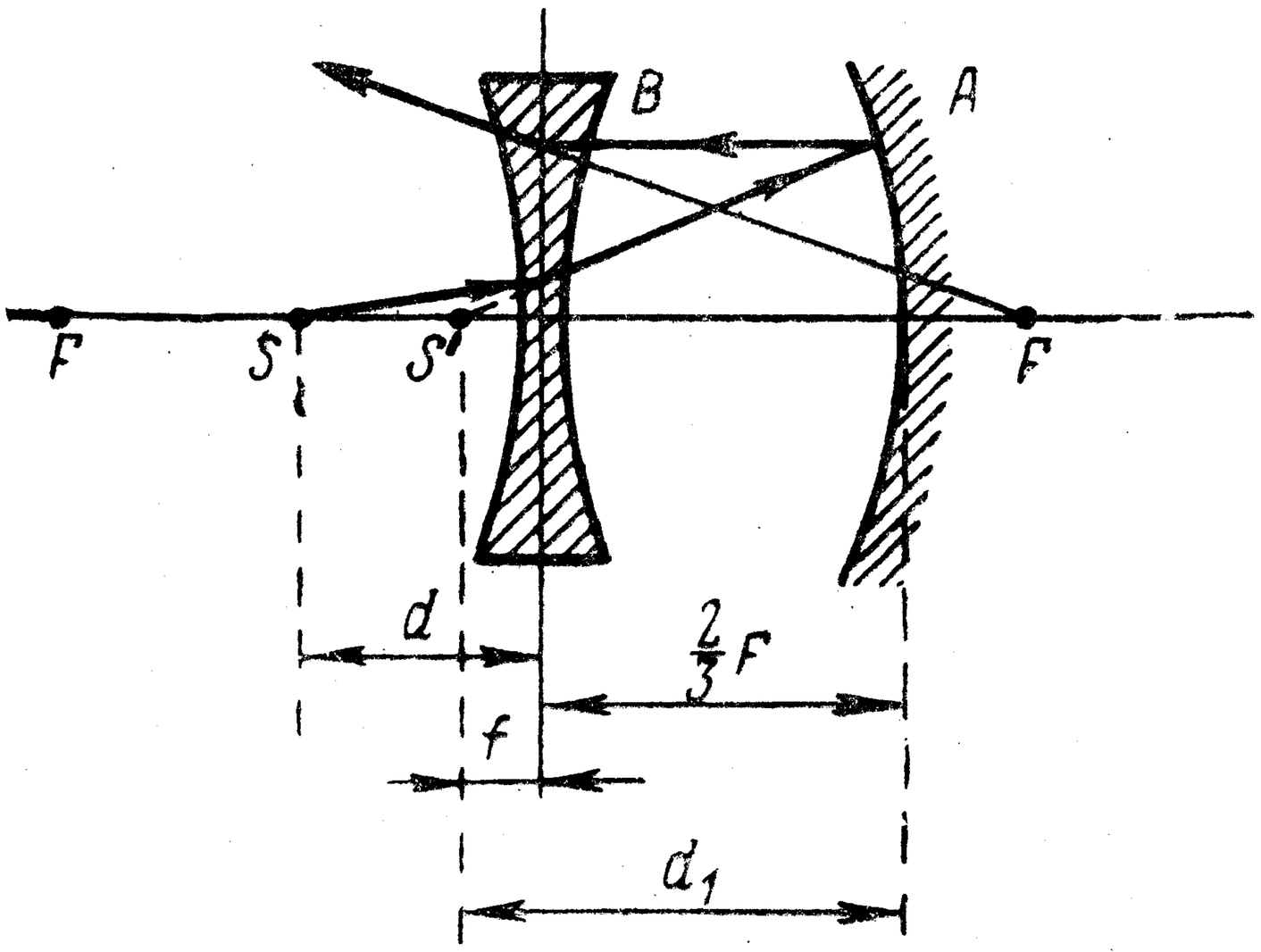


Рис. 115.

По условию задачи

$$d = \frac{F}{2},$$

поэтому

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{F}+\frac{1}{d}=\frac{1}{F}+\frac{2}{F}=\frac{3}{F},$$

откуда

$$f=\frac{F}{3},$$

т. е. изображение точки S (точка S') находится на расстоянии $\frac{F}{3}$ от центра линзы (слева).

Точка S' является как бы источником света для вогнутого зеркала. Оптическая сила вогнутого зеркала

$$D_1=\frac{1}{F_1}=\frac{1}{d_1}+\frac{1}{f_1},$$

где d_1 и f_1 — расстояния от центра зеркала до светящейся точки — точки S' и ее изображения.

Из рис. 115 видно, что

$$d_1=f+l,$$

где $f=\frac{F}{3}$, а $l=\frac{2}{3}F$.

Главное фокусное расстояние зеркала по условию задачи равно главному фокусному расстоянию линзы, т. е. $F_1=F$. Поэтому уравнение для вогнутого зеркала

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f+l}+\frac{1}{f_1}=\frac{1}{\frac{F}{3}+\frac{2}{3}F}+\frac{1}{f_1},$$

откуда

$$f_1=\infty.$$

Таким образом, изображение точки S' после отражения лучей от вогнутого зеркала должно быть в бесконечности. Это означает, что луч AB идет параллельно главной оптической сси.

После прохождения линзы отраженный зеркалом луч AB преломляется таким образом, что его продолжение вправо за линзу пересечет главную оптическую ось в фокусе линзы.

Следовательно, изображение точки S, лежащей слева от линзы, после прохождения света через линзу, отражения от вогнутсго зеркала и вторичного прохождения через линзу оказалось в правом фокусе линзы.

201. Пользуясь основной формулой для собирающей линзы (рис. 116)

$$\frac{1}{f}+\frac{1}{d}=\frac{1}{F},$$

где $f=F+l$, получим

$$\frac{1}{F+l}+\frac{1}{d}=\frac{1}{F}.$$

Решая это уравнение, находим

$$F=\frac{-l\pm\sqrt{l^2-4ld}}{2}=\frac{-4\pm\sqrt{16+4\cdot4\cdot25}}{2}\approx 17\ см.$$

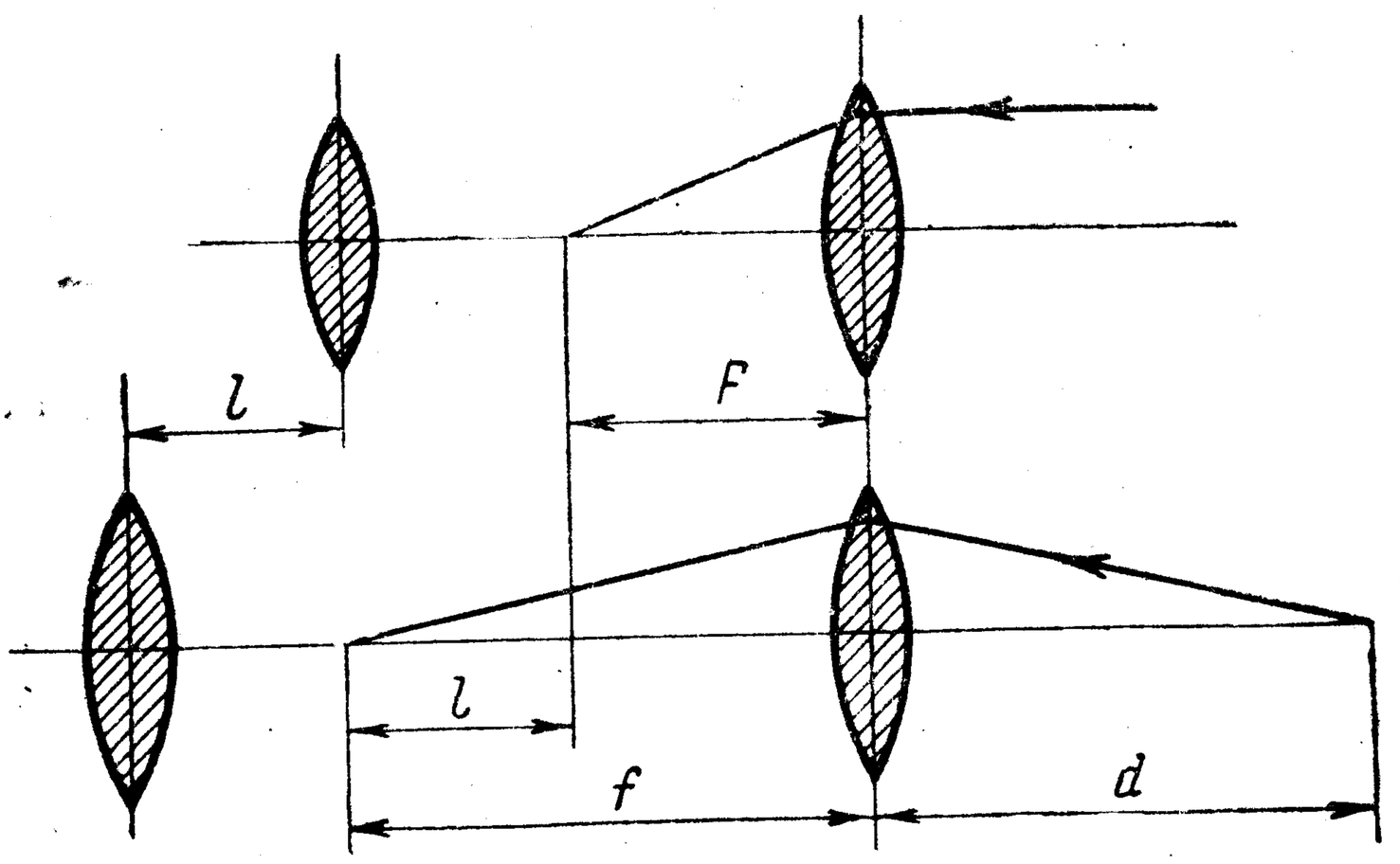


Рис. 116.

202. Мнимое изображение в линзе является как бы источником света для зеркала (рис. 117). При обратном же ходе лучей, отраженных зеркалом, мнимое изображение в зеркале является как бы источником света для линзы.

Линза дает мнимое изображение на расстоянии

$$f=\frac{\frac{F}{2}F}{\frac{F}{2}-F}=-F.$$

Мнимое изображение в зеркале находится на расстоянии $\frac{3}{2}F$.

Расстояние x, на котором соберутся лучи, определим по формуле

$$\frac{1}{2F}+\frac{1}{x}=\frac{1}{F},$$

откуда

$$x=2F=100\ см.$$

203. Построим ход луча, идущего из точки S в направлении точки A (рис. 118). Для этого воспользуемся побочными оптиче-

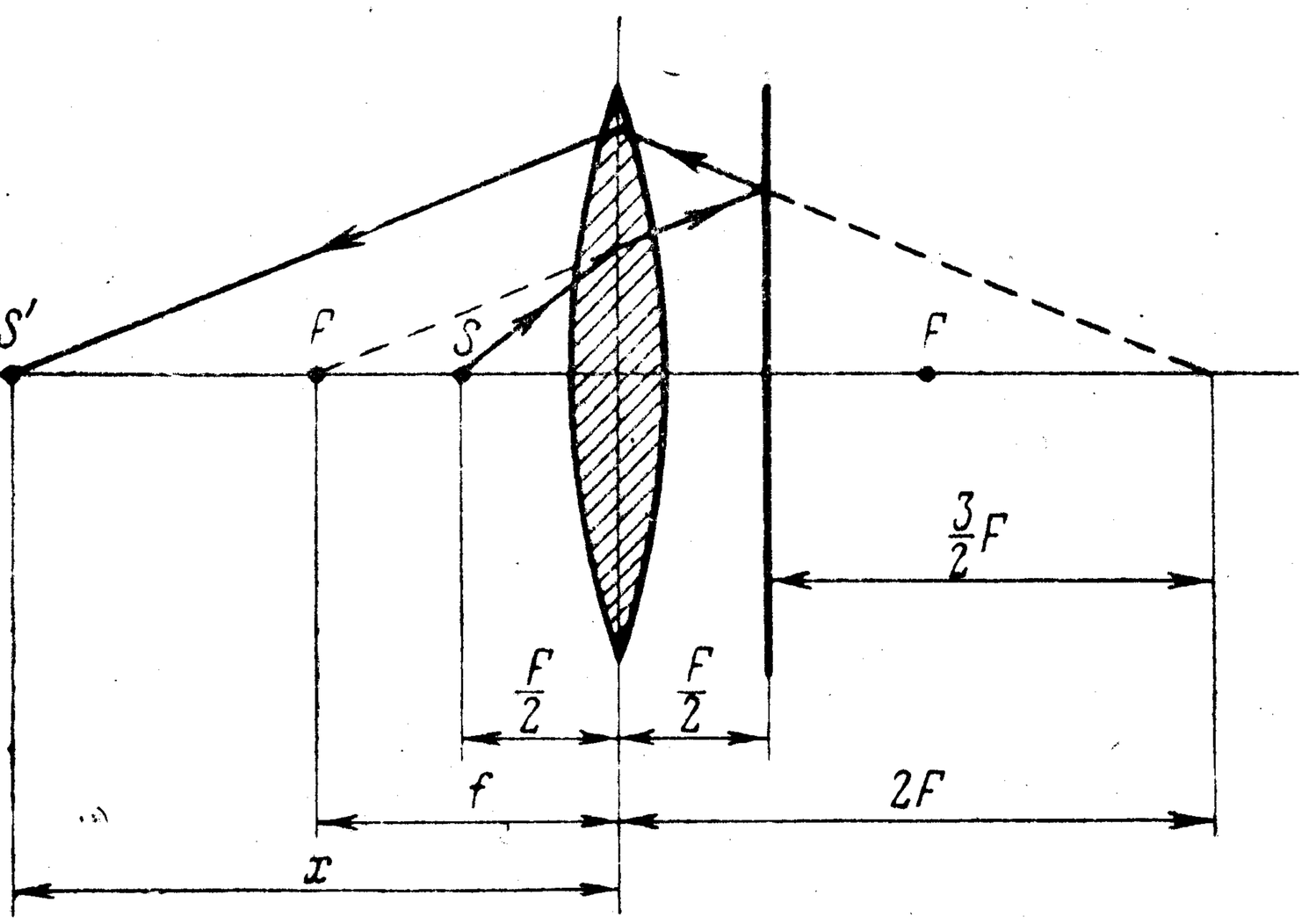


Рис. 117.

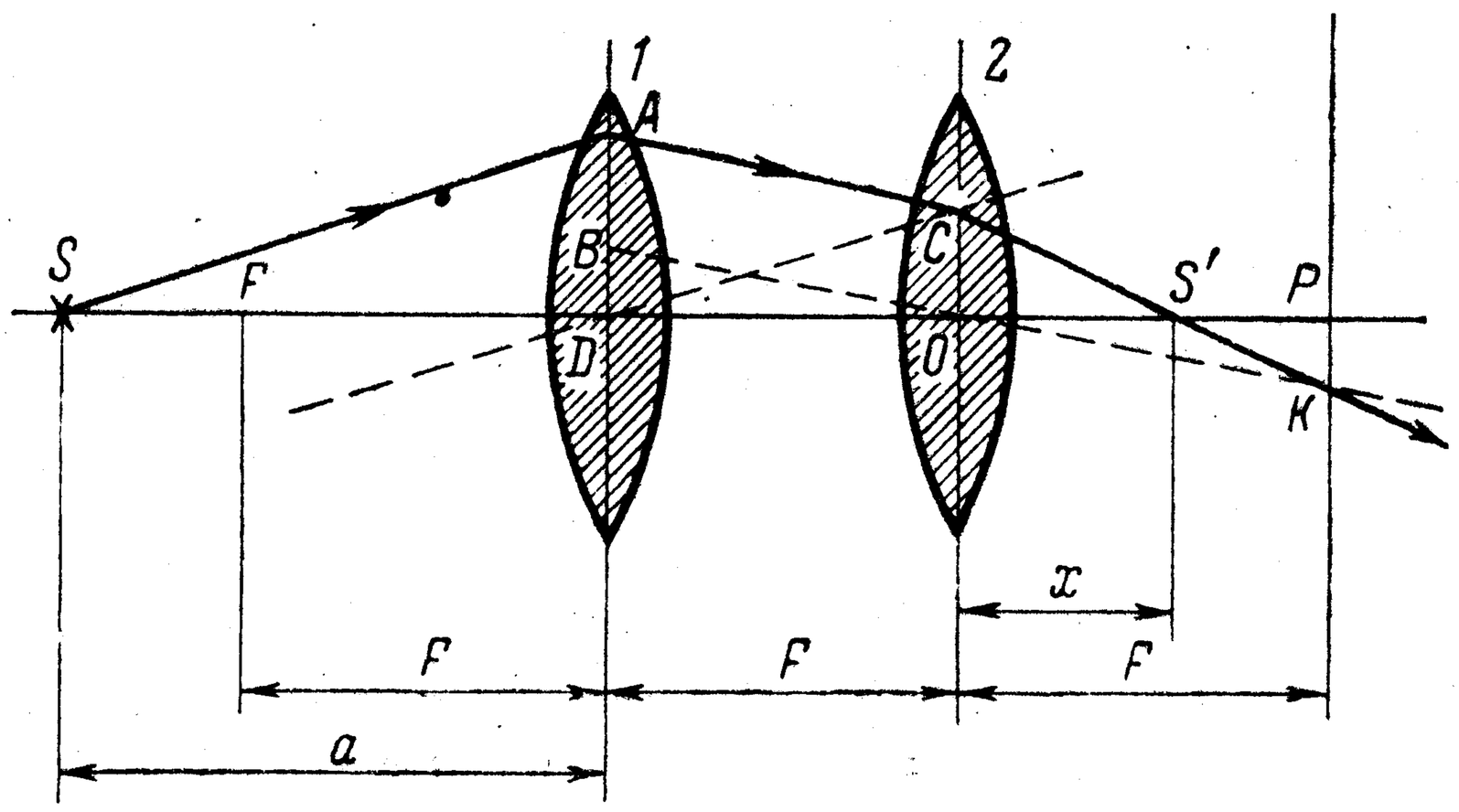


Рис. 118.

скими осями. Одну из них проведем через центр левой линзы параллельно лучу SA. Луч SA должен пересечь побочную ось в фокальной плоскости первой линзы, т. е. точке C. Следовательно, ход луча между линзами будет изображен прямой AC.

Аналогично проведем побочную ось через вторую линзу параллельно лучу AC. Так как рассматриваемый луч пересечет эту побочную ось также в фокальной плоскости, найдем пересечение луча с главной оптической осью, т. е. изображение S' точки S.

Рассматривая подобные треугольники, получим

$$\frac{x}{F} = \frac{OC}{OC + PK},$$

$$\frac{F}{a} = \frac{OC}{AD} = \frac{OC}{AB + PK} = \frac{OC}{OC + PK}.$$

Приравнивая левые части уравнений

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

найдем

$$x = \frac{F^2}{a} = \frac{10^2}{20} = 5 \text{ см}.$$

204. Так как линзы тонкие, с одинаковыми оптическими свойствами и сложены вплотную (рис. 119), оптическая сила D системы линз равна сумме оптических сил D_1 отдельных линз, т. е.

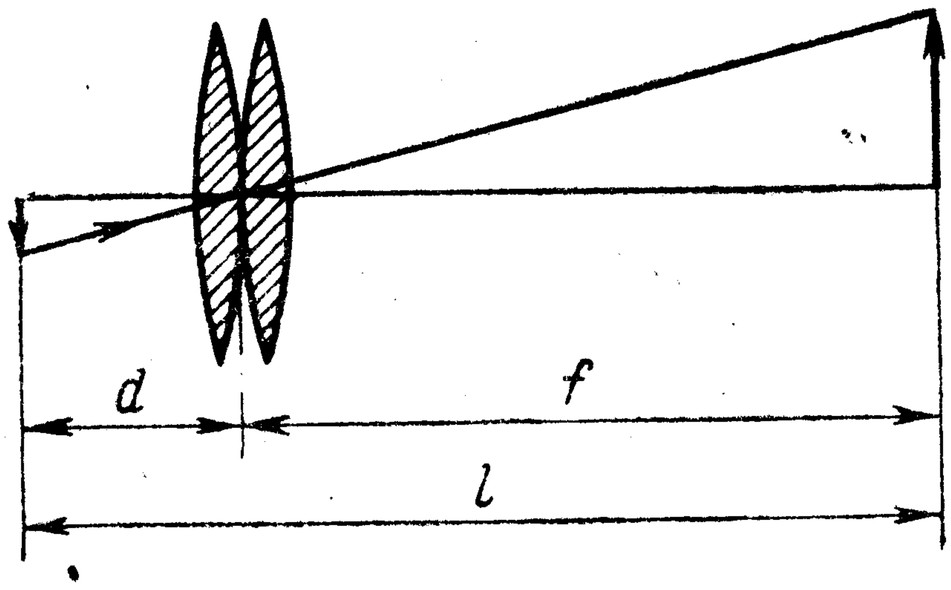


Рис. 119.

$$D = 2D_1$$

или

$$\frac{1}{F} = \frac{2}{F_1},$$

где F — фокусное расстояние системы линз, F_1 — фокусное расстояние одной линзы.

Фокусное расстояние системы линз находим по формуле для собирающей линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{2}{F_1} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{f + d}{df}.$$

По условию задачи

$$\frac{f}{d} = k = 3.$$

и

$$d + f = l.$$

Решая полученную систему уравнений, найдем

$$F_1 = \frac{2lk}{(1+k)^2} = \frac{2 \cdot 80 \cdot 3}{(1+3)^2} = 30 \text{ см} = 0{,}3 \text{ м}.$$

Оптическая сила каждой линзы

$$D_1 = \frac{1}{F_1} = \frac{1}{0{,}3} \approx 3{,}3 \text{ диоптрии}.$$

205. Оптическая сила объектива

$$D = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

где F_1 и F_2 — фокусные расстояния линз объектива.

Решая систему уравнений

$$\frac{F_1}{F_2} = 2 \text{ и } \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} = \frac{11}{3},$$

получим

$$F_1 = \frac{9}{11} \text{ м}, \quad F_2 = \frac{9}{22} \text{ м}.$$

206. Оптическая сила вогнутого зеркала

$$D_1 = \frac{1}{F_1} = \frac{2}{R},$$

где $F_1 = \frac{R}{2}$ — фокусное расстояние зеркала.

Оптическая сила системы равна сумме оптических сил зеркала и водяной линзы:

$$D_c = D_1 + 2D_2,$$

здесь D_2 — оптическая сила водяной линзы.

Оптическая сила водяной линзы удваивается вследствие того, что лучи дважды проходят через нее.

Подставляя данные условия задачи в последнее выражение, имеем

$$5{,}3 = \frac{2}{0{,}5} + 2D_2,$$

откуда $D_2 = 0{,}65$, а фокусное расстояние водяной линзы

$$F_2 = \frac{1}{D_2} = 1{,}54 \text{ м}.$$

207. Формула для выпуклой линзы (рис. 120)

$$\frac{1}{l+F_2}+\frac{1}{x}=\frac{1}{F_1}.$$

Так как по абсолютной величине $F_2=F_1=F$, получим

$$\frac{1}{l+F}+\frac{1}{x}=\frac{1}{F},$$

откуда

$$x=\frac{(l+F)F}{l}=\frac{(100+80)80}{100}=144\ см.$$

208. Так как фокусное расстояние окуляра $F=5\ см$, а расстояние наилучшего зрения $f_1=25\ см$, то расстояние d_1 (рис. 121) действительного изображения от окуляра определяем по формуле линзы

$$-\frac{1}{f_1}+\frac{1}{d_1}=\frac{1}{F},$$

откуда

$$d_1=\frac{f_1F}{F+f_1}.$$

Расстояние d_2 окуляра от полученного изображения при сопряженном фокусе $f_2=25\ см$ находим по аналогичной формуле

$$\frac{1}{f_2}+\frac{1}{d_2`}=\frac{1}{F},$$

отсюда

$$d_2=\frac{f_2F}{f_2-F}.$$

Вычитая из d_2 значение d_1, имеем

$$x=\frac{f_2F}{f_2-F}-\frac{f_1F}{F+f_1}.$$

Поскольку $f_1=f_2=f$, то

$$x=\frac{fF}{f-F}-\frac{fF}{f+F}=\frac{2fF^2}{f^2-F^2}=\frac{2\cdot25\cdot5^2}{25^2-5^2}=2{,}1\ \ см.$$

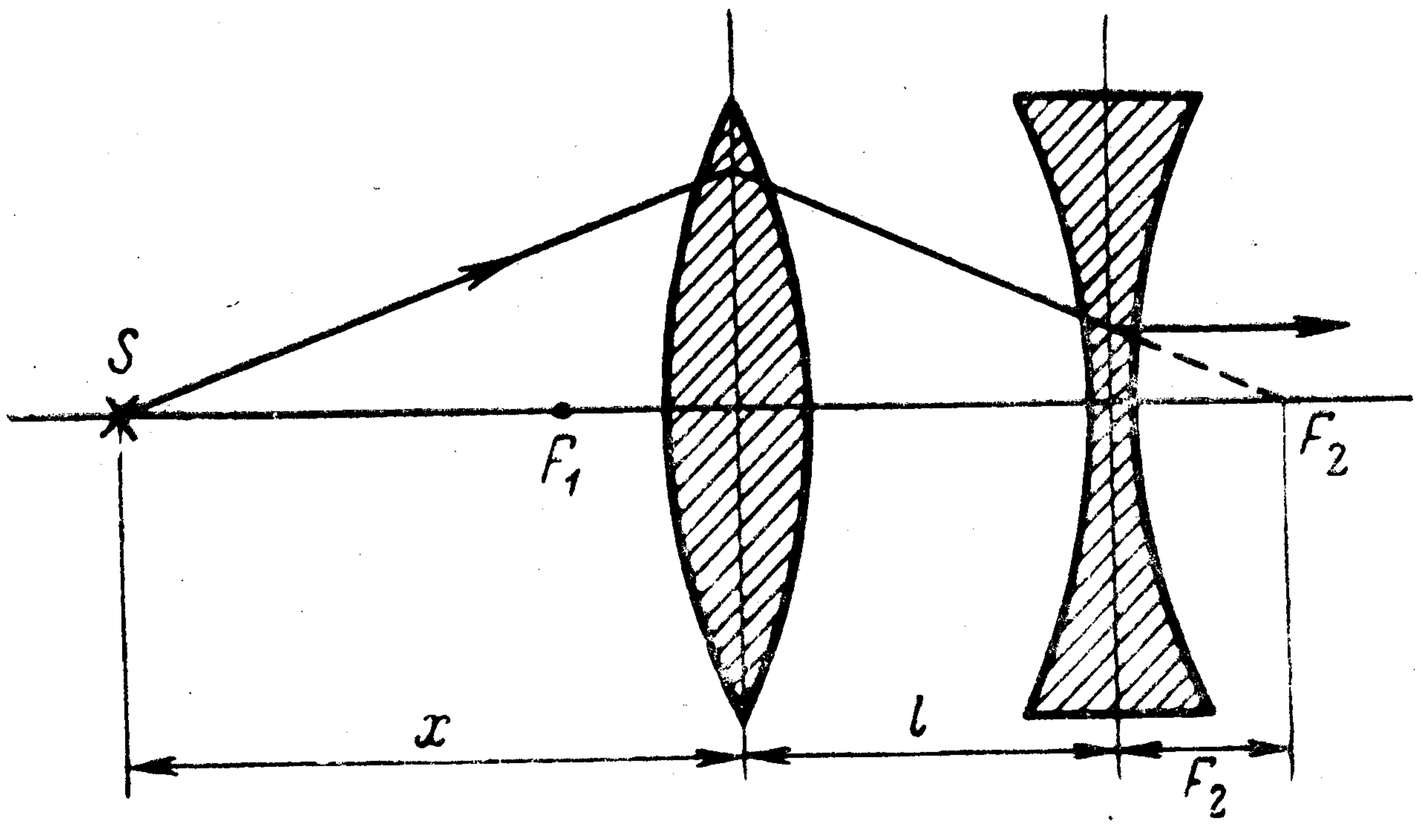


Рис. 120.

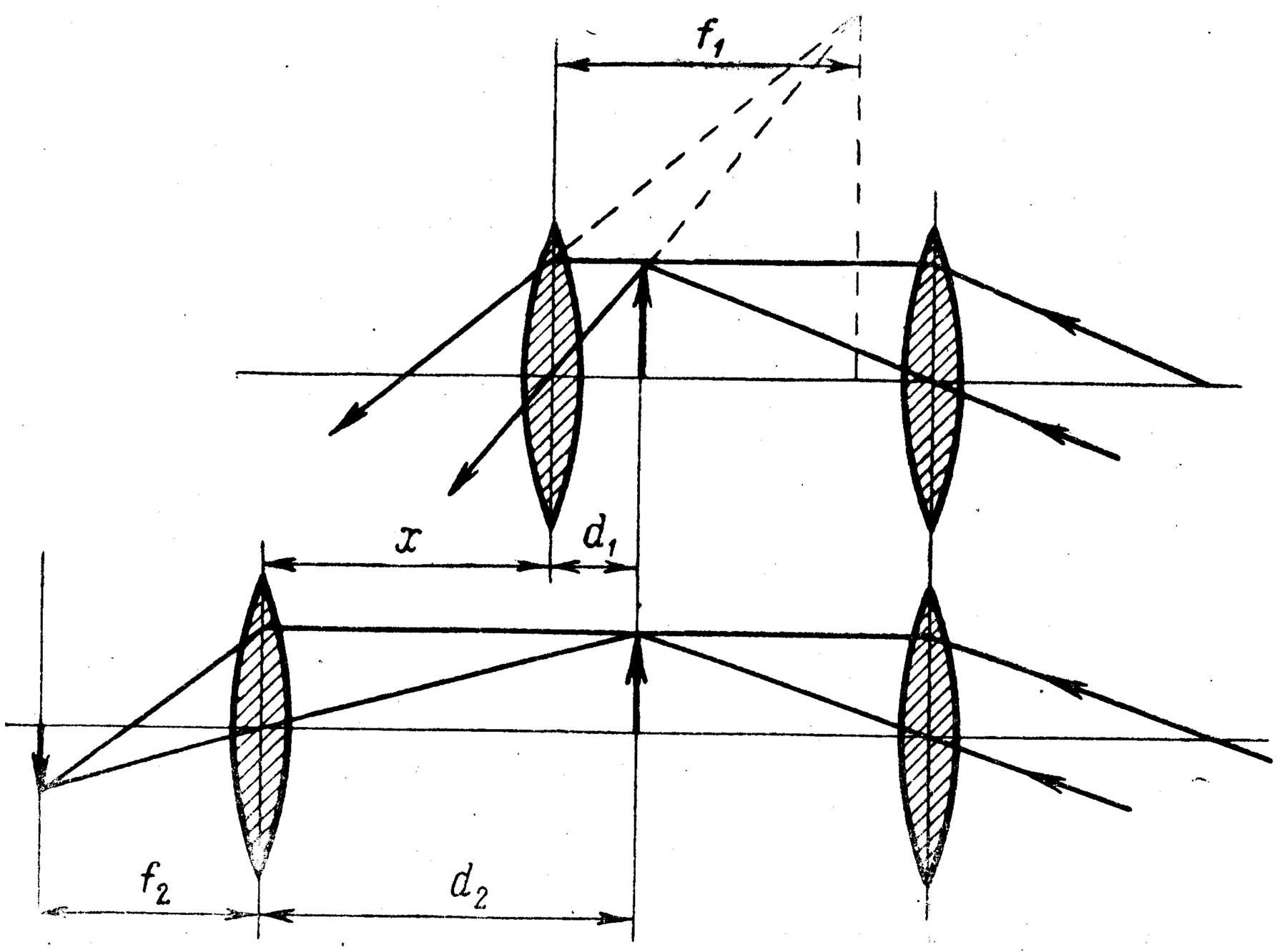


Рис. 121.

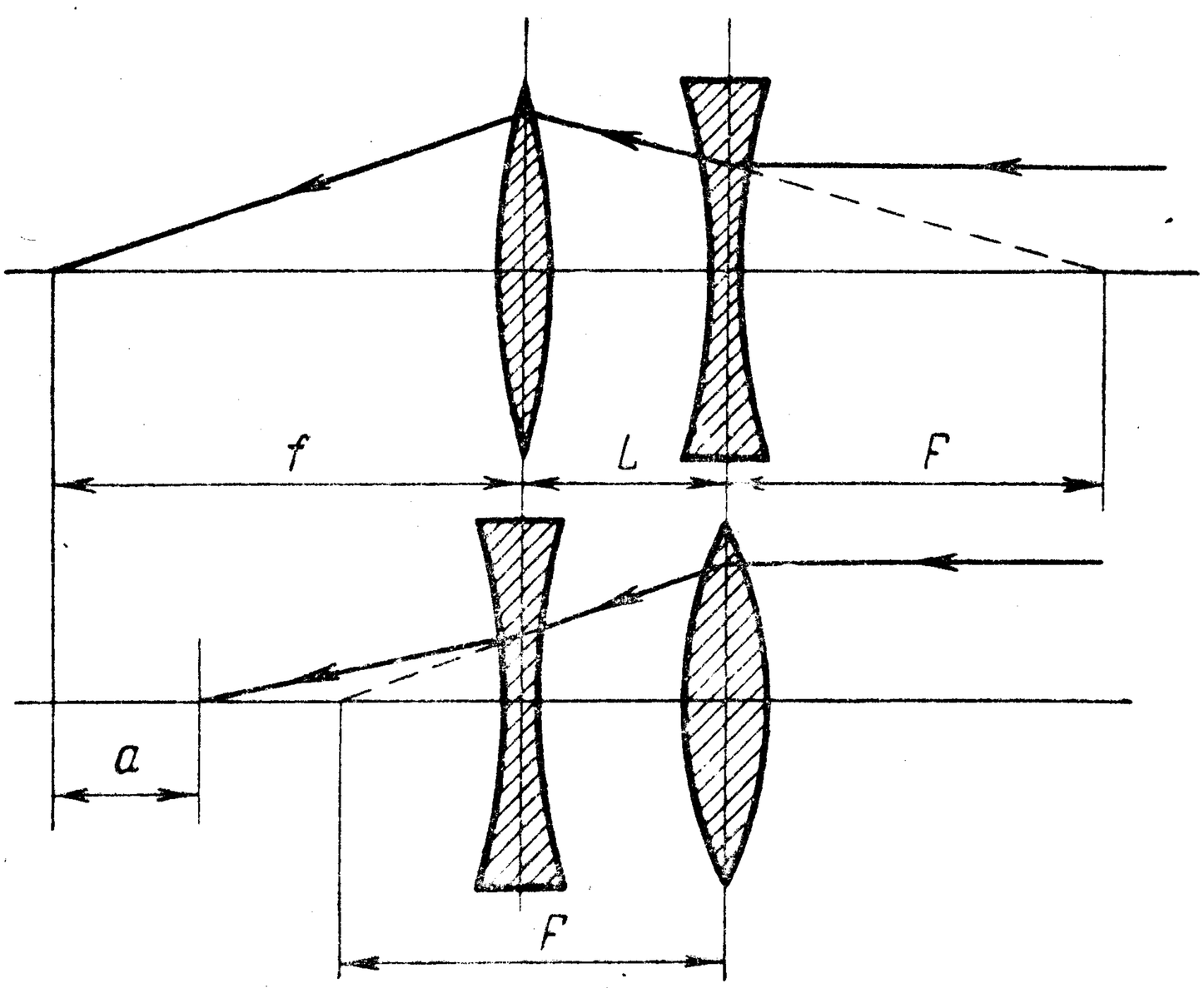


Рис. 122.

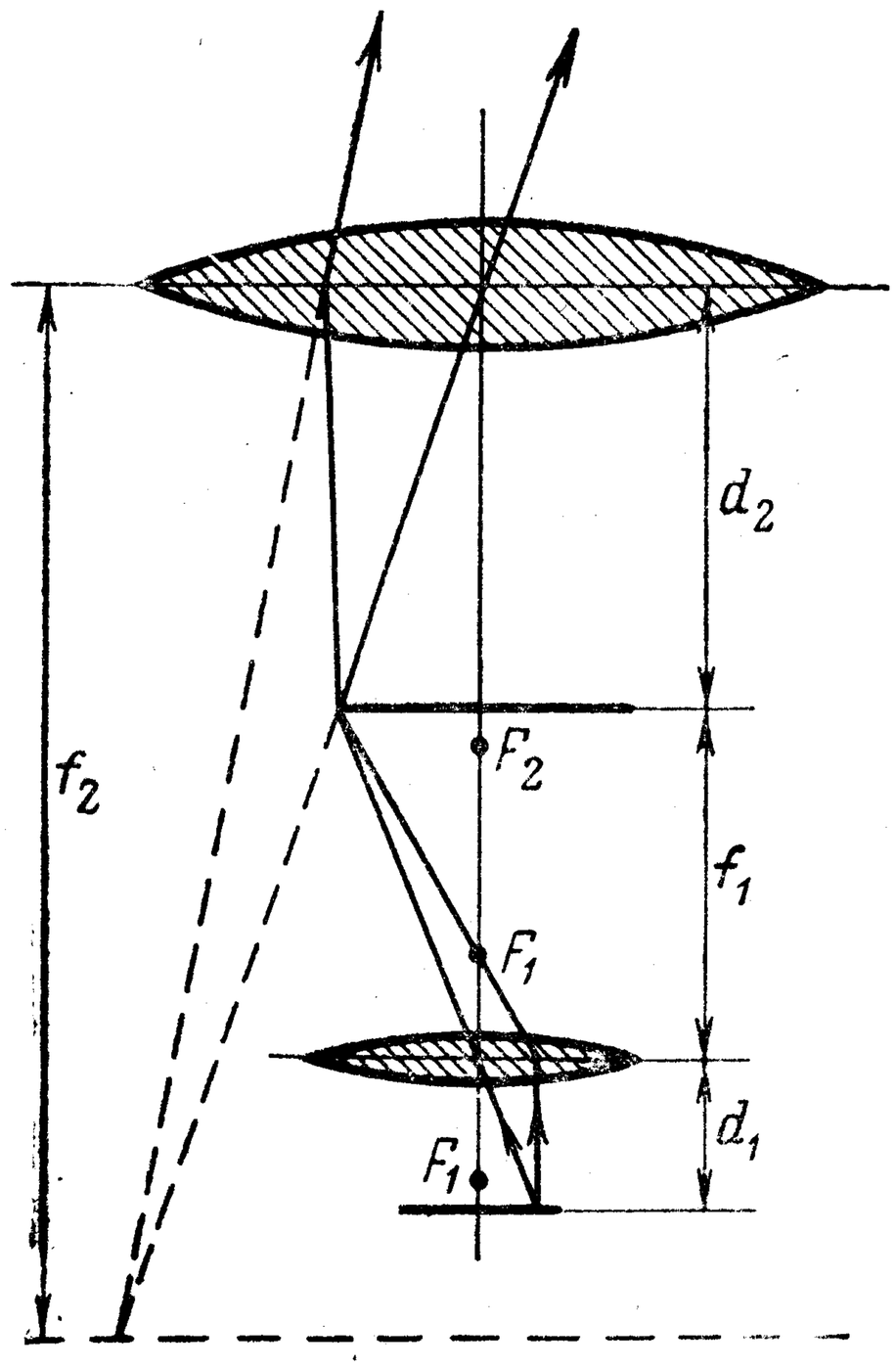


Рис. 123.

209. Пользуясь основной формулой для тонких линз, получим (рис. 122):

для собирающей линзы

$$\frac{1}{F+L}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F},$$

для рассеивающей линзы

$$-\frac{1}{F-L}+\frac{1}{f-a}=-\frac{1}{F}.$$

Решая эти уравнения, находим

$$F=\frac{a}{2}=\frac{20}{2}=10\ см.$$

210. Увеличение микроскопа равно отношению величины мнимого изображения предмета к величине самого предмета. Из рис. 123 видно, что увеличение микроскопа

$$N=\frac{f_1}{d_1}\frac{f_2}{d_2}.$$

Значения f_1 и d_2 можно найти, применяя уравнение для собирающей линзы:

для объектива

$$\frac{1}{f_1}+\frac{1}{d_1}=\frac{1}{F_1},$$

откуда

$$f_1=\frac{d_1F_1}{d_1-F_1};$$

для окуляра

$$\frac{1}{d_2}-\frac{1}{f_2}=\frac{1}{F_2}$$

откуда

$$d_2=\frac{f_2F_2}{f_2+F_2}.$$

Следовательно, увеличение микроскопа

$$N=\frac{f_1}{d_1}\frac{f_2}{d_2}=\frac{F_1}{d_1-F_1}\left(\frac{f_2}{F_2}+1\right)=\frac{5{,}4}{5{,}5-5{,}4}\left(\frac{250}{20}+1\right)=729.$$

где $f_2=250\ мм$ — расстояние наилучшего зрения.

ПРИЛОЖЕНИЯ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПО КУРСУ ФИЗИКИ

1. Что называется материальной точкой?
2. Дайте определение механического движения.
3. Какое движение называется равномерным?
4. Что называется скоростью движения? Какова ее размерность?
5. Какое движение называется переменным и какое равномерно-переменным?
6. Дайте определение средней скорости при равномерно-переменном движении.
7. Что называется ускорением движения?
8. Напишите основные формулы пути, скорости, ускорения при равномерно-переменном движении.
9. Начертите графики скорости равномерно-ускоренного и равномерно-замедленного движений для различных ускорений с начальной и без начальной скорости.
10. Как из графика скорости равномерно-переменного движения вывести формулу пройденного пути? (Рассмотреть случаи ускоренного и замедленного движения.)
11. Напишите основные соотношения для свободного падения тела (и свободного подъема тела, имеющего начальную скорость).
12. Рассмотрите движение на наклонной плоскости. Как влияет угол наклона плоскости на величину ускорения в отсутствии трения?
13. Какое движение называется вращательным?
14. Что называется угловой скоростью?
15. Напишите формулу, выражающую связь угловой скорости с линейной скоростью движения точки по окружности.
16. Сформулируйте первый закон Ньютона.
17. Дайте определение силы и напишите ее размерность.
18. Сформулируйте условие равновесия сил.
19. Приведите примеры сложения и разложения сил, направленных под углом и параллельных.
20. Каково условие равновесия тела на наклонной плоскости?
21. Что такое масса тела?
22. Сформулируйте второй закон Ньютона. Приведите примеры, иллюстрирующие этот закон.

23. Сформулируйте третий закон Ньютона и приведите примеры, доказывающие справедливость этого закона.

24. Что такое количество движения тела?

25. Что называется импульсом силы?

26. Напишите формулу связи между импульсом силы и изменением количества движения тела.

27. В чем состоит закон сохранения количества движения? Приведите примеры.

28. Напишите формулу связи между массой и весом тела, а также между плотностью и удельным весом.

29. Что называется механической работой? Приведите примеры механической работы.

30. Чему равна работа силы тяжести при горизонтальном и вертикальном перемещении тела?

31. Что называется мощностью?

32. Что называется кинетической энергией и потенциальной энергией? Как формулируется в механике закон сохранения энергии? Приведите примеры.

33. Как формулируется закон всемирного тяготения? Что такое гравитационная постоянная тяготения?

34. Почему сила тяжести на Земле меняется с изменением географической широты и с увеличением высоты над поверхностью Земли? Изменяется ли масса тела при изменении его положения относительно Земли?

35. Что такое период колебания маятника, частота, амплитуда?

36. Напишите формулу связи между длиной волны, скоростью распространения волны и периодом колебания.

37. Какие волны называются звуковыми?

38. Что такое высота, тембр и громкость звука?

39. Какие опыты доказывают существование молекул, их движение и силы взаимодействия между ними?

40. Что такое механический эквивалент теплоты?

41. Что такое удельная теплоемкость тела?

42. Что такое коэффициент линейного и объемного расширения? Как они связаны между собой?

43. Почему газ производит давление на стенку сосуда?

44. Сформулируйте закон Бойля — Мариотта и начертите график процесса.

45. Сформулируйте закон Гей — Люссака и начертите график процесса.

46. Сформулируйте закон Шарля и начертите график процесса.

47. Что понимается под абсолютным нулем и абсолютной температурой?

48. Сформулируйте объединенный закон газового состояния.

49. Чем отличаются кристаллические и аморфные тела?

50. В чем состоит процесс плавления?

51. Как изменяется точка плавления от давления?

52. Что такое удельная теплота плавления?
53. В чем состоит процесс испарения?
54. В чем состоит процесс кипения?
55. Что такое удельная теплота парообразования?
56. Что называется абсолютной и относительной влажностью?
57. Что называется электрическим полем?
58. Сформулируйте закон Кулона.
59. Почему заряды распределяются по внешней поверхности проводника? Приведите примеры опытов, иллюстрирующих это явление.
60. Что называется напряженностью электростатического поля? Напишите формулу напряженности поля точечного заряда.
61. Какое электрическое поле считается однородным?
62. Объясните явление электростатической индукции.
63. Что называется поляризацией диэлектрика?
64. Что называется диэлектрической проницаемостью?
65. Почему работа по перемещению заряда в электростатическом поле не зависит от формы пути?
66. Что называется потенциалом данной точки электрического поля?
67. Что называется электроемкостью проводника?
68. От чего зависит электроемкость?
69. Напишите формулы электроемкости уединенного шара и плоского конденсатора.
70. Напишите формулы последовательного и параллельного соединения конденсаторов.
71. Что называется электрическим током? Объясните природу тока в металле, электролите, газе и в вакууме.
72. Что называется силой тока?
73. Что называется электродвижущей силой источника?
74. Сформулируйте закон Ома для участка цепи.
75. Почему при прохождении электрического тока обнаруживается сопротивление проводника?
76. Напишите формулу зависимости сопротивления проводника от температуры.
77. Что называется термическим коэффициентом сопротивления?
78. Выведите формулы для определения сопротивлений при последовательном и параллельном соединении проводников.
79. Сформулируйте закон Ома для всей цепи.
80. Напишите формулы последовательного и параллельного соединения элементов и объясните, в каких случаях следует пользоваться каждым из этих способов включения.
81. Что называется мощностью электрического тока?
82. Почему при прохождении тока в проводнике выделяется тепло?
83. Сформулируйте закон Джоуля — Ленца.
84. Сформулируйте первый закон Фарадея для электролиза.

85. Сформулируйте второй закон Фарадея для электролиза.
86. Чему равно и какой физический смысл числа Фарадея?
87. От чего зависит электропроводность газа?
88. Объясните природу катодных лучей и их свойства.
89. Расскажите опыты, иллюстрирующие наличие магнитного поля вокруг проводника с током.
90. Нарисуйте картины силовых линий прямого, кругового тока и соленоида.
91. Сформулируйте правило буравчика для определения направления магнитных силовых линий в зависимости от направления тока в контуре.
92. Расскажите опыты, иллюстрирующие действие магнитного поля на проводник с током.
93. Какое явление называется самоиндукцией?
94. Что называется индуктивностью и в каких единицах она измеряется?
95. Напишите выражение для электродвижущей силы самоиндукции (через коэффициент самоиндукции).
96. Объясните процесс возникновения переменного тока при вращении рамки в однородном магнитном поле.
97. Что называется частотой переменного тока, периодом, амплитудой?
98. Объясните устройство и принцип действия трансформатора.
99. Объясните работу колебательного контура, состоящего из емкости и индуктивности.
100. Расскажите устройство и работу трехэлектродной электронной лампы.
101. Нарисуйте схему простейшего лампового выпрямителя и объясните принцип его действия.
102. Нарисуйте схему простейшего генератора незатухающих электромагнитных колебаний и объясните принцип его действия.
103. Объясните устройство простейшего лампового радиоприемника.
104. Объясните принцип действия простейшего лампового усилителя электромагнитных колебаний.
105. В чем состоит принцип радиолокации?
106. Сформулируйте законы освещенности.
107. Сформулируйте законы отражения света.
108. Как построить изображения точки и предмета в плоском зеркале? Рассмотреть различные положения точки и предмета относительно зеркала.
109. Постройте изображения точки и предмета при различных положениях их относительно вогнутого зеркала.
110. Постройте изображения точки и предмета при различных положениях их относительно выпуклого зеркала.
111. Сформулируйте законы преломления света.

112. Что называется абсолютным и относительным показателями преломления?

113. Напишите формулу связи между показателями преломления двух сред и скоростями распространения света в них.

114. В чем состоит явление полного внутреннего отражения?

115. Что называется предельным углом полного внутреннего отражения?

116. Постройте ход луча в плоско-параллельной пластине и трехгранной призме для случаев, когда пластина и призма находятся в среде оптически более или менее плотной, чем вещество этих тел.

117. Что называется главной оптической осью, побочной осью, фокусом, фокальной плоскостью линзы, оптической силой линзы?

118. Постройте ход параллельно падающих лучей на собирающую и рассеивающую линзы для случаев, когда линзы находятся в среде оптически более или менее плотной, чем вещество линзы.

119. Постройте изображения точки и предмета в собирающей и рассеивающей линзах при различных положениях точки (предмета).

120. Как изменяется изображение предмета при перемещении линзы между экраном и предметом?

121. Постройте ход лучей в следующих оптических приборах: лупе, микроскопе, телескопе, фотоаппарате, бинокле.

122. В чем состоит явление диффракции света?

123. Объясните происхождение линейчатых спектров вещества.

124. Какие спектры называются сплошными и какие тела дают такие спектры?

125. Каковы свойства инфракрасных и ультрафиолетовых лучей?

126. Как получаются и каковы свойства рентгеновских лучей?

127. В чем состоит явление фотоэффекта?

128. Как устроены атомы простейших веществ?

129. Как устроено ядро атома?

130. Как осуществляется ядерная реакция?

131. Какие элементарные частицы Вам известны? Дайте краткую характеристику каждой частицы.

I. МЕХАНИКА

Путь s, пройденный материальной точкой за время t при равномерном движении со скоростью v, выражается зависимостью

$$s = vt.$$

При равномерно-переменном движении скорость изменяется по закону

$$v_t = v_0 + at,$$

где v_t — скорость через промежуток времени t после начала наблюдения, v_0 — начальная скорость, a — ускорение.

Формула пути, пройденного телом при равномерно-переменном движении за время t с начальной скоростью v_0 и ускорением a,

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

или

$$s = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a}.$$

Если начальная скорость отсутствует, т. е. при $v_0 = 0$, формулы ускоренного движения принимают вид:

$$v_t = at,$$

$$s = \frac{at^2}{2},$$

$$s = \frac{v_t^2}{2a}.$$

Из последней формулы имеем

$$v_t = \sqrt{2sa}.$$

При свободном падении тела под действием силы земного притяжения

$$a = g.$$

При равномерном вращательном движении материальной точки с линейной скоростью v по окружности, радиус которой R, возникает центростремительное ускорение

$$a = \frac{v^2}{R}.$$

Угловая скорость ω равномерного вращательного движения зависит от угла φ, пройденного за единицу времени радиусом, проведенным из центра вращения:

$$\omega = \frac{\varphi}{T}.$$

Угловая скорость ω в зависимости от периода вращения T и числа оборотов n в секунду может быть выражена

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \quad \omega = 2\pi n.$$

Связь между угловой скоростью ω и линейной скоростью v тела, находящегося на расстоянии R от центра вращения,

$$v = \omega R.$$

Зависимость между удельным весом тела d, весом тела P и объемом V

$$d = \frac{P}{V}.$$

Зависимость между плотностью D, массой m и объемом V

$$D = \frac{m}{V}.$$

Так как $P = mg$, то $d = Dg$.

При действии силы F тело массой m приобретает ускорение a независимо от того, в каком состоянии оно находилось до действия силы — в покое или движении:

$$a = \frac{F}{m} \quad \text{(второй закон Ньютона)},$$

откуда

$$F = ma.$$

Если на тело действует ряд сил, то каждая сила вызывает пропорциональное ей ускорение. Общее ускорение тела равно геометрической сумме отдельных ускорений.

Произведение массы тела m на скорость движения v называется количеством движения, а произведение действующей на тело силы F на время t действия силы — импульсом силы. Изменение количества движения равно импульсу силы:

$$mv = Ft.$$

Без воздействия внешней силы количество движения тела остается постоянным (закон сохранения количества движения).

Если два движущихся со скоростью v_1 и v_2 тела массами m_1 и m_2 взаимодействуют между собой, то геометрическая сумма количества движения тел после взаимодействия равна геометрической сумме количества движения тел до взаимодействия, т. е.

$$m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2 = m_1 \bar{u}_1 + m_2 \bar{u}_2$$ (закон сохранения количества движения),

где $\bar{u}_1$ и $\bar{u}_2$ — векторы скоростей тел после взаимодействия.

Если при действии силы F тело проходит расстояние s и направление действия силы составляет угол α с направлением пути, по которому перемещалось тело, то работа

$$A = Fs \cos \alpha.$$

Работа, совершаемая за единицу времени, называется мощностью и выражается

$$N = \frac{A}{t}.$$

При движении со скоростью v тело массой m обладает кинетической энергией $E_{кин}$, равной половине произведения массы тела на квадрат скорости:

$$E_{кин} = \frac{mv^2}{2}.$$

Если движущееся со скоростью v_1 тело массой m совершает работу A и скорость тела изменяется до значения v_2, то по закону сохранения энергии изменение кинетической энергии тела равно произведенной работе:

$$A = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2}.$$

Потенциальная энергия $E_{пот}$ тела массой m, поднятого на высоту h над Землей, равна произведенной работе:

$$E_{пот} = mgh.$$

Между всеми телами существуют силы притяжения, величина которых определяется по закону всемирного тяготения:

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

где γ — постоянная тяготения, r — расстояние между массами m_1 и m_2.

При вращении тела массой m по окружности, радиус которой R, с линейной скоростью v возникает центростремительная сила

$$F = \frac{mv^2}{R}$$

или, выражая линейную скорость тела через угловую скорость ω,

$$F = m\omega^2 R.$$

Период колебаний T математического маятника длиной l под действием земного тяготения

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

где g — ускорение земного тяготения.

Смещение x точки при гармоническом колебании с амплитудой колебаний a, угловой частотой колебаний (угловой скоростью) ω и начальной фазой колебаний φ

$$x = a\sin(\omega t - \varphi).$$

Ссотношение между частотой колебаний f, угловой частотой колебаний ω и периодом колебаний T

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

или

$$\omega = 2\pi f.$$

Соотношение между скоростью распространения волн v, длиной волны λ, частотой f и периодом колебаний T

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f.$$

Гидростатическое давление p зависит от глубины погружения h и удельного веса жидкости d:

$$p = hd.$$

Закон Паскаля. Давление, производимое на жидкость или газ, заключенные в замкнутом сосуде, передается ими равномерно во все стороны перпендикулярно к стенкам сосуда.

Закон Архимеда. Сила F, действующая на тело, находящееся в жидкости (газе), равна весу жидкости (газа) в объеме V, равном объему тела, направлена вертикально вверх и приложена в центре тяжести этого объема:

$$F = Vd,$$

где d — удельный вес жидкости (газа).

СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Система СГС

Основные единицы: длина — 1 *см*, время — 1 сек., масса — 1 *г*.

Производные единицы:

Единица силы — 1 *дн* — сила, сообщающая массе 1 *г* ускорение 1 *см/сек*^{2}.

Единица энергии, работы — 1 *эрг* — работа, совершаемая силой в 1 *дн* на пути в 1 *см*.

Единица мощности — 1 *эрг/сек*.

Единица давления — 1 *дн/см*^{2} — давление, производимое силой в 1 *дн* на площадь в 1 *см*^{2}.

Единица плотности — 1 *г/см*^{3}.

Единица удельного веса — 1 *дн/см*^{3}.

Система МКС (практическая)

Основные единицы: длина — 1 *м*, время — 1 сек., масса — 1 *кг*.

Производные единицы:

Единица силы — 1 *н* — сила, сообщающая массе 1 *кг* ускорение 1 *м/сек*^{2}.

Единица энергии, работы — 1 *дж* — работа, совершаемая силой в 1 *н* на пути в 1 *м*.

Единица мощности — 1 *вт* = 1 *дж/сек*.

Единица давления — 1 *н/м*^{2} — давление, производимое силой в 1 *н* на площадь в 1 *м*^{2}.

Единица плотности — 1 *кг/м*^{3}.

Единица удельного веса — 1 *н/м*^{3}.

Система МКГС (техническая)

Основные единицы: длина — 1 *м*, время — 1 сек., сила — 1 *кГ*.

Производные единицы:

Единица массы — 1 тем (техническая единица массы) — масса, которой сила в 1 *кГ* сообщает ускорение 1 *м/сек*^{2}.

Единица энергии, работы — 1 *кГм* — работа, совершаемая силой в 1 *кГ* на пути в 1 *м*.

Единица мощности — 1 *кГм/сек* или 1 *л. с.* = 75 *кГм/сек*.

Единица давления — 1 *кГ/м*^{2} или 1 *кГ/см*^{2} = 1 *атм*.

Единица плотности — 1 *тем/м*^{3}.

Единица удельного веса — 1 *кГ/м*^{3} или 1 *Г/см*^{3}.

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ НЕКОТОРЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ ЕДИНИЦАМИ

Соотношение между единицами массы

$$1 \text{ тем} = 9{,}8 \text{ кг} = 9{,}8 \cdot 10^3 \text{ г}.$$

Соотношение между единицами силы

$$1\ кГ = 1\ тем \cdot 1\ м/сек^2 = 9{,}8\ кг\ м/сек^2 = 9{,}8\ н,$$

$$1\ н = 1\ кг \cdot 1\ м/сек^2 = 1000\ г \cdot 100\ см/сек^2 = 10^5\ дн.$$

Следовательно,

$$1\ кГ = 9{,}8\ н = 9{,}8 \cdot 10^5\ дн.$$

Соотношение между единицами энергии, работы

$$1\ кГм = 9{,}8\ н \cdot 1\ м = 9{,}8\ дж,$$

$$1\ дж = 1\ н \cdot 1\ м = 1\ кг\ м^2/сек^2 = 1000\ г \cdot 10\,000\ см^2/сек^2 = 10^7\ эрг.$$

Следовательно,

$$1\ кГм = 9{,}8\ дж = 9{,}8 \cdot 10^7\ эрг.$$

ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Величина	Обозначение	Формула	Системы единиц		
			СГС	МКС (практическая)	МКГС (техническая)
Скорость	v	$v = \frac{s}{t}$	$\frac{см}{сек}$	$\frac{м}{сек}$	$\frac{м}{сек}$
Ускорение	a	$a = \frac{v}{t}$	$\frac{см}{сек^2}$	$\frac{м}{сек^2}$	$\frac{м}{сек^2}$
Сила	F	$F = ma$	$дн = \frac{г\ см}{сек^2}$	$н = \frac{кг\ м}{сек^2}$	$кГ$
Масса	m	$m = \frac{F}{a}$	$г$	$кг$	$тем = \frac{кГ\ сек^2}{м}$
Работа	A	$A = Fs$	$эрг = дн\ см = \frac{г\ см^2}{сек^2}$	$дж = \frac{кг\ м^2}{сек^2}$	$кГм$
Мощность	N	$N = \frac{A}{t}$	$\frac{эрг}{сек} = \frac{г см^2}{сек^3}$	$\frac{дж}{сек} = вт = \frac{кг\ м^2}{сек^3}$	$\frac{кГм}{сек}$
Плотность	D	$D = \frac{m}{V}$	$\frac{г}{см^3}$	$\frac{кг}{м^3}$	$\frac{тем}{м^3} = \frac{кГ\ сек^2}{м^4}$
Удельный вес	d	$d = \frac{P}{V}$	$\frac{дн}{см^3} = \frac{г}{см^2 сек^2}$	$\frac{н}{м^3} = \frac{кг}{м^2 сек^2}$	$\frac{кГ}{м^3}$

II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Коэффициент линейного расширения тел

$$\alpha = \frac{l_t - l_0}{l_0 (t - t_0)},$$

где l_t — длина стержня при температуре t, l_0 — длина стержня при температуре t_0.

Коэффициент поверхностного (квадратного) расширения тел

$$\gamma = \frac{S_t - S_0}{S_0 (t - t_0)},$$

где S_t — поверхность тела при температуре t, S_0 — поверхность тела при температуре t_0.

Коэффициент объемного расширения тел

$$\beta = \frac{V_t - V_0}{V_0 (t - t_0)},$$

где V_t — объем тела при температуре t, V_0 — объем тела при температуре t_0.

Приближенное соотношение между α, γ и β: $\gamma = 2\alpha$; $\beta = 3\alpha$.

Плотность тела при температуре t

$$D_t = \frac{D_0}{[1 + \beta (t - t_0)]},$$

где D_0 — плотность тела при температуре t_0.

Количество тепла Q, затраченное на нагревание тела массой m,

$$Q = mc (t - t_0),$$

где c — средняя удельная теплоемкость тела для интервала температур $t - t_0$.

Уравнение теплового баланса

$$mc (t - t_0) = m_1 c_1 (t_1 - t),$$

где c и c_1 — удельные теплоемкости тел, t — температура тел после теплообмена, t_0 — начальная температура тела массой m, t_1 — начальная температура тела массой m_1.

Количество тепла Q, необходимое для превращения массы твердого тела m при температуре плавления в жидкость,

$$Q = m\lambda,$$

где λ — удельная теплота плавления.

Количество тепла Q, необходимое для превращения жидкости массой m в пар,

$$Q = mr,$$

где r — удельная теплота парообразования.

Абсолютная температура газа (тела)

$$T = t°\text{C} + 273°.$$

Закон Бойля — Мариотта. Для данной массы газа при неизменной температуре произведение объема V, занимаемого газом, на давление p, под которым газ находится, постоянно ($pV = \text{const}$ при $T = \text{const}$).

Зависимость между плотностью газа и его давлением при $T = \text{const}$

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{p_1}{p_2},$$

где D_1 — плотность газа при давлении p_1, D_2 — плотность газа при давлении p_2.

Закон Гей — Люссака

$$V_t = V_0(1 + \beta t) \text{ при } p = \text{const},$$

где V_t — объем газа при температуре t, V_0 — объем газа при температуре 0°С, $\beta = \frac{1}{273}$ — коэффициент объемного расширения газа.

Другая форма записи закона Гей — Люссака

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ при } p = \text{const},$$

где V_1 — объем газа при температуре T_1, V_2 — объем газа при температуре T_2.

Закон Шарля

$$p_t = p_0(1 + \beta t) \text{ при } V = \text{const},$$

где p_t — давление газа при температуре t, p_0 — давление газа при температуре 0°С, $\beta = \frac{1}{273}$ — термический коэффициент давления газа.

Другая форма записи закона Шарля

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ при } V = \text{const},$$

где p_1 — давление газа при температуре T_1, p_2 — давление газа при температуре T_2.

Уравнение состояния идеального газа

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{pV}{T} = \text{const}.$$

Уравнение Клапейрона — Менделеева для газа массой m

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

где μ — молекулярный вес газа, R — универсальная газовая постоянная.

Закон Дальтона

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \ldots + p_n,$$

где p — общее давление смеси химически нереагирующих газов, $p_1, p_2, p_3, \ldots, p_n$ — парциальные давления, оказываемые каждым из входящих в смесь газов.

Зависимость плотности газа от температуры

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

где D_t — плотность газа при температуре t, D_0 — плотность газа при температуре 0°С, $\beta = \frac{1}{273}$ — коэффициент объемного расширения газа.

III. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Закон Кулона. Сила взаимодействия между точечными зарядами q_1 и q_2, находящимися на расстоянии r в среде с диэлектрической проницаемостью ε,

$$F = \frac{q_1 q_2}{\varepsilon r^2}.$$

Поверхностная плотность электричества

$$\sigma = \frac{q}{S},$$

где q — заряд, расположенный на поверхности, S — ее площадь.

Напряженность электрического поля

$$E = \frac{F}{q},$$

где F — сила, с которой электрическое поле действует на единичный положительный заряд q.

Напряженность электрического поля точечного заряда

$$E = \frac{q}{r^2},$$

где r — расстояние от q до точки, в которой величина напряженности электрического поля равна E.

Потенциал (напряжение) точки электрического поля

$$U = \frac{A}{q},$$

где A — работа электрических сил по перемещению единичного положительного заряда q из бесконечности в данную точку поля.

Потенциал точки электрического поля, находящейся на расстоянии r от заряда q,

$$U = \frac{q}{r}.$$

Работа электрических сил по перемещению точечного заряда из точки поля с потенциалом U_1 в точку поля с потенциалом U_2

$$A = q\,(U_1 - U_2).$$

Электроемкость уединенного проводника

$$C = \frac{q}{U},$$

где q — заряд, находящийся на проводнике, U — его потенциал.

Электроемкость уединенного металлического шара, радиус которого r, находящегося в среде с диэлектрической проницаемостью ε,

$$C = \varepsilon r.$$

Электроемкость плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon S}{4\pi d},$$

где S — площадь пластин конденсатора, d — расстояние между ними.

Диэлектрическая проницаемость среды

$$\varepsilon = \frac{C}{C_0},$$

где C — электроемкость конденсатора с диэлектриком, C_0 — электроемкость конденсатора в воздухе.

Сила тока в проводнике

$$I = \frac{q}{t},$$

где q — количество электричества (заряд), проходящее через поперечное сечение проводника за время t.

Плотность электрического тока

$$i = \frac{I}{S},$$

где S — площадь поперечного сечения проводника.

Первый закон Фарадея

$$m = kq,$$

где m — масса вещества, выделенная при электролизе, k — электрохимический эквивалент вещества, q — количество электричества, прошедшее через электролит.

Второй закон Фарадея

$$k = \frac{A}{n}\frac{1}{F},$$

где $\frac{A}{n}$ — химический эквивалент вещества (A — атомный вес вещества, n — валентность).

Общий закон Фарадея

$$m = \frac{1}{F}\frac{A}{n}It,$$

где $F = 96\,500$ *к/г-экв* — число Фарадея.

Заряд одновалентного иона

$$q = \frac{F}{N},$$

где $N = 6{,}06 \cdot 10^{23}$ *молекул/г-моль* — число Авогадро.

Закон Ома для участка цепи

$$I = \frac{U}{R},$$

где I — сила тока в цепи, U — разность потенциалов на концах проводника, R — сопротивление проводника.

Зависимость сопротивления проводника от его длины l и площади поперечного сечения S

$$R = \rho\frac{l}{S},$$

где ρ — удельное сопротивление проводника, т. е. сопротивление проводника длиной 1 *см* и площадью сечения 1 $см^2$.

Зависимость сопротивления от температуры

$$R_t = R_0(1 + \alpha t),$$

где R_t — сопротивление проводника при температуре t, R_0 — сопротивление проводника при температуре 0°С, α — термический коэффициент сопротивления.

Формула общего сопротивления R при последовательном соединении проводников с сопротивлениями R_1, R_2 и т. д.

$$R = R_1 + R_2 + \ldots + R_n,$$

где R — сопротивление всей цепи.

Формула параллельного соединения проводников

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n},$$

где $\frac{1}{R}$ — проводимость всей цепи.

Закон Ома для полной цепи

$$I = \frac{E}{R + r},$$

где E — электродвижущая сила источника тока, r — внутреннее сопротивление, R — сопротивление внешней цепи.

Последовательное соединение элементов с одинаковой э. д. с. в батарее

$$I = \frac{nE}{R + rn},$$

где n — число элементов.

Параллельное соединение элементов с одинаковой э. д. с. в батарее

$$I = \frac{E}{R + \frac{r}{n}}.$$

Работа постоянного электрического тока

$$A = IUt,$$

где t — время прохождения тока.

Мощность постоянного электрического тока

$$N = IU.$$

Закон Джоуля — Ленца

$$Q = 0{,}24\, I^2 Rt,$$

$$Q = 0{,}24\, IUt,$$

$$Q = 0{,}24 \frac{U^2}{R} t,$$

где Q — количество тепла, выделенное током I за время t, U — разность потенциалов на концах проводника, R — сопротивление проводника.

Напряженность магнитного поля

$$H = \frac{F}{Il},$$

где F — сила, с которой однородное магнитное поле с напряженностью H действует на проводник длиной l, расположенный перпендикулярно силовым линиям, I — сила тока в проводнике.

Магнитный поток

$$\Phi = HS,$$

где S — площадь, перпендикулярная силовым линиям.

Закон Фарадея для электромагнитной индукции

$$E = -k\frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

где E — э. д. с. индукции, возникающая в контуре, $\Delta\Phi$ — изменение магнитного потока в контуре за время Δt. Знак минус означает справедливость закона Ленца.

Электродвижущая сила самоиндукции

$$E = -L\frac{\Delta I}{\Delta t},$$

где L — индуктивность проводника, ΔI — изменение силы тока в проводнике за время Δt.

Зависимость э. д. с., возникающей в якоре, от угловой скорости вращения

$$E = E_0 \sin \omega t,$$

где E_0 — амплитудное значение э. д. с., $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ — угловая, или циклическая, частота вращения (f — частота, T — период вращения).

Эффективное значение силы тока

$$I_{эфф} = \frac{I_0}{\sqrt{2}},$$

где I_0 — амплитудное значение силы тока.

Эффективное значение э. д. с.

$$E_{эфф} = \frac{E_0}{\sqrt{2}},$$

где E_0 — амплитудное значение э. д. с.

Эффективное значение напряжения

$$U_{эфф} = \frac{U_0}{\sqrt{2}},$$

где U_0 — амплитудное значение напряжения.

Коэффициент трансформации

$$k = \frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2},$$

где n_1 — число витков проволоки в первичной обмотке, n_2 — число витков во вторичной обмотке.

Зависимость между токами в обмотках трансформатора и числом витков в обмотках

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1},$$

где I_1 и I_2 — сила тока в первичной и вторичной обмотках.

Коэффициент полезного действия трансформатора

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1} 100\%,$$

где N_1 — мощность тока в первичной обмотке, N_2 — мощность тока во вторичной обмотке.

Период свободных (без потерь энергии) колебаний в контуре Томсона

$$T = 2\pi \sqrt{LC}.$$

Длина электромагнитной волны

$$\lambda = cT = \frac{c}{f},$$

где $c = 3 \cdot 10^{10}$ *см/сек* — скорость распространения электромагнитных волн в вакууме.

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Величина	Обозначение	Формула	Системы единиц: СГСЕ (электростатическая)	Системы единиц: МКСА (практическая)	Соотношение между единицами
Количество электричества	q	$q = r\sqrt{F\varepsilon}$	$\text{СГСЕ}_{(q)}$	*к*	$к = 3 \cdot 10^9\ \text{СГСЕ}_{(q)}$
Напряженность электрического поля	E	$E = \frac{F}{q}$	$\text{СГСЕ}_{(E)}$	*в/м*	$\frac{в}{м} = \frac{1}{3 \cdot 10^4}\ \text{СГСЕ}_{(E)}$
Потенциал	U	$U = \frac{A}{q}$	$\text{СГСЕ}_{(U)}$	*в*	$в = \frac{1}{300}\ \text{СГСЕ}_{(U)}$
Сила тока	I	$I = \frac{q}{t}$	$\text{СГСЕ}_{(I)}$	*а*	$а = 3 \cdot 10^9\ \text{СГСЕ}_{(I)}$
Сопротивление	R	$R = \frac{U}{I}$	$\text{СГСЕ}_{(R)}$	*ом*	$ом = \frac{1}{9 \cdot 10^{11}}\ \text{СГСЕ}_{(R)}$
Энергия, работа	A	$A = IUt$	*эрг*	*дж*	$дж = 10^7$ *эрг*
Мощность	N	$N = IU$	$\frac{эрг}{сек}$	*вт*	$вт = 10^7 \frac{эрг}{сек}$
Емкость	C	$C = \frac{q}{U}$	*см*	*ф*	$ф = 9 \cdot 10^{11}$ *см*

IV. ОПТИКА

Световой поток

$$\Phi = \frac{W}{t},$$

где W — световая энергия, падающая на площадку за время t.

Сила света

$$I = \frac{\Phi}{\omega},$$

где ω — телесный угол, внутри которого распространяется световой поток Φ.

Полный световой поток, излучаемый точечным источником по всем направлениям,

$$\Phi = 4\pi I.$$

Освещенность

$$E = \frac{\Phi}{S},$$

где S — площадь поверхности, на которую падает световой поток Φ.

Освещенность поверхности точечным источником

$$E = \frac{I}{r^2},$$

где r — кратчайшее расстояние от источника до поверхности.

Зависимость освещенности от угла падения лучей

$$E = E_0 \cos\alpha = \frac{I}{r^2}\cos\alpha,$$

где E_0 — освещенность площади при нормальном падении лучей.

Сравнение силы света двух источников

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2},$$

где I_1 и I_2 — сила света источников, r_1 и r_2 — расстояния от источников до освещаемой поверхности.

Закон преломления света

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n,$$

где α — угол падения лучей из вакуума, показатель преломления которого равен единице, γ — угол преломления лучей в среде, n — показатель преломления среды.

Абсолютный показатель преломления света данной среды

$$n = \frac{c}{v},$$

где c — скорость света в вакууме, v — скорость света в данной среде.

Относительный показатель преломления двух сред

$$n_{1,2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1},$$

где n_1 и n_2 — абсолютные показатели преломления, v_1 и v_2 — скорости распространения света.

Зависимость между длинами волн и абсолютными показателями преломления света

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1},$$

где λ_1 и λ_2 — длины волн света в первой и второй средах.

Предельный угол полного внутреннего отражения

$$\sin\gamma = \frac{1}{n},$$

где n — относительный показатель преломления двух сред.

Оптическая сила собирающей линзы

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

где F — главное фокусное расстояние, d — расстояние от линзы до предмета, f — расстояние от линзы до изображения.

Увеличение собирающей линзы

$$N = \frac{f}{d}.$$

Оптическая сила рассеивающей линзы

$$-D = -\frac{1}{F} = -\frac{1}{f} + \frac{1}{d}.$$

Увеличение микроскопа

$$N = \frac{\delta \cdot 25}{F_1 F_2},$$

где δ — длина тубуса микроскопа, 25 *см* — расстояние наилучшего зрения (для человека с нормальным зрением), F_1 и F_2 — фокусные расстояния объектива и окуляра.

Формула Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2},$$

где $h = 6{,}55 \cdot 10^{-27}$ *эрг сек* — постоянная Планка, ν — частота падающего света, A — работа выхода электрона из металла, $\frac{mv^2}{2}$ — кинетическая энергия электрона после преодоления работы выхода (m — масса электрона, v — скорость движения).

ОСНОВНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Величина	Формула	Единицы измерения		
		Оптическая	Энергетическая	
			СГС	МКСА (практическая)
Световой поток	$\Phi = \frac{W}{t}$	1 люмен (*лм*)	*эрг/сек*	*вт*
Сила света	$I = \frac{\Phi}{\omega}$	1 свеча (*св*) $= \frac{лм}{стер}$	*эрг/сек стер*	*вт/стер*
Освещенность	$E = \frac{\Phi}{S}$	1 люкс (*лк*) $= \frac{1\ лм}{1\ м^2}$ 1 фот (*фот*) $= \frac{1\ лм}{1\ см^2}$	*эрг/см² сек*	*вт/см²*
Оптическая сила линзы	$D = \frac{1}{F}$	1 диоптрия	—	*1/м*
Длина волны		1 ангстрем (1 Å) $= 10^{-8}$ *см* $= 10^{-7}$ *мм* $= 10^{-4}$ *мк*	—	—

МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ (СИ) ПО ГОСТу 9867-61

Величина	Единица измерения	Сокращенные обозначения единиц		Размер производных единиц
		русские	латинские или греческие	
1	2	3	4	5
Основные единицы				
Длина	метр	*м*	*m*	—
Масса	килограмм	*кг*	*kg*	—
Время	секунда	*сек*	*s*	—
Сила электрического тока	ампер	*а*	*A*	—
Термодинамическая температура	градус Кельвина	°К	°K	—
Сила света	свеча	*св*	*cd*	—
Дополнительные единицы				
Плоский угол	радиан	*рад*	*rad*	—
Телесный угол	стерадиан	*стер*	*sr*	—
Производные единицы				
Площадь	квадратный метр	$м^2$	m^2	$(1\ м)^2$
Объем	кубический метр	$м^3$	m^3	$(1\ м)^3$
Частота	**герц**	*гц*	*Hz*	1 : (1 *сек*)
Плотность (объемная масса)	килограмм на кубический метр	$кг/м^3$	kg/m^3	$(1\ кг) : (1\ м)^3$

1	2	3	4	5
Скорость	метр в секунду	*м/сек*	*m/s*	(1 *м*):(1 *сек*)
Угловая скорость	радиан в секунду	*рад/сек*	*rad/s*	(1 *рад*):(1 *сек*)
Ускорение	метр на секунду в квадрате	*м/сек*^{2}	*m/s*^{2}	(1 *м*):(1 *сек*)^2
Угловое ускорение	радиан на секунду в квадрате	*рад/сек*^{2}	*rad/s*^{2}	(1 *рад*):(1 *сек*)^2
Сила	ньютон	*н*	*N*	(1 *кг*) · (1 *м*):(1 *сек*)^2
Давление (механическое напряжение)	ньютон на квадратный метр	*н/м*^{2}	*N/m*^{2}	(1 *н*): (1 *м*)^2
Динамическая вязкость	ньютон-секунда на квадратный метр	*н · сек/м*^{2}	*Ns/m*^{2}	(1 *н*) · (1 *сек*) : (1 *м*)^2
Кинематическая вязкость	квадратный метр на секунду	*м*^{2}*/сек*	*m*^{2}*/s*	(1 *м*)^2 : (1 *сек*)
Работа, энергия, количество теплоты	джоуль	*дж*	*J*	(1 *н*) · (1 *м*)
Мощность	ватт	*вт*	*W*	(1 *дж*) : (1 *сек*)
Количество электричества, электрический заряд	кулон	*к*	*C*	(1 *а*) · (1 *сек*)
Электрическое напряжение, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	вольт	*в*	*V*	(1*вт*) : (1*а*)
Напряженность электрического поля	вольт на метр	*в/м*	*V/m*	(1 *в*) : (1 *м*)
Электрическое сопротивление	ом	*ом*	Ω	(1 *в*) : (1 *а*)
Электрическая емкость	фарада	*ф*	*F*	(1 *к*) : (1 *в*)
Поток магнитной индукции	вебер	*вб*	*Wb*	(1 *к*) · (1 *ом*)
Индуктивность	генри	*гн*	*H*	(1 *вб*) : (1 *а*)
Магнитная индукция	тесла	*тл*	*T*	(1 *вб*) : (1 *м*)^2
Напряженность магнитного поля	ампер на метр	*а/м*	*A/m*	(1 *а*) : (1 *м*)
Магнитодвижущая сила	ампер	*а*	*A*	(1 *а*)
Световой поток	люмен	*лм*	*lm*	(1 *св*) : (1 *стер*)
Яркость	свеча на квадратный метр или нит	*св/м*^{2} или *нт*	*cd/m*^{2}	(1 *св*) : (1 *м*)^2
Освещенность	люкс	*лк*	*lx*	(1 *лм*) : (1 *м*)^2

ВАЖНЕЙШИЕ ПОСТОЯННЫЕ

(округленные значения)

Нормальное ускорение падающих тел

$$q = 981 \ см/сек^2.$$

Постоянная тяготения (гравитационная)

$$\gamma = 6{,}67 \cdot 10^{-8} \ см^3/г \ сек.$$

Число молекул в грамм-молекуле (число Авогадро)

$$N = 6{,}02 \cdot 10^{23} \ 1/г\text{-}моль.$$

Универсальная газовая постоянная

$$R = 8{,}31 \cdot 10^7 \ эрг/моль \ град = 0{,}082 \ л \ атм/моль \ град =$$

$$= 1{,}986 \ кал/моль \ град.$$

Число Фарадея

$$F = 96\,500 \ к/г\text{-}экв.$$

Заряд электрона (позитрона и протона)

$$e = 4{,}8 \cdot 10^{-10} \ СГСЕ_{(q)} = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \ к.$$

Масса электрона (позитрона)

$$m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-28} \ г.$$

Масса протона (нейтрона)

$$m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27} \ г.$$

Механический эквивалент тепла

$$I = 427 \ кГм/ккал.$$

Тепловой коэффициент работы

$$A = 0{,}24 \ кал/дж.$$

Скорость распространения света в вакууме

$$c = 3 \cdot 10^{10} \ см/сек.$$

Скорость распространения звука в сухом воздухе при 0°С

$$v = 332 \ м/сек.$$

Скорость распространения звука в воде

$$v = 1430 \ м/сек.$$

НЕКОТОРЫЕ КОНСТАНТЫ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕЛ

Плотность ($г/см^3$)

Газы при нормальных условиях

Воздух	0,0013
Кислород	0,0014
Азот	0,0013
Углекислый газ	0,0020
Водород	0,0009

Жидкости

Керосин	0,8
Ртуть	13,6
Спирт	0,8
Морская вода	1,03

Твердые тела

Железо (сталь)	7,8
Медь	8,9
Никель	8,8
Свинец	11,3
Лед	0,9
Серебро	10,4
Цинк	7,2
Чугун	7,0
Латунь	8,4

Коэффициент линейного расширения твердых тел ($град^{-1}$)

Алюминий	$23 \cdot 10^{-6}$	Свинец	$29 \cdot 10^{-6}$
Олово	$23 \cdot 10^{-6}$	Стекло	$0{,}9 \cdot 10^{-6}$
Медь	$17 \cdot 10^{-6}$	Платина	$0{,}9 \cdot 10^{-6}$
Железо	$12 \cdot 10^{-6}$	Серебро	$19 \cdot 10^{-6}$
Эбонит	$80 \cdot 10^{-6}$	Латунь	$19 \cdot 10^{-6}$

Коэффициент объемного расширения жидкостей ($град^{-1}$)

Ртуть	$18 \cdot 10^{-5}$	Керосин	$10 \cdot 10^{-4}$
Спирт	$11 \cdot 10^{-4}$	Глицерин	$5 \cdot 10^{-4}$

Удельная теплоемкость ($кал/г\ град$)

Медь	0,094	Никель	0,11
Железо	0,113	Ртуть	0,034
Свинец	0,032	Керосин	0,5
Стекло	0,20	Спирт	0,58

Точка плавления (*град*)

Свинец	326	Водород	—259
Алюминий	700	Эфир	—132
Железо	1600	Цинк	410
Ртуть	— 39,5	Сера	115
Спирт	—130	Олово	230

Точка кипения (*град*)

Свинец	1500	Водород	—252,6
Сера	448	Эфир	34,9
Цинк	920	Спирт	78,3
		Ртуть	357

Теплота плавления (*кал/г*)

Лед	80	Железо	30
Свинец	5,5	Алюминий	77
Медь	44	Ртуть	2,8

Теплота парообразования (*кал/г*)

Вода	539	Спирт	206
Ртуть	64	Эфир	88

Теплота сгорания (*ккал/кг*)

Спирт	7 100	Каменный уголь	10 000
Нефть	11 000	Водород	34 000

Удельное сопротивление (*ом мм²/м*)

Медь	0,017	Ртуть	0,94
Железо	0,12	Платина	0,11
Никелин	0,40	Серебро	0,016

Температурный коэффициент сопротивления (*град*$^{-1}$)

Медь	$4 \cdot 10^{-3}$	Железо	$4 \cdot 10^{-3}$

Диэлектрическая проницаемость

(среднее значение)

Вода	81,0	Стекло	7,0
Парафин	2,0	Масло трансформаторное	2,2
Слюда	7,0	Фарфор	4,5

Показатель преломления

(средний для видимых лучей)

Алмаз	2,42	Спирт	1,36
Стекло	1,55	Каменная соль	1,55
Вода	1,33	Кварц	1,54

Атомный вес (округленный)

Медь	64	Углерод	12
Ртуть	201	Серебро	108
Никель	59	Алюминий	27

Модуль упругости ($кГ/мм^2$)

Сталь	$2 \cdot 10^5$	Медь	$8 \cdot 10^4$
Латунь	$1 \cdot 10^5$		

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3

	Задачи	Решения
I. Механика	7	35
II. Молекулярная физика	13	73
III. Электричество	18	97
IV. Оптика	25	128
Приложения		167
Некоторые вопросы по курсу физики		169

Основные законы физики:

I. Механика	174
II. Молекулярная физика	180
III. Электричество	182
IV. Оптика	188
Международная система единиц (СИ)	191
Важнейшие постоянные	193
Некоторые константы физических свойств тел	194

Леонид Никифорович Эрастов, Сергей Николаевич Соколов

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Редактор *Т. М. Гаврилова*

Л 29010 5/I-63 г. Объем 12¼ п. л.

Цена 44 коп. Тираж 3000 Заказ 1111/601

Типография МАИ

Цена 44 коп.